

Análise do Risco Operacional em Instituições Financeiras: um modelo que utiliza as cadeias de Markov

Délio José Cordeiro Galvão

Banco Central do Brasil e
Universidade Federal Fluminense
Departamento de Economia
delio.galvao@yahoo.com.br

Renata Raposo Del-Vecchio

Universidade Federal Fluminense
Instituto de Matemática
Programa de Pós-Graduação em Economia
renata@vm.uff.br

Renato Falci Villela Loures

Universidade Federal Fluminense
Departamento de Economia

rloures@globo.com

Resumo

Nos últimos anos, diversas ferramentas e processos específicos para a mensuração e mitigação do risco operacional vêm sendo desenvolvidos. Em particular, o risco operacional tem mobilizado a indústria bancária com vistas a adaptar-se às novas regras definidas em Basiléia II com respeito ao cálculo do capital regulamentar. Este artigo apresenta uma análise da estimativa do capital econômico para cobrir o risco operacional na indústria bancária no Brasil. Os resultados encontrados demonstram que alguns métodos, como o cálculo das perdas esperadas com o uso das cadeias de Markov, revelam-se ferramentas robustas.

Palavras Chave: risco operacional, cadeias de Markov, e capital econômico.

Classificação JEL: G32, G28, G14.

Abstract

Specific frameworks and processes have been developed in the last years for the measurement and mitigation of operational risk. In particular, operational risk is a subject that has mobilized banks in adapting to the new rules defined by Basel II for regulatory capital calculation. This paper presents an analysis for the estimation of economic capital for the operational risk in the Brazilian banking industry. The findings denote that some existent methods like the expected loss calculation through the use of Markov chains was revealed to be a robust tool.

Key words: operational risk, Markov chains, and economic capital.

Main área (JEL): G32, G28, G14.

1. Introdução

O Acordo de Basiléia, de 1988, sofreu uma grande revisão e atualização, cujo resultado final foi apresentado em junho de 2004 pelo *Bank for International Settlements - BIS*, consolidado no documento "*Basel II: International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards - A Revised Framework*".(Novo Acordo).

Uma das principais inovações do Novo Acordo é a previsão de que os órgãos de regulação e supervisão bancária passem a exigir dos bancos, capital próprio adicional para fazer frente a riscos de perda associados a perdas de natureza operacionais da instituição. Destarte, este Novo Acordo implicará uma profunda modificação na metodologia de cálculo do capital mínimo para as instituições financeiras e a metodologia de cálculo implementada deverá ser mais sensível aos riscos assumidos por cada instituição.

Pesquisas recentes, como as de Chapelle *et al.* (2004), Moscadelli (2004), Fontnouvelle *et al.* (2006), e Dutta e Perry (2007) indicam uma tendência na indústria bancária de adotar o método de distribuição de perdas (*Loss Distribution Approach – LDA*), para o cálculo do capital regulamentar necessário a cobrir eventuais perdas por risco operacionais.

Diversas técnicas vêm sendo utilizadas no cálculo do capital econômico, porém, o que é mais importante de ser observado pelos *policymakers* é que o uso de diferentes tecnologias, para modelagem da severidade das perdas, comumente leva a diferentes resultados. Por sua vez, a mesma tecnologia não obrigatoriamente implica em resultados semelhantes quando aplicado a instituições financeiras com atividades e características distintas.

Apesar da diversidade de técnicas e metodologias de cálculo, existem ferramentas que podem ser utilizadas na gestão de riscos em diferentes instituições e, independente das características da instituição, obter resultados satisfatórios. Em particular, para o caso de instituições bancárias no Brasil, o cálculo das perdas esperadas com o uso das cadeias de Markov obteve resultados que credenciam o modelo como uma ferramenta robusta, que pode ser empregada em quaisquer instituições financeiras que optem pela metodologia avançada de cálculo do capital econômico.

Esse artigo apresenta aspectos quanto a importância da análise do risco operacional nas instituições financeiras, alguns exemplos práticos de seus efeitos na economia e a forma como as instituições estão reagindo frente à exigência de capital para a cobertura de perdas por falhas operacionais. Por fim, apresenta um modelo de cálculo do capital econômico para cobrir o risco operacional, com destaque para o uso das cadeias de Markov no cálculo das perdas esperadas da instituição financeira. Além desta introdução o artigo é composto por mais quatro seções. A próxima seção apresenta um breve histórico sobre a evolução das instituições financeiras levando em conta o surgimento do risco operacional em que é feita uma análise de como o tema é tratado na literatura contemporânea. A seção 3 apresenta os dados e a metodologia empregada no exercício numérico que é apresentado na seção 4, que usa cadeias de Markov no cálculo das perdas operacionais esperadas. O capítulo 5 encerra esse artigo com a proposição das considerações finais

2. Evolução do tema risco operacional ante a proposta do Comitê de Basiléia.

Nos últimos anos vem sendo observada uma maior conscientização das instituições financeiras quanto a importância do risco operacional no sistema bancário do mundo inteiro. Grande parte dessa conscientização deve-se a inclusão no Novo Acordo de Basiléia do requerimento de capital para cobrir perdas por risco operacional. Assim, o Comitê espera assegurar a solvência das instituições financeiras diante de possíveis perdas imputáveis a esta modalidade de risco.

É reconhecido que o risco operacional é um termo que possui uma variedade ampla de significados na indústria financeira e, portanto, os bancos podem adotar sua própria definição de risco operacional na hora de estabelecer seus objetivos internos. O Comitê de Basiléia define o

risco operacional como sendo o risco de perda resultante de uma falha ou de um inadequado processo interno de controle, podendo ser gerado pelo homem ou por eventos externos. Entretanto, qualquer que seja esta definição, uma clara compreensão do significado do risco operacional por parte dos bancos é muito importante para o controle e para uma eficiente gestão desta categoria de risco.

De acordo com Cruz (2003), o termo “risco operacional” foi mencionado pela primeira vez com a falência do Banco Barings, que se deu em 1995, quando um operador levou o banco à falência ao ocultar posições de operações nos mercados futuro e de derivativos na Ásia. A perda foi na ordem de 1,3 bilhões de dólares causada pelo *controle inadequado de negociação de futuros*. Ao adotar uma política de redução de custos, o banco havia limitado o quadro de *back-office* lotado no escritório de Singapura. A medida fez com que o operador que negociava derivativos passasse a ser o próprio supervisor responsável por tais operações.

Decorridos 13 anos da quebra do Banco Barings, o mundo financeiro foi surpreendido com novo escândalo envolvendo fraude interna, supostamente cometida por um único operador de mercado, que levou o banco francês Société Générale¹ a uma perda inicialmente estimada em 7,2 bilhões de dólares. Sobre este operador do banco recaem as acusações de ter cometido “falsificação de registros bancários, uso fraudulento desses registros e fraude de sistemas”², todas as acusações classificadas como um risco operacional na categoria de fraudes internas.

O que se depreende dos exemplos supracitados é que a evolução e a inovação de mercados, produtos e serviços têm levado a uma maior ocorrência de eventos que envolvem os riscos operacionais. Avanços na tecnologia da informação, serviços financeiros operando em níveis mais complexos, novas formas de oferecer serviços bancários (telefone e internet), a automação e a integração dos sistemas bancários têm se apresentado como potenciais geradores de riscos operacionais.

Um dos principais objetivos do Acordo de Capital de Basiléia, na sua implantação em 1988, era o de tentar garantir a segurança e a solidez do sistema financeiro mundial. O acordo de 1988 previa que os bancos de atuação internacional constituíssem capital próprio proporcional ao risco de crédito assumido em suas aplicações. Acreditava-se que a solidez do sistema bancário pudesse ser alcançada a partir da exigência de um capital mínimo regulatório. Esse capital deveria ser suficiente para reduzir o risco de insolvência que pudesse levar a um risco sistêmico, além de suprir eventuais perdas que pudessem acarretar prejuízo aos depositantes.

O Novo Acordo enfatizou a importância de garantir a segurança sistêmica do setor bancário e está baseada em três pilares mutuamente complementares. O *primeiro pilar* refere-se aos requisitos mínimos de capital. O *segundo pilar* está relacionado com o processo de fiscalização bancária. A nova estrutura exige que o banco central de cada país assegure que cada instituição tenha processos internos sólidos para avaliar a adequação de seu capital em uma análise completa de seus riscos e o enquadramento dos modelos utilizados dentro das propostas de Basiléia II. O *terceiro pilar* diz respeito a disciplina de mercado por meio da transparência de informações. Estabelece recomendações e requisitos de divulgação em várias áreas, incluindo a forma que a instituição calcula sua adequação de capital e os métodos de avaliação de risco.

O Novo Acordo incorpora em seu texto a mensuração do capital mínimo requerido para cobrir eventuais perdas relacionadas às falhas de natureza operacional. Propõem como forma de cálculo que as instituições escolham, entre três abordagens, a forma de cálculo do risco mais sofisticada que lhes seja possível: (i) o método do indicador básico (BIA); (ii) o método padrão (ASA), e (iii) o método de medição avançada (AMA).

¹ O Société Générale é um dos principais líderes mundiais de operações com derivativos, em especial de ações, e utiliza sofisticados sistemas de *pricing*.

² Jornal o Globo de 27.1.2008.

O método do indicador básico leva em consideração a aplicação de um índice fixo sobre a receita bruta da instituição. Embora parâmetros fixos também sejam utilizados quando o cálculo é feito pelo método padrão, preliminarmente a instituição tem que ajustar suas linhas de negócios àquela classificação proposta no Novo Acordo³. A seguir, diferentes índices, que variam de 12% a 18%, são aplicados sobre a receita bruta aferida em cada linha de negócios em que a instituição mantenha operações. Assim como na metodologia anterior, qualquer instituição que pretenda utilizar a metodologia de mediação avançada (AMA) no cálculo do capital operacional deverá estar com as linhas de negócios previamente classificadas segundo aquela proposta.

O capital alocado para suportar o risco de perdas operacionais nas instituições financeiras terá de ser investido em ativos líquidos e não poderá ser usado operacionalmente, o que implica uma redução das reservas livres para novas operações de crédito. Assim, um dilema se apresenta aos gestores das instituições financeiras, que têm de estimar um valor de capital econômico que seja necessário e suficiente para cobrir as perdas provenientes dessa categoria de risco e, simultaneamente, atender as exigências dos órgãos de supervisão bancária. Isso implica em buscar uma convergência entre o capital econômico, que o banco estima ser o necessário, e o capital regulamentar proposto pelos órgãos de supervisão bancária.

Diante da importância de se encontrar metodologias para melhor estimação dessa categoria de risco, a seção 3 apresenta um modelo de cálculo do capital econômico em que as cadeias de Markov são utilizadas no cálculo das perdas esperadas por risco operacional.

3 – Metodologia e dados do exercício numérico

A literatura contemporânea⁴ tem demonstrado que o sistema bancário elegeu a metodologia do LDA (*Loss Distribution Approach – LDA*), para estimar o valor do capital econômico necessário à cobertura das perdas provenientes de risco operacional, quando a instituição opta pela metodologia avançada de cálculo (AMA). O capital econômico é uma medida que retrata, com alto grau de precisão, a quantidade de capital necessária a absorver as perdas inesperadas em um banco.

O Comitê acredita que, ao utilizar o AMA para o cálculo do capital econômico, a instituição irá mensurar seu risco operacional de forma mais eficiente. Por tratar-se de metodologia mais sofisticada pressupõe-se alcançar maior precisão no valor de risco calculado. Este, independentemente de ser maior ou menor que o valor encontrado por meio do método do indicador básico ou padrão, deverá melhor refletir a especificidade de cada instituição.

Logo, as instituições financeiras que adotarem o AMA, para encontrar o valor do capital econômico, deverão calcular o VaROperacional para um período de um ano e deverão admitir um nível de confiança igual ou superior ao 99,9º percentil na função de distribuição agregada das perdas gerada. O cálculo do VaROperacional deverá ser feito ao longo de todas as linhas de negócios em que a instituição tiver atuação e o somatório dos valores encontrados irá corresponder à parcela do capital econômico relativo ao risco operacional.

O cálculo do VaROperacional está baseado em processos estocásticos discretos, desenvolvido a partir da agregação de dois processos: a distribuição da frequência e da severidade das perdas. A agregação das funções de distribuição de frequência e severidade das perdas é feita por meio de uma Simulação de Monte Carlo (SMC)⁵. A distribuição de perdas agregada resultante desta operação permite a estimação de perdas operacionais futuras, porém, costuma englobar em seu

³ Disponível em www.bis.org/publ/bcbs128d.pdf

⁴ Artigos recentes publicados por Chapelle *et al.* (2004), Moscadelli(2004), Aue e Kalkebrene (2006), Fontnouvelle *et al.* (2006), e Dutta e Perry (2007).

⁵ Para maiores informações consultar Kalos e Whitlock (1986).

cálculo o valor das perdas esperadas (Aue e Kalkbrener, 2006), que é o principal objeto de estudo nesse artigo.

Assim, apesar do VaROperacional ser uma medida de risco “coerente”, a perda esperada⁶, PE, deverá ser deduzida do valor encontrado para obter-se o capital econômico operacional (CE_{RO}). A partir dessa premissa, o modelo desenvolvido para estimar o capital econômico do no exercício proposto tem a forma da equação (1).

$$(1) \quad CE_{RO} = Var_{op} - PE$$

Para apresentar como é feito cálculo do capital econômico em instituições financeiras no Brasil foi utilizada uma amostra contendo dados de perda por roubo a agências bancárias no estado de Minas Gerais. A amostra utilizada contém o registro de 125 dados de perda por risco operacional, classificados na categoria “fraude externa”, catalogados pelo sindicato dos bancos do estado de Minas Gerais (<http://extranet.bancariosbh.org.br>), e contemplam instituições relacionadas entre os 50 maiores bancos nacionais, avaliadas por seus ativos totais no ano de 2006 (BCB 2006 a). Esses dados foram divulgados pela mídia local, no período de janeiro de 2002 a dezembro de 2005 e foram consolidados mensalmente, para atender a proposta desse modelo. (ver tabela 1).

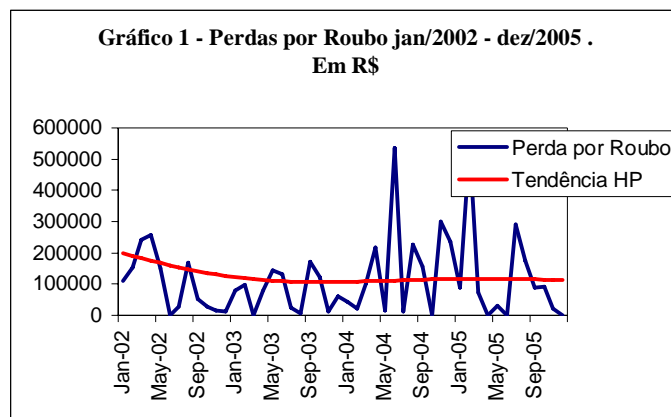
Tabela 1 - Perdas operacionais relacionadas a roubo. Em R\$

MÊS/ANO	2002	2003	2004	2005
Janeiro	111.710	80.738	42.800	89.851
Fevereiro	154.400	98.000	20.000	542.522
Março	241.500	0	100.000	75.000
Abril	258.500	80.500	217.000	1.000
Mai	149.000	144.500	15.481	30.000
Junho	0	131.000	534.700	0
Julho	29.000	25.000	12.500	292.000
Agosto	169.500	5.000	226.000	173.000
Setembro	51.602	171.000	154.700	88.500
Outubro	26.100	123.000	0	91.000
Novembro	15.514	11.000	300.000	20.000
Dezembro	11.000	60.200	237.000	0
TOTAL	1.217.826	929.938	1.860.181	1.402.873

O Gráfico 1 mostra que há uma tendência de queda no valor das perdas mensais causadas por roubo de agências bancárias na amostra da pesquisa⁷. Essa tendência pode ser atribuída aos sucessivos aportes financeiros por parte da indústria bancária em investimentos ligados a prevenção e seguros contra essa categoria de perda. No Brasil existem mais de 17.500 agências bancárias e o investimento total do sistema bancário na segurança física desses pontos de atendimento dobrou para cerca de U\$S 3 bilhões no ano de 2006 em relação ao ano de 2003.

⁶ O Novo Acordo de Basiléia define *perda esperada* (PE), uma variável quantitativa associada ao cálculo do VaR, como o valor médio da distribuição de perdas agregada. Trata-se de uma característica inerente à especificidade de cada instituição financeira, cuja cobertura deve ser feita por meio de provisões

⁷ Foi utilizado o filtro Hodrick – Prescott, na elaboração da curva de tendência.



Para atender a finalidade deste exercício numérico optou-se pela não separação dos dados de perdas por instituição com o intuito de aumentar o número de dados de perda. Cabe lembrar que informações ligadas à perda por roubos das agências bancárias podem sinalizar uma maior ou menor importância dada pelos gestores da instituição aos investimentos em segurança das agências. Assim, considerou-se que sempre que possível as informações quanto a ocorrências dessa categoria de perda sejam ocultadas da mídia e desta forma não sejam repassadas ao mercado. Assim, para testar a aplicabilidade do modelo proposto, os dados de perda por roubo a agências bancárias foram agregados de forma a representar as perdas de uma grande instituição bancária fictícia que se convencionou chamar Banco DR2.

3.1- Cadeias de Markov

Cadeias de Markov é um tipo especial de processo estocástico de tempo discreto, cujo estudo tem ganhado importância em diferentes ramos das ciências sociais, administrativas e mesmo as biológicas. Isto se deve a necessidade cada vez maior destas ciências de se aproximarem de modelos matemáticos que possibilitem alguma avaliação quantitativa.

A propriedade de Markov⁸, chamada assim em homenagem ao matemático Andrei Andreyevich Markov, considera que os estados anteriores são irrelevantes para a predição dos estados seguintes, desde que o estado atual seja conhecido. Assim, em uma cadeia de Markov, o próximo estado depende exclusivamente do estado atual do processo.

Os processos markovianos são modelados através de sistemas de transição de estados. Os estados são representados em termos de seus vetores probabilísticos que podem variar no espaço temporal e as transições entre estados são probabilísticas que dependem apenas do estado presente. Uma cadeia de Markov pode ser representada por:

$$(2) \quad \Pr(X_{t+1} = i_{t+1} / X_t = i_t, X_{t-1} = i_{t-1}, \dots, X_1 = i_1, X_0 = i_0) = \Pr(X_{t+1} = i_{t+1} / X_t = i_t)$$

A forma acima afirma que a distribuição de probabilidade do estado no tempo $t + 1$ (i_{t+1}) depende do estado do tempo t (i_t) e não depende dos estados pelos quais a cadeia passou até alcançar i_t no tempo t .

Se o sistema se move de um estado para outro durante um período, diz-se que ocorreu uma transição. Então:

$$(3) \quad p_{ij} = \Pr(B / A),$$

onde A = evento do sistema no estado j no tempo t e
 B = evento do sistema no estado i no tempo $t + 1$

⁸ Ver Howard (1971) para mais detalhes sobre a propriedade de Markov.

Em geral, os P_{ij} são chamados de probabilidades de transição nas cadeias de Markov. Ou seja, P_{ij} é a probabilidade de ocorrer uma transição do estado j para o estado i . Assim, em uma cadeia de Markov com a matriz de transição $P = [P_{ij}]$, a probabilidade de transição do estado j para o estado i em n períodos de tempo denota-se por P_{ij}^n . Logo:

$$(4) \quad P^n = [P_{ij}^n].$$

A matriz representada na equação (4) é denominada matriz de transição de n fases.

Dado que o estado inicial (tempo 0) do sistema seja j , a probabilidade de que o sistema esteja no estado i no tempo n é P_{ij}^n . Essa probabilidade pode ser determinada usando-se as potências da matriz de transição P .

Supondo-se que o estado inicial não seja conhecido e que somente as várias probabilidades de o sistema estar em um particular estado, no tempo 0, estejam disponíveis. Para cada n , seja ν_j^n a probabilidade de que uma cadeia de Markov esteja no estado j , no tempo n . Logo, o caso particular, ν_j^0 representa a probabilidade de que a cadeia de Markov esteja inicialmente no estado j . Caso a cadeia de Markov possua N estados, convém considerarem-se os seguintes vetores de comprimento N :

$$(5) \quad \nu^n = [\nu_1^n, \nu_2^n, \dots, \nu_N^n]^T$$

O vetor ν^n representa a distribuição da cadeia de Markov no tempo n e o vetor ν^0 representa a distribuição inicial da cadeia de Markov.

Por fim, uma cadeia de Markov com distribuição inicial ν^0 e a matriz de transição P terá a distribuição da cadeia de Markov, a qualquer tempo, dada por: $\nu^n = P^n \cdot \nu^0$

4. Apresentação do modelo que utiliza cadeias de Markov

O procedimento padrão para o cálculo do risco operacional consiste em especificar o capital econômico como o *VaR Operacional*, que é o valor máximo de perda provável para um único evento de perda de nível extremo, deduzido da perda esperada, já que os valores considerados como perdas esperadas devem ser provisionados pelas instituições financeiras.

Para utilizar as cadeias de Markov no cálculo das perdas esperadas no Banco DR2, os dados da amostra, consolidados mensalmente, foram classificados segundo quatro estados e utilizados na formação da matriz de transição de Markov, nas seguintes condições:

- i) perda em valor menor ou igual a 100.000,00 (estado 1 = E1);
- ii) perda em valor maior que 100.000,00 e menor ou igual a 200.000,00 (E2);
- iii) perda em valor maior que 200.000,00 e menor ou igual a 300.000,00 (E3);
- iv) perda em valor maior que 300.000,00 (E4);

Para se chegar a matriz de transição, considerou-se P_{ij} a probabilidade de ocorrência de um estado i (período n), após a ocorrência de um estado j (período $n-1$), onde n representa o ano que se pretende estimar. Assim, as probabilidades foram representadas por:

$$(6) \quad P_{ij} = \frac{E_i}{E_j}, \text{ onde}$$

E_i é o número de ocorrências do estado i , após a ocorrência do estado j ;

E_j é o número total de ocorrências do estado j , no período em análise.

Considerando-se os quatro estados, conforme descrito acima, a matriz de transição toma o seguinte formato:

$$(7) \quad P_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} \end{bmatrix}.$$

Após a extração da matriz transição procedeu-se a definição do vetor estado, referente ao ano imediatamente anterior àquele que se deseja fazer a previsão ($E_{i,1}$). No presente modelo, o vetor estado representa a probabilidade de ocorrência do estado i nos doze meses do ano anterior ao que está sendo analisado. Assim, o vetor estado é dado por:

$$(8) \quad E_{i,1} = \frac{E_i}{12},$$

onde E_i representa o número de ocorrências do estado i no ano anterior ao de análise; e 12 o número de meses do ano.

Ao considerar os quatro estados descritos, o vetor estado toma o seguinte formato:

$$(9) \quad E_{4 \times 1} = \begin{bmatrix} E_{1,1} \\ E_{2,1} \\ E_{3,1} \\ E_{4,1} \end{bmatrix}.$$

Ao multiplicar-se a matriz transição (P_{ij}) pelo vetor estado do ano anterior ao de análise ($E_{i,1}$) e por 12 (número de meses do ano) é encontrado o vetor estado do ano em previsão ($E^1_{i,1}$). Esse "novo" vetor estado representa as probabilidades de ocorrência de cada estado i no ano em previsão. Assim considerando os quatro estados em questão o vetor estado do ano em previsão toma o seguinte formato:

$$(10) \quad P_{4 \times 4} \times E_{4 \times 1} \times 12 = \begin{bmatrix} E^1_{1,1} \\ E^1_{2,1} \\ E^1_{3,1} \\ E^1_{4,1} \end{bmatrix},$$

Com o objetivo de aproximar o modelo da realidade foram extraídas as médias aritméticas das perdas por roubo (PM) de cada estado i :

$$(11) \quad PM_i = \frac{\sum P_i}{NP_i},$$

onde $\sum P_i$ representa o somatório das perdas do estado i ; e

NP_i representa o número de perdas no estado i .

Em seguida, o valor encontrado para a perda média (PM_i) foi multiplicado pelo fator corresponde a cada estado i do vetor estado prevista ($E^1_{i,1}$). O resultado é a perda prevista (P^*) para cada estado i .

$$(12) \quad P^* = PM_i \times E^1_{i,1},$$

O somatório dessas perdas gera a perda total prevista para o ano em análise (PT^*).

$$(13) \quad \sum P^* = PT^*.$$

Com o propósito de testar a robustez do modelo, foi realizada a previsão do ano de 2005, para comparar o resultado encontrado com o valor real. Os dados utilizados nessa análise compreenderam o período de janeiro de 2002 a dezembro de 2004.

Aplicada a metodologia apresentada nesta seção os resultados obtidos demonstram a capacidade de previsão do modelo. Quando comparado com o valor real de perda por roubo à agências bancárias ocorrido em 2005, que foi de R\$ 1.402.873,00 (ver tabela 1), a perda de R\$ 1.344.287,18 prevista pelo modelo (ver tabela 4) representa uma boa aproximação da realidade com uma variação de apenas 4,36% entre os valores. As tabelas 2 e 3 apresentam respectivamente as matrizes de transição e estado necessárias para o cálculo da matriz de previsão das perdas para o ano de 2005.

Tabela 2:		<i>Matriz de transição</i>			
		2002-2004			
	R\$ x 1000	E1	E2	E3	E4
E1	$X \leq 100$	0,650	0,556	0,333	1,000
E2	$100 < X \leq 200$	0,150	0,333	0,333	0,000
E3	$200 < X \leq 300$	0,150	0,111	0,333	0,000
E4	$X > 300$	0,050	0,000	0,000	0,000

Tabela 3:	<i>Matriz estado</i>	
	2004	2005
E1	0,5000	0,5657
E2	0,0833	0,2139
E3	0,3333	0,1954
E4	0,0833	0,0250

Tabela 4:
Perda esperada para 2005 (em R\$)

Estado	Perda média	Perda Esperada
E1	34.221,75	232.327,66
E2	145.423,33	373.253,22
E3	246.666,67	578.296,30
E4	534.700,00	160.410,00
Total		1.344.287,18

Utilizando-se a mesma metodologia para realizar a previsão para o ano de 2006, foram encontrados os valores de perda apresentados na Tabela 7. Os dados utilizados na análise compreenderam o período de janeiro de 2002 a dezembro de 2005. Ademais, assim como observado na figura 1, foi mantida a tendência de queda no valor das perdas por roubo de agências bancárias. As tabelas 5 e 6 apresentam respectivamente as matrizes de transição e estado necessárias para o cálculo da matriz de previsão das perdas para o ano de 2006.

Comparando o resultado de 2006 (R\$ 1.293.439,73) com o resultado real de 2005 (R\$ 1.402.873,00), percebe-se uma queda de 7,8% que mantém a tendência de queda das perdas por roubo a agências bancárias no Banco DR2.

Tabela 5:

Matriz de transição

2002-2005					
	R\$ x 1000	E1	E2	E3	E4
E1	$X \leq 100$	0,690	0,600	0,286	1,000
E2	$100 < X \leq 200$	0,103	0,300	0,429	0,000
E3	$200 < X \leq 300$	0,138	0,100	0,286	0,000
E4	$X > 300$	0,069	0,000	0,000	0,000

Tabela 6:	<i>Matriz estado</i>	
	2005	2006
E1	0,7500	0,6744
E2	0,0833	0,1383
E3	0,0833	0,1356
E4	0,0833	0,0517

Tabela 7 - Perda esperada para 2006(em R\$)

Estado	Perda média	Perda esperada
E1	37.234,00	301.320,27
E2	148.181,00	245.922,06
E3	253.142,86	411.887,12
E4	538.611,00	334.310,28
Total		1.293.439,73

Os dados de frequência da ocorrência de perdas foram classificados em quatro categorias de estados para extrair a matriz transição. Esta matriz reproduz a frequência dos eventos de perda, proveniente de roubos nas agências do banco em estudo, apropriados mensalmente, em unidades, segundo as premissas discriminadas a seguir:

- (i) frequência de ocorrência de eventos de perda no mês, inferior a 1 (estado 1= *E1*);
- (ii) frequência de ocorrência de eventos de perda no mês, inferior a 2 (*E2*);
- (iii) frequência de ocorrência de eventos de perda no mês, inferior a 3 (*E3*);
- (iv) frequência de ocorrência de eventos de perda no mês, superior a 3 (*E4*);

O cálculo da frequência esperada é feito de forma análoga ao processo utilizado para o cálculo da perda esperada. Os dados utilizados nessa análise correspondem ao período compreendido entre Janeiro de 2002 e dezembro de 2005. A tabela 11 apresenta os resultados obtidos. Com base na frequência esperada é possível obter a perda esperada no ano de 2006 para um único evento de perda, que corresponde a R\$52.265,76 (R\$1.293.439,73/24,75). O valor encontrado confirma a robustez do modelo face a proximidade deste com o valor da média do período entre os anos de 2002 e 2005 (R\$43.286,54), ao contrário do valor da mediana dos dados da amostra (R\$20.000,00). Cabe notar que, ao empregar o modelo proposto, o Banco DR2 reserva um valor menor de recursos para fazer frente ao capital regulamentar que no caso de empregar o valor da média das perdas ou da mediana da amostra. O uso do modelo proposto, em última instância, implicou para os dados da amostra desse exercício, em maior liberação de capital para as atividades operacionais da instituição.

As tabelas 8 e 9 apresentam respectivamente as matrizes de transição e estado necessárias para o cálculo da matriz de previsão de frequência das perdas para o ano de 2006. A tabela 10 apresenta a evolução do número de ocorrência de eventos de perda ao longo do período analisado.

Tabela 8:
Matriz estado

	2005
E 1	0,41 7
E 2	0,33 3
E 3	0,08 3
E 4	0,16 7

Tabela 9:
Matriz de transição

		2002-2005			
	Número de eventos	E1	E2	E3	E4
E 1	$X \leq 1$	0,42 9	0,42 9	0,14 3	0,15 4
E 2	$1 < X \leq 2$	0,28 6	0,14 3	0,42 9	0,38 5
E 3	$2 < X \leq 3$	0,14 3	0,07 1	0,14 3	0,23 1
E 4	$X > 4$	0,14 3	0,35 7	0,28 6	0,23 1

Tabela 10:
Frequência dos eventos de perda (2002-2005)

Mês/ano	2002	2003	2004	2005
Janeiro	5	4	2	5
Fevereiro	4	3	1	5
Março	3	-	1	2
Abril	4	2	3	1
Maio	2	5	2	1
Junho	-	6	6	-
Julho	2	2	1	2
Agosto	9	1	2	2
Setembro	3	5	4	3
Outubro	3	2	-	2
Novembro	2	2	1	1
Dezembro	1	5	3	-
Total	38	37	26	24

Tabela 11:
Frequência esperada para o ano de 2006

Estado	Média de ocorrências	Frequência esperada
E1	0,50	2,15
E2	1,50	4,80
E3	2,50	4,01
E4	4,77	13,79
Total		24,75

5. Considerações Finais

O presente artigo fez uma análise acerca do tema risco operacional e o impacto que a exigência de capital para cobertura das perdas por falhas operacionais trará para as instituições financeiras no Brasil. Para tanto, foi feito um breve relato de como o assunto tem sido tratado desde a publicação do Acordo de Basiléia em 1988 até a publicação do Novo Acordo em 2004. Foram apresentados alguns relatos de perdas, causadas pela ocorrência de perdas por falhas operacionais, que

marcaram a indústria bancária. Ademais, destacou as últimas propostas apresentadas pelo Comitê de Basileia para a mensuração desta categoria de risco

A seguir, o artigo apresentou a metodologia de cálculo para o capital econômico que mais tem se difundido na indústria bancária, o *Loss Distribution Approach* (LDA), comumente utilizada quando a instituição opta pelo método avançado para o cálculo do capital econômico. Destarte foi apresentado um exercício numérico em que o uso das cadeias de Markov mostrou-se uma ferramenta robusta no cálculo das perdas esperadas devidas ao risco operacional. O uso dessa ferramenta poderá trazer benefícios àquelas instituições que vierem a adotá-la, na medida em que poderá reduzir o valor necessário a ser alocado como capital regulamentar. Ademais, considerando-se constantes os investimentos em segurança das agências bancárias, este modelo poderá ajudar aos gestores das instituições financeiras, no cálculo da estimativa de custo necessário para mitigar a perda por roubo através da contratação de seguros.

6. Referências Bibliográficas

- AUE, F. and KALKBRENER, M. (2006). "LDA at work: Deutsche Bank's Approach to quantifying operational risk", *The Journal of Operational Risk*, V. 1, N. 4, 48-98.
- BCB (Banco Central do Brasil). (2006). 50 Maiores Bancos por Ativos Totais. <http://www.bcb.gov.br/top50/port/top50.asp>
- BIS (Bank for International Settlements) (2004). "Basel II: International Convergence of Capital Measurement and Capital Standards" - A Revised Framework.
- CHAPELLE, A; Crama, Y; Hubner, G; e Peters, J-P - (2004). "Basel II and Operational Risk: Implications for Risk Measurement and management in the Financial Sector" - Working Paper N 51 – maio - National Bank of Belgium.
- CRUZ, M. (2003). "Modelagem, Avaliação e Proteção para Risco Operacional." Rio de Janeiro: Financial Consultoria.
- DUTTA, K e Pery, J (2007). -"A Tale of tails: an empirical analysis of loss distribution models for estimating operational risk capital" . Working Paper 06-13 – Federal Reserve of Boston.
- HOWARD, R. (1971). *Dynamic Probabilistic Systems, volume 1: Markov Chains*. John Wiley and Sons.
- KALOS, M e Whitlock, P (1986) *Monte Carlo Methods*. John Wiley and Sons.
- MOSCADELLI, M. (2004). "The modelling of operational risk: experience with the analysis of the data collected by the Basel Committee." Working paper, Banca d'Italia. <http://www.bancaditalia.it/ricerca/consultazioni/temidi/td04/td517/td517/tema517.pdf>.
- FOUNTNOUVELLE, P., RUEFF, D.V., JORDAN, J.S., and ROSENGREN, E.S. (2006). "Capital and Risk: New Evidence on implications of Large Operational Losses." *The Journal of Money, Credit, and Banking*, V. 38, N. 7, 1819-1846.