

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ANÁLISE DO VALOR DO NEGÓCIO DE CONCESSÕES  
RODOVIÁRIAS FEDERAIS: DEMANDA SIMULADA PELO  
MÉTODO MONTE CARLO**

**ALAM GONÇALVES GUIMARÃES**

**ORIENTADOR: CARLOS HENRIQUE ROCHA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES**

**PUBLICAÇÃO: T.DM – 020 A/2012**

**BRASÍLIA/DF: JULHO – 2012**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DO VALOR DO NEGÓCIO EM CONCESSÕES  
RODOVIÁRIAS FEDERAIS: DEMANDA SIMULADA PELO  
MÉTODO MONTE CARLO**

**ALAM GONÇALVES GUIMARÃES**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE  
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU  
DE MESTRE EM TRANSPORTES.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Carlos Henrique Rocha, PhD (FUP-UnB)  
(Orientador)**

---

**Prof. José Augusto Abreu Sá Fortes, DSc (ENC-UnB)  
(Examinador Interno)**

---

**Prof. Gladston Luiz da Silva, DSc (EST-UnB)  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 03 DE JULHO DE 2012**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

GUIMARÃES, ALAM GONÇALVES

Análise do Valor do Negócio em Concessões Rodoviárias Federais: Demanda Simulada pelo Método Monte Carlo [Distrito Federal] 2012.

xiv, 94p. 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2012).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Concessões Rodoviárias

2. Projeção de Demanda

3. Simulação Monte Carlo

4. Risco do Negócio

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

GUIMARÃES, A. G. (2012). Análise do Valor do Negócio em Concessões Rodoviárias Federais: Demanda Simulada pelo Método Monte Carlo. Dissertação de Mestrado em Transportes, Publicação T.DM – 020 A/2012, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 94p

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Alam Gonçalves Guimarães.

TÍTULO: Análise do Valor do Negócio em Concessões Rodoviárias Federais: Demanda Simulada pelo Método Monte Carlo.

GRAU: Mestre

ANO: 2012

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Alam Gonçalves Guimarães  
alamguimaraes@yahoo.com.br

## **DEDICATÓRIA**

**Aos meus pais, Cleuza e Pedro, pelo esforço em me proporcionar  
uma boa educação e por me ensinar valores e princípios  
que guardarei por toda a vida.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por iluminar meu caminho.

Agradeço a minha família, em especial meus pais, Cleuza e Pedro, e minhas irmãs, Lucilene e Luciana.

Agradeço a Heloisa pelo apoio, paciência e dedicação nos últimos anos.

Agradeço a todos os professores do mestrado que contribuíram para a minha formação acadêmica.

Ao professor Carlos Henrique Rocha pela orientação.

Ao professor Raderson Rodrigues da Silva do Departamento de Matemática e ao Professor Lúcio José Vivaldi do Departamento de Estatística pelas cartas de recomendação que contribuíram para meu ingresso no mestrado.

Aos professores José Augusto Abreu Sá Fortes e Gladston Luiz da Silva por aceitarem o convite para participar da banca examinadora e pelas contribuições.

Ao Fernando Régis dos Reis, pelo apoio durante o desenvolvimento de minhas atividades relacionadas ao mestrado.

À Maria Cecília Sant'anna pelas contribuições para o aprimoramento do texto.

À Lu, da secretaria do PPGT, por ter sido sempre muito atenciosa.

E a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

## **RESUMO**

### **ANÁLISE DO VALOR DO NEGÓCIO EM CONCESSÕES RODOVIÁRIAS FEDERAIS: DEMANDA SIMULADA PELO MÉTODO MONTE CARLO**

No que concerne às rodovias federais, as que são objeto de delegação à iniciativa privada, via contrato de concessão, submetem-se à regulação da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), sendo esta a responsável pela publicação dos editais, julgamento das licitações, celebração e fiscalização do cumprimento dos contratos de concessão, bem como por realizar os cálculos para os reajustes dos valores dos pedágios de forma a manter equilíbrio econômico-financeiro. A avaliação da viabilidade de um lote rodoviário nos processos licitatórios é baseada no modelo de valor presente líquido, no qual a estimativa de projeção da demanda é uma variável de grande peso, pois impacta diretamente na receita do empreendimento, sendo o risco de demanda, portanto, fortemente considerado como risco do negócio. Dessa forma, esta dissertação busca apresentar uma metodologia para avaliação dos riscos de demanda de tráfego em projetos de investimentos em concessões rodoviárias, fornecendo uma ferramenta mais precisa para a quantificação do risco desse negócio. Inicialmente, definiu-se uma modelagem para as variáveis de incerteza do modelo de projeção da demanda de tráfego com base na análise dos dados contidos nas propostas comerciais vencedoras dos leilões de licitação da fase I da segunda etapa do Programa de Concessões de Rodovias Federais. Para tanto, utilizou-se o método Monte Carlo de simulação e o processo estocástico Movimento Browniano Geométrico para geração de distribuições empíricas de probabilidade para essas variáveis. Em seguida, os valores mais prováveis das distribuições geradas foram incorporados ao Fluxo de Caixa real das propostas comerciais, obtendo-se os intervalos de variação do Valor do Negócio e da Taxa Interna de Retorno dos projetos. A partir dos resultados obtidos pelas simulações foi possível estabelecer os riscos de demanda assumidos no momento da licitação em 16 Cenários hipotéticos.

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF THE VALUE OF BUSINESS IN FEDERAL HIGHWAY CONCESSIONS: SIMULATED DEMAND BY MONTE CARLO METHOD**

When it comes to federal highways, the ones that are under the delegation of the private sector via a concession contract are submitted to the regulation of the National Agency of Land Transportation (ANTT). This authority is responsible for the publication of notices, the judging of bids, the celebration and supervision of concession contracts, as well as to accomplish the calculation of readjustments for the price of tolls in order to keep the economical and financial balance. The evaluation of the feasibility of a tollway lot in the bidding processes is based on the model of the net present value, in which the estimate of the demand projection is a variable of great importance, since it has a direct impact on the project's revenue. Therefore, the demand risk is strongly considered as a risk for the business. Thus, this dissertation aims at presenting a methodology for the valuation of traffic demand risks in projects of investments on road concessions, providing a more precise tool for the quantification of the risk of this business. At first, a model was determined for the uncertainty variables of the traffic demand projection model, based on the analysis of the data contained within commercial offers that were successful at auctions and public bid events during phase 1 of the second stage of the Federal Highways Concessions Program. To achieve this purpose, the Monte Carlo simulation method and the process called stochastic Geometric Brownian Motion were used in order to generate empirical probability distributions for these variables. Next, the most likely distribution values generated were incorporated into the real cash flow of the commercial offers, obtaining the variation intervals concerning the value of the business and the internal rate of return related to the projects. From the results obtained, it was possible to determine the demand risks taken during public bid events, in 16 hypothetical scenarios.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 APRESENTAÇÃO .....	1
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	3
1.3 JUSTIFICATIVA.....	3
1.4 HIPÓTESE .....	4
1.5 OBJETIVOS.....	5
1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	5
<b>2 RISCOS EM INVESTIMENTOS .....</b>	<b>9</b>
2.1 DEFINIÇÕES.....	9
2.2 TIPOS DE RISCOS .....	16
2.2.1 Riscos Específicos .....	16
2.2.2 Riscos Comuns ao Mercado .....	17
2.2.3 Riscos Diversificáveis.....	18
2.3 MODELOS DE MENSURAÇÃO DOS RISCOS DE MERCADO.....	19
2.3.1 Modelo de Precificação de Ativos Financeiros (CAPM) .....	19
2.3.2 Modelo de Determinação de Preços por Arbitragem (APM) .....	25
2.3.3 Modelos Multifatoriais .....	26
2.3.4 Modelos Substitutos.....	27
2.4 RISCOS EM CONCESSÕES RODOVIÁRIAS.....	27
<b>3 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS .....</b>	<b>31</b>
3.1 CUSTO DE CAPITAL.....	31
3.1.1 Custo de Capital Próprio.....	31
3.1.2 Custo de Capital de Terceiros de Longo Prazo.....	32
3.1.3 Custo Médio Ponderado de Capital (WACC).....	33
3.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL) .....	34
3.3 TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (TMA) .....	35
3.4 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	35
3.5 PAYBACK.....	36
<b>4 CONCESSÕES RODOVIÁRIAS FEDERAIS .....</b>	<b>38</b>
4.1 PANORAMA ATUAL .....	38
4.2 EQUILÍBRIO ECONÔMICO-FINANCEIRO .....	46
4.3 ALOCAÇÃO DOS RISCOS.....	49
<b>5 SIMULAÇÃO .....</b>	<b>51</b>
5.1 MÉTODO MONTE CARLO DE SIMULAÇÃO.....	52
5.2 MOVIMENTO BROWNIANO GEOMÉTRICO.....	55
<b>6 METODOLOGIA PARA QUANTIFICAR O RISCO DE DEMANDA DE TRÁFEGO .....</b>	<b>58</b>

6.1	MODELAGEM DA DEMANDA INICIAL.....	61
6.2	MODELAGEM DA TAXA MÉDIA DE CRESCIMENTO DA DEMANDA.....	65
6.3	CENÁRIOS COMBINADOS E PROBABILIDADE DE CONFIANÇA.....	67
6.4	PROCESSO DE SIMULAÇÃO.....	70
6.5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	72
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>88</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>90</b>
	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>94</b>
	<b>Exemplo de Algoritmo implementado no SAS para Simulação Monte Carlo para demanda inicial (Autopista Fluminense/Premissa 1/Cenário 1).....</b>	<b>94</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Regra de decisão do <i>VPL</i> .....	34
Tabela 2: Regra de decisão para a <i>TIR</i> .....	35
Tabela 3: Regra de decisão para Payback. ....	37
Tabela 4: Extensão malha rodoviária federal concedida sob responsabilidade da ANTT. .	39
Tabela 5: Deságios para os trechos concedidos nas segunda e terceira etapas do PROCOFE. ....	42
Tabela 6: Matriz de riscos presente nos contratos da primeira etapa do PROCOFE. ....	49
Tabela 7: Matriz de riscos presente nos contratos da segunda etapa do PROCOFE.....	50
Tabela 8: Informações gerais das concessões selecionadas para definição do modelo de simulação. ....	60
Tabela 9: Coeficientes de variação para os quatro Cenários hipotéticos de dispersão.....	62
Tabela 10: Cenários para a variação das taxas de crescimento. ....	66
Tabela 11: Definição e descrição dos Cenários combinados para a demanda inicial e taxa média de crescimento da demanda. ....	68
Tabela 12: Funções do SAS para simulação Monte Carlo. ....	72
Tabela 13: Desvios-padrões para demanda inicial (Autopista Fluminense). ....	73
Tabela 14: Resultados das simulações para demanda inicial (Premissa 1 – Autopista Fluminense). ....	73
Tabela 15: Parâmetros para a distribuição triangular assimétrica à esquerda. ....	75
Tabela 16: Resultados das simulações para demanda inicial (Premissa 2 – Autopista Fluminense). ....	76
Tabela 17: Principais resultados das distribuições empíricas de probabilidade geradas para a demanda inicial da Concessionária Autopista Fluminense.....	80
Tabela 18: Desvios-padrões calculados para a taxa média de crescimento da demanda (Autopista Fluminense). ....	82
Tabela 19: Principais resultados (em percentuais) das distribuições empíricas de probabilidade geradas para $\bar{g}_1$ para a Concessionária Auto Pista Fluminense. ....	82
Tabela 20: Resultados dos <i>VPLs</i> e <i>TIRs</i> obtidos pelas simulações de demanda. ....	85

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fases de elaboração desta dissertação.....	7
Figura 2: Distribuição de probabilidade do retorno de um investimento livre de risco (adaptado de Damodaran, 2010).....	10
Figura 3: Distribuições assimétricas de probabilidade dos retornos de dois investimentos sujeitos a riscos.....	11
Figura 4: Comparação entre distribuições de probabilidade de retornos com mesma distribuição (Normal) e diferentes variâncias (adaptado de Damodaran, 2010).....	12
Figura 5: Distribuições de probabilidade dos retornos segundo a curtose.....	14
Figura 6: Distribuição do retorno esperado em um investimento hipotético A, com variâncias crescentes ao longo dos períodos de tempo 1,2 e 3 (adaptado de Gitman, 2004).....	15
Figura 7: Relação entre os riscos específicos e os riscos comuns ao mercado (adaptado de Damodaran, 2010).....	17
Figura 8: Comparação entre os diferentes valores de Beta e as oscilações do mercado (Lemes Junior, 2009).....	21
Figura 9: Linearidade da função de retorno para uma carteira hipotética (adaptado de Sanvicente e Mellagi, 1996).....	23
Figura 10: Relação entre o VPL, TIR e TMA (Souza e Clemente, 2009).....	36
Figura 11: Distribuição das malhas estaduais e malha Federal concedida (ABCR, 2012).....	38
Figura 12: Primeira etapa do PROCOFE.....	40
Figura 13: Segunda etapa fases I e II do PROCOFE.....	41
Figura 14: Terceira etapa do PROCOFE.....	43
Figura 15: Avaliação da qualidade das rodovias concedidas e públicas (adaptado de CNT, 2011).....	44
Figura 16: Evolução do fluxo de veículos leves e pesados nas rodovias concedidas (ABCR, 2012).....	45
Figura 17: Tráfego de veículos previsto versus tráfego realizado na rodovia Presidente Dutra entre 1997 e 2006 (World Bank, 2010).....	46
Figura 18: Observação empírica do Teorema do Limite Central (Bussab, 1988).....	54

Figura 19: Esquema de incorporação de variáveis aleatórias no modelo determinístico de análise de investimentos (adaptado de Copeland e Antikarov, 2001).....	57
Figura 20: Distribuição de probabilidade Normal.....	61
Figura 21: Ilustração de uma distribuição triangular assimétrica à esquerda (elaborado pelo autor).....	64
Figura 22: Processo de simulação. ....	71
Figura 23: Distribuições normais empíricas geradas para a demanda inicial.....	74
Figura 24: Distribuições normais empíricas geradas para a demanda inicial.....	75
Figura 25: Amostra com distribuição triangular à esquerda selecionada.....	77
Figura 26: Distribuição amostral das médias das amostras com distribuição triangular assimétrica à esquerda. ....	78
Figura 27: Distribuições de frequência simples e acumulada crescente para demanda inicial. ....	79
Figura 28: Distribuições geradas para a taxa de crescimento da demanda. ....	83
Figura 29: Distribuições de frequência simples e frequência acumulada crescente para a taxa de crescimento da demanda. ....	84
Figura 30: Projeção de tráfego real versus projeção ajustada pela função considerando a taxa média de crescimento da demanda. ....	86

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Medida do desvio-padrão. ....	13
Equação 2: Medida de variância.....	13
Equação 3: Medida de semivariância. ....	13
Equação 4: Coeficiente de variação.....	14
Equação 5: Medida de Curtose.....	14
Equação 6: Medida de mensuração de uma empresa ao risco país. ....	18
Equação 7: Medida de correlação entre dois ativos A e B. ....	19
Equação 8: Beta de um ativo. ....	21
Equação 9: Retorno esperado de um investimento em um ativo qualquer.....	21
Equação 10: Retorno esperado para uma carteira de mercado $m$ . ....	22
Equação 11: Risco para a carteira de mercado $m$ . ....	22
Equação 12: Função linear do retorno esperado.....	23
Equação 13: Conditional Capital Asset Pricing Model. ....	24
Equação 14: Medida para o Beta condicional. ....	24
Equação 15: Retorno real de um investimento para o modelo APM. ....	25
Equação 16: O retorno sobre o ativo para o modelo APM.....	26
Equação 17: Relação entre o retorno do modelo CAPM e do modelo APM.....	26
Equação 18: Medida de mensuração do risco para o modelo Multifatorial. ....	27
Equação 19: Modelo Substituto.....	27
Equação 20: Custo de capital próprio.....	31
Equação 21: Retorno esperado em capital próprio no modelo CAPM.....	32
Equação 22: Retorno esperado em capital próprio nos modelos APM e Multifatorial.....	32
Equação 23: Custo de capital de terceiros de longo prazo. ....	32
Equação 24: Custo financeiro de captação considerando a redução da alíquota do imposto de renda.....	33

Equação 25: Medida do WACC. ....	33
Equação 26: Valor Presente Líquido. ....	34
Equação 27: Taxa Interna de Retorno. ....	35
Equação 28: Situação de equilíbrio para um contrato hipotético livre de qualquer risco. ...	47
Equação 29: Equação de equilíbrio econômico-financeiro em contratos de concessão de rodovias. ....	48
Equação 30: Integral que representa a idéia central do método Monte Carlo. ....	53
Equação 31: Média amostral para uma sequência de variáveis aleatórias. ....	53
Equação 32: Lei forte dos grandes números. ....	53
Equação 33: Estimação da variância para integral definida. ....	53
Equação 34: Teorema do limite central. ....	54
Equação 35: Movimento Browniano Geométrico seguido por uma variável de incerteza. ....	56
Equação 36: Expressões para estimar o desvio-padrão em um processo MGB. ....	56
Equação 37: Expressão para o intervalo de confiança de 95% para a taxa $r$ . ....	57
Equação 38: Fluxo de Caixa do investimento em uma concessão. ....	58
Equação 39: Receita Total. ....	58
Equação 40: Representação da demanda inicial com distribuição Normal. ....	62
Equação 41: Cálculo dos desvios-padrões da distribuição Normal. ....	62
Equação 42: Cálculo dos limites inferiores e superiores da distribuição triangular. ....	65
Equação 43: Modelo para as taxas de crescimento da demanda. ....	65
Equação 44: Expressão para cálculo das taxas de crescimento. ....	66
Equação 45: Cálculo da taxa média de crescimento. ....	66
Equação 46: Cálculo dos desvios-padrões das taxas de crescimento. ....	67
Equação 47: Cálculo dos desvios-padrões das taxas de crescimento. ....	69
Equação 48: Definição da probabilidade de interseção entre dois eventos A e B. ....	69

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

A Constituição brasileira de 1988 apresentou uma postura intermediária entre o liberalismo econômico presente na Europa do final do século XVIII e o modelo intervencionista do início do século XX quanto à prestação de serviços públicos, ao possibilitar à iniciativa privada a atuação na prestação desses serviços por meio do instituto da delegação, cabendo ao Estado as funções de fiscalização, incentivo e planejamento (Guerra, 2010).

Com o fracasso do modelo liberal e do modelo intervencionista de Estado, surgiu na Europa, no início da década de 1980, o modelo de Estado Regulador. No Brasil, seu surgimento se deu a partir de meados da década de 1990, em meio a um cenário em que a ausência de recursos públicos das últimas décadas inviabilizava investimentos do Estado na manutenção e melhoria dos serviços públicos essenciais à sociedade. Nesse período, iniciou-se uma reforma do papel do Estado na economia por meio da Lei 8.031, de 12/04/1990, que instituiu o Plano Nacional de Desestatização (PND).

A partir do PND, com os processos de privatização e delegação de serviços públicos de infraestrutura, se deu uma gradativa mudança do papel do Estado, passando de provedor para regulador desses serviços. Nesse contexto, o Estado foi se retirando de setores com poder de monopólio, dentre os quais os de telecomunicações, portos, ferrovias e rodovias (Natal, 2010).

As concessões públicas de rodovias surgiram, então, como uma alternativa viável para permitir uma imediata recuperação da malha rodoviária brasileira. O Programa de Concessões de Rodovias Federais (PROCOFE) teve início em 1993, em meio a uma crescente deterioração das rodovias, com a publicação dos editais de licitação de cinco trechos. As concessões ganharam impulso em 1995, com a celebração dos primeiros contratos de concessão, a partir do advento do marco legal instituído pela Lei 8.987/95, que disciplinou normas gerais de concessão e permissão de serviços públicos (Garcia, 2004).

O PROCOFE abrange aproximadamente 11,2 mil quilômetros, desdobrando-se em concessões promovidas pelo Ministério dos Transportes, pelos Governos Estaduais, mediante delegação instituída pela Lei 9.277/96 e pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).

Do universo de concessões rodoviárias federais e estaduais, cabe à ANTT, atualmente, a administração direta de 4.763,9 quilômetros já concedidos à iniciativa privada. No total, são 14 trechos, dos quais cinco foram contratados pelo Ministério dos Transportes, entre 1994 e 1997, um contratado pelo Governo do Rio Grande do Sul em 1988, com posterior sub-rogação à União em 2000, sete concessões referentes à segunda etapa da fase I e uma referente à fase II da segunda etapa do PROCOFE (ANTT, 2011).

A Lei 10.233 criou a ANTT no ano de 2001, sendo regulamentada no ano seguinte pelo Decreto 4.130, de 13/02/2002. A esfera de atuação desta Agência Reguladora definida na sua legislação de criação constitui-se, dentre outras, da exploração da infraestrutura rodoviária federal. No que se refere à concessão de rodovias federais, o papel desta Agência é o de equilibrar os interesses do Poder Concedente (Estado), dos Concessionários, para os quais o Estado delega a prestação dos serviços e dos usuários.

Pela ótica do Tribunal de Contas da União (TCU), órgão responsável pelo controle externo no âmbito federal, os entes reguladores surgiram para garantir um ambiente estável e economicamente atrativo para os Concessionários, preservando o interesse público e garantindo os direitos e interesses dos usuários (TCU, 2010).

Portanto, compete à ANTT a regulação das rodovias federais delegadas à iniciativa privada, sendo esta Agência Reguladora responsável pela publicação dos editais de concessão, julgamento das licitações, celebração e fiscalização do cumprimento dos contratos, realizar os cálculos para os reajustes das tarifas básicas de pedágio com o objetivo de preservar o equilíbrio econômico-financeiro desses contratos, bem como assegurar aos usuários a adequada prestação dos serviços.

## **1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA**

A elaboração dos editais de concessão de rodovias é baseada no modelo de Valor Presente Líquido (VPL) para a análise da viabilidade de um lote rodoviário, no qual a estimativa de projeção da demanda é uma variável de grande peso, pois impacta diretamente na receita do empreendimento. Em virtude disso, explica Stingler (1971) que a projeção de demanda de tráfego é fortemente considerada como risco do negócio.

Nesse sentido, explicam Senna e Michel (2007) que existe uma dificuldade de previsão de demanda de tráfego que pode ensejar reclamações, por parte dos operadores privados, pouco depois de assumirem as concessões. Esta dificuldade de projeção pode estar relacionada a fatores como alternativas modais, existência de rotas de fuga de pedágio (que podem ser por vias urbanas, vias marginais de terra, ou mesmo por uma rodovia pavimentada não-pedagiada), eventos de natureza, bem como eventuais mudanças no cenário econômico ao longo do período de concessão.

Verifica-se ainda que não raramente eventos da natureza podem interditar rodovias, tal como o ocorrido em trecho da BR-376/PR em 2010, sob responsabilidade da Concessionária Autopista Litoral Sul. Na ocasião, deslizamentos de taludes resultaram em interdição do tráfego.

Nesse contexto, esta dissertação tem por objetivo desenvolver metodologia para avaliação dos riscos de demanda de tráfego para investimentos em concessões rodoviárias utilizando o método Monte Carlo de simulação, através da construção de cenários, variando do mais otimista ao mais pessimista, oferecendo uma ferramenta de análise mais precisa, que permita a quantificação do risco deste negócio.

## **1.3 JUSTIFICATIVA**

O procedimento de outorga de concessões rodoviárias federais no Brasil é regido pela Lei nº 8.666, de 21/06/1993, que regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, instituindo normas para licitações e contratos da Administração Pública, pela Lei nº 8.987, de 13/05/97, que dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços

públicos previstos no art. 175 da Constituição Federal e pela Lei nº 9.277, de 10/05/1996, que autoriza a União a delegar aos municípios, estados da Federação e ao Distrito Federal a administração e exploração de rodovias e portos federais.

O art. 175 da Constituição Federal estabelece que a prestação de serviços públicos mediante concessão será sempre precedida de licitação e a delegação destes serviços à iniciativa privada se fará por meio da celebração de um contrato de concessão. Já a Lei 8.987/95, conhecida como lei das concessões, em seu art. 9º, estabelece que a tarifa do serviço público concedido seja fixada pelo preço da proposta vencedora da licitação e seja preservada pelas regras de revisão previstas nesta lei, no edital e no contrato de concessão. No art. 10º da mesma Lei, estabelece ainda que, sempre que forem atendidas as condições do contrato, considera-se mantido seu equilíbrio econômico-financeiro.

No modelo de viabilidade deste investimento, os fluxos de entradas de caixa são projetados em função da diferença entre a receita total e o custo total do projeto. A receita total pode ser obtida pelo produto entre a demanda projetada e o valor projetado da tarifa. Por sua vez, de acordo com o art. 15, da lei das concessões, no julgamento da licitação é considerado a oferta de menor valor da tarifa para definição da proposta vencedora. A acurácia dos valores projetados de demanda é, portanto, uma das medidas necessárias para o equilíbrio econômico-financeiro do contrato durante o período de concessão.

Os métodos tradicionais de avaliação de projetos de investimentos, incluindo aqui os de avaliação da viabilidade de investimentos em concessões rodoviárias, baseiam-se, em geral, na análise de dados ou indicadores determinísticos, em poucos cenários. No entanto, sabe-se que a realidade pode não ser bem captada pelos indicadores determinísticos, comportando-se de forma não prevista. Uma alternativa pode ser a utilização do Método Monte Carlo no cálculo da variabilidade do valor presente líquido do projeto (Brunni *et al.*, 2008).

## **1.4 HIPÓTESE**

A incorporação de componentes estocásticas no modelo determinístico de avaliação da viabilidade de investimentos em concessões rodoviárias permitirá que os riscos associados

a este negócio sejam quantificados por meio da geração de distribuições empíricas de probabilidade, oferecendo uma ferramenta mais precisa de análise dos riscos deste negócio tanto ao Poder Concedente quanto às empresas participantes dos processos licitatórios.

## **1.5 OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho é definir uma metodologia para quantificação do risco do negócio em concessões rodoviárias, a partir da geração de distribuições empíricas de probabilidade, utilizando o método Monte Carlo para simulação das variáveis sujeitas a incertezas do modelo de projeção do volume de tráfego contidas no modelo de análise da viabilidade desses investimentos.

Os objetivos específicos são:

- I. Analisar os principais aspectos da modelagem econômico-financeira utilizada no Brasil nas concessões de rodovias federais.
- II. Gerar distribuições empíricas de probabilidade para as variáveis aleatórias que compõem o modelo de projeção de demanda de tráfego a partir da definição de Cenários hipotéticos.
- III. Analisar os Fluxos de Caixa de uma amostra de propostas vencedoras de processos de licitação de rodovias com o objetivo de definir um modelo de distribuição de probabilidade para as variáveis aleatórias estudadas.
- IV. Incorporar os resultados das distribuições empíricas de probabilidade geradas pelo método de simulação Monte Carlo ao modelo determinístico de avaliação do valor do negócio, obtendo-se, assim, os intervalos de variação do valor do negócio e da taxa interna de retorno do investimento para uma probabilidade de confiança pré-estabelecida.

## **1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

O desenvolvimento deste trabalho se deu em três fases, conforme descritas a seguir:

A primeira fase consistiu de uma revisão bibliográfica sobre riscos de mercado, seguido pela revisão dos principais métodos e técnicas de avaliação da viabilidade de investimentos. Logo após, ainda nesta primeira fase, fez-se uma revisão sobre o método de simulação Monte Carlo e a teoria do processo estocástico de Movimento Browniano Geométrico, além de um levantamento do panorama atual das concessões rodoviárias federais no Brasil.

Na segunda fase deste trabalho, passou-se à modelagem das variáveis aleatórias sujeitas a incertezas contidas no modelo de viabilidade de investimentos em concessões rodoviárias para, em seguida, realizar as simulações utilizando como ferramenta o software SAS 9.1. Ainda nesta segunda fase, a metodologia proposta foi aplicada ao caso concreto de uma Concessionária rodoviária federal, Autopista Fluminense.

Na última fase deste trabalho os resultados alcançados foram tabulados e analisados. A Figura 1 apresenta a seqüência das fases de desenvolvimento desta dissertação.

<b>FASE I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>RISCOS EM INVESTIMENTOS:</b> Definições Modelos de mensuração Riscos associados a investimentos em concessões rodoviárias
	<b>MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS</b>
	<b>CONCESSÕES RODOVIÁRIAS FEDERAIS:</b> Panorama atual Alocação dos riscos Equilíbrio econômico-financeiro
	<b>MÉTODO MONTE CARLO DE SIMULAÇÃO</b>
<b>FASE II – SIMULAÇÃO</b>	<b>ANÁLISE EXPLORATÓRIA DAS TAXAS DE CRESCIMENTO E DEMANDA INICIAL PARA UMA AMOSTRA DE CONCESSÕES RODOVIÁRIAS FEDERAIS</b>
	<b>DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS HIPOTÉTICOS</b>
	<b>MODELAGEM DAS VARIÁVEIS DE INCERTEZA E GERAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS DE PROBABILIDADE PELO MÉTODO MONTE CARLO DE SIMULAÇÃO</b>
	<b>ANÁLISE DOS FLUXOS DE CAIXA E VALOR DO NEGÓCIO PARA UMA AMOSTRA DE CONCESSÕES RODOVIÁRIAS</b>
	<b>INCORPORAÇÃO DAS DISTRIBUIÇÕES EMPÍRICAS GERADAS AO MODELO DETERMINÍSTICO DE AVALIAÇÃO DO NEGÓCIO PARA O CASO ESPECÍFICO DA AUTOPISTA FLUMINENSE</b>
<b>FASE III – RESULTADOS</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>

**Figura 1:** Fases de elaboração desta dissertação.

Esta dissertação está estruturada em sete capítulos, incluindo esta introdução, os quais são descritos a seguir:

**Capítulo 1:** Neste Capítulo é apresentada a introdução do trabalho, contextualização do problema, justificativa, hipótese, objetivos, além desta estrutura de dissertação.

**Capítulo 2:** São apresentadas as definições de riscos de investimentos e uma discussão sobre os principais modelos para mensuração dos riscos na avaliação de investimentos em quaisquer ativos. Finaliza-se o Capítulo com uma discussão dos principais riscos associados especificamente a investimentos em concessões rodoviárias. Além do modelo de mensuração de risco adotado atualmente na modelagem de concessões rodoviárias federais no Brasil, apresenta-se uma discussão sobre modelos alternativos de forma a mostrar o estado da arte deste tipo de modelagem.

**Capítulo 3:** Passa-se nesse Capítulo a discutir os principais métodos utilizados para a determinação do valor do negócio de investimentos em concessões rodoviárias, tais como o valor presente líquido, taxa interna de retorno e o custo de capital.

**Capítulo 4:** Inicia-se no Capítulo uma discussão dos principais aspectos relacionados especificamente às concessões rodoviárias federais, tais como a alocação dos riscos entre o Poder Concedente e o Concessionário nos atuais contratos de concessão de rodovias federais, bem como os conceitos necessários à compreensão da teoria do equilíbrio econômico-financeiro presente nestes contratos.

**Capítulo 5:** Esse Capítulo discorre sobre a teoria aplicada ao processo de simulação Monte Carlo e a teoria do processo estocástico Movimento Browniano Geométrico, apresentando suas definições matemáticas.

**Capítulo 6:** São analisados e discutidos os principais resultados obtidos nas simulações com base no método proposto considerando o caso concreto de uma Concessionária federal, Autopista Fluminense.

**Capítulo 7:** No último capítulo são apresentadas as considerações finais, sintetizando os principais resultados alcançados.

## 2 RISCOS EM INVESTIMENTOS

Dois aspectos são de grande relevância na avaliação de investimentos em qualquer projeto: o retorno e o risco associado ao investimento, uma vez que as incertezas inerentes aos processos econômicos podem gerar distorções quanto às expectativas *ex-ante* e os resultados *ex-post*. Assim, a análise do risco associado a qualquer projeto de investimento torna-se uma questão central para a análise da sua viabilidade.

Este capítulo se propõe a demonstrar os principais riscos associados a quaisquer projetos de investimentos, apresentar suas definições, medidas de mensuração e, ao final, discutir os principais riscos associados especificamente a investimentos em concessões rodoviárias.

### 2.1 DEFINIÇÕES

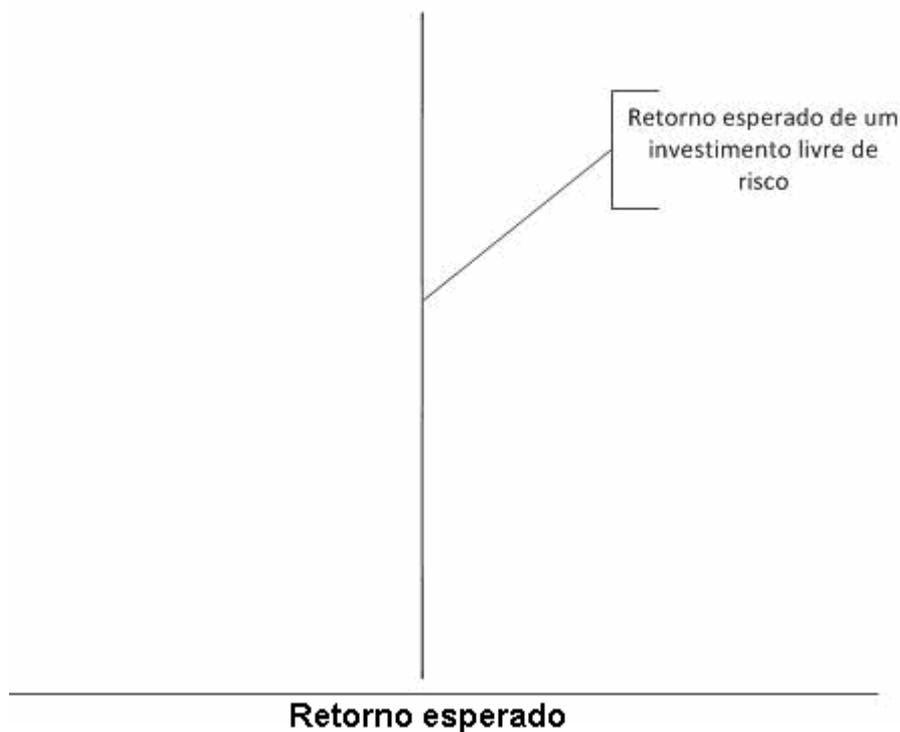
Segundo Brunni *et al.* (2008), comumente nas abordagens de avaliação de investimentos espera-se que os valores projetados de retorno realmente ocorram, ou seja, a avaliação da viabilidade do investimento é feita com base em critérios determinísticos. No entanto, na prática, riscos e incertezas sempre existem nos processos de construção de estimativas futuras de retorno.

Aqui cabe ressaltar que os conceitos de risco e incerteza são comumente tratados como sinônimos. No entanto, explicam Brunni *et al.* que há uma distinção entre esses dois conceitos considerando o conhecimento ou não da distribuição de probabilidade da variável aleatória em questão. Os diferentes conceitos para ambos os termos são apresentados abaixo.

- **Risco:** Há uma distribuição de probabilidade associada à variável analisada, o que torna possível o cálculo dos parâmetros desta distribuição, tais como a média e a variância, na situação em que a variável aleatória analisada seguir uma distribuição de probabilidade Normal.
- **Incerteza:** Neste caso não se pode determinar uma distribuição de probabilidade para a variável aleatória analisada.

Feita a distinção entre os conceitos de risco e incerteza, segue-se com a análise do risco. Conforme explica Damodaran (2010), em finanças, o risco se refere à probabilidade de se obter um retorno sobre um investimento que seja diferente daquele retorno esperado, podendo o risco ser negativo (retorno abaixo do esperado) ou ser positivo (retorno acima do esperado).

Considerando como variável de estudo o retorno de um investimento qualquer com distribuição de probabilidade conhecida, podem-se observar duas situações distintas mostradas nas Figuras 2 e 3.

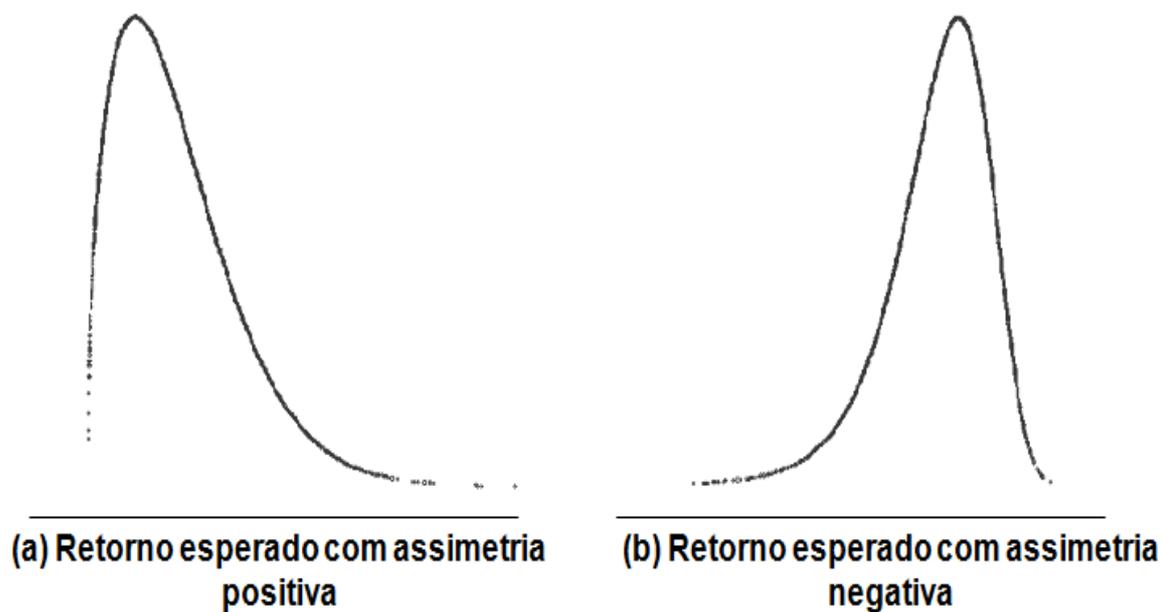


**Figura 2:** Distribuição de probabilidade do retorno de um investimento livre de risco (adaptado de Damodaran, 2010).

Na primeira situação, mostrada na Figura 2, tem-se uma distribuição do retorno de um investimento livre de qualquer risco onde o retorno médio esperado é igual ao retorno real do investimento. Para essa situação, os valores projetados do retorno esperado irão acontecer de fato, com probabilidade igual a 1, uma vez que não há risco.

Como exemplo de um investimento livre de risco pode-se imaginar a compra, por um investidor, de um título do Tesouro com prazo definido, retorno pré-fixado e livre da possibilidade de inadimplência. Para esta situação hipotética, o retorno esperado será efetivamente igual ao retorno real ao final do prazo.

Já na situação ilustrada na Figura 3 têm-se duas prováveis distribuições assimétricas de probabilidade para os retornos esperados de investimentos sujeitos a riscos.



**Figura 3:** Distribuições assimétricas de probabilidade dos retornos de dois investimentos sujeitos a riscos (elaborado pelo autor).

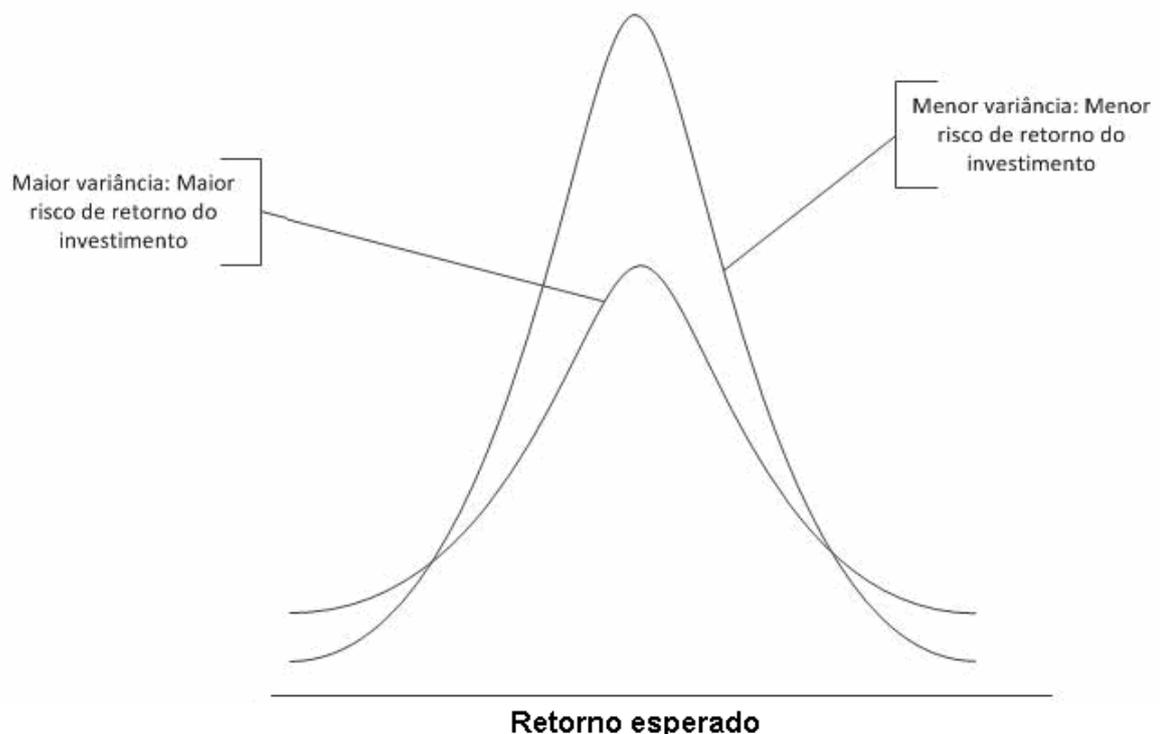
Observa-se na Figura 3(a) uma distribuição de probabilidade assimétrica à direita ou positiva e na Figura 3(b) uma distribuição assimétrica à esquerda ou negativa. Estas assimetrias refletem tendências de retornos positivos e negativos, respectivamente. A probabilidade de retornos positivos será maior do que a probabilidade de retornos negativos quando houver assimetria positiva e a probabilidade de retornos positivos será menor do que a probabilidade de retornos negativos quando se tratar de uma distribuição de retornos com assimetria negativa.

Além da assimetria, outra medida estatística importante na avaliação da distribuição de probabilidade dos retornos é a curtose. Esta medida representa o quão “achatada” é a distribuição. Distribuições com caldas mais longas geram valores de curtose mais altos, o

que traduz, em termos de avaliação de investimentos, uma tendência de grande variação para cima ou para baixo.

Nos casos em que a distribuição dos retornos for representada pela distribuição Normal de probabilidade, apenas os dois parâmetros que caracterizam esta distribuição serão necessários: o retorno esperado (média do retorno) e sua variância.

A Figura 4 apresenta a comparação entre dois investimentos com probabilidade de retornos seguindo uma distribuição Normal e variâncias distintas. Explica Damodaran que comumente a distribuição de probabilidade dos retornos não é simétrica e, portanto, nem tampouco Normal. Admite-se que o investidor escolha o investimento com base apenas no retorno esperado e na variância, de acordo com a função de utilidade. Na prática as variâncias e os retornos esperados são avaliados por meio de retornos passados e não futuros, supondo que as distribuições de retornos passados são boas aproximações para distribuições de retornos futuros.



**Figura 4:** Comparação entre distribuições de probabilidade de retornos com mesma distribuição (Normal) e diferentes variâncias (adaptado de Damodaran, 2010).

Definidos os conceitos relacionados ao risco em investimentos, importa saber quais são as medidas comumente utilizadas para mensurá-los. Segundo Gitman (2004), as principais medidas de mensuração dos riscos são:

**Desvio-padrão:** A medida mais comum para cálculo do risco de um ativo é o desvio-padrão calculado pela diferença dos retornos em relação ao retorno médio, conforme mostrado na Equação 1.

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (R_i - \bar{R})^2 P_i}$$

**Equação 1:** Medida do desvio-padrão.

Em que  $\bar{R} = \sum_{i=1}^n R_i \times P_i$  : é a média dos retornos.

$R_i$  : retorno do ativo  $i$ .

$P_i$  : probabilidade de ocorrência do  $i^{\text{ésimo}}$  retorno.

**Variância:** É obtida elevando-se o desvio-padrão ao quadrado, conforme Equação 2 mostrada abaixo.

$$\sigma_i^2 = \sum_{j=1}^n (R_i - \bar{R})^2 \text{Pr}_i$$

**Equação 2:** Medida de variância.

**Semivariância:** O uso da semivariância como medida de risco se fundamenta na premissa de que as distribuições de probabilidade de uma carteira de mercado podem ser simétricas ou assimétricas. Para distribuições assimétricas, esta medida é mais adequada que a variância (Neto e Volkmer, 2001).

O valor da semivariância pode ser estimado pela seguinte expressão:

$$SV = \frac{1}{k} \sum_{t=1}^k \text{Max}[0, (E - R_t)]^2$$

**Equação 3:** Medida de semivariância.

Em que  $k$  : é o número de observações.

$E$  : é a média dos retornos históricos.

$R_t$  : é o retorno esperado no período  $t$ .

**Coefficiente de variação:** É uma medida útil para se comparar ativos com diferentes valores esperados. Empiricamente, coeficientes de variação superiores a 30% são considerados altos e refletem uma distribuição muito dispersa ou heterogenia (Gomes, 2000).

$$CV = \frac{\sigma_i}{R}$$

**Equação 4:** Coeficiente de variação.

**Curtose:** É a medida que representa o grau de achatamento de uma distribuição de freqüência. Seu valor é obtido em relação ao achatamento de uma curva com distribuição Normal de freqüência pela seguinte expressão.

$$K = \frac{Q}{P_{90} - P_{10}}$$

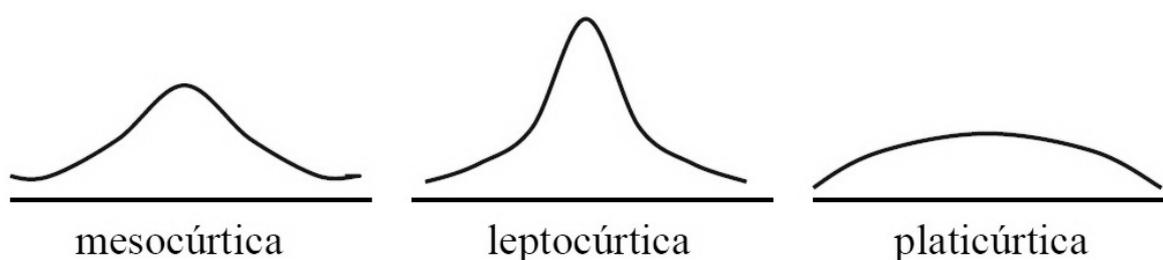
**Equação 5:** Medida de Curtose.

Em que  $Q = \frac{1}{2}(Q_3 - Q_1)$ : amplitude semi-interquartílica da distribuição.

$P_{90}$  : nonagésimo percentil.

$P_{10}$  : décimo percentil.

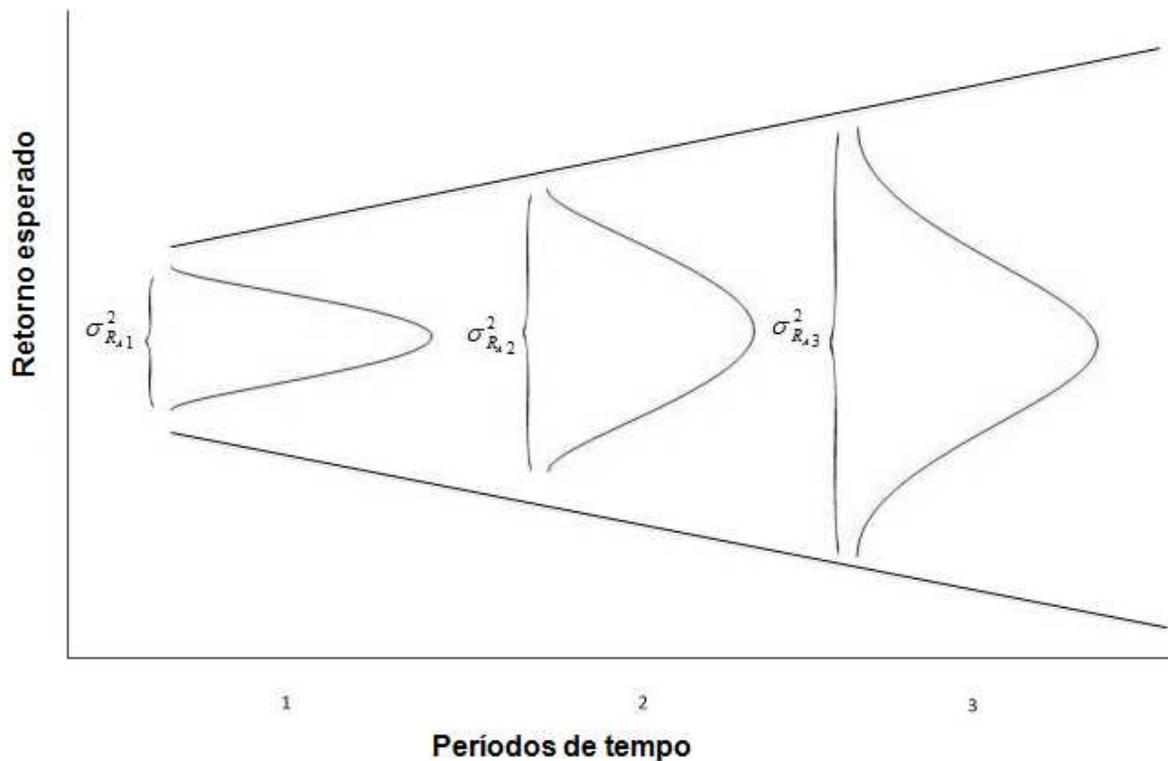
Quanto à curtose, uma distribuição de probabilidade pode ser mesocúrtica ( $k=0,263$ ), leptocúrtica ( $k<0,263$ ) ou platicúrtica ( $k>0,263$ ), conforme ilustrado na Figura 5.



**Figura 5:** Distribuições de probabilidade dos retornos segundo a curtose.

Portanto, o risco de um investimento pode ser medido pela sua variância, também denominada volatilidade do investimento. A volatilidade dos retornos ao longo do tempo reflete o seu risco em função do tempo. Como exemplo, considera-se um investimento em um ativo A, que apresenta uma distribuição de retornos esperados dada pela distribuição Normal, para os períodos de tempo 1, 2 e 3, com variâncias definidas, respectivamente, por  $\sigma_{R_{A1}}^2 < \sigma_{R_{A2}}^2 < \sigma_{R_{A3}}^2$ .

Nesse caso, é possível observar, pela Figura 6, que as flutuações dos retornos esperados crescentes indicam que há um aumento do risco do investimento ao longo do período, de tal forma que a probabilidade de que o retorno real seja diferente do retorno esperado aumenta com o tempo (Gitman, 2004).



**Figura 6:** Distribuição do retorno esperado em um investimento hipotético A, com variâncias crescentes ao longo dos períodos de tempo 1,2 e 3 (adaptado de Gitman, 2004).

## 2.2 TIPOS DE RISCOS

Em Damodaran são definidas duas categorias de riscos pelas quais o retorno esperado pode divergir do retorno real. A primeira categoria está relacionada a razões específicas de cada empresa, enquanto que a segunda está relacionada a razões comuns ao mercado. Explica o autor que os riscos específicos afetam um único investimento, enquanto os riscos comuns ao mercado afetam muitos ou todos os investimentos do mercado.

São apresentados a seguir os tipos de riscos mais comuns classificados por categorias de riscos específicos, comuns ao mercado e quanto à diversificação ou não do investimento, de acordo com as definições apresentadas em Damodaran.

### 2.2.1 Riscos Específicos

**Risco de avaliação de demanda:** Este tipo de risco está relacionado ao risco de uma avaliação equivocada sobre a demanda durante a fase de elaboração do projeto de investimento. Tal falta de acurácia de projeção de demanda irá impactar especificamente nos lucros da empresa que está investindo, sem impactar em outras empresas do setor.

**Risco competitivo:** Trata-se do risco relacionado à participação das empresas competidoras do mercado.

**Risco de setor:** Este risco ocorre quando alguma medida influencia todo o setor que a empresa está inserida. Um exemplo citado em Damodaran diz respeito ao corte de orçamento do governo para determinado setor da economia. Espera-se que tal corte prejudique todas as empresas do setor, mas não necessariamente prejudique empresas de outros setores.

**Risco de inadimplência:** O risco de inadimplência é função da capacidade da empresa de gerar fluxos de caixa decorrentes de suas operações e de suas obrigações financeiras. O risco de inadimplência de uma empresa é afetado pelo valor e pela volatilidade de seu fluxo de caixa, de maneira que quanto maior a estabilidade dos fluxos de caixa, menor será este risco.

## 2.2.2 Riscos Comuns ao Mercado

São riscos difusos, que em geral afetam todos os investimentos de todos os setores. Como tipos mais comuns desses riscos de mercado estão o aumento da taxa de juros, a desaceleração da economia de um país e as variações do dólar. Este último, explica Damodaran, pode ser considerado tanto como um risco comum ao mercado, quando se tratar de um mercado onde a maior parte das empresas opera no mercado internacional, quanto ser considerado um risco específico, quando se tratar de um mercado onde poucas empresas atuam no mercado internacional.

A Figura 7 ilustra esquematicamente a relação entre os riscos específicos e os riscos comuns ao mercado.



**Figura 7:** Relação entre os riscos específicos e os riscos comuns ao mercado (adaptado de Damodaran, 2010).

No contexto dos riscos comuns ao mercado, o risco país impacta fortemente nas decisões de investimentos. Segundo Lemes Júnior *et al.* (2009), as decisões de política econômica, as leis de um país e as condições de estabilidade econômica causam variabilidade nos retornos esperados, na medida em que tais variáveis podem mudar as condições de financiamento do investimento e do capital circulante da atividade, alterar a carga fiscal do investimento e impactar na renda da população. O autor cita como exemplo de possível alteração no nível de risco país a gestão política de tarifas públicas dos serviços públicos concedidos à iniciativa privada.

Sobre o risco país, Damodaran diz que a medida denominada *lambda* ( $\lambda$ ) pode ser usada para mensurar a exposição de uma empresa a esse tipo de risco e uma das formas de

estimar o  $\lambda$  é utilizando a proporção das receitas da empresa que são geradas em um país e compará-las à proporção das receitas geradas pela média das empresas neste país. O valor de  $\lambda$  pode ser obtido pela Equação 6.

$$\lambda = \frac{PR_i}{\overline{PR_i}}$$

**Equação 6:** Medida de mensuração de uma empresa ao risco país.

Em que  $PR_i$  : proporção das receitas no país  $i$ .

$\overline{PR_i}$  : proporção das receitas no país (empresa média).

Como exemplo para o cálculo do  $\lambda$ , Damodaran apresenta uma situação hipotética de uma empresa que gera 40% de suas receitas em um determinado país, enquanto que a média deste país gera 80% de suas receitas domesticamente. Portanto, o risco país que esta empresa estaria exposta seria de 0,5.

Outra forma de estimar a exposição de uma empresa ao risco país, abordada por Damodaran, é feita por meio de uma regressão sobre o retorno de ações para cada empresa no mercado emergente, comparando com os retornos sobre títulos nacionais, tal como o C-Bond, para o caso do Brasil.

Explica Martelanc (2005) que o C - Bond é um título de 20 anos que nasceu em 1994 quando o governo brasileiro assinou um acordo de renegociação da dívida externa devida, principalmente, para bancos Norte-Americanos e que por ser um título sem nenhuma garantia, é considerado como risco Brasil puro.

### 2.2.3 Riscos Diversificáveis

Outras duas categorias de riscos definidas em Damodaran dizem respeito à classificação quanto a concentração ou não da carteira de investimentos de uma empresa em um só ativo. A diversificação do investimento reduz o risco específico de uma empresa, pois tais riscos específicos irão impactar em um percentual pequeno do investimento total da empresa. No entanto para a categoria de riscos comuns ao mercado a diversificação não diminui o risco, devido à mesma direção que os movimentos de mercado costumam tomar em geral, afetando a maior parte dos investimentos.

Esta situação é demonstrada para o caso hipotético de uma carteira com dois ativos  $A$  e  $B$ . A correlação entre esses dois ativos representa a economia obtida a partir da diversificação do investimento, tal como apresentado na expressão a seguir:

$$\sigma_{AB} = \rho_{AB} \sigma_A \sigma_B$$

**Equação 7:** Medida de correlação entre dois ativos  $A$  e  $B$ .

Em que  $\sigma_A$  : desvio padrão do retorno do investimento no ativo  $A$ .

$\sigma_B$  : desvio padrão do retorno do investimento no ativo  $B$ .

$\rho_{AB}$  : correlação do retorno entre os dois ativos.

## 2.3 MODELOS DE MENSURAÇÃO DOS RISCOS DE MERCADO

Para Gitman, a mensuração do risco de um investimento é importante, pois possibilita aos investidores escolherem, para suas carteiras, ativos que ofereçam características desejadas de risco e retorno.

Uma das metodologias mais utilizadas na análise financeira para a estimação do custo de capital próprio é o modelo CAPM. Nesse contexto, ressalta-se que a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) recomenda o uso do CAPM adaptado ao mercado brasileiro para a modelagem das concessões do setor elétrico por ser essa a metodologia mais utilizada por agências reguladoras internacionais (ANEEL, 2006). No entanto, como será melhor discutido a seguir, existem outros modelos que procuram solucionar algumas restrições presentes neste modelo.

### 2.3.1 Modelo de Precificação de Ativos Financeiros (CAPM)

O artigo publicado no Journal of Finance, em 1952, por Henry Markowitz, propôs a análise do risco de um investimento com base no seu retorno esperado e na sua variância. Naquela ocasião observou-se que havia um problema na aplicação deste modelo relativa à dificuldade de se calcular as covariâncias entre os ativos individuais (Kopittke e Freitas, 2007).

Anos mais tarde, em 1964, Willian Sharpe publicou o artigo intitulado “Capital Assets Prices: a Theory in Market Equilibrium Under Condition of Risk”, no qual desenvolveu uma solução para o problema, que consistia em estimar a variação de cada ativo em relação ao mercado como um todo. O trabalho inicial de Markowitz foi reconhecido em 1990, quando recebeu o prêmio Nobel de Economia (Kopittke e Freitas, 2007).

Desde então o modelo CAPM, sigla em inglês para Capital Asset Pricing Model, tem sido o modelo de mensuração de riscos mais utilizado para avaliação de investimentos. Um estudo recente realizado em 27 corporações Norte-Americanas mostrou que 81% delas utilizam o CAPM em suas análises de investimento, refletindo o estado da prática deste tipo de modelagem (Damodaran, 2010).

Ainda assim, conforme explica Gitman, o CAPM baseia-se em suposições de um cenário de mercado quase perfeito e dentre as suposições estão a de que os mercados são eficientes e que existem preferências dos investidores por determinados investimentos.

A primeira suposição citada acima diz que o mercado em que os ativos transacionam é altamente eficiente, de forma que todos os investidores têm as mesmas informações sobre os ativos, não há restrições e nenhum investidor é suficientemente grande para afetar significativamente o preço de mercado. A segunda diz que os investidores preferem ganhos de retornos maiores e são avessos ao risco, preferindo sempre riscos mais baixos.

Já em Damodaran os pressupostos para utilização do modelo CAPM são de que não haja gastos com transações, que todos os ativos sejam negociados, que os investimentos sejam infinitamente indivisíveis e que todos os investidores tenham acesso às mesmas informações.

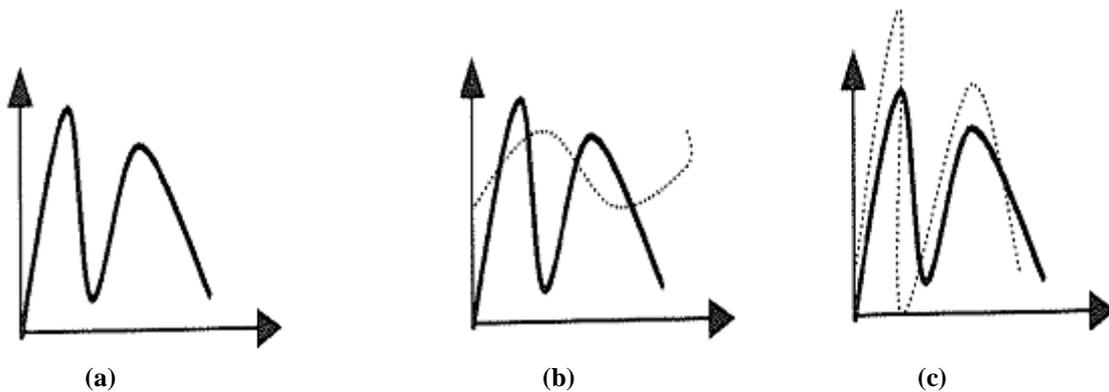
A partir desses pressupostos, para se chegar à expressão matemática que representa o CAPM, inicialmente, Damodaram considera o risco que um determinado ativo pode representar para o investidor quando este ativo é adicionado a uma carteira de mercado hipotética ( $m$ ), que inclui todos os ativos negociados no mercado, definindo-se  $\sigma_m^2$  como a variância da carteira de mercado antes da inclusão do novo ativo  $i$  e  $\sigma_{im}$  como a covariância nos retornos entre o ativo individual  $i$  e a carteira de mercado  $m$ .

Posto isto, dado que a partir da análise somente da covariância seria difícil estabelecer comparações entre os riscos, a padronização da covariância de cada ativo por sua divisão pela variância da carteira de mercado resulta na medida de risco conhecida com Beta ( $\beta$ ) do ativo, a qual é definida pela Equação 8.

$$\beta_i = \frac{\sigma_{im}}{\sigma_m^2}$$

**Equação 8:** Beta de um ativo.

A Equação 8 pode ser interpretada em relação à média da carteira de mercado, uma vez que na avaliação de investimentos em um determinado projeto, ativos mais arriscados do que a média apresentarão valores de Beta maiores que 1 e indicarão que o investimento terá seus retornos oscilando mais do que os do mercado (Figura 8c), para investimentos em ativos mais seguros que a média os Betas serão menores que 1 e os retornos do investimento irão variar menos do que os do mercado (Figura 8b). Para o caso em que o Beta for igual a 1 os retornos irão variar junto com o do mercado tal como apresentado na Figura 8a (Lemes Junior, 2009).



**Figura 8:** Comparação entre os diferentes valores de Beta e as oscilações do mercado (Lemes Junior, 2009).

O retorno esperado sobre um investimento em um ativo qualquer é, então, definido como uma função linear da taxa livre de risco e do Beta deste ativo, conforme demonstra a Equação 9.

$$E(R_i) = R_f + \beta_i [E(R_m) - R_f]$$

**Equação 9:** Retorno esperado de um investimento em um ativo qualquer.

Em que  $E(R_i)$ : retorno esperado sobre o ativo  $i$ .

$R_f$ : taxa livre de risco.

$E(R_m)$ : retorno esperado sobre a carteira de mercado.

$\beta_i$ : Beta do ativo  $i$ .

A linearidade da função retorno esperado é demonstrada por Sanvicente e Mellagi (1996) ao considerar uma carteira hipotética composta por dois ativos  $A$  e  $B$ . Supondo um ativo  $A$  livre de risco e um ativo  $B$  sujeito a risco, o retorno esperado para uma carteira ( $m$ ) com proporção ( $p_1$ ) para o ativo  $A$  e proporção ( $p_2$ ) para o ativo  $B$  pode ser calculado pela Equação 10.

$$E(R_m) = p_1 R_A + p_2 E(R_B)$$

**Equação 10:** Retorno esperado para uma carteira de mercado  $m$ .

Em que  $E(R_m)$ : retorno esperado para a carteira  $m$ .

$p_1, p_2$ : proporções dos ativos  $A$  e  $B$ , respectivamente, na carteira  $m$ .

$R_A, R_B$ : retornos dos ativos  $A$  e  $B$ , respectivamente, na carteira  $m$ .

E o risco para esta mesma carteira ( $m$ ) é dado pela Equação 11.

$$\sigma_{R_m}^2 = p_1^2 \sigma_{R_A}^2 + p_2^2 \sigma_{R_B}^2 + 2p_1 p_2 \sigma_{AB}$$

**Equação 11:** Risco para a carteira de mercado  $m$ .

Em que  $\sigma_{R_m}^2$ : variância para a carteira  $m$  (risco).

$\sigma_{R_A}^2$ : variância para o retorno do ativo  $A$ .

$\sigma_{R_B}^2$ : variância para o retorno do ativo  $B$ .

$\sigma_{AB}$ : covariância entre os retornos do ativo  $A$  e  $B$ .

Pela definição de variância e esperança matemática, sabe-se que o retorno esperado para um investimento livre de risco é igual ao retorno real, uma vez que o valor esperado para uma constante é igual à própria constante e a variância de uma constante é zero. Assim,

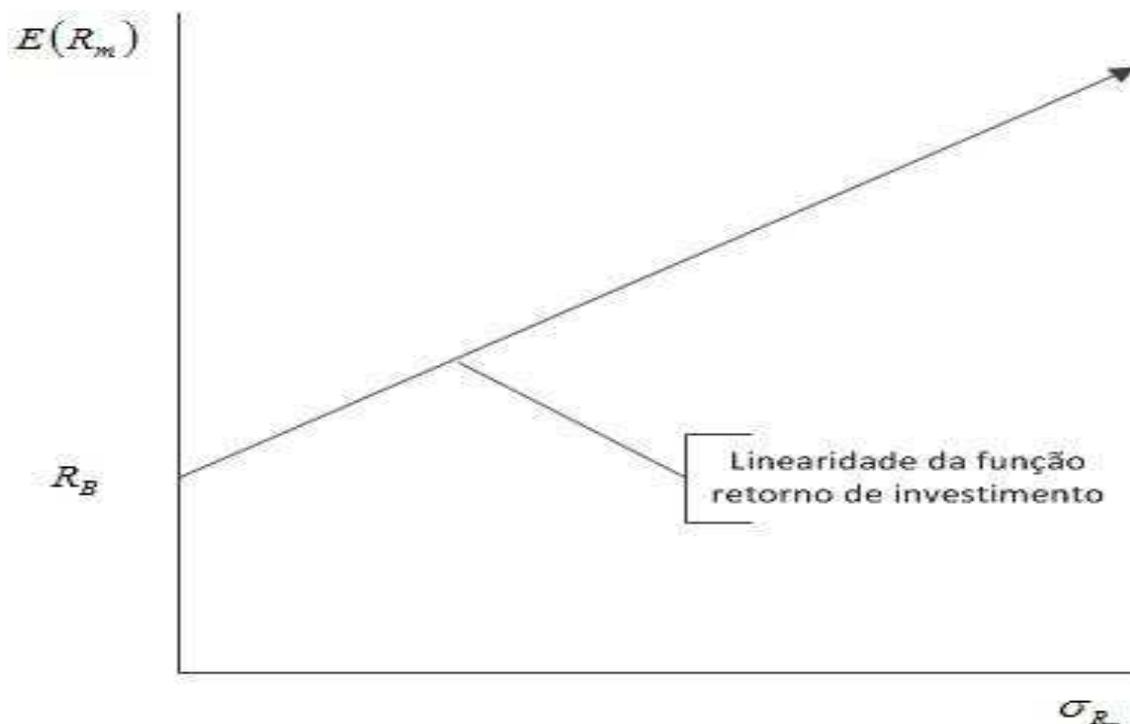
segue que  $E(R_A) = R_A$  e  $\sigma_{R_A}^2 = 0$  e, portanto, a covariância entre os retornos também é igual a zero ( $\sigma_{AB} = 0$ ).

A variância (ou risco) para a carteira de mercado hipotética  $m$  será dada por  $\sigma_{R_m}^2 = p_2^2 \sigma_{R_B}^2$ . Como  $p_1 + p_2 = 1$  e os desvios-padrões para os retornos do ativo  $A$  e  $B$  são, respectivamente,  $\sigma_{R_A}$  e  $\sigma_{R_B}$ , tem-se que  $p_1 = 1 - \frac{\sigma_{R_m}}{\sigma_{R_B}}$ .

Com base nesses resultados, chega-se por manipulação algébrica da Equação 10, na função linear do retorno esperado. A Figura 9 ilustra a relação linear presente na Equação 12.

$$E(R_m) = R_A + \left[ \frac{E(R_B) - R_A}{\sigma_{R_B}} \right] \sigma_{R_m}$$

**Equação 12:** Função linear do retorno esperado.



**Figura 9:** Linearidade da função de retorno para uma carteira hipotética (adaptado de Sanvicente e Mellagi, 1996).

Uma restrição do modelo CAPM que decorre das suposições apresentadas acima é que os retornos dos investimentos seguem uma distribuição de probabilidade simétrica. Como consequência, utiliza-se a variância como medida de dispersão. No entanto, na prática, sabe-se que os retornos seguem uma distribuição assimétrica e a semi-variância é a melhor medida da dispersão dos retornos em torno da média (SILVA *et al.*, 2009).

Uma variação do modelo CAPM apresentada em Silva *et al.* (2009), considera a variância dos retornos esperados seguindo uma distribuição de probabilidade assimétrica podendo ser calculada a partir do modelo D-CAPM (Downside Capital Asset Pricing Model).

Explicam Silva *et al.* que outra restrição relacionada à utilização do modelo CAPM refere-se ao fato desse modelo não considerar a variação dos betas dos ativos ao longo do tempo. De forma a contornar esse problema, aplica-se o modelo C-CAPM (Conditional Capital Asset Pricing Model). Tal variação do modelo CAPM pressupõe que as expectativas dos investidores têm um comportamento randômico e não constante.

O modelo C-CAPM é definido em Silva *et al.* pela Equação 13.

$$E[r_{it} / \Omega_{t-1}] = \beta_{it} E(r_{Mt} / \Omega_{t-1})$$

**Equação 13:** Conditional Capital Asset Pricing Model.

Em que  $\Omega_{t-1}$ : representa informações comuns disponíveis ao conjunto de investidores no final do período  $t-1$ .

$r_{it}$ : é o prêmio pelo risco do ativo  $i$  em  $t$ .

$r_{Mt}$ : é o prêmio pelo risco da carteira de mercado em  $t$ .

A partir da Equação 13, define-se o beta condicional como:

$$\beta_{it} = \frac{Cov(r_{it}, r_{Mt} / \Omega_{t-1})}{Var(r_{Mt} / \Omega_{t-1})}$$

**Equação 14:** Medida para o Beta condicional.

Sobre a suposição de simetria dos retornos, Castro Júnior e Silveira (2007) demonstraram, a partir da análise das distribuições empíricas dos retornos dos índices Ibovespa e S&P500 no período de 1986 e 2006, que a distribuição dos retornos dos índices de ações tanto no Brasil quanto nos Estados Unidos apresentam leptocurtose e assimetria, para o caso de índices no Brasil. Verificaram os autores que as distribuições de probabilidade logística e log-logística tiveram melhor aderência aos dados que a distribuição Normal.

### 2.3.2 Modelo de Determinação de Preços por Arbitragem (APM)

Buscando contornar a restrição apresentada pelo modelo CAPM em relação a sua dependência da carteira de mercado, Ross (1976) *apud* Damodaran (2010) apresentou o modelo APM (Arbitrage Pricing Model), cuja principal suposição é que os investidores comprarão a carteira com maiores retornos esperados e venderão a carteira com menores retornos se as duas carteiras tiverem o mesmo grau de exposição ao risco e oferecerem retornos esperados diferentes.

O retorno real de um investimento sujeito a riscos específicos e riscos comuns ao mercado, a partir do modelo APM é, então, definido por:

$$R = E(R) + m + \varepsilon$$

**Equação 15:** Retorno real de um investimento para o modelo APM.

Em que  $R$  : retorno real.

$E(R)$ : retorno esperado.

$m$  : riscos de mercado.

$\varepsilon$  : riscos específicos da empresa.

Segundo Damodaran a diferença essencial entre o modelo CAPM e o APM está na mensuração dos riscos comuns ao mercado. Enquanto o CAPM considera que o risco de mercado está embutido na carteira, o APM considera que há múltiplos fatores ( $k$ ) econômicos impulsionando os retornos de mercado. O retorno sobre o ativo para o modelo APM é obtido pela seguinte expressão.

$$E(R) = R_j + \beta_1 [E(R_1 - R_j)] + \beta_2 [E(R_2) - R_j] + \dots + \beta_k [E(R_k) - R_j]$$

**Equação 16:** O retorno sobre o ativo para o modelo APM.

Em que  $E(R_j)$ : retorno esperado sobre uma carteira  $\beta_1 = 1$  para o fator  $j$  e zero para todos os demais fatores ( $j = 1, 2, \dots, k$ ).

$R_j$ : retorno esperado sobre uma carteira.

No caso de ter apenas 1 fator econômico impulsionando os retornos de mercado, o APM se reduz ao modelo CAPM, conforme mostrado na Equação 17.

$$E(R) = R_j + \beta_m [E(R_m - R_j)]$$

**Equação 17:** Relação entre o retorno do modelo CAPM e do modelo APM.

Explica Damodaran que os Betas de cada fator são estimados na prática em função da análise de dados a partir de séries históricas de retornos, buscando obter padrões comuns ao mercado. Há, portanto, uma restrição a esse modelo, uma vez que ele considera que o risco de mercado é medido em relação a múltiplas variáveis macroeconômicas e não variáveis específicas de cada fator.

Para Lemes Júnior *et al.* a teoria para o modelo APM é mais robusta que a teoria do CAPM pelos seguintes motivos: não é assumido nenhum pressuposto sobre a distribuição Normal dos retornos dos ativos; a teoria do APM permite que a taxa de retorno de equilíbrio dos ativos seja dependente de vários fatores e não apenas do risco de mercado; e qualquer carteira de ativos pode ser considerada, sem a necessidade de envolver o universo dos ativos existentes.

### 2.3.3 Modelos Multifatoriais

Os modelos multifatoriais procuram solucionar a restrição do modelo APM ao substituir os fatores não identificados por fatores econômicos específicos, tais como a produção industrial, inflação não prevista e mudanças na taxa real de retorno (Ross, 1976 *apud* Damodaran, 2010).

A Equação 18 mostra a mensuração do risco a partir do modelo multifatorial.

$$E(R) = R_j + \beta_{PIB} [E(R_{PIB}) - R_j] + \beta_I [E(R_I) - R_j] + \dots + \beta_j [E(R_\delta) - R_j]$$

**Equação 18:** Medida de mensuração do risco para o modelo Multifatorial.

Em que  $\beta_{PIB}$  : Beta relativo a mudanças na produção industrial (Produto Interno Bruto).

$E(R_{PIB})$  : retorno esperado sobre uma carteira com Beta igual a 1 no fator produção industrial e zero em todos os demais fatores.

$\beta_I$  : Beta relativo a mudanças na inflação.

$E(R_I)$  : retorno esperado sobre uma carteira com Beta igual a 1 no fator inflação e zero em todos os demais.

### 2.3.4 Modelos Substitutos

Os modelos substitutos de mensuração do risco foram desenvolvidos por Fama e French (1992) como uma adaptação ao modelo CAPM ao considerar que as medidas de tamanho e valor contábil das empresas poderiam ser utilizadas como substitutos do risco. Nesse estudo publicado em 1992, os autores analisaram os retornos mensais sobre ações da Bolsa de Valores de Nova Iorque no período de 1963 a 1990, a partir de um modelo de regressão com base em variáveis contábeis como dependentes da variável retorno esperado.

$$R_i = 1,73\% - 0,11 \times \ln(MV) + 0,35 \times \ln(BV / MV)$$

**Equação 19:** Modelo Substituto.

Em que  $MV$  : valor de mercado do patrimônio líquido.

$BV / MV$  : valor contábil do patrimônio líquido em relação ao valor de mercado do patrimônio líquido.

## 2.4 RISCOS EM CONCESSÕES RODOVIÁRIAS

Tratou-se, até o presente momento, das definições e modelos de mensuração de riscos relacionados a investimentos em quaisquer ativos. A partir deste ponto, inicia-se a

discussão dos riscos considerados especificamente no âmbito dos investimentos em concessões rodoviárias.

Segundo Senna e Michel (2007), quando um projeto avaliado é executado, o retorno do investimento considera uma remuneração relacionada aos riscos associados ao projeto e, portanto, a identificação, alocação adequada e gerenciamento são condições fundamentais para o financiamento de qualquer projeto.

São apresentados abaixo os principais riscos associados a projetos de investimentos em transportes, a partir do trabalho de Senna e Michel.

- **Riscos de construção:** Tais riscos podem impactar no fluxo de caixa projetado, uma vez que esses riscos tendem a gerar atrasos na conclusão do projeto. Dentre as variáveis que influenciam nos riscos de construção estão a disponibilidade de materiais e equipamentos para a construção e operação; a capacidade do contratado para concluir o projeto no prazo estipulado no contrato e os riscos de uso do solo e impactos ambientais.
- **Riscos operacionais:** Nesta categoria estão: os riscos tecnológicos que podem afetar negativamente o projeto pela utilização de tecnologias obsoletas; riscos financeiros e variações nas taxas de juros; o risco monetário relativo a flutuações na taxa de câmbio sobre o valor do negócio; os riscos de força maior que fogem do controle dos investidores, tais como enchentes ou terremotos; os riscos regulatórios; os riscos políticos e, finalmente, os riscos de receita e tráfego que podem ocorrer tanto pela falta de acurácia das previsões de demanda quanto por alterações dos Cenários macroeconômicos.

Outra divisão dos riscos associados a projetos de investimentos em concessões rodoviárias é feita por Oliveira (2001), que os categoriza em dois grupos: riscos endógenos e riscos exógenos.

Os riscos endógenos, segundo Oliveira, são aqueles que podem ser reduzidos pela identificação e atribuição do seu controle às partes que possuam incentivos adequados para diminuir ao máximo sua exposição a eles. Ou seja, nos contratos de concessão os riscos

endógenos são alocados à parte que melhor pode controlá-los. Os riscos endógenos definidos pelo autor são:

- **Riscos de construção:** Estão relacionados ao não cumprimento de especificações definidas nos contratos de concessão. Podem ser ocasionados por fatores econômicos, tais como a influência da falta de algum insumo para a construção ou o aumento do custo do projeto em função de dificuldades verificadas após estudos geológicos, por exemplo.
- **Risco regulatório:** Trata-se do risco político decorrente das interações entre o governo e a Concessionária em processos de reajustes ou renegociações dos contratos de concessão. Um exemplo deste tipo de risco é a concessão de benefícios tarifários.

Por outro lado, os riscos exógenos citados em Oliveira têm como característica o fato de não poderem ser controlados pelas partes envolvidas e, por esse motivo, devem ser alocados à parte com menor custo para controlá-lo. Tais riscos são agrupados, pelo autor, nas seguintes categorias:

- **Risco econômico:** Estão relacionados ao risco da demanda pelo produto não ser suficiente para gerar fluxos de caixa que viabilizem o projeto. A alteração no volume de veículos que trafegam na rodovia e/ou a mudança na composição do tráfego são exemplos desse tipo de risco.
- **Riscos de força maior:** Ocorrem por fatos alheios as partes envolvidas. São exemplos desse tipo de risco a queda de barreiras ocasionadas por fenômenos climáticos, a greve de caminhoneiros que irá implicar na redução do volume de tráfego de veículos pesados, entre outros. Explica Oliveira que os contratos de seguros são a proteção usual utilizada para esse tipo de risco de força maior.
- **Riscos de variação de taxas de juros:** O aumento das taxas de juros em projetos financiados à taxa de juros flutuantes pode colocar em risco a capacidade de a Concessionária saldar suas dívidas.

- **Riscos financeiros de variações cambiais:** Variações nas taxas de câmbio podem comprometer o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos. Um exemplo citado por Oliveira ocorre para uma rodovia em que o fluxo de receitas está em reais e o fluxo de despesas em dólar. Os mecanismos de contratos a termo, contratos futuros, opções financeiras e derivativos podem ser utilizados para mitigar tais riscos.
- **Riscos políticos:** São riscos decorrentes da ação do governo que podem comprometer o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessão. São denominados também na literatura de fato do príncipe e diferem, segundo o autor, dos riscos regulatórios.

Segundo Ribeiro (2011), a alocação adequada de riscos em contratos de concessão comuns é um fator primordial e a função do mecanismo de equilíbrio econômico-financeiro é, fundamentalmente, o cumprimento permanente da matriz de riscos estabelecida nos contratos de concessão.

A matriz de riscos em um contrato de concessão estabelece qual das partes será responsável por lidar com as incertezas que poderão afetar a atividade, devendo cada um dos riscos definidos nesta matriz serem alocados àquela parte que poderá reduzir as chances de ocorrência do evento causador do risco com mais baixo custo (Ribeiro, 2011).

## 3 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS

Os principais métodos utilizados nas análises financeiras de avaliação da viabilidade de investimentos em quaisquer ativos são discutidos neste capítulo. Inicialmente, tratam-se dos componentes do custo de capital para, em seguida, discutir os principais métodos e regras de decisão comumente utilizadas.

### 3.1 CUSTO DE CAPITAL

O custo de capital é definido por Lemes Júnior como a taxa mínima de retorno que se exige para aprovar propostas de investimentos de capital sem diminuir o valor da empresa. A seguir são apresentados os principais conceitos relacionados aos custos de capital próprio, custo de capital de terceiros e custo médio ponderado de capital.

#### 3.1.1 Custo de Capital Próprio

Representa o retorno mínimo que os acionistas exigem por sua participação no financiamento permanente da empresa. Como o investimento do capital próprio implica em assumir o risco principal do negócio é natural que este apresente uma maior remuneração (Lemes Júnior *et al.*, 2009). Seu valor pode ser obtido pela seguinte expressão.

$$k_p = \frac{d}{C_p}$$

**Equação 20:** Custo de capital próprio.

Em que  $k_p$  : custo de capital próprio.

$d$  : dividendos.

$C_p$  : capital próprio.

Segundo Damodaran, no modelo CAPM o retorno esperado do investimento em capital próprio pode ser obtido por:

$$E(R_j) = TLR + \beta \times PRE$$

**Equação 21:** Retorno esperado em capital próprio no modelo CAPM.

Em que  $E(R_j)$ : retorno esperado.

$TLR$ : taxa livre de risco.

$PRE$ : prêmio de risco esperado.

Já para o modelo APM e para o modelo multifatorial, o retorno esperado pode ser obtido por:

$$E(R_j) = TLR + \sum_{j=1}^{j=n} \beta_j \times PR_j$$

**Equação 22:** Retorno esperado em capital próprio nos modelos APM e Multifatorial.

Em que  $E(R_j)$ : retorno esperado.

$TLR$ : taxa livre de risco.

$PRE$ : prêmio de risco  $j$ .

### 3.1.2 Custo de Capital de Terceiros de Longo Prazo

O custo de capital de terceiros de longo prazo é o custo de tomar recursos emprestados, após descontado o imposto de renda. Para Lemes Júnior este custo pode ser definido como o risco financeiro que a empresa corre por utilizar capital de terceiros.

O valor do custo de capital de terceiros de longo prazo é obtido pela Equação 23.

$$k_t = \frac{j}{C_t}$$

**Equação 23:** Custo de capital de terceiros de longo prazo.

Em que  $k_t$ : custo de capital de terceiros de longo prazo.

$j$ : juros.

$C_t$ : capital de terceiros de longo prazo.

Considerando a redução da alíquota do imposto de renda, tem-se o custo financeiro da captação, representado pela seguinte expressão.

$$K_{jlr} = (K_{lr} + P_m + P_{rj}) \times (1 - IR)$$

**Equação 24:** Custo financeiro de captação considerando a redução da alíquota do imposto de renda.

Em que  $K_{jlr}$ : custo de capital de terceiros de longo prazo.

$K_{lr}$ : custo de um título livre de risco.

$P_m$ : prêmio de risco de negócios.

$P_{rj}$ : prêmio de risco financeiro.

$IR$ : alíquota do imposto de renda.

### 3.1.3 Custo Médio Ponderado de Capital (WACC)

O custo médio ponderado de capital representa a taxa de atratividade da empresa e indica a remuneração mínima na alocação de capital. Segundo Assaf Neto (2008) os investidores buscarão empregar seu capital em projetos que retornem taxas superiores ao custo médio ponderado de capital (WACC).

O WACC, também conhecido pela sigla em inglês Weighted Average Cost of Capital, é o custo de capital calculado pela ponderação da participação das fontes específicas de capital de longo prazo da empresa pelos seus respectivos custos de capital (Lemes Júnior *et al.*, 2009).

Segundo Gitman, sob a forma de equação, o WACC pode ser escrito por:

$$k_a = (w_i \times k_i) + (w_p \times k_p) + (w_s \times k_s)$$

**Equação 25:** Medida do WACC.

Em que  $w_i$  : proporção de capital de terceiros de longo prazo na estrutura de capital.

$w_p$  : proporção de ações preferenciais na estrutura de capital.

$w_s$  : proporção de capital próprio na estrutura de capital.

$$w_i + w_p + w_s = 1.$$

A partir do cálculo do *WACC* define-se o indicador conhecido como Taxa Mínima de Atratividade (TMA) do projeto de investimentos, ou seja, define-se, a partir da mensuração do risco de mercado, o retorno mínimo do investimento que assegura a remuneração de capital próprio e de terceiros.

### 3.2 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

Segundo Damodaran, o valor de uma empresa pode ser obtido, em termos matemáticos, pela seguinte expressão:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1 + WACC)^t}$$

**Equação 26:** Valor Presente Líquido.

Em que *VPL* : valor presente líquido (valor do negócio).

$FC_t$  : fluxo de caixa esperado no período  $t$ .

$n$  : período do projeto.

*WACC* : custo médio ponderado de capital.

O *VPL* também é conhecido como o Valor do Negócio e, segundo Gitman, a regra de decisão sobre investir ou não no projeto se baseia nos seguintes resultados de *VPL*.

**Tabela 1:** Regra de decisão do *VPL*.

Situação encontrada	Decisão
$VPL > 0$	Aceita-se o projeto
$VPL = 0$	Indiferente
$VPL < 0$	Rejeita-se o projeto

### 3.3 TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (TMA)

Explicam Souza e Clemente (2009) que a taxa a ser usada no processo de descapitalização do fluxo de caixa é conhecida como Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e um investidor terá sempre a opção de investir no projeto ou investir na TMA.

Complementam Souza e Clemente que a taxa de juros praticada no mercado serve como base para definição da TMA, sendo a Taxa Básica Financeira (TBF), a Taxa Referencial (TR), a Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) e a Taxa do Sistema Especial de Liquidação e Custódia (SELIC) as que mais impactam na TMA.

### 3.4 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

A *TIR* é a taxa que torna o valor presente líquido de um fluxo de caixa igual a zero. Seu valor pode ser obtido pela seguinte expressão.

$$-FC_0 + \frac{FC_1}{(1+TIR)} + \frac{FC_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} = 0$$

**Equação 27:** Taxa Interna de Retorno.

A Tabela 2 apresenta a regra de decisão para os resultados da Taxa Interna de Retorno.

**Tabela 2:** Regra de decisão para a TIR.

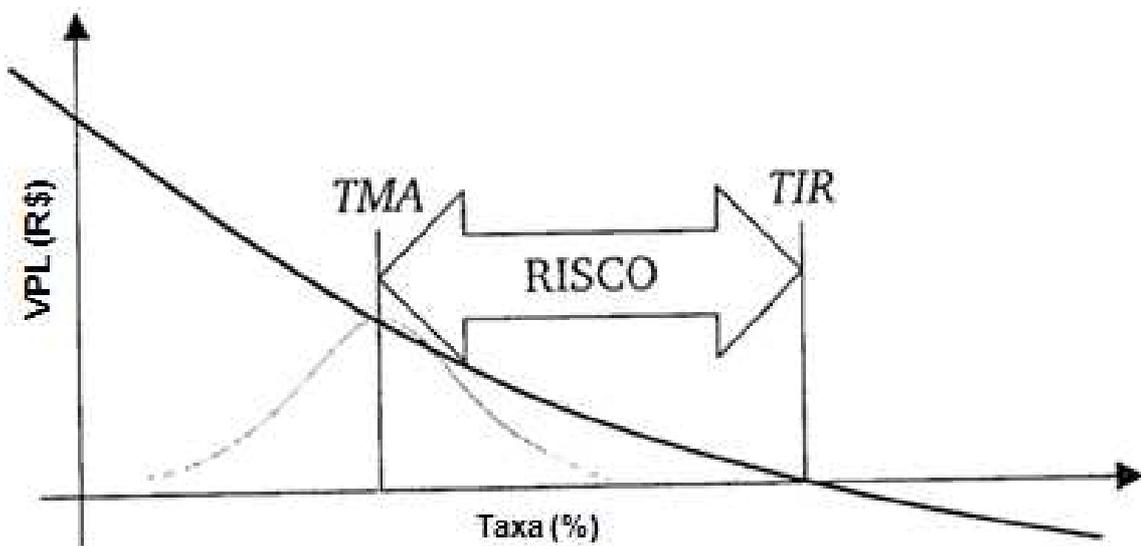
Situação encontrada	Decisão
TIR > custo de capital da empresa	Aceita-se o projeto
TIR = custo de capital da empresa	Aceita-se o projeto
TIR < custo de capital da empresa	Rejeita-se o projeto

Dentre as vantagens da utilização deste método de avaliação estão a de que ele leva em consideração o valor do dinheiro no tempo; depende apenas dos fluxos de caixa e do custo de capital; permite a comparação entre a taxa de retorno do projeto e é de fácil entendimento. Dentre as desvantagens estão a de que o método depende da determinação do custo de capital; pode apresentar respostas múltiplas se os fluxos de caixa forem não convencionais e pode conduzir a decisões incorretas em investimentos mutuamente

excludentes (Gitman, 2004).

Explicam Souza e Clemente que para situações em que a *TIR* do projeto de investimentos for maior que a *TMA* existe uma indicação de que haverá maior ganho investindo-se no projeto do que na *TMA*.

A Figura 10 ilustra o comportamento esperado entre a *TIR*, a *TMA* e o *VPL* em um projeto de investimento, considerando que para os fluxos de caixa convencionais o *VPL* muda de sinal apenas uma vez ao longo do período, de tal maneira que o *VPL* pode ser considerado uma função monótona decrescente.



**Figura 10:** Relação entre o VPL, TIR e TMA (Souza e Clemente, 2009).

### 3.5 PAYBACK

O Payback é definido como o período exigido para que um investimento gere fluxos de caixa suficientes para recuperar o custo inicial do projeto, sendo uma ferramenta bastante utilizada, sobretudo por grandes empresas, em decisões relativamente menos importantes (Ross *et al.*, 2002).

Segundo Gitman o método Payback é um método utilizado para rejeitar alternativas de investimentos com longo período de retorno. Seu cálculo é bastante simples e consiste em calcular quanto tempo é preciso esperar até que os fluxos de caixa livres acumulados deste

investimento recuperem o capital investido.

Na Tabela 3 encontra-se as regras de decisão baseadas no método Payback considerando se o retorno do capital investido se dá num período de tempo igual ou menor que o padrão da empresa.

**Tabela 3:** Regra de decisão para Payback.

Situação encontrada	Decisão
Payback < padrão da empresa	Aceita-se o projeto
Payback = padrão da empresa	Aceita-se o projeto
Payback > padrão da empresa	Rejeita-se o projeto

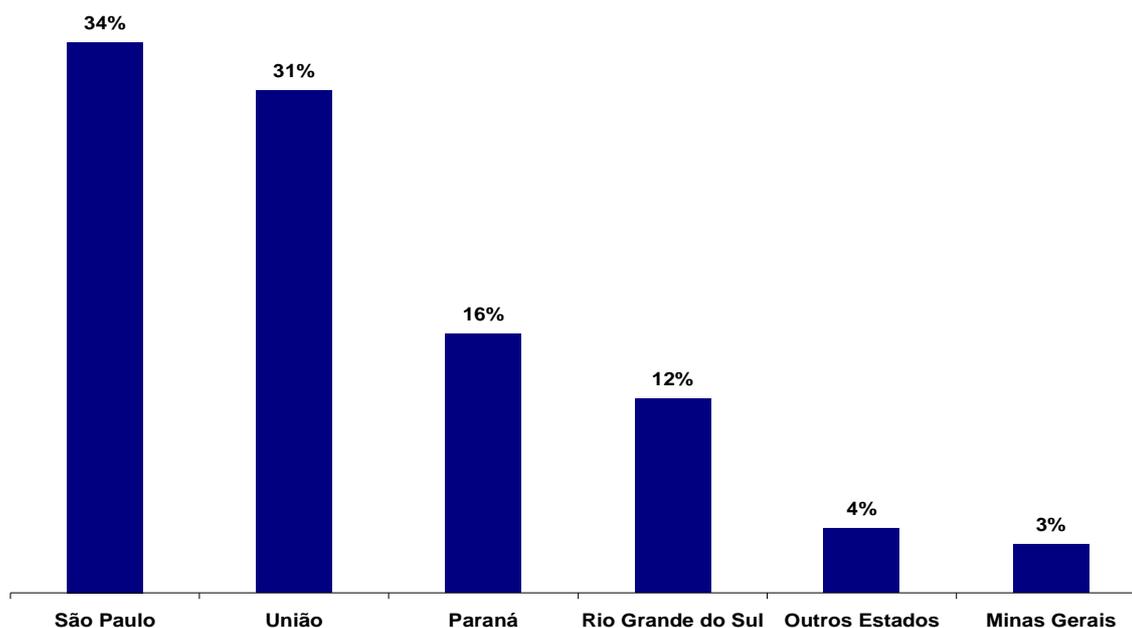
Explica Gitman que dentre as vantagens da utilização deste método estão a de ser de fácil entendimento e considerar a incerteza de fluxos de caixa mais distantes. Dentre as desvantagens estão a de ignorar o valor do dinheiro no tempo, exigir um período limite arbitrário, ignorar fluxos de caixa pós Payback e penalizar projetos de longo prazo.

## 4 CONCESSÕES RODOVIÁRIAS FEDERAIS

### 4.1 PANORAMA ATUAL

Existem no Brasil, atualmente, cerca de 15 mil quilômetros de rodovias concedidas à iniciativa privada, desdobrando-se em concessões federais e estaduais. Este total corresponde a cerca de 7% da malha rodoviária nacional pavimentada sendo administradas por 53 empresas Concessionárias (ABCR, 2012).

O Estado de São Paulo possui a maior quantidade de trechos concedidos à iniciativa privada, somando um total de 18 trechos, os quais representam 34% da extensão da malha concedida. A Figura 11 apresenta a distribuição das concessões rodoviárias segundo o Ente Federativo que a administra.



**Figura 11:** Distribuição das malhas estaduais e malha Federal concedida (ABCR, 2012).

Do universo de concessões federais e estaduais, 14 trechos cuja extensão total é de 4,7 mil quilômetros, estão sob responsabilidade da Agência Nacional de Transportes Terrestres. Estes trechos de concessões federais representam 31% do total da malha rodoviária concedida.

A Tabela 4 sintetiza a distribuição da malha rodoviária federal concedida administrada pela ANTT segundo a extensão do trecho, Concessionária e rodovia.

**Tabela 4:** Extensão malha rodoviária federal concedida sob responsabilidade da ANTT.

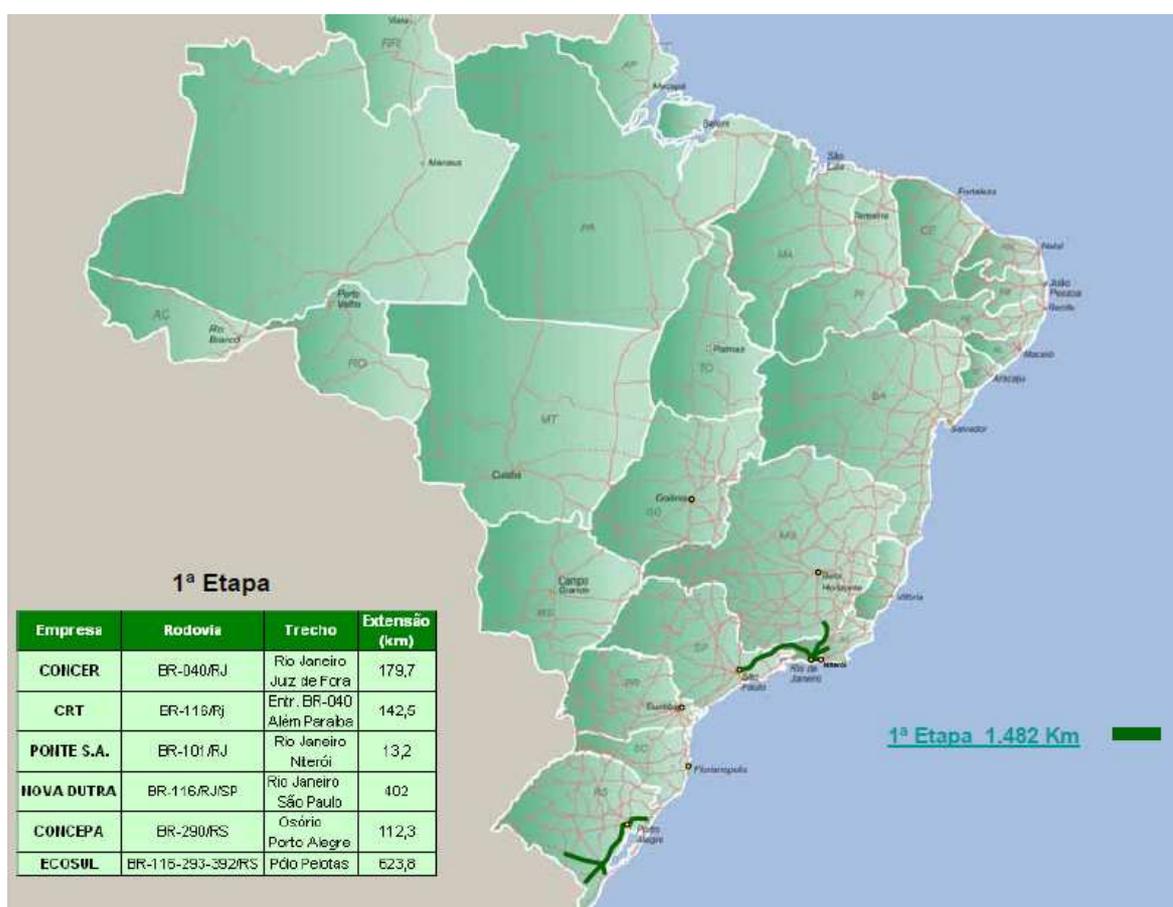
<b>CONCESSIONÁRIA</b>	<b>RODOVIA</b>	<b>TRECHO</b>	<b>EXTENSÃO (Km)</b>
NOVADUTRA	BR-116/RJ/SP	Rio de Janeiro - São Paulo	402,0
PONTE	BR-101/RJ	Ponte Rio / Niterói	13,2
CONCER	BR-040/MG/RJ	Rio de Janeiro - Juiz de Fora	179,9
CRT	BR-116/RJ	Rio de Janeiro – Teresópolis – Além Paraíba	142,5
CONCEPA	BR-290/RS	Osório - Porto Alegre	121,0
ECOSUL	BR-116/293/392/RS	Pólo de Pelotas	623,8
PLANALTO SUL <sup>(1)</sup>	BR-116/PR/SC	Curitiba – Div. SC/RS	412,7
LITORAL SUL <sup>(1)</sup>	BR-376/PR - BR-101/SC	Curitiba – Florianópolis	382,3
RÉGIS BITTENCOURT <sup>(1)</sup>	BR-116/SP/PR	São Paulo – Curitiba (Régis Bittencourt)	401,6
FERNÃO DIAS <sup>(1)</sup>	BR-381/MG/SP	Belo Horizonte – São Paulo (Fernão Dias)	562,1
FLUMINENSE <sup>(1)</sup>	BR-101/RJ	Ponte Rio Niterói – Div. RJ/ES	320,1
TRANSBRASILIANA <sup>(1)</sup>	BR-153/SP	Div.MG/SP – Div. SP/PR	321,6
RODOVIA DO AÇO <sup>(1)</sup>	BR-393/RJ	Div. MG/RJ - Entr. BR-116 (Dutra)	200,4
VIABAHIA <sup>(1)</sup>	BR-116/324/BA	Div. MG/BA – Salvador	680,7
<b>TOTAL</b>		<b>14 TRECHOS</b>	<b>4.763,9</b>

**Nota:** <sup>(1)</sup> Segunda etapa do PROCOFE.

**Fonte:** ANTT

As Figuras 12, 13 e 14 a seguir apresentam a evolução das fases do Programa Federal de Concessões Rodoviárias. Na Figura 12 tem-se a primeira etapa do PROCOFE. Tratam-se de seis trechos, cuja extensão é de aproximadamente 1,4 mil quilômetros, dos quais cinco foram contratados pelo Ministério dos Transportes, entre 1994 e 1997 e um contratado pelo Governo do Rio Grande do Sul em 1988, sub-rogado à União no ano 2000.

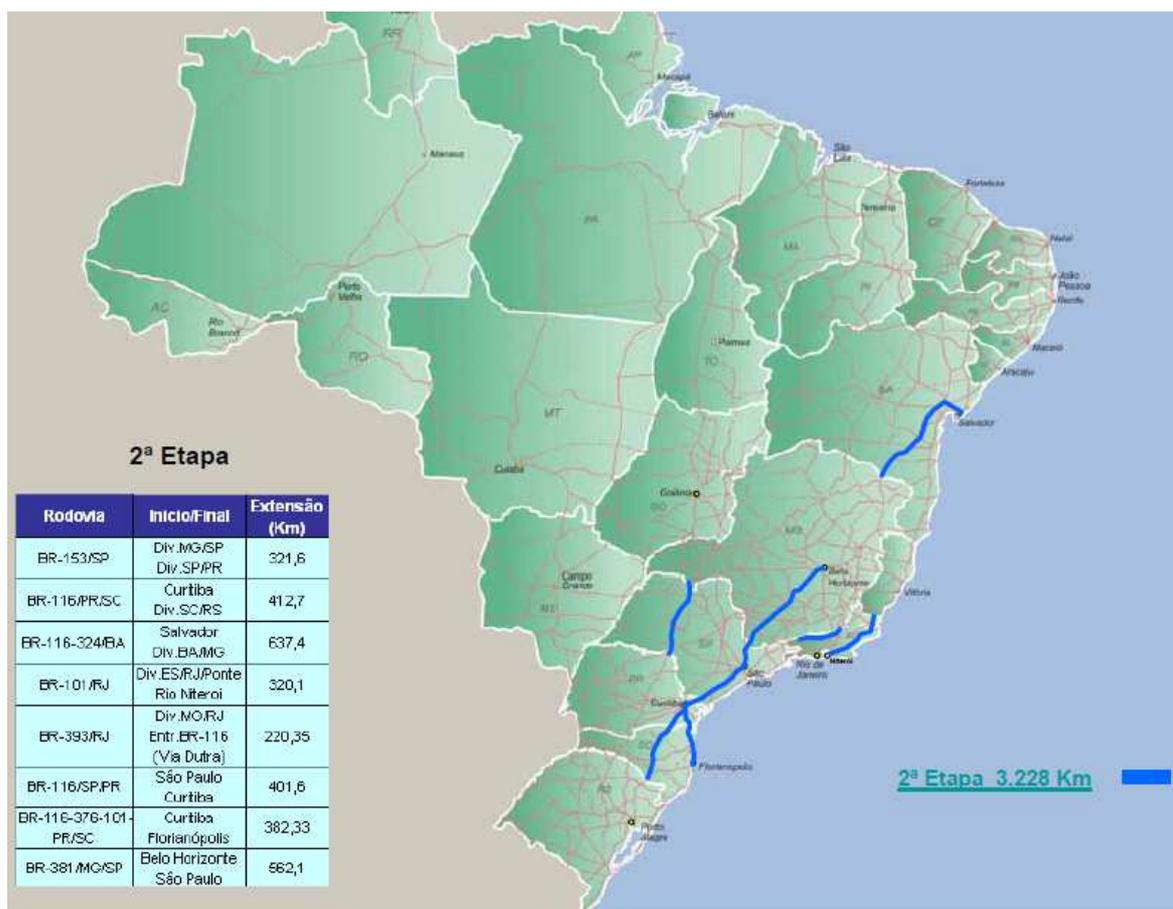
O modelo de licitação adotado pelo Governo Federal para as concessões desta primeira etapa baseou-se no menor valor de tarifa ofertado. As licitações destes trechos ocorreram na metade da década de 1990, em meio a um Cenário de deteriorização da malha rodoviária brasileira que já vinha sendo agravada desde a extinção do Fundo Rodoviário Nacional em 1988. Além disso, a economia brasileira passava por uma fase de instabilidade, o que refletiu em elevados valores para o Risco Brasil. Neste Cenário, a taxa interna de retorno média das propostas vencedoras da primeira etapa ficou em torno de 17% ao ano.



**Figura 12:** Primeira etapa do PROCOFE.

Em outubro de 2007 foram realizados os leilões de sete lotes referentes a fase I do PROCOFE. Em 2009, mais 680,6 quilômetros da BR – 116/324/526, referente ao trecho entre Salvador – Feira de Santana – Divisa de Minas Gerais, foram concedidos à iniciativa privada, completando a fase II da segunda etapa do PROCOFE. A Figura 13 apresenta-se estas fases I e II.

As licitações da fase I da segunda etapa ocorreram em um cenário com uma conjuntura econômica distinta da primeira etapa, com maior estabilidade econômica e, conseqüentemente, Risco Brasil mais baixo. Aliado ao cenário econômico favorável, a redução dos riscos políticos e regulatórios e a participação de investidores estrangeiros nas competições refletiu em taxas de retornos das propostas vencedoras em torno de 8% ao ano, bem abaixo dos valores das taxas de retornos da primeira etapa.



**Figura 13:** Segunda etapa fases I e II do PROCOFE.

Além disso, as taxas de retorno de referência definidas Pelo Poder concedente nos editais de licitação e utilizadas na definição da tarifa teto a ser praticada em cada trecho da segunda etapa fase I, foi de 12% ao ano. As diferenças significativas entre os valores de retorno de referência e as taxas de retorno das propostas comerciais vencedoras implicaram em elevados deságios dos valores de tarifa ofertados em relação às tarifas tetos.

A Tabela 5 mostra as relações entre as tarifas teto estabelecidas nos editais de concessão da fase I da segunda etapa e os deságios praticados pelos vencedores das licitações onde é

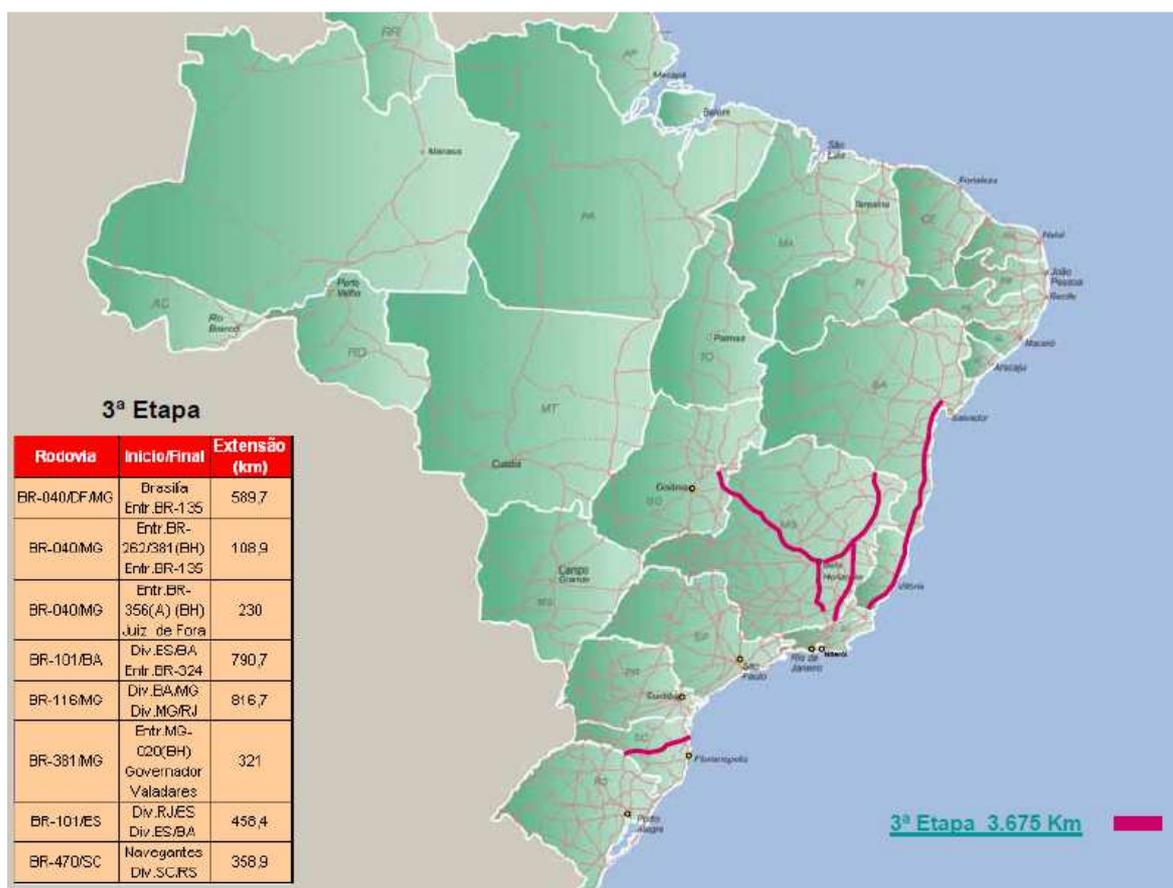
possível observar que o grupo Espanhol OHL venceu seis dos sete lotes com um deságio médio de 46% em relação à tarifa teto.

**Tabela 5:** Deságios para os trechos concedidos nas segunda e terceira etapas do PROCOFE.

Trecho	Vencedor do leilão	Tarifa ofertada (R\$/Km)	Deságio
Autopista Regis Bittencourt (BR-116/SP/PR)	OHL Brasil S.A.	1,364/Km	49%
Autopista Fernão Dias (BR-381/MG/SP)	OHL Brasil S.A.	0,997/Km	65%
Autopista Litoral Sul (BR-116/376/PR e BR-101/SCSP/PR)	OHL Brasil S.A.	1,028/Km	63%
Autopista Fluminense (BR-101/RJ)	OHL Brasil S.A.	2,258/Km	41%
Transbrasiliana (BR-153/SP)	OHL Brasil S.A.	2,45/Km	40%
Autopista Planalto Sul (BR-116/PR/SC)	OHL Brasil S.A.	2,54/Km	39%
Rodovia do Aço (BR-393/RJ)	CONSÓRCIO ACCIONA	2,94/Km	27%

**Fonte:** Ministério dos Transportes

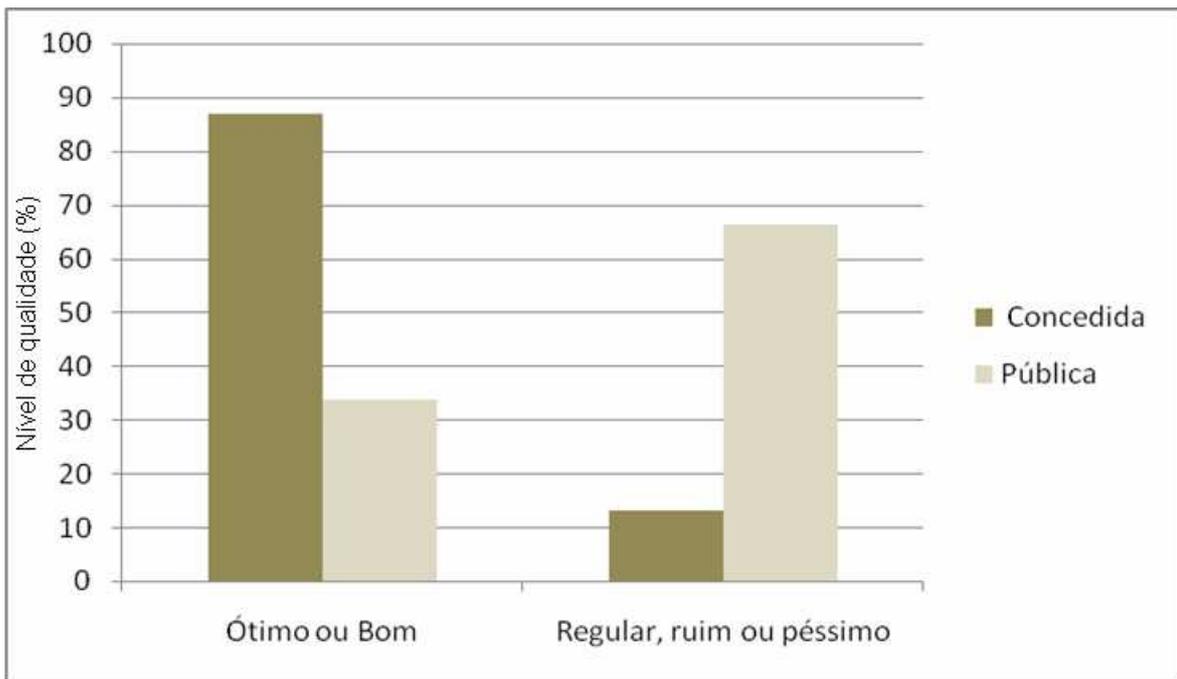
A Figura 14 apresenta os trechos previstos para a terceira etapa de concessões. Ressalta-se que a ANTT publicou, em 18/01/2012, o resultado do leilão referente ao trecho da BR-101/ES/BA.



**Figura 14:** Terceira etapa do PROCOFE.

Com relação à qualidade dessas rodovias concedidas, verifica-se para a malha rodoviária federal e estadual concedida, que 85% delas foram avaliadas em estado bom ou ótimo. Por outro lado, para os cerca de 70 mil quilômetros de rodovias pavimentadas não concedidas, pouco mais de 33% foram avaliadas como bons ou ótimos (CNT, 2011).

A Figura 15 apresenta a comparação entre as avaliações da qualidade das rodovias concedidas e das rodovias não concedidas a partir dos dados da pesquisa realizada pela Confederação Nacional de Transportes (CNT) sobre a qualidade das rodovias no Brasil no ano de 2010.

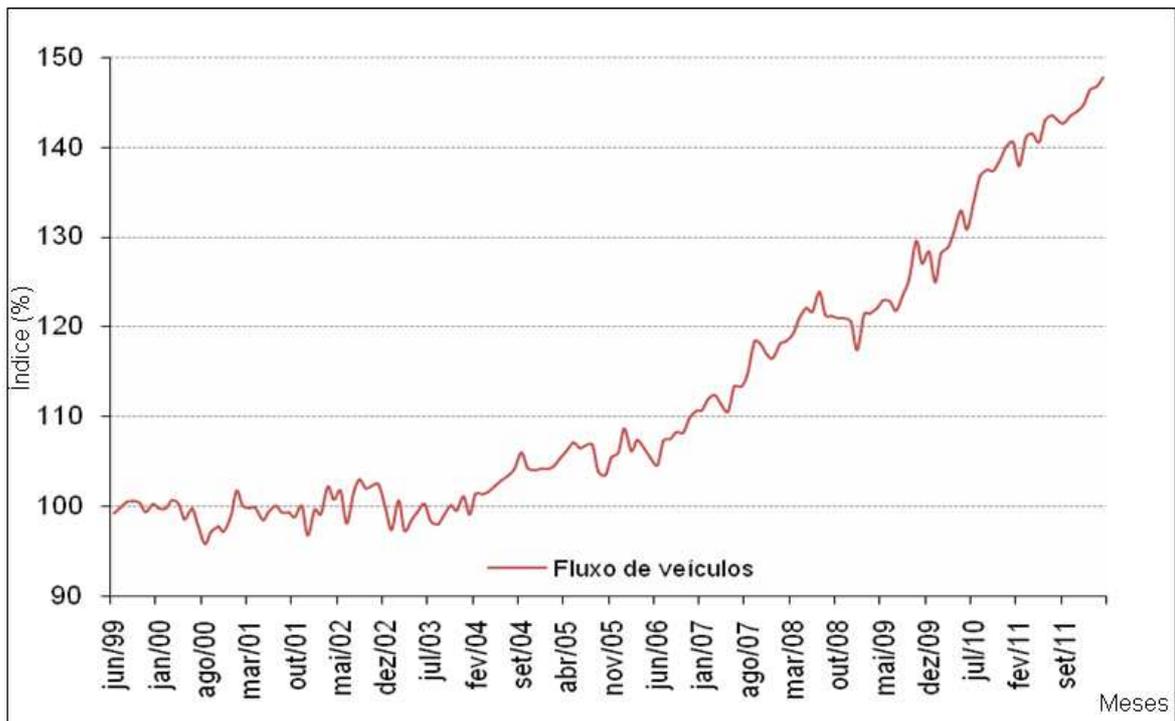


**Figura 15:** Avaliação da qualidade das rodovias concedidas e públicas (adaptado de CNT, 2011).

Passada a análise do volume de tráfego observado nas rodovias federais concedidas, o Relatório de Acompanhamento Financeiro (REAFI) elaborado pela ANTT aponta que o volume de tráfego de veículos aumentou em média 0,6% em 2009, mesmo com uma retração do Produto Interno Bruto (PIB) da ordem de 0,2% naquele ano (REAFI, 2009).

Em linhas gerais, a partir da análise do índice ABCR, que mede o fluxo de veículos nas rodovias concedidas, observa-se uma tendência de crescimento tanto para veículos leves quanto para veículos pesados.

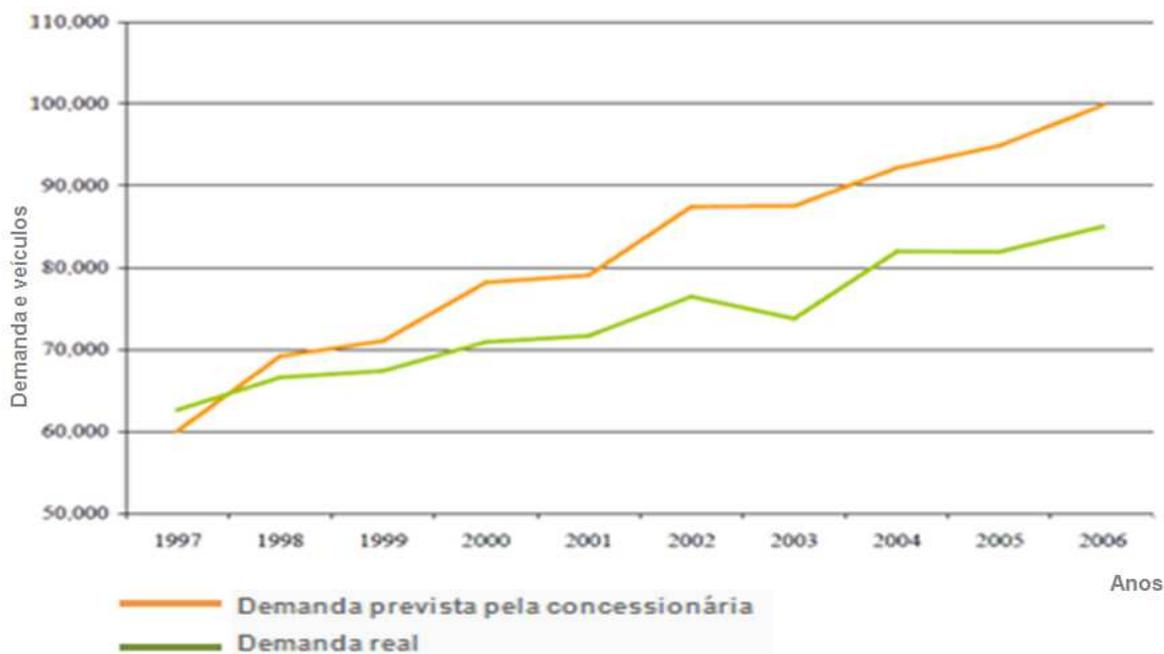
A Figura 16 mostra a evolução deste índice de fluxo de veículos no período de 1999 a 2011, considerado para o total de veículos leves e pesados em rodovias concedidas. Há, claramente, uma tendência de crescimento.



**Figura 16:** Evolução do fluxo de veículos leves e pesados nas rodovias concedidas (adaptado de ABCR, 2012).

Por outro lado, ainda que o índice acima indique claramente uma tendência crescente no fluxo de veículos, mesmo para anos com retração da economia, observa-se, a partir da análise de relatório desenvolvido pelo Banco Mundial sobre a evolução da participação do setor privado no setor rodoviário brasileiro, que o crescimento real de tráfego na rodovia Presidente Dutra foi abaixo do crescimento previsto pela Concessionária (World Bank, 2010).

A Figura 20 mostra a relação entre a demanda inicial prevista pela Concessionária e os valores realizados.



**Figura 17:** Tráfego de veículos previsto versus tráfego realizado na rodovia Presidente Dutra entre 1997 e 2006 (World Bank, 2010).

## 4.2 EQUILÍBRIO ECONÔMICO-FINANCEIRO

Explica Di Pietro (2001), ao discorrer sobre o equilíbrio e o controle externo das agências reguladoras, que a teoria do equilíbrio econômico-financeiro em contratos de concessão de serviços públicos se baseia nos seguintes princípios:

- **Princípio da equidade:** Por este princípio entende-se que nenhuma das partes poderá enriquecer ilicitamente em detrimento da outra parte.
- **Princípio da razoabilidade:** A relação proporcional entre custo e benefício deve levar em conta uma correspondência entre a modicidade tarifária e justa remuneração.
- **Princípio da continuidade do serviço público:** O equilíbrio econômico-financeiro deverá assegurar a continuidade do serviço, de forma que esse serviço não poderá ser paralisado ou prejudicado em função de eventuais desequilíbrios econômicos.

- **Princípio da indisponibilidade do serviço público:** Tal princípio impõe a supremacia do interesse público em relação ao interesse privado, devendo o Poder Concedente assegurar, em virtude dele, a continuidade do serviço mediante recomposição do equilíbrio.
- **Princípio da isonomia:** esse princípio impede que fatores não previstos no momento da assinatura do contrato de concessão venham a beneficiar uma das partes em detrimento da outra.

Para a definição matemática de equilíbrio econômico-financeiro, Oliveira (2001) utiliza-se do conceito de equilíbrio na Física para defini-lo como o estado de um sistema que não apresenta nenhuma tendência interna de mudança, ou seja, um estado em que toda a mudança é consequência de perturbações externas.

Partindo de uma situação hipotética de um contrato de concessão sem risco algum, Oliveira define a equação de equilíbrio econômico-financeiro nos contratos de concessões rodoviárias. Supõe-se para este contrato livre de riscos que a Concessionária buscará recursos antecipados para financiar o projeto junto aos seus acionistas ou instituições financeiras, devendo esta recompensar os investidores o montante investido acrescido de uma taxa de remuneração. Tal taxa de remuneração deverá representar um valor mínimo que induza os investidores a financiar o projeto. A essa taxa mínima de remuneração dá-se o nome de custo de capital.

Sob essa situação hipotética, considerando a comparação entre as receitas e despesas assumidas pela Concessionária que deverão compor o fluxo de caixa do projeto, a condição de equilíbrio econômico-financeiro é então definida pela Equação 28.

$$\sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} \geq 0$$

**Equação 28:** Situação de equilíbrio para um contrato hipotético livre de qualquer risco.

Em que  $n$  : número de anos da concessão.

$FC_t$  : fluxo de caixa para o período  $t$  (diferença entre receita total e despesa total).

$r$  : taxa de juros.

Dado que há uma única  $TIR$  para o projeto, a situação de equilíbrio econômico-financeiro desse contrato hipotético livre de risco equivaleria a  $TIR \geq r$ . No entanto, na prática, argumenta Oliveira, investidores diferentes requerem remunerações diferentes para diferentes tipos de projetos. Além disso, deve-se considerar o risco do negócio, ou seja, o risco do retorno esperado para o investimento ser diferente do retorno efetivamente obtido.

O risco do negócio impacta no custo de capital, uma vez que os riscos de investimentos com capital próprio são menores que os riscos com capital de terceiros, o que faz com que a composição do custo de capital seja heterogênea (Oliveira, 2001).

A partir dessas premissas, Oliveira define a situação de equilíbrio econômico-financeiro em contratos de concessão de rodovias considerando as parcelas de capital próprio e capital de terceiros pela seguinte relação:

$$FC_a(0) + \sum_{t=1}^T \frac{FC_a(t)}{\prod_{q=0}^{t-1} [1 + k_a(q)]} + FC_b(0) + \sum_{t=1}^T \frac{FC_b(t)}{\prod_{q=0}^{t-1} [1 + k_b(q)]} \geq 0$$

**Equação 29:** Equação de equilíbrio econômico-financeiro em contratos de concessão de rodovias.

Em que  $k_a(q)$ : custo de capital próprio.

$k_b(q)$ : custo de capital de terceiros.

$FC_a(t)$ : parcela do fluxo de caixa referente ao capital próprio.

$FC_b(t)$ : parcela do fluxo de caixa referente ao capital de terceiros.

$T$ : número de períodos de tempo com início em  $t = 0$ .

Da Equação 29 decorre o fato de que o restabelecimento do equilíbrio econômico-financeiro de um projeto, após sua revisão, não se garante pela manutenção da taxa interna de retorno, uma vez que se houver aumento nos riscos ao longo do período de concessão, os financiadores do projeto deverão exigir retornos maiores sobre seus investimentos, de forma que a repactuação do contrato a partir do restabelecimento da taxa interna de retorno inicialmente pactuada não será suficiente para o equilíbrio econômico-financeiro do contrato (Oliveira, 2001).

Nesse contexto, a cláusula mostrada abaixo foi extraída do contrato de concessão da Autopista Fluminense, referente a fase I da segunda etapa do PROCOFE, o qual trata especificamente do equilíbrio econômico-financeiro do contrato.

*O equilíbrio econômico-financeiro do Contrato de Concessão será mantido ao longo da sua vigência e considerado nos processos de revisão tarifária, de modo a assegurar a Taxa Interna de Retorno não alavancada, assumida no Leilão e especificada segundo as condições do Edital de Licitação.*

### 4.3 ALOCAÇÃO DOS RISCOS

A repartição bem delimitada dos riscos entre o Poder Concedente e o particular em concessões rodoviárias traz consequências diretas na manutenção do equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessão, uma vez que apenas terão direito ao reequilíbrio contratual os eventos não incluídos entre os riscos da parte que pleiteia (BNDES, 2008).

A partir de uma análise comparativa entre os contratos de concessão das etapas 1, 2 e 3 do PROCOFE, é possível observar claramente uma evolução na matriz de riscos a serem compartilhados entre o Poder Concedente e a Concessionária. A seguir são apresentados os principais aspectos observados nestes contratos de concessão.

**Tabela 6:** Matriz de riscos presente nos contratos da primeira etapa do PROCOFE.

<b>Matriz de riscos nos contratos da 1º Etapa do PROCOFE</b>	
<b>Cláusula contratual</b>	<b>Alocação</b>
Assume integral responsabilidade por todos os riscos inerentes à concessão	Concessionária
Assume o risco de redução do volume de tráfego, inclusive decorrente da transferência de trânsito para outras rodovias	Concessionária

**Fonte:** Contratos de Concessão da 1º Etapa (ANTT).

Nos contratos da primeira etapa observa-se que a Concessionária assume integral responsabilidade por todos os riscos da concessão, em especial destaca-se o risco de erros

na previsão do volume de tráfego.

A Tabela 7 apresenta os principais pontos referentes à repartição dos riscos entre o Poder Concedente e o Concessionário com base na análise dos contratos de concessão da 2ª etapa fase I do PROCOFE.

**Tabela 7:** Matriz de riscos presente nos contratos da segunda etapa do PROCOFE.

<b>Matriz de riscos nos contratos da 2ª Etapa Fase I do PROCOFE</b>	
<b>Cláusula contratual</b>	<b>Alocação</b>
Assume os riscos decorrentes de seu inadimplemento contratual, alterações unilaterais no contrato ou de fato do príncipe que provoque impacto econômico-financeiro do contrato de concessão	Poder Concedente
Assume integral responsabilidade por todos os riscos inerentes a concessão	Concessionária
Assume risco de redução de tráfego	Concessionária
Assume risco em relação a erro na determinação do quantitativo para execução do Programa de Exploração da Rodovia (PER)	Concessionária
Assume o risco de existência de diferenças de quantidade ou desconhecimento das condições da rodovia	Concessionária
Assume riscos decorrentes de danos à rodovia que deveriam ser objetos de seguro	Concessionária
Assume os riscos decorrentes de variação dos insumos, mão-de-obra e financiamento	Concessionária
Assume riscos decorrentes da regularização do passivo ambiental dentro da faixa de domínio, com fato gerador após a assinatura do contrato	Concessionária

**Fonte:** Contratos de Concessão da 2ª Etapa (ANTT).

Comparando-se a matriz da primeira etapa com a segunda quanto ao compartilhamento dos riscos, observa-se que enquanto os riscos foram alocados genericamente ao ente privado nos contratos de concessão da primeira etapa, há um detalhamento maior dos tipos de riscos e, conseqüentemente, um melhor compartilhamento desses riscos nos contratos da segunda etapa fase I em relação aos da primeira etapa.

Aqui cabe ressaltar que nestes contratos da segunda etapa houve a participação da ANTT, cuja lei de criação promulgada anos antes a estabeleceu como órgão de Estado com independência e autonomia, enquanto que os processos de licitação dos contratos da primeira etapa foram realizados diretamente pelo Ministério dos Transportes, com rodovias onde já havia a cobrança de pedágio antes das licitações ocorrerem.

Comparando-se a fase II com a fase I da segunda etapa, por ocasião do contrato de concessão da VIABAHIA referente à fase II, conclui-se que a alocação dos riscos nesta última é tratada ainda de forma ainda mais detalhada, resultando num melhor compartilhamento entre as partes, principalmente àqueles relacionados à obtenção de licenças, caso fortuito e força maior que possam ser objeto de cobertura de seguros, bem como a inclusão de mecanismo que condiciona a realização de obras de ampliação da rodovia ao volume de tráfego e o mecanismo do fluxo de caixa marginal (Garcia, 2011).

Ao analisar os principais aspectos relacionados à repartição de riscos para a 3º etapa do PROCOFE, com base na minuta de contrato de concessão do trecho da BR – 101/ES/BA, cujo leilão ocorreu em janeiro de 2012, observa-se uma evolução ainda maior do modelo em relação aos contratos anteriores, principalmente em relação ao compartilhamento dos riscos.

## 5 SIMULAÇÃO

Um processo de simulação pode ser entendido, segundo Torga *et al.* (2006), como uma ferramenta versátil que permite obter respostas com base no questionamento “o que aconteceria se” sobre prováveis mudanças em um sistema real, sem precisar realizar mudanças na prática.

O primeiro relato de utilização de simulação data do século XVIII, quando o matemático e naturalista Francês Conde de Buffon propôs um problema matemático para obter uma aproximação do conhecido valor de  $\pi = 3,14159265\bar{3}$ . Naquela época, Buffon descobriu que ao repetir o lançamento de uma agulha de comprimento  $l$  lançada num plano com linhas paralelas a uma distância  $a$  ( $a > l$ ), o número de vezes  $h$  que a agulha tocava em uma destas linhas paralelas gerava uma relação que permitia aproximar o valor de  $\pi$ . Dessa forma, sem o auxílio de computadores, Buffon utilizou os lançamentos de uma agulha para fazer simulações de números aleatórios e gerar uma aproximação para o valor de  $\pi$  (Lins, 2004).

### 5.1 MÉTODO MONTE CARLO DE SIMULAÇÃO

Em 1949, os matemáticos Stanislaw Ulam e Nicholas Metrópolis publicaram o primeiro artigo sobre o método de simulação Monte Carlo, com base em estudos desenvolvidos para o “Projeto Manhattan”, durante a segunda Guerra Mundial e utilizando-se dos recém-inventados computadores eletrônicos (Hammersley, 1964).

Mais tarde, no início do século XX, o estatístico W. S. Gosset utilizou o método Monte Carlo para compreender a distribuição do coeficiente de correlação de *Pearson* e de sua estatística  $t$  de *Student*.

Segundo Hammersley o método Monte Carlo pode ser definido como um ramo da matemática experimental que se utiliza de experimentos com números aleatórios.

Para Kaplan (2008), a idéia central do método pode ser compreendida ao considerar o problema de resolver a seguinte integral definida no intervalo 0 e 1.

$$I = \int_0^1 g(\theta) d\theta$$

**Equação 30:** Integral que representa a idéia central do método Monte Carlo.

A integral acima pode ser escrita como o valor esperado  $E[g(\theta_i)]$ , quando  $\theta_i$  for uma sequência de variáveis aleatórias uniformemente distribuídas no intervalo 0 e 1.

A média amostral para a sequência  $\{\theta_1, \dots, \theta_m\}$  de amostras aleatórias independentes com distribuição uniforme é então calculada por:

$$I_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m g(\theta_i)$$

**Equação 31:** Média amostral para uma sequência de variáveis aleatórias.

Uma vez que as gerações dos números aleatórios são independentes, pela lei forte dos grandes números, segue que  $I_m$  converge para  $I$  com probabilidade igual a 1. Ou seja,

$$P\left(\lim_{m \rightarrow \infty} I_m = I\right) = 1$$

**Equação 32:** Lei forte dos grandes números.

Assim, transforma-se o problema de resolver a integral em um problema estatístico de estimar a média.

Sabe-se ainda que  $E[g(\theta_i)] = E[g(\theta)] = I$  e, portanto, pode-se estimar o valor da variância como,

$$v = \frac{1}{m^2} \sum_{i=1}^m (g(\theta_i) - \bar{g})^2$$

**Equação 33:** Estimação da variância para integral definida.

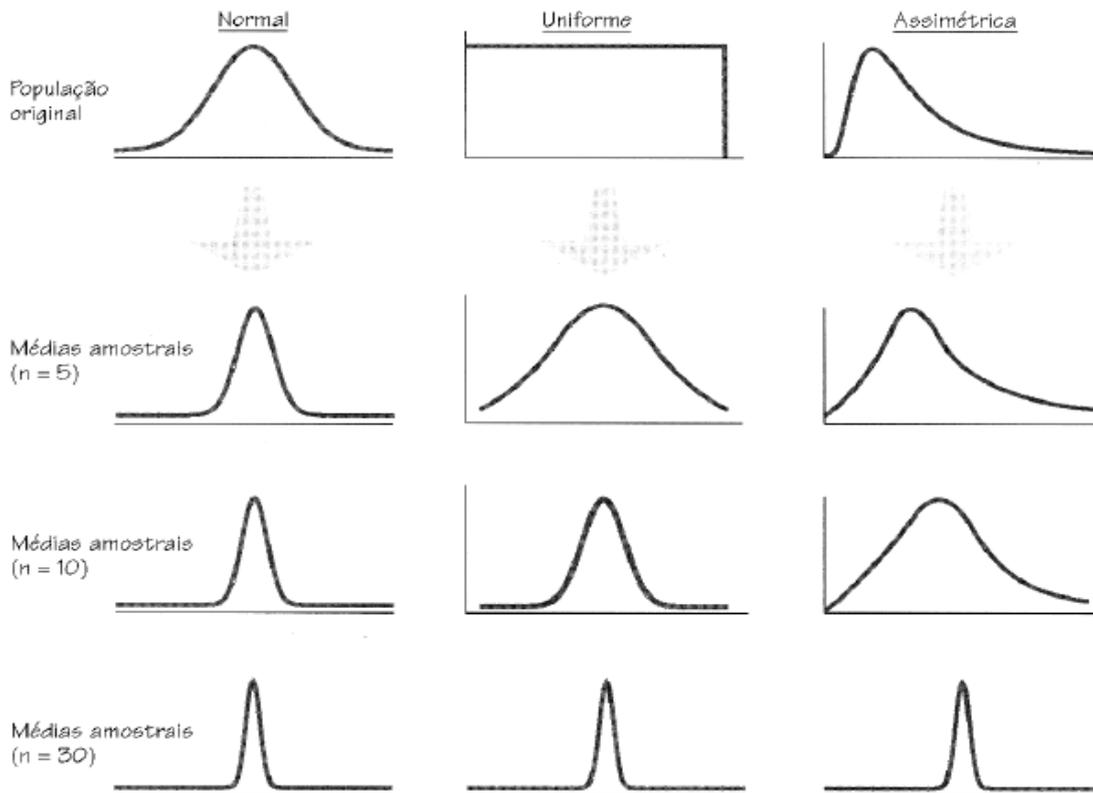
A partir daí, outro resultado importante é dado pelo Teorema do Limite Central, de tal modo que para  $m$  grande segue que,

$$\frac{\bar{g} - E[g(\theta)]}{\sqrt{v}}$$

**Equação 34:** Teorema do limite central.

tem distribuição aproximadamente Normal com média 0 e variância 1.

O Teorema do Limite Central é ilustrado na Figura 18, onde é possível observar que uma variável aleatória com distribuição de probabilidade qualquer, discreta ou contínua, aproxima-se assintoticamente da distribuição Normal quando se retira um número grande de amostras desta população. Empiricamente, tamanhos de amostras superiores a 30 são considerados suficientemente grandes.



**Figura 18:** Observação empírica do Teorema do Limite Central (Bussab, 1988).

Resumidamente, a resolução da integral apresentada na Equação 31, pelo método Monte Carlo, consiste em:

1. Gerar  $\theta_1, \dots, \theta_m$  da distribuição Uniforme  $(0,1)$ .
2. Calcular  $g(\theta_1), \dots, g(\theta_m)$ .

3. Calcular a média amostral  $\bar{g} = \sum_{i=1}^m g(\theta_i) / m$ .
4. Calcular  $I = \bar{g}$ .

Segundo Bruni *et al.*, o método de simulação Monte Carlo, incorporado a modelos de finanças, fornece como resultado aproximações para as distribuições de probabilidade dos parâmetros que estão sendo estudados. Para tanto, são realizadas diversas simulações onde, em cada uma delas, são gerados valores aleatórios para o conjunto de variáveis de entrada e para os parâmetros do modelo que estão sujeitos a incerteza. Com base nos valores simulados obtidos é possível mensurar a probabilidade associada ao sucesso de um investimento.

Para Souza e Clemente, ao se realizar uma análise de investimentos, deve-se sempre levar em conta que as estimativas do fluxo de caixa do projeto são valores esperados calculados em função de variáveis sujeitas a incertezas e que, portanto, os valores projetados para o *VPL* ou o retorno esperado do projeto também são valores esperados. A dispersão em torno dos valores esperados irá representar o risco do projeto.

## 5.2 MOVIMENTO BROWNIANO GEOMÉTRICO

No início do século XIX, ao observar o movimento irregular executado por pequenos grãos de pólen suspensos na água, o botânico escocês Robert Brown descreveu o fenômeno que, mais tarde, em 1905, foi abordado quantitativamente por Albert Einstein. Já em 1923, o matemático Norbert Wiener estudou e formalizou rigorosamente o fenômeno observado por Brown, motivado no fenômeno físico do movimento browniano (Hinojosa e Milanés, 2010).

O movimento browniano, também conhecido como processo de Wiener, pode ser definido considerando um processo de tempo contínuo  $X = \{X_t\}_{t \geq 0}$ , com espaço de estados  $E = \Re$ , com as seguintes características (Hinojosa e Milanés, 2010).

- (i)  $X_0 = 0$ .
- (ii)  $X$  tem incrementos independentes.

$$(iii) \quad P(X_t - X_s \leq w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(t-s)}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2(t-s)}} du.$$

(iv)  $X$  possui trajetórias contínuas.

Assim,  $X$  é denominado movimento browniano ou processo de Wiener.

A partir da generalização do processo de Wiener acima, Copeland e Antikarov (2001) definem que em um modelo de avaliação da viabilidade de investimentos as variáveis sujeitas a incertezas, tais como o preço e a demanda por um determinado produto, seguem um comportamento do tipo Movimento Browniano Geométrico (MGB).

Com base nisso, ao se assumir que não existe autocorrelação entre o ponto inicial e os demais pontos distribuídos ao longo de um período de tempo  $t$ , o valor para o período seguinte  $V_{t+\Delta t}$  dessa variável será igual ao seu valor no período anterior  $V_t$ , multiplicado por um fator de crescimento contínuo  $r$ , no intervalo  $\Delta t$ , conforme definido na Equação 35 abaixo.

$$V_{t+\Delta t} = V_t e^{r\Delta t}$$

**Equação 35:** Movimento Browniano Geométrico seguido por uma variável de incerteza.

Pode-se então afirmar que a taxa de crescimento  $r$ , presente na Equação 35, segue uma distribuição de probabilidade Normal com média  $\bar{r}$  e desvio padrão  $\sigma$ . O desvio padrão  $\sigma$  para essa taxa de crescimento  $r$ , considerando um horizonte de previsão  $T$ , é estimado pelas expressões a seguir.

$$\sigma = \frac{\ln\left(\frac{V_T^u}{V_0}\right) - \sum_{i=1}^n r_i}{2\sqrt{T}}, \quad \sigma = \frac{\sum_{i=1}^n r_i - \ln\left(\frac{V_T^l}{V_0}\right)}{2\sqrt{T}}$$

**Equação 36:** Expressões para estimar o desvio-padrão em um processo MGB.

Em que  $V_T^u$ : máximo valor esperado ao final do horizonte (limite superior).

$V_T^l$ : mínimo valor esperado ao final do horizonte (limite inferior).

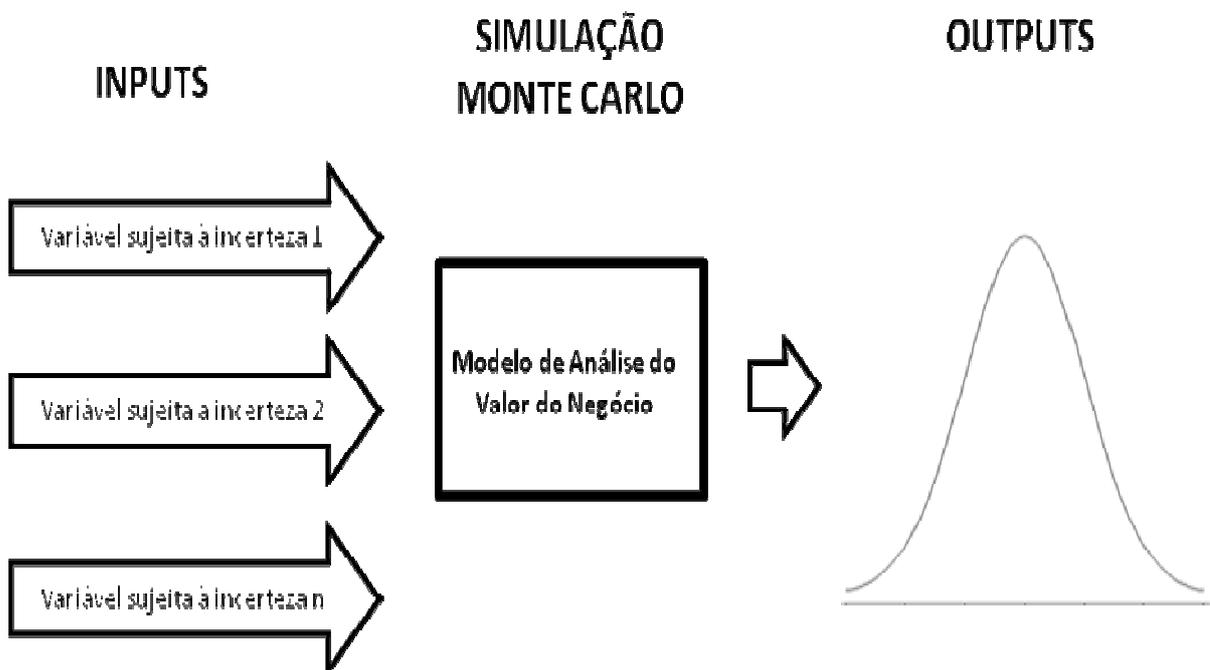
$V_0$ : valor inicial.

A partir da definição dos parâmetros da distribuição Normal chega-se ao intervalo de confiança de 95% para  $r$ , conforme descrito abaixo.

$$r \in [\bar{r}T - 2\sigma\sqrt{T}, \bar{r}T + 2\sigma\sqrt{T}]$$

**Equação 37:** Expressão para o intervalo de confiança de 95% para a taxa  $r$ .

Portanto, explicam Copland e Antikarov que no modelo determinístico de avaliação do valor do negócio de um projeto alguns *inputs* são variáveis sujeitas a incertezas, tal como a demanda e por esse motivo o modelo de avaliação do valor do negócio poderá ser tratado como um processo estocástico do tipo MGB. A Figura 19 ilustra a relação entre o processo estocástico gerado pela simulação Monte Carlo e o modelo determinístico de avaliação de investimentos.



**Figura 19:** Esquema de incorporação de variáveis aleatórias no modelo determinístico de análise de investimentos (adaptado de Copeland e Antikarov, 2001).

## 6 METODOLOGIA PARA QUANTIFICAR O RISCO DE DEMANDA DE TRÁFEGO

Na análise de investimentos em projetos de concessão de rodovias, conforme já discutido, a composição do Valor Presente líquido ( $VPL_k$ ) do investimento é função do Fluxo de Caixa ( $FC_k$ ) projetado para o prazo de concessão. O  $FC_k$  esperado para o período  $T$  pode ser obtido por,

$$FC_k = \sum_{i=1}^T (RT_{kt_i} - CT_{kt_i})$$

**Equação 38:** Fluxo de Caixa do investimento em uma concessão.

Em que  $RT_{kt_i}$  : projeção de receita para o ano  $t_i$  e concessão  $k$  .

$CT_{kt_i}$  : projeção dos custos do projeto para o ano  $t_i$  e concessão  $k$  .

A Receita Total ( $RT_k$ ), por sua vez, pode ser obtida pelo produto entre a tarifa ofertada ( $P_k$ ) pela Concessionária no leilão de licitação e a projeção de demanda de tráfego ( $q_{kt_i}$ ), de acordo com a definição presente na Equação 39.

$$RT_k = P_k \times \sum_{i=1}^T q_{kt_i}$$

**Equação 39:** Receita Total.

Em que  $P_k$  : valor da tarifa de pedágio ofertada na licitação.

$q_{kt_i}$  : demandas projetadas.

A literatura sobre modelagem de demanda, segundo Senna e Michel, é abundante e entre os trabalhos que tratam do tema incluem Ben-Akina e Lerman (1985) e Ortuzar e Willumsen (1994). Senna e Michel explicam que existe uma dificuldade de previsão de demanda que pode estar relacionada ao fato dos níveis de tráfego poder ser afetados por diversos eventos, dentre eles a presença de alternativas modais, conexões com outras rodovias dentro do trecho concedido e ainda por mudanças no cenário econômico.

De outro modo, explicam Pires e Giambiagi (2000) que o valor esperado de demanda inicial do projeto, representado aqui por  $q_{kt_1}$ , e a taxa de crescimento média anual projetada para o período de concessão, representada aqui por  $\bar{g}_k$ , são dois parâmetros sujeitos a incertezas e como  $P_k$  é definido na proposta comercial e como é provável ocorrer um erro na previsão tanto de  $q_{kt_1}$  como  $\bar{g}_k$ , o Fluxo de Caixa ( $FC_k$ ) efetivo do projeto de investimento poderá ser diferente do esperado. Conseqüentemente a taxa de retorno efetiva *ex-post* do projeto poderá divergir da taxa de retorno esperada *ex-ant*.

De acordo com os conceitos já abordados, o valor do negócio calculado com base no Fluxo de Caixa ( $FC_k$ ), trazido a valor presente pela Taxa Interna de Retorno ( $TIR_k$ ) do projeto, obtendo-se o Valor Presente Líquido ( $VPL_k$ ) do investimento, o qual representa o valor do negócio. O valor da  $TIR_k$  é a taxa utilizada como referência para o equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessão da Fase I da segunda etapa do PROCOFE.

As variáveis  $q_{kt_1}$  e  $\bar{g}_k$  serão tratadas, a partir de agora, como variáveis aleatórias. Assim, segue-se com definição das distribuições de probabilidade que melhor se ajustem a essas variáveis aleatórias para posterior geração das distribuições empíricas de probabilidade pelo processo de simulação Monte Carlo.

Os dados de entrada para realização das simulações têm origem nas planilhas com as propostas comerciais submetidas pelas Concessionárias vencedoras dos certames licitatórios, como parte dos requisitos exigidos nos editais de concessão da segunda etapa. As referidas planilhas apresentam os Fluxos de Caixa dessas propostas. Tais informações foram obtidas junto à Agência Nacional de Transportes Terrestres.

Os dados de demanda projetada correspondem ao volume total de veículos equivalentes previstos pelas Concessionárias para os 25 anos de concessão. As demandas de tráfego consideradas neste estudo referem-se ao somatório do número de veículos equivalentes constantes das propostas comerciais apresentadas pelas Concessionárias vencedoras dos processos de licitação dos seis trechos analisados. O número de veículos equivalentes é obtido em função do Volume Médio Diário (VDM) de tráfego, multiplicado pelos fatores de equivalência para cada categoria de veículo.

Ressalta-se que os editais de concessão dos seis trechos de rodovias utilizadas neste estudo estabeleciam que a demanda prevista para o primeiro ano de concessão deveria ser dividida por dois em razão do cronograma previsto para o primeiro ano de cada concessão. Dessa forma, os valores utilizados nas simulações da demanda inicial representam metade do previsto para o primeiro ano.

Para a modelagem das variáveis demanda inicial e taxa média de crescimento utilizaram-se os dados constantes das propostas comerciais de seis trechos referentes à fase I da segunda etapa do PROCOFE, conforme mostrado na Tabela 8.

**Tabela 8:** Informações gerais das concessões selecionadas para definição do modelo de simulação.

Concessão	Prazo de concessão	Início da concessão	Início da cobrança de pedágio
Autopista Fluminense	25 anos	18/02/2008	02/02/2009
Autopista Fernão Dias	25 anos	18/02/2008	19/12/2008
Autopista Litoral Sul	25 anos	15/02/2008	22/02/2009 (Praças 1 e 2) 12/05/2009 (Praça 4) 04/06/2009 (Praça 3) 17/06/2009 (Praça 5)
Autopista Planalto Sul	25 anos	15/02/2008	19/12/08 (Praças 1) 18/01/09 (Praças 2) 04/02/09 (Praças 3) 04/02/09 (Praças 4) 22/02/09 (Praças 5)
Autopista Régis Bittencourt	25 anos	15/02/2008	29/12/2008
Rodovia do Aço	25 anos	27/03/2008	05/03/2009

**Fonte:** Relatório de Concessões Rodoviárias 2010 (ANTT).

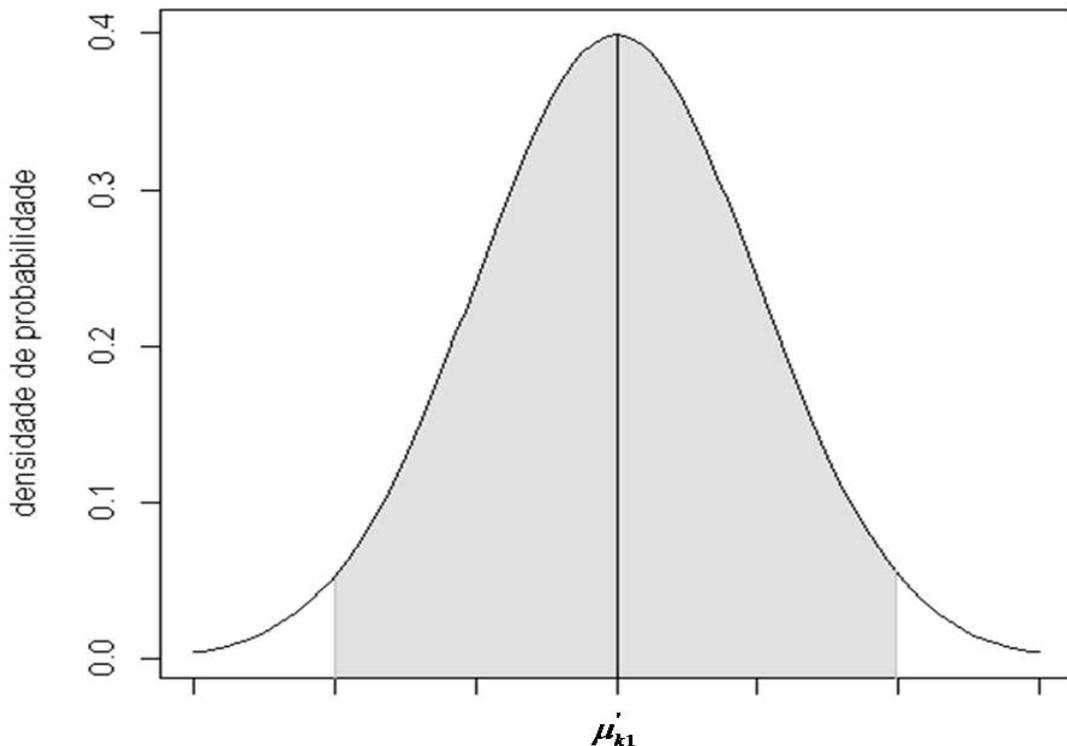
No entanto, para efeito de incorporação das distribuições geradas ao Fluxo de Caixa e definição das variações dos Valores do Negócio e Taxa de Retorno, utilizou-se o caso específico da Concessionária Autopista Fluminense, conforme será discutido mais adiante.

## 6.1 MODELAGEM DA DEMANDA INICIAL

Para ajuste da distribuição de probabilidade de  $q_{kt_1}$  partiu-se de duas premissas relativas à simetria das prováveis distribuições que melhor se ajustam a essa variável aleatória.

**Premissa 1:** Testou  $q_{kt_1}$  seguindo uma distribuição de probabilidade Normal. Ao considerar que a demanda inicial segue esta distribuição de probabilidade, admite-se que os valores para essa variável estarão distribuídos de forma simétrica em torno da média, com maiores de probabilidades de ocorrência desses valores em torno do valor esperado, tal como ilustrado na Figura 20.

Ressalta-se que na literatura pesquisada muitos autores têm se valido da distribuição Normal para representar o comportamento da demanda inicial prevista, tal como Neves da Silva (2004), em seu trabalho sobre a avaliação do risco de tráfego em concessões de infraestrutura rodoviária.



**Figura 20:** Distribuição de probabilidade Normal

A área total sob a curva possui soma igual a 1. Isso indica que a probabilidade de uma

observação assumir um valor entre dois pontos quaisquer é igual à área compreendida entre esses dois pontos e quanto mais afastado do centro da curva, menor é a probabilidade de ocorrência do valor. A área hachurada da Figura 20 soma aproximadamente 0,95, que representa a probabilidade das observações estarem contidas a dois desvios-padrões do valor esperado.

Os parâmetros que representam a distribuição Normal são o valor esperado, representado aqui por  $\mu'_{kt_1}$ , e o desvio-padrão, representado aqui por  $\sigma'_{kt_1s}$ .

$$q_{kt_1} \sim N(\mu'_{kt_1}, \sigma'_{kt_1s})$$

**Equação 40:** Representação da demanda inicial com distribuição Normal.

Admitiu-se que o valor esperado para a demanda inicial é o próprio valor projetado pela Concessionária definido na proposta comercial, ou seja,  $\mu'_{kt_1} = q_{kt_1}$ . Para definição dos desvios-padrões das distribuições, fixaram-se faixas de dispersão dos dados em torno da média, a partir de valores pré-estabelecidos de coeficiente de variação em quatro Cenários hipotéticos de dispersão dos dados em torno do valor esperado (Cenários  $s = 1,2,3,4$ ).

**Tabela 9:** Coeficientes de variação para os quatro Cenários hipotéticos de dispersão.

Cenários para dispersão de $q_{kt_1}$	$\sigma'_{kt_1s}$	CVs
1	$\sigma'_{kt_11}$	5%
2	$\sigma'_{kt_12}$	10%
3	$\sigma'_{kt_13}$	50%
4	$\sigma'_{kt_14}$	95%

Os valores dos  $\sigma'_{kt_1s}$  para cada um dos  $s$  Cenários foram estimados da seguinte forma:

$$\sigma'_{kt_1s} = q_{kt_1} \times CV_s$$

**Equação 41:** Cálculo dos desvios-padrões da distribuição Normal.

A justificativa para escolha dos coeficientes de variação da demanda inicial representando cada um dos quatro Cenários hipotéticos é descrita a seguir.

- **Cenário 1:** Considerou-se aqui um Cenário com uma dispersão máxima de 5% dos valores em torno do valor esperado. Nesta situação, admite-se um Cenário otimista, com pequeno erro de projeção inerente ao próprio modelo de projeção de demanda.
- **Cenário 2:** Considerou-se aqui um Cenário com uma dispersão máxima de 10% dos valores em torno do valor esperado. Neste Cenário, admite-se uma situação mais pessimista em relação ao Cenário 1, denominado aqui de Cenário moderado, mas também com erros de projeção intrínsecos à modelagem de demanda.
- **Cenário 3:** Aqui considera-se um Cenário pessimista, com a possibilidade de elevados erros de previsão na demanda inicial e/ou ocorrência de eventos externos impactando nos valores esperados de demanda, de tal forma que há possibilidade de dispersões, neste Cenário, de até 50% em relação aos valores projetados.
- **Cenário 4:** Neste Cenário mais extremo, considerou-se a possibilidade de altos erros de previsão da demanda inicial associados a eventos externos impactando fortemente na dispersão dos valores esperados. Esta dispersão de 95% representa um coeficiente de variação admitido próximo ao valor 1, o que reflete uma distribuição em que o desvio-padrão se aproxima do próprio valor esperado.

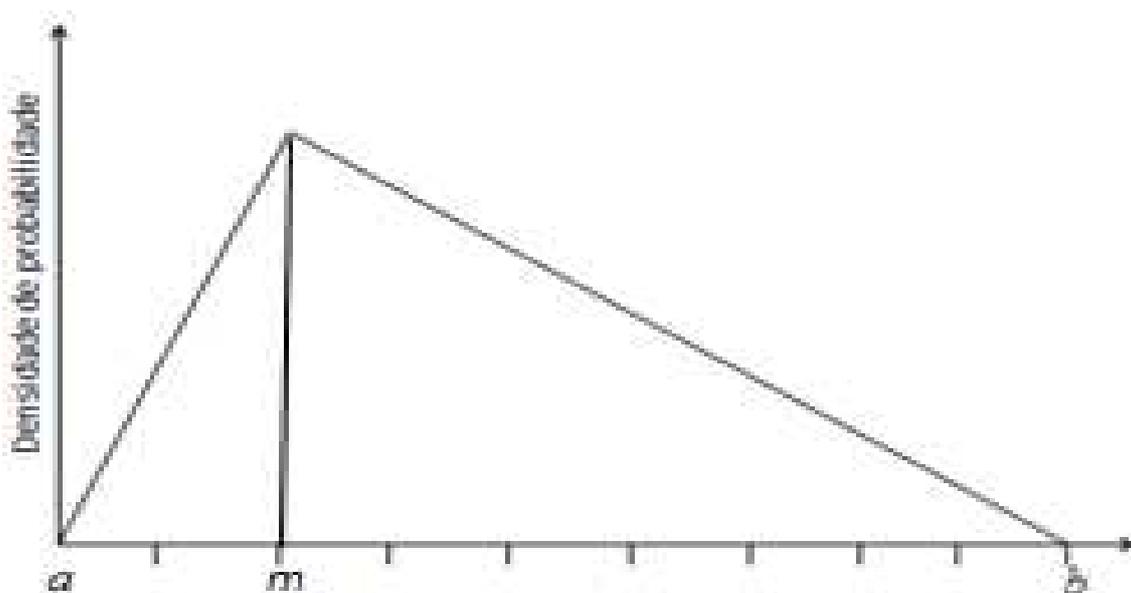
Tem-se, portanto, Cenários para a demanda inicial passando pelo otimista (Cenário 1), moderado (Cenário 2), pessimista (Cenário 3) e o Cenário extremo, altamente pessimista (Cenário 4).

Considerando que empiricamente distribuições de probabilidade com coeficientes de variação inferiores a 30% refletem distribuições de probabilidade pouco dispersas, homogêneas ou estáveis, enquanto que coeficientes superiores a esse valor refletem distribuições muito dispersas, heterogêneas ou instáveis, pode-se dizer que os dois primeiros Cenários contemplam demandas iniciais esperadas pouco dispersas em torno do

valor médio, enquanto que para os dois últimos, esperam-se distribuições muito dispersas ou instáveis.

**Premissa 2:** Testou  $q_{kt_1}$  seguindo uma distribuição de probabilidade triangular assimétrica à esquerda. Segundo Bressan (2002), a distribuição de probabilidade triangular é um bom modelo entre a distribuição uniforme e a distribuição Normal quando se conhecem apenas o valor mais provável ( $m$ ), o limite inferior ( $a$ ) e o limite superior ( $b$ ).

Diferentemente da Normal, que é simétrica, pode-se gerar tanto distribuições assimétricas à esquerda quanto distribuições assimétricas à direita a partir do conhecimento dos parâmetros da distribuição triangular, sendo por esse motivo uma distribuição muito aplicada em processos de simulação. A Figura 21 ilustra o comportamento de uma distribuição triangular assimétrica à esquerda.



**Figura 21:** Ilustração de uma distribuição triangular assimétrica à esquerda (Elaborado pelo autor).

Dessa possibilidade de geração de distribuições assimétricas à esquerda decorre o fato de se testar a variável aleatória demanda inicial com distribuição triangular. Admitiu-se, para tanto, que os valores reais mais prováveis de demanda inicial estarão concentrados em torno do valor mais provável situado à esquerda, tendo como hipótese o fato de que as demandas projetadas nas propostas vencedoras das licitações tendem a ser otimistas ou

superestimadas pelas empresas participantes dos processos licitatórios.

Sobre esse aspecto, convém aqui mencionar a chamada “Maldição do vencedor”, cujo conceito é descrito no trabalho desenvolvido por Capen *et al.* (1971), no qual é demonstrado que as empresas vencedoras dos processos licitatórios nem sempre são as mais eficientes, mas sim as mais “otimistas”.

Em seguida, os limites inferiores ( $a$ ) e os limites superiores ( $b$ ) para geração dos números aleatórios para cada um dos  $s$  Cenários já definidos anteriormente foram estimados, respectivamente, por:

$$a_{ks} = q_{k1s} - (q_{k1s} \times CV_s) \quad , \quad b_{ks} = q_{k1s} + (q_{k1s} \times CV_s)$$

**Equação 42:** Cálculo dos limites inferiores e superiores da distribuição triangular.

## 6.2 MODELAGEM DA TAXA MÉDIA DE CRESCIMENTO DA DEMANDA

Definidos os parâmetros de entrada para realização das simulações da demanda inicial, passou-se ao ajuste da distribuição de probabilidade da taxa média de crescimento. Para tanto, partiu-se do trabalho de Copland e Antikarov (2001) baseado na aplicação da teoria do processo estocástico de Movimento Browniano Geométrico discutido no capítulo 5.

Dessa forma, admitiu-se que a variável aleatória taxa média de crescimento da demanda segue uma distribuição Normal de probabilidade. Passou-se, então, ao processo de definição dos parâmetros desta distribuição. Para tanto, a partir da Equação 35, estimou-se a taxa média de crescimento da demanda projetada para as  $k$  concessões pelo ajuste da Equação 43, mostrada abaixo.

$$q_{kt_i} = q_{kt_{i-1}} e^{g_{kt_{i-1}}}$$

**Equação 43:** Modelo para as taxas de crescimento da demanda.

As taxas de crescimento para cada ano da concessão foram obtidas pela manipulação algébrica da Equação 44.

$$g_{kt_{i-1}} = \ln \left( \frac{q_{kti}}{q_{kt_{i-1}}} \right)$$

**Equação 44:** Expressão para cálculo das taxas de crescimento.

Calculou-se, em seguida, o valor médio da taxa de crescimento ( $\bar{g}_k$ ) por,

$$\bar{g}_k = \frac{\sum_{i=2}^T g_{kt_{i-1}}}{T - 1}$$

**Equação 45:** Cálculo da taxa média de crescimento.

De posse dos valores das taxas médias de crescimento, seguiu-se ao cálculo dos desvios-padrões da distribuição. Para tanto, os valores para a mínima demanda esperada ao final do horizonte da concessão ( $T$ ) foram definidos considerado quatro Cenários ( $w = 1,2,3,4$ ) de variação dos limites inferiores das taxas de crescimento.

**Tabela 10:** Cenários para a variação das taxas de crescimento.

Cenários	$\sigma'_{kgw}$	Varição dos limites inferiores
1	$\sigma'_{kg1}$	5%
2	$\sigma'_{kg2}$	10%
3	$\sigma'_{kg3}$	15%
4	$\sigma'_{kg4}$	50%

Os limites inferiores para os últimos anos das projeções foram adotados como referência, partindo-se da premissa de que as taxas de crescimento projetadas pelas Concessionárias tendem a ser superestimadas. Admitiu-se que os limites inferiores e superiores para os valores projetados para o último ano de concessão poderiam variar em 5%, 10%, 15% e 50% dos valores esperados nos  $w$  Cenários.

Assim como para os Cenários definidos para a demanda inicial, estes Cenários também contemplariam situações hipotéticas refletindo variações nas taxas de crescimento indo da otimista à pessimista. Assim, no Cenário 1 tem-se uma situação otimista, no Cenário 2 moderada, no Cenário 3 pessimista e no Cenário 4, extremamente pessimista.

Os desvios-padrões ( $\sigma'_{k\bar{g}w}$ ) para cada um dos  $w$  Cenários de variação das taxas de crescimento foram calculados com base na Equação 36 da seguinte forma:

$$\sigma'_{k\bar{g}w} = \frac{\sum_{i=1}^{T-1} r_i - \ln\left(\frac{q_{kt_{25}}^{\text{inferior}}}{q_{kt_1}}\right)}{2\sqrt{T-1}}$$

**Equação 46:** Cálculo dos desvios-padrões das taxas de crescimento.

Em que  $\sigma'_{k\bar{g}w}$ : desvio-padrão para a taxa de crescimento médio da demanda ( $\bar{g}$ ) em  $w$  Cenários.

$$\sum_{i=1}^{T-1} r_i = \bar{g}_k \times (T-1)$$

$T = 25$  anos: prazo total das concessões.

$q_{kt_{25}}^{\text{inferior}}$ : valor do limite inferior para o último valor projetado.

$q_{kt_1}$ : demanda inicial.

### 6.3 CENÁRIOS COMBINADOS E PROBABILIDADE DE CONFIANÇA

A partir da combinação dos  $s$  Cenários definidos para a demanda inicial e dos  $w$  Cenários definidos para as taxas médias de crescimento da demanda, chegou-se aos 16 Cenários combinados mostrados na Tabela 11.

**Tabela 11:** Definição e descrição dos Cenários combinados para a demanda inicial e taxa média de crescimento da demanda.

Cenários combinados	Cenário para Demanda inicial ( $s$ )	Cenários para a taxa média de crescimento da demanda ( $w$ )	Descrição
Cenário 1	1	1	Otimista para demanda inicial e otimista para taxa média de crescimento da demanda.
Cenário 2	1	2	Otimista para demanda inicial e moderado para a taxa média de crescimento da demanda.
Cenário 3	1	3	Otimista para demanda inicial e pessimista para taxa média de crescimento da demanda.
Cenário 4	1	4	Otimista para demanda inicial e extremamente pessimista para taxa média de crescimento da demanda.
Cenário 5	2	1	Moderado para demanda inicial e otimista para taxa média de crescimento da demanda.
Cenário 6	2	2	Moderado para demanda inicial e moderado para a taxa média de crescimento da demanda.
Cenário 7	2	3	Moderado para demanda inicial e pessimista para taxa média de crescimento da demanda.
Cenário 8	2	4	Moderado para demanda inicial e extremamente pessimista para taxa média de crescimento da demanda.
Cenário 9	3	1	Pessimista para demanda inicial e otimista para taxa média de crescimento da demanda.
Cenário 10	3	2	Pessimista para demanda inicial e moderado para a taxa média de crescimento da demanda.
Cenário 11	3	3	Pessimista para demanda inicial e pessimista para taxa média de crescimento da demanda.
Cenário 12	3	4	Pessimista para demanda inicial e extremamente pessimista para taxa média de crescimento da demanda.
Cenário 13	4	1	Extremamente pessimista para demanda inicial e otimista para taxa média de crescimento da demanda.
Cenário 14	4	2	Extremamente pessimista para demanda inicial e moderado para a taxa média de crescimento da demanda.
Cenário 15	4	3	Extremamente pessimista para demanda inicial e pessimista para taxa média de crescimento da demanda.
Cenário 16	4	4	Extremamente pessimista para demanda inicial e extremamente pessimista para taxa média de crescimento da demanda.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

De posse dos 16 Cenários combinados, passou-se então à definição dos valores de referência das distribuições empíricas de probabilidades geradas para os  $s$  Cenários de demanda inicial e os  $w$  Cenários das taxas de crescimento.

Tanto para a demanda inicial quanto para a taxa média de crescimento utilizou-se os valores observados para os limites inferiores e superiores das distribuições geradas, considerando, para tanto, o intervalo a menos dois desvios-padrões como limites inferiores e a mais dois desvios-padrões como limites superiores.

Para a distribuição Normal a probabilidade dos valores estarem contidos no intervalo a dois desvios-padrões da média é de 0,9544. Ou seja, para esta distribuição, a probabilidade dos valores estarem distribuídos de forma simétrica em torno do valor central a dois desvios-padrões é de aproximadamente 95%.

As expressões da Equação 47 representam os limites inferiores e superiores, tanto para a demanda inicial como para a taxa média de crescimento, a partir da probabilidade fixada de 0,9544 para as distribuições empíricas geradas pela simulação Monte Carlo.

$$P_A(-2\sigma_{kt_1s} \leq q_{kt_1} \leq 2\sigma_{kt_1s}) = 0,9544, \quad P_B(-2\sigma_{k_{gw}} \leq \bar{g}_k \leq 2\sigma_{k_{gw}}) = 0,9544$$

**Equação 47:** Cálculo dos desvios-padrões das taxas de crescimento.

Dado que as variáveis aleatórias demanda inicial e taxa média de crescimento estão sendo tratadas como variáveis aleatórias independentes, calcula-se a probabilidade da interseção entre o evento A, representado pela probabilidade  $P_A$  e do evento B, representado pela probabilidade  $P_B$  da Equação 47 como,

$$P_{AB}(A \cap B) = P_A \times P_B = 0,9109$$

**Equação 48:** Definição da probabilidade de interseção entre dois eventos A e B.

Portanto, a probabilidade de confiança adotada para todos os 16 Cenários combinados de demanda inicial e taxa média de crescimento foi fixada em aproximadamente 91%. Dessa forma as faixas de variação dos valores do negócio e das taxas internas de retorno estão fixadas para esta probabilidade.

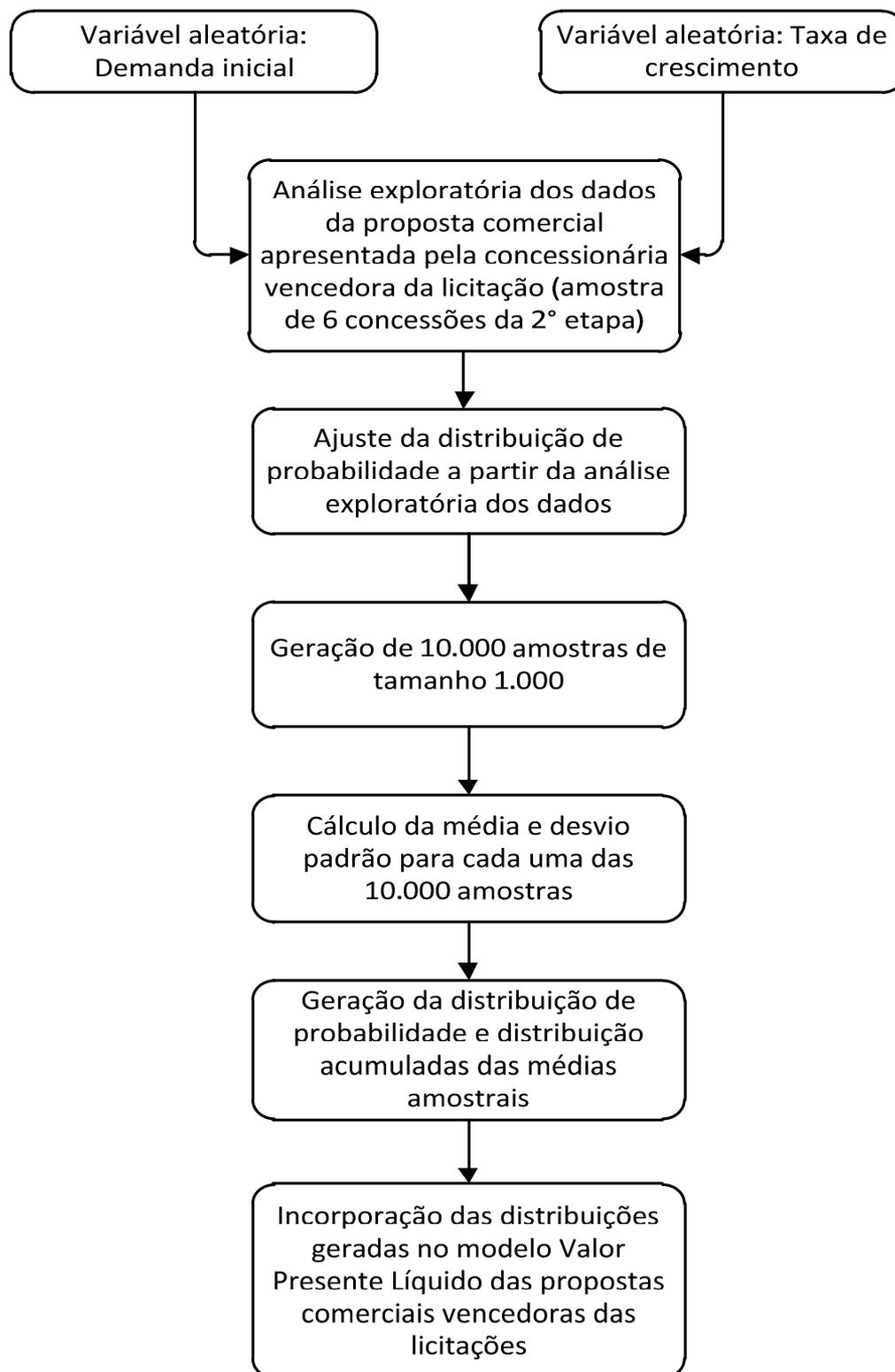
A interpretação desta probabilidade indicará que em cem amostras, espera-se que em aproximadamente 91 delas os reais valores de *VPL* e *TIR* estejam contidos no intervalo de confiança gerado pelas distribuições empíricas de probabilidade simuladas.

Neste ponto, o método Monte Carlo foi novamente relevante, uma vez que a probabilidade definida acima foi empiricamente demonstrada a partir da simulação de duas variáveis aleatórias independentes  $X$  e  $Y$ , com distribuições de probabilidade Normal padrão, cujo produto  $Z = X \times Y$  resultou em uma distribuição Normal. Fixando-se os mesmos limites para ambas as variáveis  $X$  e  $Y$  chegou-se a probabilidade resultante para  $Z$ , da mesma forma como feito na Equação 48.

## **6.4 PROCESSO DE SIMULAÇÃO**

A partir do software SAS 9.1 foram geradas 10.000 mil amostras de tamanho 1.000 cada uma, nos quatro Cenários para demanda inicial e nos quatro Cenários para taxa de crescimento.

A Figura 22 apresenta esquematicamente o processo de simulação adotado.



**Figura 22:** Processo de simulação (Elaborado pelo autor).

A geração de números aleatórios no SAS é feita a partir da especificação de uma função específica que representa a distribuição de probabilidade a ser gerada. Uma distribuição Normal, por exemplo, é obtida pela especificação da função *RANNOR* (*seed*), onde o valor

entre parênteses da função determina uma semente para geração dos números aleatórios. A especificação da semente é importante, uma vez que a partir dela é possível chegar aos mesmos números aleatórios gerados sempre que necessário. O algoritmo básico para simulação no SAS de uma variável aleatória  $X$  com distribuição Normal,  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ , será determinado pela função  $\mu + \sigma * RANNOR(seed)$ .

No Apêndice deste trabalho é apresentado um exemplo de algoritmo em SAS implementado para geração dos números aleatórios para um dos Cenários trabalhados. Para cada cenário e premissa foi desenvolvido um algoritmo específico para simulação. A análise dos resultados das simulações foi realizada nos softwares Excel, SPSS e Statistica.

A Tabela 12 mostra as funções do software SAS para as distribuições de probabilidade utilizadas neste trabalho, com as suas respectivas funções densidade de probabilidade.

**Tabela 12:** Funções do SAS para simulação Monte Carlo.

Função do SAS	Distribuição	Parâmetros da distribuição	Função densidade de probabilidade
RANNOR ( <i>seed</i> )	Normal	$\mu, \sigma$	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$
RANTRI ( <i>seed</i> )	Triangular	$m, a, b$	$f(x) = \begin{cases} \frac{2(X-a)}{(m-a)(b-a)} & \text{Se } a \leq X \leq m \\ \frac{2(b-X)}{(b-m)(b-a)} & \text{Se } m \leq X \leq b \\ 0 & \text{Se } X < a, X > b \end{cases}$

**Fonte:** Adaptado de Keenan (2002).

## 6.5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As propostas comerciais vencedoras do segundo lote de concessões basearam a definição da metodologia para simulação. Para efeito de incorporação das distribuições empíricas geradas, utilizou-se o caso da Autopista Fluminense. Assim, a primeira premissa testada foi de que a demanda inicial ( $q_{kt_1}$ ) projetada pela Concessionária Autopista Fluminense

segue uma distribuição Normal com valor esperado  $\mu'_{kt_1} = 20.066.787,7$ <sup>11</sup> e  $\sigma'_{1t_1,s}$  para cada  $s$  Cenário apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13:** Desvios-padrões para demanda inicial (Autopista Fluminense).

Cenários para dispersão de $q_{kt_1,s}$ (Premissa 1)	$\sigma'_{1t_1,s}$
1	$\sigma'_{1t_1,1} = 1.003.339,4$
2	$\sigma'_{1t_1,2} = 2.006.678,8$
3	$\sigma'_{1t_1,3} = 10.033.393,8$
4	$\sigma'_{1t_1,4} = 19.063.448,1$

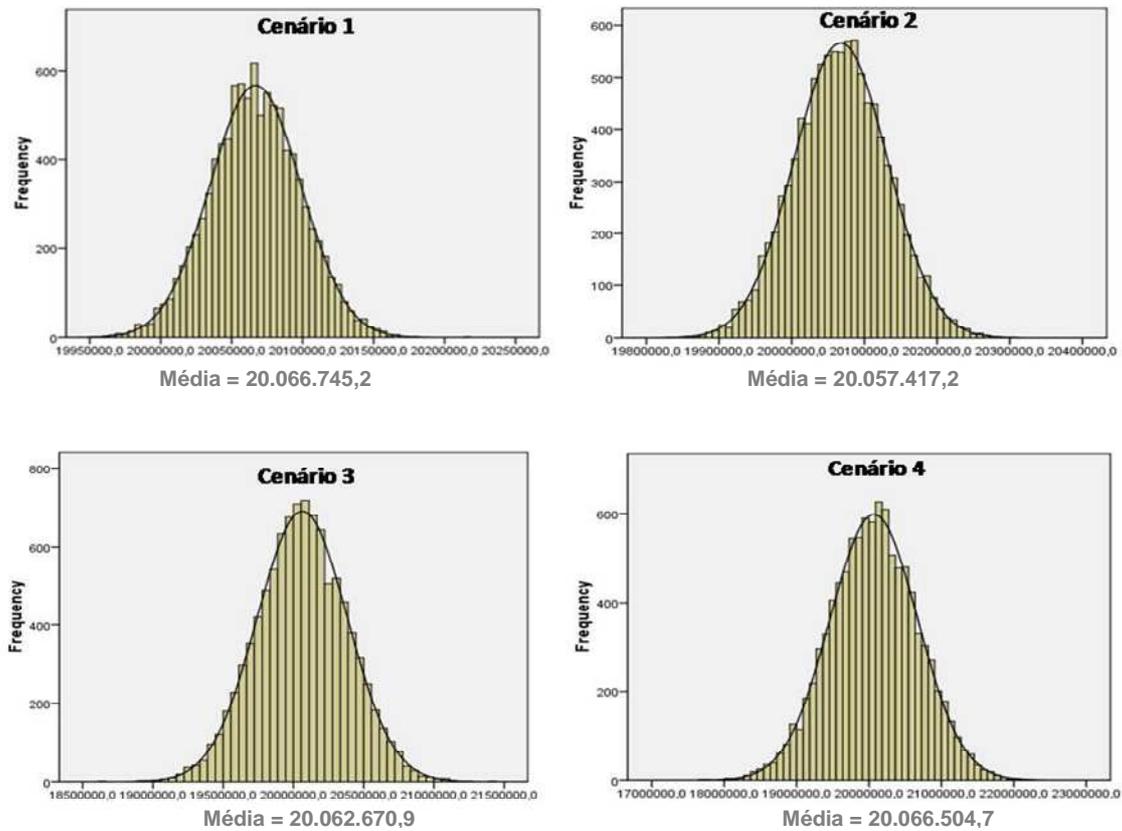
As principais medidas descritivas para os resultados das simulações são apresentadas na Tabela 14.

**Tabela 14:** Resultados das simulações para demanda inicial (Premissa 1 – Autopista Fluminense).

Medidas	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
<b>Média</b>	20.066.745,2	20.067.417,2	20.062.670,9	20.066.504,7
<b>Desvio-Padrão</b>	31.961,8	64.024,7	321.068,7	605.908,1
<b>Mínimo</b>	19.953.019,9	19.831.804,8	18.662.600,2	17.684.604,2
<b>P<sub>10</sub></b>	20.025.973,7	19.985.015,5	19.648.119,9	19.292.328,2
<b>P<sub>20</sub></b>	20.040.035,1	20.013.378,4	19.791.330,7	19.551.816,0
<b>P<sub>30</sub></b>	20.050.341,6	20.033.560,7	19.898.326,6	19.749.494,3
<b>P<sub>40</sub></b>	20.058.425,8	20.050.745,6	19.984.573,9	19.916.269,6
<b>P<sub>50</sub></b>	20.066.487,7	20.067.509,8	20.063.887,3	20.067.719,2
<b>P<sub>60</sub></b>	20.074.870,4	20.083.656,8	20.142.955,9	20.218.460,7
<b>P<sub>70</sub></b>	20.083.356,8	20.100.931,4	20.227.442,1	20.384.610,2
<b>P<sub>80</sub></b>	20.093.613,3	20.120.966,1	20.335.650,7	20.573.452,5
<b>P<sub>90</sub></b>	20.107.884,5	20.149.287,2	20.474.730,4	20.855.326,4
<b>Máximo</b>	20.214.314,2	20.301.553,2	21.417.427,6	22.228.789,2

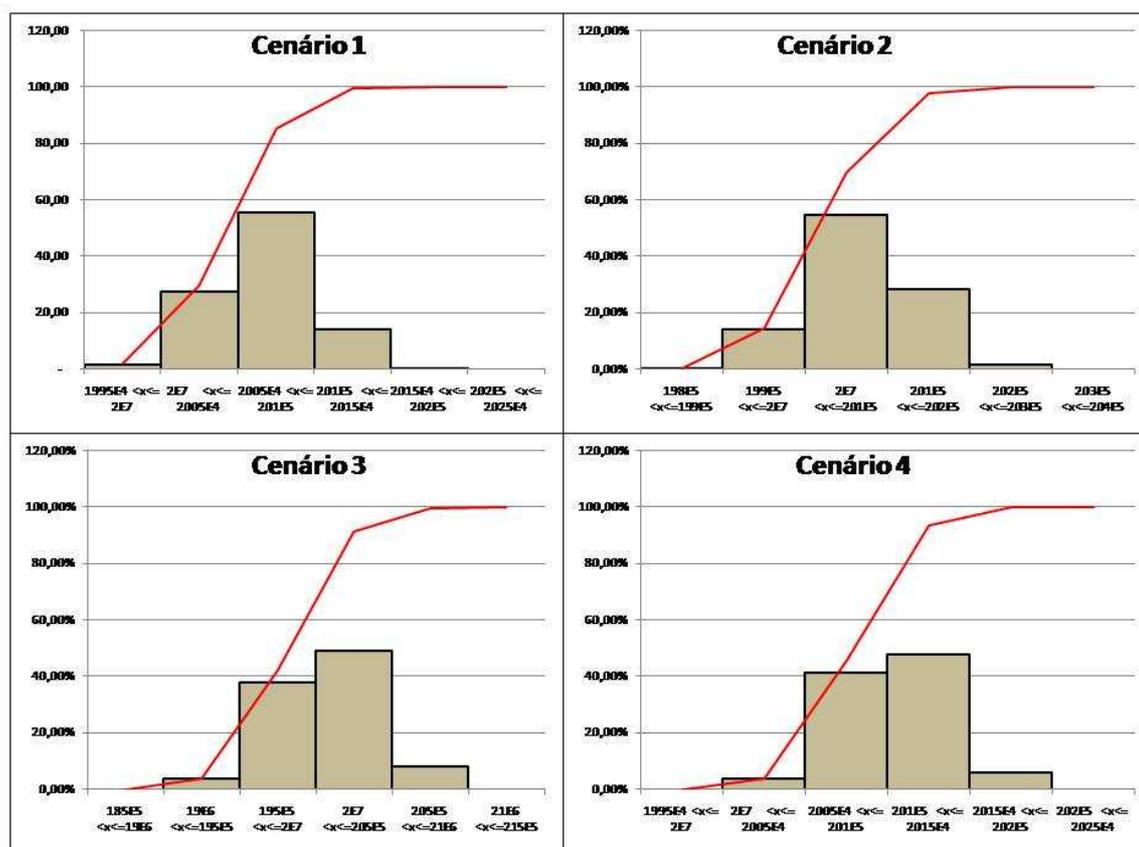
<sup>11</sup> Conforme já discutido, as demandas iniciais que compõem os Fluxos de Caixa projetados nas propostas comerciais vencedoras estão divididas por 2.

A Figura 23 apresenta a distribuição amostral das médias geradas para a primeira premissa de Normalidade da distribuição da demanda inicial.



**Figura 23:** Distribuições normais empíricas geradas para a demanda inicial.

Na Figura 24 apresentam-se os resultados da distribuição de frequência simples e frequência acumulada crescente para intervalos de classe da demanda inicial nos quatro Cenários.



**Figura 24:** Distribuições normais empíricas geradas para a demanda inicial.

A segunda premissa testada foi a de que a demanda inicial ( $q_{kt_1}$ ) para a Concessionária Autopista Fluminense segue uma distribuição triangular assimétrica à esquerda, com parâmetros valor mais provável  $m_{1s} = 20.066.787,7$  e limites inferiores ( $a_{1s}$ ) e limites superiores ( $b_{1s}$ ) para cada Cenário  $s$  apresentados na Tabela 15.

**Tabela 15:** Parâmetros para a distribuição triangular assimétrica à esquerda.

Cenários para dispersão de $q_{kt_1}$	$a_{1s}$	$b_{1s}$
1	$a_{11} = 19.063.448,1$	$b_{11} = 21.070.126,9$
2	$a_{12} = 18.060.108,8$	$b_{12} = 22.073.446,3$
3	$a_{13} = 10.033.393,8$	$b_{13} = 30.100.181,3$
4	$a_{14} = 1.033.339,4$	$b_{14} = 39.130.235,6$

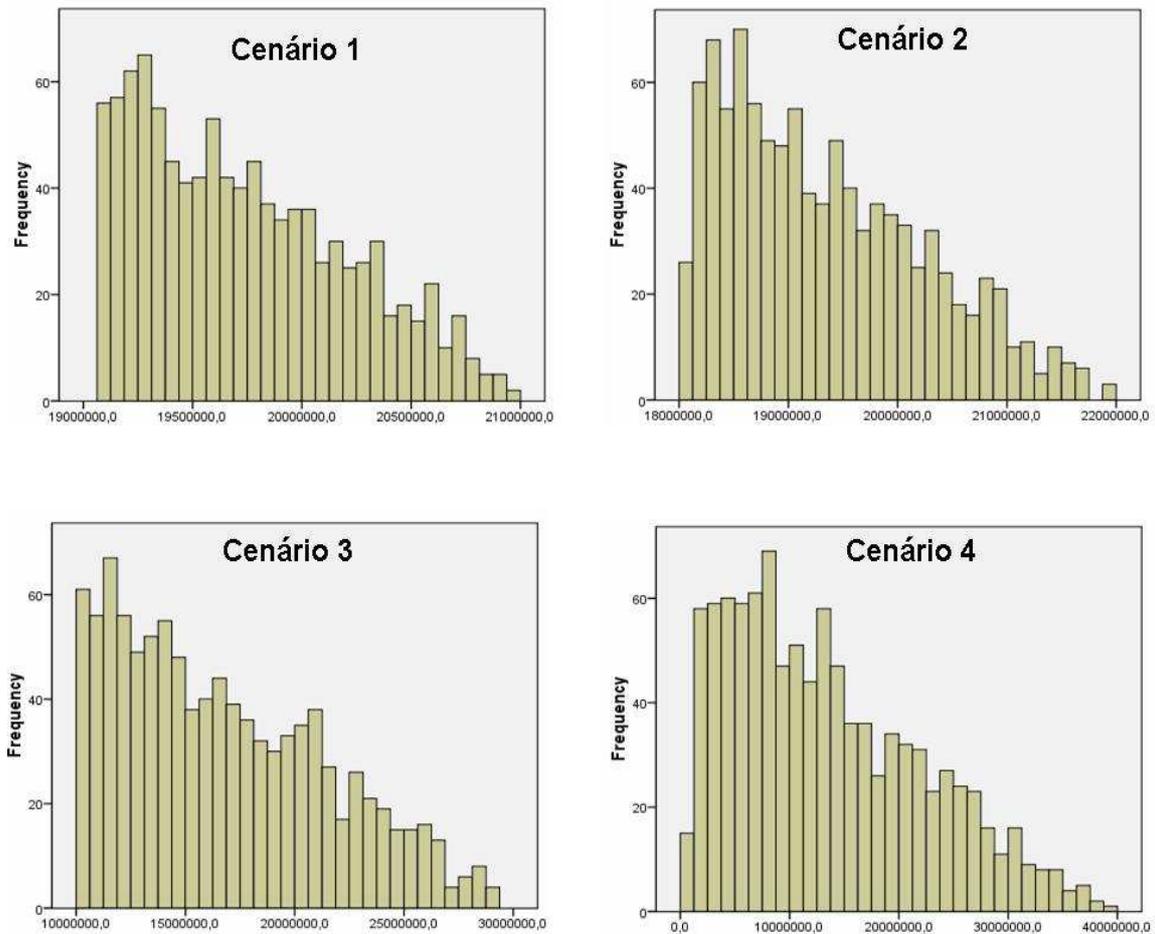
As principais medidas descritivas para os resultados das simulações são apresentadas na Tabela 16.

**Tabela 16:** Resultados das simulações para demanda inicial (Premissa 2 – Autopista Fluminense).

Medidas	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
<b>Média</b>	19.732.153,0	19.398.023,2	16.722.188,3	13.713.526,5
<b>Desvio-Padrão</b>	15.063,1	30.091,4	149.601,9	285.867,8
<b>Mínimo</b>	19.680.269,1	19.294.598,3	16.170.078,8	12.730.990,3
<b>P<sub>10</sub></b>	19.712.676,9	19.359.564,6	16.532.158,8	13.348.170,3
<b>P<sub>20</sub></b>	19.719.453,2	19.372.176,2	16.596.232,7	13.467.980,7
<b>P<sub>30</sub></b>	19.724.255,8	19.382.195,2	16.643.261,4	13.563.160,7
<b>P<sub>40</sub></b>	19.728.441,6	19.390.466,5	16.683.698,9	13.641.738,6
<b>P<sub>50</sub></b>	19.732.309,5	19.398.092,5	16.723.226,8	13.714.185,3
<b>P<sub>60</sub></b>	19.736.028,8	19.405.577,0	16.761.305,6	13.785.288,1
<b>P<sub>70</sub></b>	19.740.043,8	19.413.347,7	16.801.702,9	13.859.109,6
<b>P<sub>80</sub></b>	19.744.870,6	19.423.289,6	16.849.186,5	13.953.557,2
<b>P<sub>90</sub></b>	19.751.486,6	19.436.569,3	16.913.113,7	14.079.714,6
<b>Máximo</b>	19.784.895,5	19.519.068,5	17.345.307,1	14.863.457,3

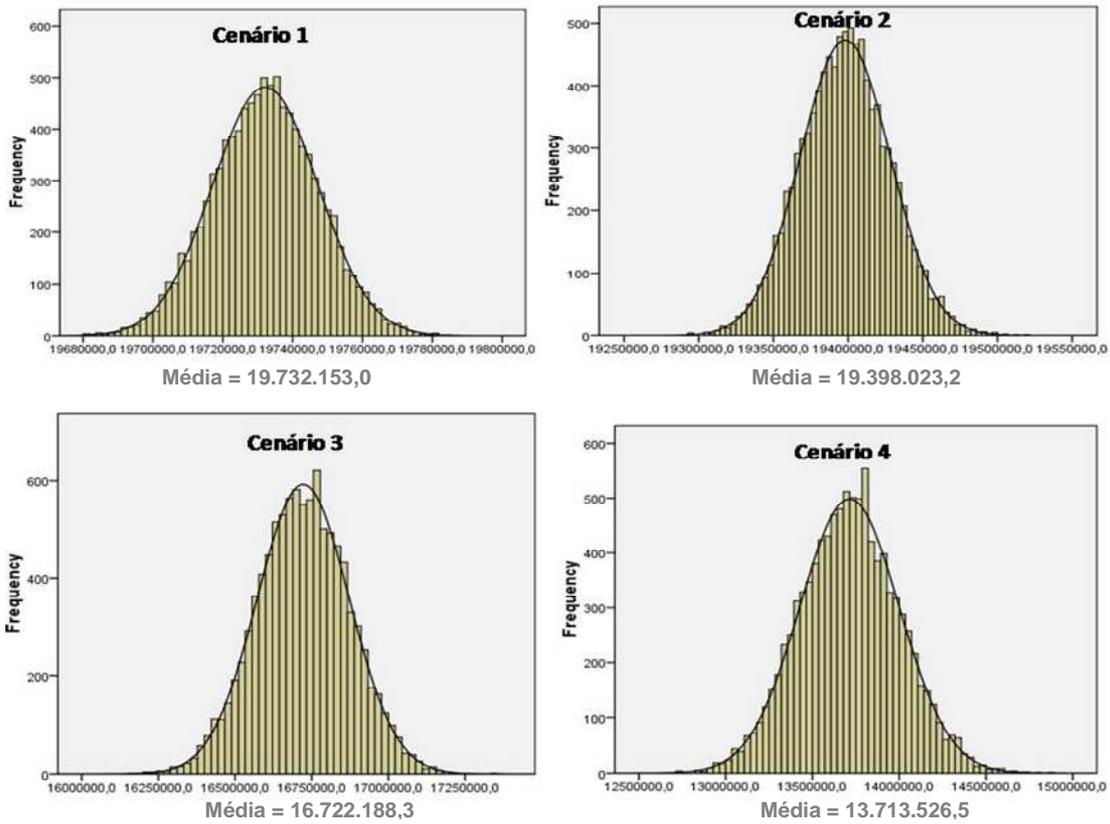
Aqui cabe destacar a verificação empírica do importante teorema da probabilidade e estatística conhecido como Teorema do Limite Central mencionado no capítulo 5, a partir da comparação entre as distribuições mostradas na Figura 25 e as mostradas na Figura 26.

Na Figura 25, ilustra-se graficamente a distribuição de uma amostra de tamanho  $n = 1.000$  retirada arbitrariamente de uma das 10.000 amostras geradas em cada um dos Cenários. Neste caso tem-se efetivamente uma representação da distribuição triangular assimétrica à esquerda intencionalmente gerada.



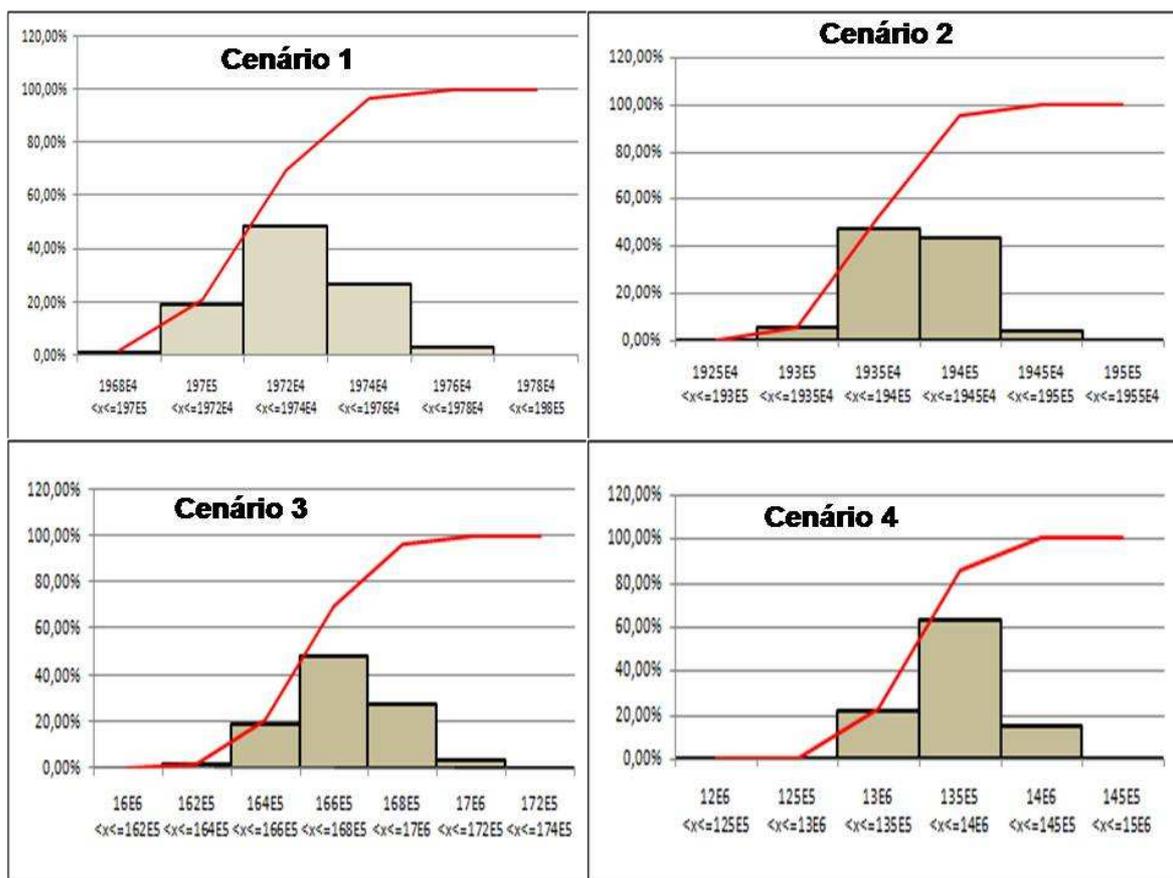
**Figura 25:** Amostra com distribuição triangular à esquerda selecionada.

Já na Figura 26 tem-se a distribuição das médias amostrais de cada uma das dez mil amostras geradas para cada Cenário, onde é possível verificar claramente que, para um número elevado de amostras, a distribuição das médias amostrais converge assintoticamente para a distribuição Normal.



**Figura 26:** Distribuição amostral das médias das amostras com distribuição triangular assimétrica à esquerda.

A Figura 27 apresenta as distribuições de frequência simples e frequência acumulada crescente para a demanda inicial considerando a Premissa 2 de distribuição triangular assimétrica à esquerda.



**Figura 27:** Distribuições de freqüência simples e acumulada crescente para demanda inicial.

Da análise dos resultados obtidos das distribuições empíricas geradas para as duas premissas, admitiu-se aplicar a premissa 1 aos Cenários 1 e 2 de demanda inicial e a premissa 2 para os Cenários 3 e 4. Tal decisão se justifica pelo fato de que, para os dois primeiros Cenários, as dispersões de 5% e 10% dos valores estarão distribuídas de forma simétrica em torno da média, de tal forma que se esperam tanto valores acima quanto abaixo do valor esperado, com iguais probabilidades. Admite-se, portanto, nestes Cenários, que poderá haver erros de projeção da demanda inicial da ordem de 5% e 10%, tanto para cima quanto para baixo.

Já para os Cenários 3 e 4, atribuíram-se dispersões elevadas em Cenários pessimistas, considerando que os erros de projeção para a demanda inicial nesses casos poderiam estar relacionados a eventos impactando na redução do valor esperado do que a erros no modelo de previsão. Conseqüentemente, ao se considerar uma distribuição assimétrica à esquerda atribui-se maiores probabilidades destes valores estarem situados à esquerda da

distribuição. Além disso, não se pode esperar a possibilidade de erros de dispersão muito acima dos valores previstos.

Definidos os Cenários, chega-se aos principais resultados obtidos pelas distribuições empíricas de probabilidade geradas para a demanda inicial para o caso da Concessionária Autopista Fluminense, mostrados na Tabela 17.

**Tabela 17:** Principais resultados das distribuições empíricas de probabilidade geradas para a demanda inicial da Concessionária Autopista Fluminense.

<b>Medidas</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Cenário 4</b>
<b>Média</b>	20.066.745,20	20.067.417,20	16.722.188,30	13.713.526,50
<b>Desvio-Padrão</b>	31.961,80	64.024,70	149.601,90	285.867,80
<b>Mínimo</b>	19.953.019,90	19.831.804,80	16.170.078,80	12.730.990,30
<b>P<sub>10</sub></b>	20.025.973,70	19.985.015,50	16.532.158,80	13.348.170,30
<b>P<sub>20</sub></b>	20.040.035,10	20.013.378,40	16.596.232,70	13.467.980,70
<b>P<sub>30</sub></b>	20.050.341,60	20.033.560,70	16.643.261,40	13.563.160,70
<b>P<sub>40</sub></b>	20.058.425,80	20.050.745,60	16.683.698,90	13.641.738,60
<b>P<sub>50</sub></b>	20.066.487,70	20.067.509,80	16.723.226,80	13.714.185,30
<b>P<sub>60</sub></b>	20.074.870,40	20.083.656,80	16.761.305,60	13.785.288,10
<b>P<sub>70</sub></b>	20.083.356,80	20.100.931,40	16.801.702,90	13.859.109,60
<b>P<sub>80</sub></b>	20.093.613,30	20.120.966,10	16.849.186,50	13.953.557,20
<b>P<sub>90</sub></b>	20.107.884,50	20.149.287,20	16.913.113,70	14.079.714,60
<b>Máximo</b>	20.214.314,20	20.301.553,20	17.345.307,10	14.863.457,30

Com base nas medidas apresentadas na Tabela 17, podem-se extrair os seguintes resultados:

- Resultados Cenário 1: O valor de demanda mais provável simulada para o primeiro ano para a Autopista Fluminense é de 20.066.745 veículos equivalentes. O coeficiente de variação obtido foi de 0,2%, que representa uma distribuição altamente homogênea. A demanda mínima é de 19.953.020 e a máxima de 20.214.314 veículos. A distribuição de frequência simples indica que 83,3% dos

valores para a demanda inicial neste Cenário estarão concentrados entre 20.000.000 e 20.100.000 veículos equivalentes. O percentil noventa, representado na Tabela 17 por  $P_{90}$ , indica que 90% do volume de veículos equivalentes neste Cenário serão de até 20.107.885.

- Resultados Cenário 2: O valor de demanda mais provável simulada para o primeiro ano para a Autopista Fluminense é de 20.067.417 veículos equivalentes. A demanda mínima é de 19.831.804 e a máxima de 20.301.553 veículos. O  $P_{90} = 20.149.287,20$  indica que em 90% dos valores de demanda projetada serão iguais ou inferiores a este valor.
- Resultados Cenário 3: O valor de demanda mais provável simulada para o primeiro ano é de 16.722.188 veículos equivalentes. O  $P_{90} = 16.913.114$  indica que 90% dos valores serão iguais ou inferiores a este valor. A distribuição acumulada crescente indica que 95,28% das demandas para este Cenário estarão distribuídas no intervalo de classe de 16.400.000 a 17.000.000 veículos.
- Resultados Cenário 4: O valor de demanda mais provável simulada para o primeiro ano para a Autopista Fluminense é de 13.713.527. O  $P_{90} = 14.079.715$  indica que em 90% das amostras os valores as projeções para as taxas de crescimento serão iguais ou inferiores a este valor.

Obtidos os resultados para a variável demanda inicial, passou a análise dos resultados da variável aleatória taxa média de crescimento da demanda, representada aqui por  $\bar{g}_1$ . Para tanto, com base nos dados de entrada obtidos na proposta comercial, calculou-se um valor esperado de taxa de crescimento a partir da Equação 45, cujo valor obtido foi de  $\bar{g}_1 = 4,19\%$  ao ano.

Na sequência, com base na Equação 46, calcularam-se os desvios-padrões para cada um dos  $w = 1, 2, 3, 4$  Cenários já discutidos. A Tabela 18 apresenta os resultados dos desvios-padrões estimados.

**Tabela 18:** Desvios-padrões calculados para a taxa média de crescimento da demanda (Autopista Fluminense).

Cenários para $\bar{g}_1$	$\sigma_{1g\bar{w}}$
1	$\sigma_{1g1} = 0,52\%$
2	$\sigma_{1g2} = 1,08\%$
3	$\sigma_{1g3} = 1,66\%$
4	$\sigma_{1g4} = 7,07\%$

A Tabela 19 e as Figuras 28 e 29 apresentam os resultados para os valores simulados para a taxa média de crescimento.

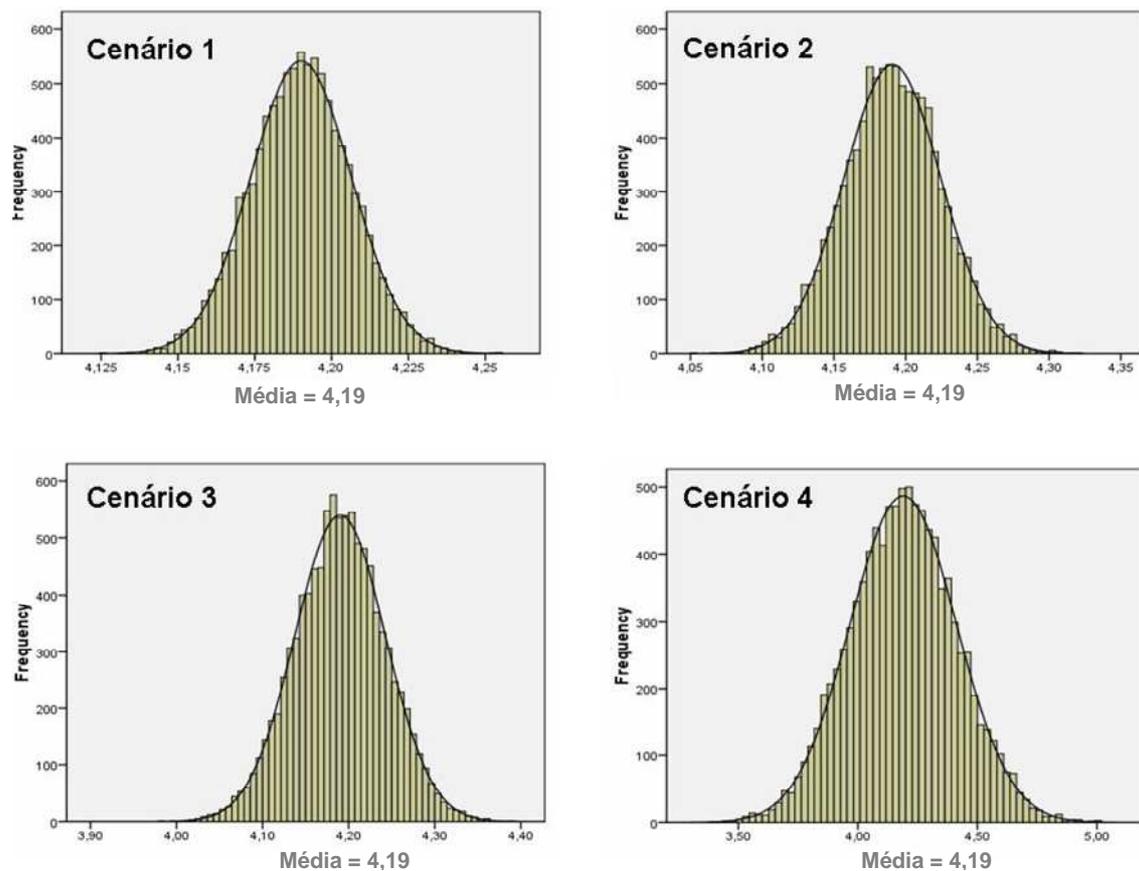
**Tabela 19:** Principais resultados (em percentuais) das distribuições empíricas de probabilidade geradas para  $\bar{g}_1$  para a Concessionária Auto Pista Fluminense.

Medidas	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
<b>Média</b>	4,19	4,19	4,19	4,19
<b>Desvio-Padrão</b>	0,02	0,03	0,05	0,22
<b>Mínimo</b>	4,13	4,05	3,98	3,38
<b>P<sub>10</sub></b>	4,17	4,15	4,12	3,90
<b>P<sub>20</sub></b>	4,18	4,16	4,15	4,00
<b>P<sub>30</sub></b>	4,18	4,17	4,16	4,07
<b>P<sub>40</sub></b>	4,19	4,18	4,18	4,13
<b>P<sub>50</sub></b>	4,19	4,19	4,19	4,19
<b>P<sub>60</sub></b>	4,19	4,20	4,20	4,25
<b>P<sub>70</sub></b>	4,2	4,21	4,22	4,31
<b>P<sub>80</sub></b>	4,20	4,22	4,23	4,38
<b>P<sub>90</sub></b>	4,21	4,23	4,26	4,47
<b>Máximo</b>	4,26	4,32	4,39	5,01

Os resultados da Tabela 19, conforme já esperado, mostram que o valor da taxa de crescimento de demanda mais provável é de 4,19% com desvios-padrões variando de forma crescente entre os Cenários 1 e 4. Neste ponto, cabe enfatizar, novamente, a

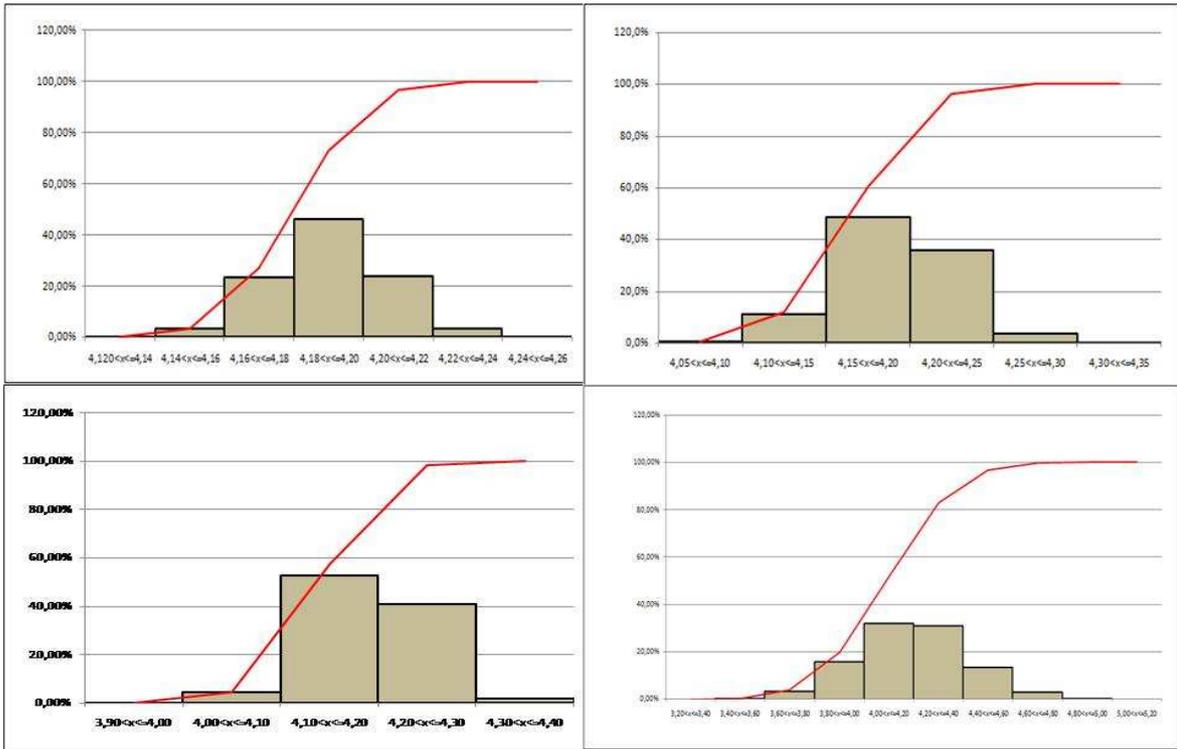
verificação empírica do Teorema do Limite Central, uma vez que a distribuição das médias amostrais é assintoticamente uma distribuição Normal com média  $\mu$  e desvio-padrão  $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ .

A Figura 28 mostra o comportamento da distribuição amostrada das taxas médias de crescimento geradas com evidente aderência à curva Normal.



**Figura 28:** Distribuições geradas para a taxa de crescimento da demanda.

A Figura 29 apresenta as distribuições de frequência simples e frequência acumulada crescente para as distribuições empíricas geradas para a variável aleatória taxa média de crescimento da demanda nos quatro Cenários onde é possível observar que as classes de valores mais comuns associadas à frequência de ocorrência para os Cenários 1, 2, 3 e 4 são, respectivamente, de 4,18% a 4,20%, com frequência observada de 46,05%, de 4,15% a 4,20%, com frequência observada de 48,8%, de 4,10% a 4,20% com frequência observada de 52,92% e, por fim, de 4,00% a 4,20% com frequência observada de 31,90% para o Cenário 4.



**Figura 29:** Distribuições de frequência simples e frequência acumulada crescente para a taxa de crescimento da demanda.

De posse das distribuições empíricas geradas para as duas variáveis aleatórias independentes, demanda inicial e taxa média de crescimento, recalcularam-se os *VPLs* e as *TIRs* considerando os valores mais prováveis definidos pelos limites inferiores e superiores a dois desvios-padrões da média das distribuições geradas, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 20.

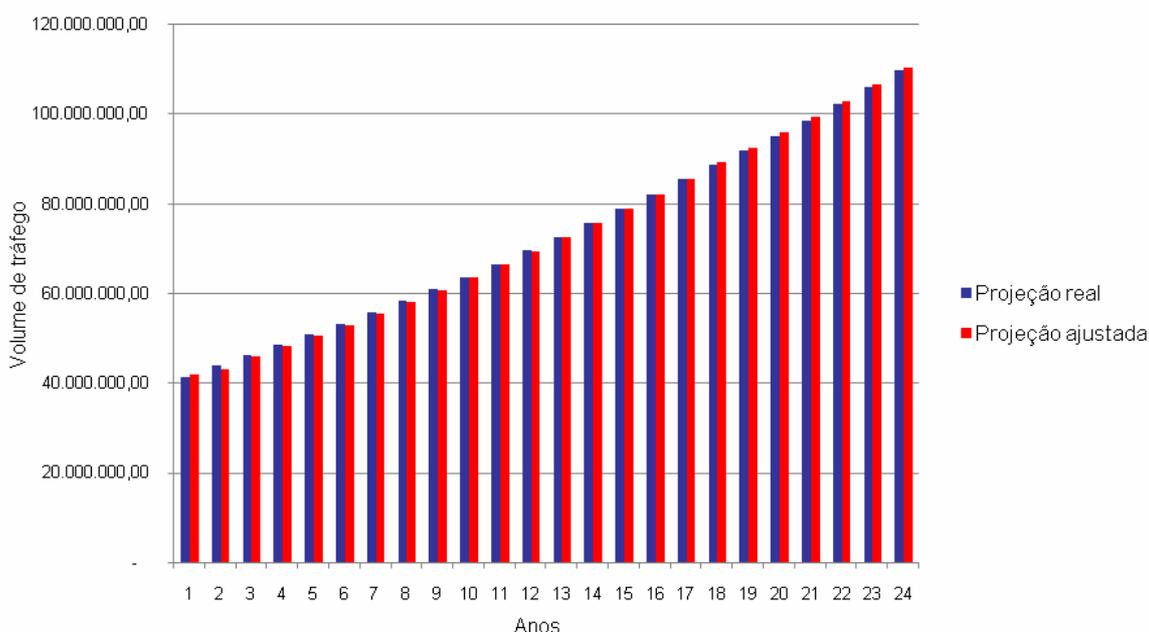
**Tabela 20:** Resultados dos *VPLs* e *TIRs* obtidos pelas simulações de demanda.

Cenários combinados/Descrição	VPL simulado (R\$/1000)		TIR simulada	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior
Cenário 1/Otimista para demanda inicial e otimista para taxa média de crescimento da demanda.	(367)	465	7,980%	7,999%
Cenário 2/Otimista para demanda inicial e moderado para a taxa média de crescimento da demanda.	(534)	632	7,976%	8,002%
Cenário 3/Otimista para demanda inicial e pessimista para taxa média de crescimento da demanda.	(868)	967	7,969%	8,010%
Cenário 4/Otimista para demanda inicial e extremamente pessimista para taxa média de crescimento da demanda.	(3.701)	3.815	7,904%	8,074%
Cenário 5/Moderado para demanda inicial e otimista para taxa média de crescimento da demanda.	(460)	547	7,978%	8,001%
Cenário 6/Moderado para demanda inicial e moderado para a taxa média de crescimento da demanda.	(627)	714	7,974%	8,004%
Cenário 7/Moderado para demanda inicial e pessimista para taxa média de crescimento da demanda.	(961)	1.049	7,966%	8,012%
Cenário 8/Moderado para demanda inicial e extremamente pessimista para taxa média de crescimento da demanda.	(3.794)	3.897	7,902%	8,076%
Cenário 9/Pessimista para demanda inicial e otimista para taxa média de crescimento da demanda.	(5.119)	(3.637)	7,874%	7,907%
Cenário 10/Pessimista para demanda inicial e moderado para a taxa média de crescimento da demanda.	(5.287)	(3.470)	7,870%	7,910%
Cenário 11/Pessimista para demanda inicial e pessimista para taxa média de crescimento da demanda.	(5.621)	(3.136)	7,862%	7,918%
Cenário 12/Pessimista para demanda inicial e extremamente pessimista para taxa média de crescimento da demanda.	(8.455)	(288)	7,799%	7,982%
Cenário 13/Extremamente pessimista para demanda inicial e otimista para taxa média de crescimento da demanda.	(9.691)	(7.401)	7,773%	7,824%
Cenário 14/Extremamente pessimista para demanda inicial e moderado para a taxa média de crescimento da demanda.	(9.859)	(7.233)	7,770%	7,827%
Cenário 15/Extremamente pessimista para demanda inicial e pessimista para taxa média de crescimento da demanda.	(10.194)	(6.898)	7,762%	7,835%
Cenário 16/Extremamente pessimista para demanda inicial e extremamente pessimista para taxa média de crescimento da demanda.	(13.037)	(4.044)	7,699%	7,898%

**Nota:** Os valores entre parênteses representam *VLPs* negativos.

Para efeito de comparação entre os valores do negócio simulados e os valores reais apresentados na proposta comercial da Concessionária Autopista Fluminense, ajustou-se a taxa interna de retorno do projeto não alavancada, cujo valor real foi de 8,009%, em função da taxa média de crescimento da demanda pela Equação 45, cujo valor foi de 7,988%.

Tal ajuste foi necessário considerando que a utilização de um valor médio para representar as taxas de crescimento em cada ano, por si só, gera diferenças nos valores reais projetados de demanda e, conseqüentemente, alteração no Fluxo de Caixa real do projeto. A Figura 30 mostra o volume de tráfego real previsto na proposta comercial vencedora e a projeção de demanda em cada ano obtida em função da taxa média de crescimento ajustada pela Equação 43.



**Figura 30:** Projeção de tráfego real versus projeção ajustada pela função considerando a taxa média de crescimento da demanda.

Com base nos resultados observados na Tabela 20 acima, verifica-se que, tal como esperado para os Cenários combinados 1, 2 e 5, cujos coeficientes de variação refletem distribuições de probabilidade pouco dispersas para demanda inicial e limites inferiores para o valor projetado no 25º ano inferiores a 10%, os intervalos para os valores do negócio apresentam as menores amplitudes. Nestes Cenários, a situação de equilíbrio do contrato, representada pelo  $VPL = 0$ , obtido em função da taxa de retorno de referência do

projeto ajustada em 7,988%, estaria contida no intervalo de confiança obtido pelos limites das distribuições empíricas geradas.

Resultado semelhante aos três Cenários mencionados acima se observa para os Cenários 3, 6 e 7, à diferença do aumento crescente das amplitudes dos intervalos do *VPL* e da *TIR*. O Cenário combinado 7, que representa uma dispersão máxima na demanda inicial de 10% e um limite inferior do valor projetado para o último ano de concessão de 15%, apresenta um intervalo de variação com limite inferior negativo indicando um prejuízo de R\$961.000,00 a um valor positivo para o limite superior indicando um lucro de R\$1.049.000,00.

O Cenário combinado 4, que representa uma situação hipotética otimista para a demanda inicial e uma situação pessimista para a taxa média de crescimento, apresenta um intervalo de *VPL* com alta amplitude. Este Cenário poderia refletir o impacto de eventuais alterações no Cenário macroeconômico contribuindo tanto no aumento quanto na redução das receitas de investimentos de longo prazo, ainda que neste Cenário hipotético a demanda prevista no primeiro ano seja otimista.

O Cenário combinado 9, onde passa-se a situações extremas, com a presença de eventos exógenos impactando nas demandas projetadas, tem-se intervalos com altas amplitudes, conforme já esperado, com intervalo variando a de um prejuízo de R\$5.119.000 a um prejuízo de R\$3.637.000 para uma confiança de 91%, onde a *TIR* de referência ajustada não estaria contida no intervalo da *TIR* simulada.

Do Cenário combinado 10 ao 16, observam-se valores de *VPLs* negativos, com aumento crescente das amplitudes, chegando à indicação de prejuízo de R\$13.037.000 no Cenário mais pessimista para demanda inicial e taxa de crescimento, com um intervalo simulado para a *TIR* variando entre 7,699% a 7,898%, com uma probabilidade de confiança de 91%.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho propõe uma metodologia baseada no método Monte Carlo de simulação para mensuração dos riscos de demanda de tráfego assumidos no momento da licitação de concessões rodoviárias.

Para tanto, inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica dos principais conceitos envolvidos nas análises de investimentos em concessões rodoviárias, apresentando uma extensa discussão sobre riscos em investimentos. Além disso, avançaram-se na revisão bibliográfica relativa aos modelos de mensuração de riscos apresentando, além do modelo CAPM comumente utilizado, modelos alternativos que refletem o estado da arte neste tipo de modelagem.

Posteriormente, fez-se uma revisão bibliográfica detalhada sobre o método Monte Carlo de simulação, abordando também os conceitos relacionados ao processo estocástico de Movimento Browniano Geométrico, útil na modelagem da variável aleatória taxa média de crescimento da demanda.

Com base na metodologia proposta foi possível estabelecer, para o caso específico de uma Concessionária rodoviária, Autopista Fluminense, as faixas de variação do Valor do Negócio (*VPL*) e da Taxa Interna de Retorno (*TIR*) do investimento em diferentes Cenários hipotéticos variando do otimista ao extremamente pessimista.

A partir das simulações pode-se verificar que os Cenários combinados 1, 2, 5 e 7 apresentam intervalos de variação do Valor do Negócio com as menores amplitudes, onde o valor de equilíbrio do contrato, representando pela *TIR* de referência ajustada, estaria contido no intervalo fixado para uma probabilidade de confiança de 91%.

Por outro lado, os Cenários combinados 4 e 8, que contemplariam situações otimistas para as previsões de demanda no primeiro ano de concessão e situações pessimistas para a taxa média de crescimento da demanda, apresentaram altas amplitudes, indicando a importância da acurácia dos valores projetados para as taxas de crescimento ao longo dos 25 anos da concessão, ainda que haja acurácia dos valores previstos para a demanda inicial.

A partir do Cenário combinado 9, os quais refletem situações hipotéticas extremamente pessimistas tanto para a variável demanda inicial quanto para a taxa média de crescimento, tem-se altas amplitudes para o Valor do Negócio e para as Taxas Internas de Retorno, onde a situação de equilíbrio do contrato representada pelo  $VPL = 0$  e  $TIR$  de referência ajustada em 7,988% não estariam contidas nos intervalos obtidos pelas distribuições empíricas geradas pelas simulações.

Acredita-se que a utilização da metodologia proposta possa ser útil na avaliação dos riscos de demanda associados tanto a concessões rodoviárias quanto a quaisquer outras concessões de serviços públicos onde a demanda seja uma variável de incerteza, permitindo a mensuração dos riscos de variações tanto na demanda prevista para o primeiro ano quanto variações na taxa média de crescimento da demanda ao longo da concessão.

Além disso, pode-se avançar na metodologia proposta neste estudo a partir da inclusão de outras componentes estocásticas no modelo de avaliação de investimentos em concessões de serviços públicos nos quais a variável demanda inicial e taxa de crescimento da demanda estejam sujeitas as incertezas, bem como pela utilização de mais de uma taxa média de crescimento da demanda que reflita melhor as variações da curva de demanda em investimentos de longo prazo. Finalmente, pode-se avançar na definição mais precisa das variáveis endógenas e exógenas que impactam na alteração da demanda de tráfego, de forma a permitir que se faça uma expansão e ajuste das faixas de dispersão utilizadas na definição dos Cenários hipotéticos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCR (2010) *Relatório Anual ABCR*. Disponível em < <http://www.abcr.com.br> > Acesso em: 10 de nov. de 2011.

ANEEL (2006) *Nota Técnica nº 164*. Disponível em < [http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/NT\\_WACC%20Remunera%C3%A7%C3%A3o%20de%20Capital.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/NT_WACC%20Remunera%C3%A7%C3%A3o%20de%20Capital.pdf) > Acesso em: 24 de jun. de 2011.

ANTT (2011) *Informações Gerais Disponíveis no Site*. Disponível em < <http://www.antt.gov.br/concessaorod/apresentacaorod.asp> > Acesso em: 18 de abr. de 2011.

ANTT (2009) *Relatório Anual das Concessões Rodoviárias*. Disponível em < <http://www.antt.gov.br/relatorios/rodoviario/RelatorioAnual2009.pdf> > Acesso em: 10 de abr. de 2011.

ASSAF NETO, A. (2008) *Mercado Financeiro*. 4 E.. São Paulo: Atlas.

BRASIL, Lei 8.031. *Cria o Programa Nacional de Desestatização*. Diário Oficial da União, 13/04/1990.

\_\_\_\_\_, Lei 8.987. *Dispõe sobre o Regime de Concessão e Permissão da Prestação de serviços Públicos Previstos no Art. 175 da Constituição Federal e dá outras Providências*. Diário Oficial da União, 14/07/1995.

\_\_\_\_\_, Lei 9.277. *Autoriza a União a Delegar aos Municípios, Estados da Federação e ao Distrito Federal à Administração e Exploração de Rodovias e Portos Federais*. Diário Oficial da União, 10/05/1996.

\_\_\_\_\_, Lei 10.233. *Dispõe sobre a reestruturação dos transportes aquaviário e terrestre, cria o Conselho Nacional de Integração de Políticas de Transporte, a Agência Nacional de Transportes Terrestres, a Agência Nacional de Transportes Aquaviários e o Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, e dá outras providências*. Diário Oficial da União, 06/06/2001.

BEN-AKINA, M.; LERNA, S. (1985) *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. The MIT Press.

BRESSAN, G. (2002) *Modelagem e Simulação de Sistemas Computacionais: Abordagem Sistemática de Modelagem e Análise de Desempenho de Sistemas*. São Paulo: PCS.

BRUNI, A. L. et al. (2008), *Avaliação de Investimentos*. Série Finanças na Prática. São Paulo: Atlas.

BUSSAB, W. O. (1988) *Métodos Quantitativos*. 2ª Ed., São Paulo: Atual.

CAMPOS, A. P. (2005) *Método Monte Carlo*. Disponível em < [http://www.ufscar.br/~polpo/disc/2009\\_02/grad\\_estat\\_bayes/grupo1.pdf](http://www.ufscar.br/~polpo/disc/2009_02/grad_estat_bayes/grupo1.pdf) > Acesso em 10 de abr. de 2011.

CASTRO JÚNIOR, F. H. F.; SILVEIRA, H. P. (2009) *Modelagem das Taxas de Retorno dos Índices IBOVESPA e S&P500*. Revista de Administração Mackenzie V. 10 N. 1.

CAPEN, E. et al. (1971) *Competitive Bidding in High Risk Situations*. Journal of Petroleum Technology.

COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. (2001) *Real Options: A Practitioner's Guide*. London: Texere.

DAMODARAN, A. (2010) *Avaliação de Empresas: Ferramentas e Técnicas para a Determinação do Valor de Qualquer Ativo*. Rio de Janeiro: Qualitymark.

CNT (2011) *Pesquisa CNT de Rodovias*. Disponível em < <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/Relatorio-geral.aspx> > Acesso em 21 de dez. de 2011.

DI PIETRO, M. S. (2001) *Equilíbrio Econômico-Financeiro e o Controle das Agências Reguladoras*. Seminário SEFID/TCU. Brasília.

FAMA, E. F.; FRENCH, K. R. (1992) *The Cross-Section of Expected Stock Returns*. The Journal of Finance. V. XLVII, N. 2.

GARCIA, F. A (2004) *Regulação Jurídica das Rodovias Concedidas*. Coleção Direito Regulatório. Rio de Janeiro: Lúmen Júris.

GUERRA, S. (2010) *Direito das Agências Reguladoras*. Fundação Getúlio Vargas – FGV. Rio de Janeiro.

GITMAN, L. J. (2004) *Princípios de Administração Financeira*. 10º Ed. São Paulo: HARBRA.

GOMES, P. (2000) *Curso de Estatística Experimental*. Piracicaba: Degaspari. 14º Ed.

HAMMERSLEY, J. M.; HANDSCOMB, D. C. (1964) *Monte Carlo Methods*. London: Methuen.

HINOJOSA, A.; MILANÉS, A. (2010) *Uma Introdução aos Processos Estocásticos com Aplicações*. Disponível em < <http://www.decom.cefetmg.br/docentes/andre/po2102/proc-estocasticos.pdf> > Acesso em: 13 de mar. de 2012.

KAPLAN, S. (2008) *Monte Carlo Methods for Option Pricing*. Institute of Applied Mathematics (IAM). Submitted to: Coskun KÜÇÜKÖZMEN. Disponível em < <http://www3.iam.metu.edu.tr/iam/images/d/d6/Sibelkaplanterm.pdf> > Acesso em: 5 de abr. de 2011.

KEENAN, S. C. et al. (2002) *SAS for Monte Carlo Study: A Guide for Quantitative Researchers*. Cary NC: SAS Institute Inc.

KOPITTKKE, B. H.; FREITAS, S. C. (2001) *Considerações Acerca do Capital Asset Pricing Model (CAPM) e sua Utilização nos Dias Atuais*. Disponível em <

[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2001\\_TR34\\_0027.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2001_TR34_0027.pdf) >. Acesso em: 28 de set. de 2011.

OLIVEIRA, R. G. (2001) *Avaliação do Equilíbrio Econômico-Financeiro dos Contratos de Concessão de Rodovias*. São Paulo: FIPE/USP.

ORTÚZAR, J.D.; WILLUMSEN, L.G. (1994) *Modelling Transport*. England: Chichester.

KOPITTKE, H. B.; FREITAS, S. C. (2007) *Considerações Acerca do CAPM e sua Utilização nos Dias Atuais*. Disponível em < [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2001\\_TR34\\_0027.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2001_TR34_0027.pdf) >. Acesso em: 19 de mai. de 2011.

LEMES JÚNIOR et al. (2009) *Administração Financeira: Princípios, Fundamentos e Práticas Brasileiras*. Rio de Janeiro: Campus.

LINS, L. D. (2004) *Agulha de Buffon*. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. Disponível em < <http://www.cin.ufpe.br/~ldl/buffon.pdf> > Acesso em: 12 de abr. de 2011.

MARTELANC, R. et al. (2005) *Avaliação de Empresas: Um Guia para Fusões e Aquisições e Gestão de Valor*. São Paulo: Pearson Prentice Hall.

NATAL, T. E. (2010) *O Contrato de Concessão de Serviço Público no Estado Regulador*. XXXVI Congresso Nacional de Procuradores de Estado. Tese nº 52. Maceió – Alagoas. Disponível em < [http://www.congressoanapealagoas.com.br/site\\_media/uploads/Tese\\_52.pdf](http://www.congressoanapealagoas.com.br/site_media/uploads/Tese_52.pdf) > Acesso em: 28 de mar. de 2011.

NEVES DA SILVA, H. (2004) *Risco de Tráfego e os Mecanismos de Concessão de Infraestruturas Rodoviárias com Prazo Variável*. Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Engenharia de Produção da UFRGS.

PINTO JR, H.; PIRES, M. C. P. (2000) *Assimetria de Informações e Problemas Regulatórios*. Agência Nacional do Petróleo – ANP. Disponível em < <http://www.ppge.ufrgs.br/giacomo/arquivos/eco02036/pintojr-pires-2000.pdf> > Acesso em: 12 de abr. de 2011.

PIRES, J. C. L.; GIAMBIAGI, F. (2000) *Retorno dos Novos Investimentos Privados em Contextos de Incerteza: Uma Proposta de Mudança do Mecanismo de Concessão de Rodovias no Brasil*, Textos para Discussão – BNDES, 2000. Disponível em < [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/bf\\_bancos/e0001185.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/bf_bancos/e0001185.pdf) > Acesso em: 24 de abr. de 2011.

REAFI (2009) *Relatório de Acompanhamento Financeiro*. Disponível em < <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/14058.html> > Acesso em: 07 de jan. de 2012.

ROSS, S. A. et al. (2002) *Princípios de Administração Financeira*. 2º Ed. São Paulo: Atlas.

RIBEIRO, M. P. (2011) *Concessões e PPPs: Melhores Práticas em Licitações e Contratos*. São Paulo: Editora Atlas.

SANVICENTE, A. Z.; MELLAGI FILHO, A. (1996) *Mercados de Capitais e Estratégias de Investimento*. São Paulo: Atlas.

SENNA, L. A. S.; MICHEL, S. D. (2007) *Rodovias Auto-Sustentadas: O Desafio do Século XXI*. Rio de Janeiro: CLA.

SILVA, W. A. C. (2009) *Análise comparativa entre o CAPM e o C-CAPM na precificação de índices acionários: evidências de mudanças nos coeficientes estimados de 2005 a 2008*. Disponível em <  
<http://bibliotecadigital.fgv.br/ocs/index.php/ebf/9EBF/paper/viewFile/887/163> > Acesso em: 17 de fev. de 2011.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. (2009) *Decisões Financeiras e Análise de Investimentos: Fundamentos, Técnicas e Aplicações*. São Paulo: Ed. Atlas. 6º Ed.

STINGLER, G. J. (1971) *The Theory of Economic Regulation*. The Bell Journal of Economics and Management Science. V. 2, N. 1.

TCU (2010) *Aspectos da Revisão Tarifária e do Equilíbrio Econômico-Financeiro dos Contratos de Concessão*. Tribunal de Contas da União – TCU. Brasília.

TORGA, B. L. M. (2006) *Modelagem, Simulação e Otimização em Sistemas Puxados de Manufatura*. XIII SIMPEP - Bauru, SP. Disponível em <  
[http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais\\_13/artigos/168.pdf](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/168.pdf) > Acesso em: 23 de mar. de 2012.

WORLD BANK (2010) *Private Participation in the Road Sector in Brazil: Recent Evolution and Next Steps*. Washington: Transport Papers. Transport Sector Board.

VOLKMER, J. F.; BRITO NETO, C. T. (2001) *As Carteiras de Investimentos e a Semivariância*. Disponível em <  
[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2001\\_TR34\\_0016.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2001_TR34_0016.pdf)> Acesso em: 24 de abr. de 2011.

## APÊNDICE

Exemplo de Algoritmo implementado no SAS para Simulação Monte Carlo para demanda inicial (Autopista Fluminense/Premissa 1/Cenário 1)

```
/* *****  
/* Simulações da demanda inicial para Autopista Fluminense*/  
/* Geração de 10 mil amostras de tamanho 1 mil cada uma */  
/* DISTRIBUIÇÃO NORMAL - PREMISSA 1/CENÁRIO 1 */  
/* *****  
  
data a;  
  do j=1 to 10000;  
    do i=1 to 1000;  
      x1= 20066787.5 + 1003339.4*rannor(100);output;  
    end;  
  end;  
run;  
  
proc means data=a noprint ; output out=b ;  
  class j;  
  var x1 ;  
run;  
  
data c;  
  set b;  
  if _TYPE_ = 0 then delete;  
  if _STAT_ = 'MEAN' then output;  
  rename x1 = medial;  
run;  
  
proc means data=c noprint; output out=sasuser.fluminense;  
  var medial;  
run;  
  
PROC EXPORT DATA= sasuser.fluminense  
  OUTFILE= "C:\Documents and  
Settings\usuario\Desktop\simulacao_fluminense_q1P1C1.xls"  
  DBMS=EXCEL REPLACE;  
  SHEET="a";  
RUN;
```