

Borges, Dianifer Leal; da Silva Filho, Edison Benedito; Bravo, Levy Cunha

Working Paper

Modelagem de projeção de tráfego e simulação de impactos de regras de compartilhamento de risco de demanda para o desempenho de concessões rodoviárias no Brasil: Estudo para a BR-040

Texto para Discussão, No. 3073

Provided in Cooperation with:

Institute of Applied Economic Research (ipea), Brasília

Suggested Citation: Borges, Dianifer Leal; da Silva Filho, Edison Benedito; Bravo, Levy Cunha (2024) : Modelagem de projeção de tráfego e simulação de impactos de regras de compartilhamento de risco de demanda para o desempenho de concessões rodoviárias no Brasil: Estudo para a BR-040, Texto para Discussão, No. 3073, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, <https://doi.org/10.38116/td3073-port>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/311592>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.



<https://creativecommons.org/licenses/by/2.5/br/>

TEXTO PARA DISCUSSÃO

3073

MODELAGEM DE PROJEÇÃO DE TRÁFEGO E SIMULAÇÃO DE IMPACTOS DE REGRAS DE COMPARTILHAMENTO DE RISCO DE DEMANDA PARA O DESEMPENHO DE CONCESSÕES RODOVIÁRIAS NO BRASIL: ESTUDO PARA A BR-040

**DIANIFER LEAL BORGES
EDISON BENEDITO DA SILVA FILHO
LEVY CUNHA BRAVO**



MODELAGEM DE PROJEÇÃO DE TRÁFEGO E SIMULAÇÃO DE IMPACTOS DE REGRAS DE COMPARTILHAMENTO DE RISCO DE DEMANDA PARA O DESEMPENHO DE CONCESSÕES RODOVIÁRIAS NO BRASIL: ESTUDO PARA A BR-040

DIANIFER LEAL BORGES¹
EDISON BENEDITO DA SILVA FILHO²
LEVY CUNHA BRAVO³

1. Pesquisadora bolsista do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) na Diretoria de Estudos Setoriais, de Inovação, Infraestrutura e Regulação do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Diset/Ipea). *E-mail:* dianiferleal@hotmail.com.

2. Técnico em planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos Internacionais (Dinte) do Ipea. *E-mail:* edison.benedito@ipea.gov.br.

3. Pesquisador bolsista do PNPD na Diset/Ipea. *E-mail:* levybravo@gmail.com.

Governo Federal

Ministério do Planejamento e Orçamento

Ministra Simone Nassar Tebet

ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada ao Ministério do Planejamento e Orçamento, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidenta

LUCIANA MENDES SANTOS SERVO

Diretor de Desenvolvimento Institucional

FERNANDO GAIGER SILVEIRA

**Diretora de Estudos e Políticas do Estado,
das Instituições e da Democracia**

LUSENI MARIA CORDEIRO DE AQUINO

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas

CLÁUDIO ROBERTO AMITRANO

**Diretor de Estudos e Políticas Regionais,
Urbanas e Ambientais**

ARISTIDES MONTEIRO NETO

**Diretora de Estudos e Políticas Setoriais,
de Inovação, Regulação e Infraestrutura**

FERNANDA DE NEGRI

Diretor de Estudos e Políticas Sociais

CARLOS HENRIQUE LEITE CORSEUIL

Diretor de Estudos Internacionais

FÁBIO VÉRAS SOARES

Chefe de Gabinete

ALEXANDRE DOS SANTOS CUNHA

**Coordenadora-Geral de Imprensa e
Comunicação Social**

GISELE AMARAL

Ouvidoria: <https://www.ipea.gov.br/ouvidoria>

URL: <https://www.ipea.gov.br>

Texto para Discussão

Publicação seriada que divulga resultados de estudos e pesquisas em desenvolvimento pelo Ipea com o objetivo de fomentar o debate e oferecer subsídios à formulação e avaliação de políticas públicas.

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – **ipea** 2024

Borges, Dianifer Leal

Modelagem de projeção de tráfego e simulação de impactos de regras de compartilhamento de risco de demanda para o desempenho de concessões rodoviárias no Brasil : estudo para a BR-040 / Dianifer Leal Borges, Edison Benedito da Silva Filho, Levy Cunha Bravo. – Brasília, DF: Ipea, 2024.

42 p. : il., gráfs. – (Texto para Discussão ; n. 3073).

Inclui Bibliografia.

ISSN 1415-4765

1. Modelos Estocásticos. 2. Compartilhamento de Risco. 3. Concessões de Infraestrutura. I. Silva Filho, Edison Benedito da. II. Bravo, Levy Cunha. III. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. IV. Título.

CDD 388.1

Ficha catalográfica elaborada por Elizabeth Ferreira da Silva CRB-7/6844.

Como citar:

BORGES, Dianifer Leal; SILVA FILHO, Edison Benedito da; BRAVO, Levy Cunha. **Modelagem de projeção de tráfego e simulação de impactos de regras de compartilhamento de risco de demanda para o desempenho de concessões rodoviárias no Brasil**: estudo para a BR-040. Brasília, DF: Ipea, dez. 2024. 42 p. (Texto para Discussão, n. 3073). DOI: <https://dx.doi.org/10.38116/td3073-port>

JEL: C15; H43; R42.

DOI: <https://dx.doi.org/10.38116/td3073-port>

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e ePUB (livros e periódicos).

Acesse: <https://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério do Planejamento e Orçamento.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

SUMÁRIO

SINOPSE

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	6
2 MODELOS DE PRECIFICAÇÃO DE RISCO E RETORNO SELECIONADOS PARA A AVALIAÇÃO DAS GARANTIAS CONTRATUAIS DE COMPARTILHAMENTO DE RECEITAS NO ESTUDO DE CASO	9
2.1 Indicadores financeiros básicos	9
2.2 Modelo de precificação de ativos de capital	10
2.3 Custo médio ponderado do capital	13
2.4 Índice de Sharpe	14
2.5 Value at risk	15
3 APRESENTAÇÃO DO MODELO DE PROJEÇÃO DE TRÁFEGO E REGRAS DE COMPARTILHAMENTO DE RECEITAS PARA SIMULAÇÃO DO FLUXO DE CAIXA DE PROJETOS RODOVIÁRIOS.....	19
3.1 Construção do modelo estocástico e implementação das regras de compartilhamento do risco de demanda.....	20
3.2 Regras de compartilhamento de receitas para mitigação do risco de demanda	22
4 ANÁLISE DE SIMULAÇÃO DE IMPACTOS DAS REGRAS DE COMPARTILHAMENTO DE RISCO DE DEMANDA, UTILIZANDO DADOS DA BR-040 NO TRECHO DISTRITO FEDERAL-GOIÁS-MINAS GERAIS	25
4.1 Aplicação de banda de variação com diferentes percentuais (regra 2)	26
4.2 Aplicação de compartilhamento linear com diferentes percentuais (regra 3).....	29
4.3 Modelo híbrido simétrico (regra 4).....	32
4.4 Modelo híbrido assimétrico (regra 5).....	34
4.5 Comparação dos modelos com melhor relação de risco e retorno.....	36
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
REFERÊNCIAS	40
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	42

SINOPSE

O objetivo deste estudo é avaliar os custos e os benefícios de diferentes regras de compartilhamento do risco de demanda para concessões de infraestrutura rodoviária, sob o ponto de vista da atratividade econômica dos projetos para os concessionários e da redução do preço para os usuários. Simula-se a trajetória de tráfego de uma rodovia, por meio de modelo estocástico embasado no movimento geométrico browniano (MGB), utilizando-se dados e parâmetros do edital de concessão da BR-040. A partir dessas projeções, são avaliados os impactos de diferentes modelos de regras de compartilhamento do risco de demanda sobre a estrutura financeira dos projetos. Demonstra-se a vantagem dessas regras sobre o modelo sem compartilhamento de risco, com o objetivo de ampliar a viabilidade financeira dos projetos e o potencial de redução tarifária aos usuários.

Palavras-chave: modelos estocásticos; compartilhamento de risco; concessões de infraestrutura.

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the costs and benefits of different demand risk sharing rules for road infrastructure concessions, from the point of view of the economic attractiveness of the projects for the concessionaire and the price reduction for users. The traffic trajectory of a highway is simulated using a stochastic model of Brownian Geometric Movement, using data and parameters from the BR 040 concession auction. From this forecasting, the impacts of different models of demand risk sharing rules on the financial structure of projects are evaluated. We shall demonstrate the superiority of these models over the one without risk sharing in order to increase the financial viability of projects and the potential for reducing tariffs for users.

Keywords: stochastic models; risk sharing; infrastructure concessions.

1 INTRODUÇÃO

Os riscos em contratos de longo prazo derivam de eventos inesperados, de difícil mensuração e/ou precificação, que fazem reduzir a expectativa de retorno do projeto, ao resultarem em encargos demasiados para uma ou ambas as partes contratantes. No caso das concessões de infraestrutura, esse problema é agravado pela dificuldade em alinhar os interesses das partes em ambiente de incerteza acerca do seu nível de comprometimento financeiro e capacidade técnica para fazer frente às exigências da prestação de um serviço que envolve elevado grau de complexidade e responsividade perante a sociedade. Uma vez que o custo de oportunidade do capital depende diretamente dos riscos percebidos em cada projeto, o sucesso de um modelo contratual para concessões exige um modelo consistente e transparente de alocação desses riscos entre as partes, em que a cada uma seja atribuída responsabilidade sobre aqueles que melhor tenha condições de gerenciá-los e/ou mitigá-los (Saraiva, 2008; Smith e Williams, 2020).

Até recentemente, as concessões no setor de rodovias no Brasil eram desenhadas sem a previsão de mecanismos de compartilhamento desse risco. Além de ter de superar entraves institucionais como licenças ambientais e desapropriações durante a etapa de construção, o agente privado deveria arcar com todo o impacto da flutuação da demanda no decorrer da concessão, não obstante sua limitada capacidade de gerenciá-la por meio de mecanismos de mercado – e.g., preço e qualidade do serviço prestado. Em que pese o aparente sucesso das rodadas de concessões de rodovias federais nas últimas décadas expresso na forma de arrecadação fiscal com outorgas nas licitações, esse modelo sem compartilhamento tem se mostrado bastante problemático durante a fase de operação dos projetos, com inúmeros casos de renegociações contratuais, devoluções de ativos e litígios judiciais que geram evidentes prejuízos à sociedade (Pompermayer e Silva Filho, 2016; Guimarães *et al.*, 2018; ANTT, 2020).

Reconhecendo essas dificuldades, o governo brasileiro promoveu profundos ajustes na modelagem contratual das concessões rodoviárias federais da chamada quinta etapa de concessões rodoviárias federais, cujos primeiros leilões ocorreram em 2023. Pela primeira vez, mecanismos de compartilhamento e mitigação de impactos de flutuação de tráfego e variação cambial sobre a receita e o custo de insumos, além de outros riscos, como atrasos na obtenção de licenças e desapropriações, foram incorporados ao modelo padrão de desenho contratual estabelecido pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).

O modelo de compartilhamento de riscos de demanda por meio de garantias mínimas de receita ao concessionário constitui uma solução já consolidada em diversos países desenvolvidos e emergentes, a exemplo do Chile, considerado um caso de referência na literatura especializada (Chile, 2016; Campos Neto, Moreira e Motta, 2018; ANTT, 2020; Silva Filho, Borges e Bravo, 2024). Diferentes regras e graus de proteção ao concessionário podem ser empregados, de modo a viabilizar um projeto de infraestrutura, pois aumentam sua atratividade econômica e/ou reduzem o custo por seu uso (Engel *et al.*, 2019; CNI, 2018; Bravo, Silva Filho e Borges, 2024). Contudo, é necessária uma análise precisa dos impactos dessas regras a fim de determinar a forma mais eficiente de equilibrar o retorno esperado pelo agente privado com o interesse público, expresso na forma de preço acessível ao usuário e alocação de risco aceitável ao Estado.

A avaliação quantitativa de alocação ótima do risco de demanda em projetos de infraestrutura constitui uma ferramenta extremamente útil para mitigar as incertezas e aumentar a eficiência dos contratos de concessão, pois proporciona maior segurança jurídica e atratividade com os agentes econômicos. Atualmente, há diversas modelagens de gestão de riscos à disposição dos formuladores de políticas, com o objetivo de aprimorar os processos de construção, seleção e avaliação do desempenho de ativos públicos concedidos ao setor privado (Jorion, 2001; Brandão e Saraiva, 2008; Iyer e Sagheer, 2011; Brasil, 2018; Johnson e Clark, 2019; Costa e Pompermayer, 2024). A partir de uma previsão consistente da trajetória da demanda no tempo, é possível avaliar os impactos de sua volatilidade sobre a estrutura financeira dos projetos, empregando-se indicadores de precificação de risco e avaliação de ativos, de modo a antecipar e mitigar riscos, bem como aperfeiçoar o desenho contratual das concessões.

O objetivo deste estudo é avaliar os custos e os benefícios de diferentes regras de compartilhamento do risco de demanda para concessões de infraestrutura rodoviária, com vistas a oferecer aos governos alternativas contratuais que permitam otimizar a busca pelo maior retorno social nesses projetos, sem descuidar da sua atratividade econômica ao setor privado. O texto consiste essencialmente de duas partes: i) uma descrição dos principais indicadores de risco e retorno financeiro necessários à comparação de diferentes modelos contratuais para uma mesma concessão; e ii) um exercício de simulação dos impactos de diferentes regras de compartilhamento de risco de demanda sobre a atratividade de uma rodovia padronizada, cujo fluxo de caixa foi modelado de forma estocástica conforme as condições de licitação da rodovia federal BR-040 no trecho Distrito Federal-Goiás-Minas Gerais, realizada em 2013. Dessa forma, propõe-se uma metodologia que permita a comparação entre as diferentes regras de

compartilhamento de risco de demanda em termos da alocação de riscos para os polos público e privado no projeto de concessão, bem como o retorno esperado pelos investidores ponderado pelo risco assumido ao financiar o projeto.

O estudo divide-se em cinco seções, incluindo-se esta introdução. A segunda seção apresenta os modelos e os indicadores de precificação de risco e retorno que foram selecionados como critérios para avaliação dos impactos das garantias contratuais de compartilhamento de receitas para o projeto tomado como base do estudo, a BR-040 no trecho Distrito Federal-Goiás-Minas Gerais. A terceira seção descreve a construção do modelo estocástico de simulação da flutuação de demanda e seus impactos sobre o fluxo de caixa de um projeto que replica os cenários e as condições contratuais previstos pela ANTT no edital da licitação da rodovia BR-040, lançado em 2013. A quarta seção apresenta os resultados da introdução de diferentes regras de compartilhamento de risco de demanda nesse projeto, por meio da comparação dos seus efeitos sobre os indicadores de precificação de risco descritos na segunda seção. Por fim, a quinta seção conclui o trabalho e enfatiza a viabilidade da adoção de novos arranjos contratuais para as concessões rodoviárias no Brasil que ampliem a atratividade dos projetos ao setor privado, aumentando investimentos e diminuindo o risco de renegociações e litígios entre as partes.

Embora coubesse uma discussão preliminar acerca da literatura sobre quais as melhores modelagens para simulação de fluxo de caixa em projetos de infraestrutura, os autores entendem que essa discussão ampliaria em demasia o escopo e a complexidade do trabalho sem trazer um ganho substantivo para seu objetivo central, que é, tão somente, mostrar os efeitos de mecanismos para compartilhamento de risco de demanda já consagrados na experiência internacional para o desempenho financeiro de concessões rodoviárias. As justificativas para as opções metodológicas dos autores estão descritas em maior detalhe na terceira seção do texto. Não obstante, cabe ressaltar que a escolha da modelagem de simulação de demanda mais adequada à avaliação de arranjos contratuais ou impactos regulatórios exige particular atenção às características setoriais e individuais de cada projeto analisado. A complexidade do ambiente econômico e a especificidade dos ativos dificultam a construção de projeções de demanda que se mostrem consistentes no tempo para diferentes modalidades de infraestrutura – tais como energia elétrica, transportes terrestres, saneamento básico etc. –, ou até mesmo para projetos em uma mesma modalidade.

2 MODELOS DE PRECIFICAÇÃO DE RISCO E RETORNO SELECIONADOS PARA A AVALIAÇÃO DAS GARANTIAS CONTRATUAIS DE COMPARTILHAMENTO DE RECEITAS NO ESTUDO DE CASO

Nesta seção, faremos uma breve revisão teórica dos principais modelos de precificação de riscos e avaliação de ativos econômicos empregados na literatura financeira (Jorion, 2001; Brigham e Ehrhardt, 2006; Damodaran, 2012; Elton *et al.*, 2012). A compreensão de como foram desenvolvidos é essencial para determinar quais os limites e as potencialidades de sua aplicação em políticas públicas, como se pretende neste trabalho.

2.1 Indicadores financeiros básicos

2.1.1 Coeficiente beta

O beta é o coeficiente de risco da ação de uma empresa com relação a um índice de mercado, que mede o quanto determinada ação é mais volátil que o setor em que está inserida; destarte, qual sua propensão à valorização ou à desvalorização, diante da média das empresas similares. A estimativa para o beta é dada pela seguinte equação:

$$\beta = \frac{COV(R_i; R_m)}{VAR(R_m)}$$

Em que R_i é o retorno da ação e R_m é o retorno médio do mercado.

Uma vez que é um indicador comparativo de variância de retornos, o coeficiente beta da empresa é bastante influenciado pelo seu nível de alavancagem financeira e operacional. A primeira mede o nível de endividamento da companhia, enquanto a segunda mostra a relação entre os custos fixos e variáveis de suas atividades produtivas. Em razão disso, é comum nas análises de risco de empresas utilizar o chamado *beta desalavancado*, que desconsidera a influência de dívidas sobre seu desempenho, de modo a obter um retrato mais fidedigno do potencial de valorização de seus ativos ante as demais firmas do mercado.

2.1.2 Custo de capital

O capital de uma empresa é constituído pelo capital de terceiros, que representa os empréstimos, e do capital próprio. Dessa forma, o custo de capital reflete o custo da dívida e do capital próprio para financiamento de investimentos.

Tendo-se em conta o risco do investimento, o custo de capital de uma empresa pode ser entendido como a taxa de retorno adequada aos projetos em que investe – isto é, o retorno exigido pelos investidores em suas operações, mantendo o valor de mercado de sua ação.

2.1.3 Retorno esperado

O retorno esperado mede o ganho de manter determinado ativo, sendo a soma ponderada de cada retorno possível multiplicado por sua probabilidade de ocorrência. Sua expressão matemática é demonstrada da seguinte forma:

$$R_e = \sum(p_i \times R_i)$$

Em que R_e é o retorno esperado; p_i é a probabilidade de ocorrência de R_i ; e R_i é a realização do retorno do ativo i .

2.2 Modelo de precificação de ativos de capital

O chamado modelo de precificação de ativos de capital (*capital asset pricing model* – CAPM) foi desenvolvido originalmente por Sharpe (1966) e Lintner (1965), com o objetivo de possibilitar a comparação de diferentes ativos a partir de seu retorno ponderado pelo risco. Esse modelo ainda é largamente utilizado no mercado financeiro para estimar o custo do capital próprio de uma empresa. Sua premissa central é de que os agentes são avessos ao risco e, destarte, avaliam o retorno esperado baseado no custo de oportunidade de outro ativo, cujo retorno seria o mínimo aceitável, tomando-se somente como fator de análise para decisão a média (retorno) e a variância (risco).

Uma vez que o custo de capital de uma empresa é composto por uma parcela de capital de terceiros e outra de capital próprio, o CAPM entra no sentido de estimar o custo do capital próprio – isto é, o retorno que os acionistas esperam obter por terem injetado dinheiro na companhia. Os ativos são mensurados pelo retorno esperado sobre o investimento, que compreende a magnitude desse retorno quanto à sua variância, que constitui o risco do investimento. No modelo CAPM, a variância é a única medida de risco, uma vez que os investidores sempre comparam o retorno do ativo ao de outro sem risco – e.g. títulos de dívida pública –, ou, caso possuam opção de escolher entre dois investimentos com o mesmo desvio-padrão, sempre escolherão aquele cujo retorno esperado seja o mais elevado.

TEXTO para DISCUSSÃO

O modelo é estruturado sobre premissa de que a variância dos retornos é a medida de risco apropriada, mas apenas aquela porção de variação que é sistemática é recompensada. Essa variância é medida por meio da estimativa do beta, e relaciona os retornos esperados a essa estimativa. Desse modo, no CAPM, o risco é diversificável ou sistemático (não diversificável).

No caso do risco diversificável, o investidor pode mitigá-lo com estratégias que envolvem desconcentração de recursos e diferenciação na exposição a fatores que afetam o preço do ativo, tais como flutuações de demanda e custos operacionais, além de outros riscos específicos associados a uma empresa ou um setor econômico. Por seu turno, o risco sistemático não pode ser atenuado por meio de estratégias de diversificação, uma vez que é proveniente de mudanças no cenário econômico.

Nessa perspectiva, o CAPM mensura o retorno esperado, dada uma função de risco sistêmico marginal, por meio de um coeficiente beta. Segundo Damodaran (2012), o modelo é dado pela seguinte equação:

$$E(R_i) = R_f + \beta_{\mathfrak{S}}[E(R_m) - R_f]$$

Em que $E(R_i)$ representa o retorno esperado do ativo (custo de capital próprio); R_f é o retorno do ativo livre de risco; $E(R_m)$ é o retorno esperado do mercado; $[E(R_m) - R_f]$ é o prêmio de risco de mercado; e $\beta_{\mathfrak{S}}$ é o coeficiente que representa a sensibilidade dos retornos do ativo em relação às flutuações de mercado. Dessa forma, no modelo CAPM, o retorno esperado de um ativo é dado pela soma entre o retorno do ativo livre de risco e o prêmio de risco do investimento.

O valor estimado do beta determinará a classe de risco para cada ativo: se $\beta_{\mathfrak{S}} < 0$, o ativo é considerado livre de risco; para $\beta_{\mathfrak{S}} = 0$, o retorno esperado é igual ao do ativo livre de risco; se $\beta_{\mathfrak{S}} < 1$, o risco é baixo, o que gera retorno abaixo do mercado; para $\beta_{\mathfrak{S}} = 1$, o risco do ativo e seu retorno situam-se na média do mercado; e se $\beta_{\mathfrak{S}} > 1$, o risco é alto e o retorno encontra-se acima da média do mercado.

Um ativo livre de risco seria aquele sem risco de *default* – isto é, que não é passível de inadimplência por parte do emissor. Dado a característica livre de risco do ativo, que na prática não existe, torna-se necessário a escolha de uma *proxy* como algum ativo com risco de crédito o mais baixo possível. Como exemplo, os títulos públicos do Tesouro Direto no Brasil poderiam ser utilizados, ou, fora do âmbito nacional, considerado como global, seriam os títulos de dívida emitidos pelo governo dos Estados Unidos.

Em relação ao coeficiente de risco específico, seu cálculo foi construído a partir da amostra de capital de empresas que operam em nível global no setor de infraestrutura

rodoviária fornecida pela base de dados de Damodaran.¹ A seguir, apresentamos as estimativas realizadas pelo autor para os coeficientes beta e beta desalavancado global no setor.

TABELA 1
Coeficiente de risco beta

Setor	Número de empresas	Beta	Beta desalavancado	Razão D/E ¹ (%)
Rodovias	265	1,09	0,74	63,80

Fonte: Damodaram Online. Disponível em: https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datacurrent.html. Acesso em: 26 jul. 2021.

Nota: ¹ A razão D/E (*debt-to-equity ratio*) é uma medida do grau de alavancagem das empresas, sendo a proporção de dívidas e/ou capital de terceiros (*debt*) em relação ao seu capital próprio (*equity*); ou, em termos contábeis, a razão entre a soma do passivo circulante e não circulante e o patrimônio líquido da companhia.

Destaca-se a importância de estimar o beta desalavancado para empresas que operam no setor de infraestrutura, dado que, por força da concentração de mercado e elevados custos irreversíveis (*sunken costs*),² essas empresas tendem a operar com alto grau de alavancagem e, destarte, também possuir um beta elevado, o que aumenta a percepção de risco setorial. O cálculo para o beta desalavancado, a partir de uma taxa de impostos de 25,70% e da razão média de dívida por capital próprio de 63,80%, foi realizado por meio da seguinte fórmula:

$$Beta\ desalavancado = \frac{Beta}{1 + (1 - Taxa\ Imposto) \left(\frac{D}{E}\right)}$$

Embora a análise da estrutura de capital mais adequada para a avaliação de projetos de infraestrutura em cada país devesse privilegiar o uso de dados de empresas nacionais, a amostra de empresas do setor com capital aberto no Brasil ainda é muito pequena para a obtenção de dados que permitam análises estatisticamente mais robustas. Assim, optou-se neste estudo pelo uso de base de dados mais ampla, construída a

1. Disponível em: https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datacurrent.html. Acesso em: 26 jul. 2021.

Especificamente, os dados empregados nesses cálculos foram obtidos nos tópicos da plataforma de Damodaran: *discount rate estimation (estimativa da taxa de desconto)*, *levered and unlevered betas by industry (betas alavancado e desalavancado por setor industrial e global (dados globais))*.

2. Custos irreversíveis ou "afundados" são recursos empregados na construção de ativos econômicos cuja especificidade em termos de escala, finalidade e/ou tempo de maturação impede que seu valor seja recuperado por meio da negociação da negociação posterior desse ativo no mercado. No caso específico do setor de infraestrutura, o volume de capital e o longo prazo de maturação dos investimentos implicam um elevado montante de custos irreversíveis, que exigem mecanismos regulatórios e de financiamento de longo prazo eficientes para a viabilização de projetos.

partir dos dados disponibilizados por Damodaran (2012),³ que incluem diversas empresas listadas nas principais bolsas de valores globais, o que possibilita a construção de amostra mais consistente para análises quantitativas.⁴

2.3 Custo médio ponderado do capital

O CAPM é um modelo bastante difundido na regulação econômica e no mercado financeiro, devido à sua praticidade e robustez empírica. Uma de suas principais aplicações é na determinação do custo percebido por uma firma para atração de novos investimentos, cujo principal instrumental empregado pelos analistas é o custo médio ponderado do capital (*weighted average cost of capital* – WACC). A partir do custo de capital da empresa, estima-se a taxa de retorno adequada, representando-se o custo de oportunidade do capital de um investidor para determinado investimento e estrutura de capital (Elton *et al.*, 2012).⁵

O WACC é utilizado para definir a taxa de retorno adequada quando o projeto demandar recursos de terceiros para sua concretização. O fluxo de caixa do projeto deve ser trazido a valor presente por uma taxa de desconto que reflita adequadamente seus riscos, expressos em termos de volatilidade de receitas e despesas no tempo. Igualmente, no cálculo do WACC, o custo da dívida líquida de impostos e o custo de capital próprio devem ser ponderados pelo peso de cada um destes na estrutura de capital do projeto (Damodaran, 2012; Brasil, 2018).

A estrutura de capital de uma empresa é constituída do capital de terceiros, que representam a dívida por empréstimos, e do capital próprio de recursos dos acionistas. O WACC estima o valor da taxa que reflita os riscos do investimento, pois calcula a taxa de retorno como média ponderada, que abrange tanto a parcela da remuneração concernente ao capital próprio quanto a de terceiros. A ponderação será igual à participação relativa de cada tipo de capital na composição do financiamento da firma. Assim, a metodologia é expressa pela seguinte equação:

$$WACC = (k|p) \frac{E}{(D + E)} + (k|d) \frac{D}{(D + E)} (1 - T)$$

3. Disponível em: https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datacurrent.html. Acesso em: 26 jul. 2021.

4. Destaca-se a importância sobre a escolha do intervalo de tempo para os dados utilizados nas estimações (comprimento da série temporal). Ao escolher períodos mais longos, pode-se implicar o risco de obter informações desatualizadas, o que não reflete mais os parâmetros do mercado. Por sua vez, a escolha de curto período aumenta as chances de erro devido à volatilidade das variáveis em relação ao mercado (Morettin e Tolo, 2018).

5. Em síntese, o CAPM é uma ferramenta utilizada para determinar o retorno esperado de um investimento, enquanto o WACC é uma medida do custo de capital de uma empresa (dívida e capital próprio). Para cumprir suas finalidades, o CAPM baseia-se na taxa de retorno sem risco e em um prêmio de risco, enquanto o WACC se concentra na contribuição de cada fonte de capital e seu custo para o ativo. O CAPM é comumente empregado para calcular o custo de capital próprio usado no WACC.

em que k_p é o custo do capital próprio; k_d é o custo do capital de terceiros; E é o valor de capital próprio; D é o valor da dívida total; e T é o imposto de renda incidente sobre os lucros da empresa. Logo, $\frac{E}{(D+E)}$ é a proporção do capital correspondente ao patrimônio líquido; e $\frac{D}{(D+E)}$ é a proporção do capital concernente à dívida.

Dos componentes do WACC, o custo da dívida depois dos impostos e o custo do capital próprio são ponderados respectivamente pelo valor da dívida registrado nos demonstrativos financeiros da empresa e pelo valor de mercado do capital próprio.

2.4 Índice de Sharpe

Formulado por Sharpe (1966), estatística inspirada no CAPM, o índice de Sharpe (IS) é um indicador de *performance* muito utilizado como medida de risco e retorno na avaliação de fundos de investimentos.

O IS aponta as carteiras ótimas na linha do mercado de capitais. De acordo com o CAPM, nenhuma carteira pode ter um IS maior que o definido pela carteira de mercado. Quanto maior o índice de Sharpe, melhor, uma vez que indica que, para cada unidade de risco, é obtido maior percentual de retorno.

Seu uso é recomendado principalmente quando os retornos absolutos são heterocedásticos – isto é, não possuem variância constante no tempo. O IS é o retorno total da carteira subtraído do retorno do *benchmark* por uma unidade de volatilidade, que é medida pelo desvio-padrão. O *benchmark* é um ativo de base de comparação, que representa um retorno mínimo exigido pelo investidor – por exemplo, a taxa Selic –, para correr um risco adicional para o ativo desejado (um ativo de renda variável). A seguir, apresenta-se a fórmula do índice de Sharpe:

$$IS = \frac{R_a - R_b}{\sqrt{\text{Var}(R_a - R_b)}}$$

em que R_a representa o retorno esperado de um investimento com risco; R_b é o retorno de um ativo livre de risco (*benchmark*); $E(R_a - R_b)$ é o valor esperado da diferença entre o retorno excedente do ativo e o retorno do *benchmark*; e $\sqrt{\text{var}(R_a - R_b)}$ é a volatilidade ou o desvio-padrão do investimento com risco.

O IS serve como uma métrica crucial para entender o retorno ajustado ao risco em qualquer projeto de investimento. Esse índice é particularmente relevante quando se trata de regras de compartilhamento de risco em projetos de concessão de rodovias. Este fornece um critério quantitativo pelo qual o desempenho do projeto pode ser avaliado em comparação com outros investimentos, atuando como um *benchmark*.

A premissa fundamental é que um maior índice de Sharpe torna o projeto mais atraente para o investidor, pois indica um retorno mais elevado por unidade de risco assumido. Dessa forma, o IS é utilizado como instrumento para comparar diferentes regras de compartilhamento de risco, avaliando o quão eficazes estas são em termos de retorno ajustado ao risco.

2.4.1 Taxa livre de risco

O IS é o retorno total da carteira subtraído do retorno de um *benchmark* por uma unidade de volatilidade, que é medida pelo desvio-padrão. O *benchmark* é ativo de base de comparação, que representa taxa de retorno mínima exigida pelo investidor. A taxa livre de risco é frequentemente representada por títulos do governo de longo prazo. No contexto deste estudo, o Tesouro IPCA⁶+2035 foi escolhido como *benchmark*, com uma taxa de 4,67% para a emissão, realizada em 21 de setembro de 2021.

2.5 Value at risk

O *value at risk* (VaR) tem como finalidade avaliar os riscos de mercado decorrentes de mudanças nos preços. É um indicador de risco que estima a perda potencial máxima, amplamente utilizado pelos bancos comerciais e de investimentos para medir sua exposição a eventos adversos e a maior perda a ser esperada em horizonte de tempo específico com um intervalo de confiança (Jorion, 2001). Os intervalos de confiança geralmente empregados são de 90%, 95% e 99%.

O objetivo do VaR é simular possíveis trajetórias de retorno milhares de vezes, ao fornecer uma medida de risco e, em seguida, determinar a pior expectativa de perda entre cenários ruins. Pressupõe-se que, no cálculo do VaR, as exposições ao risco são constantes, e, para que a validação seja confiável, é necessária uma amostra grande, que é mais facilmente viabilizada por meio de um período pequeno. A seguir, apresenta-se o VaR com método de simulação histórica e de Monte Carlo.

2.5.1 Método de simulação histórica

Consiste em utilizar a distribuição histórica dos retornos dos ativos para simular os retornos futuros e, assim, o VaR da carteira.

6. Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O retorno da carteira no período k é dado por:

$$R_k = \sum_{i=1}^N W_i R_{i,k} \quad k = 1, \dots, t$$

Os pesos do ativo W_i são em valores correntes; e $R_{i,k}$ são as realizações históricas que resultam em diferentes retornos para a carteira, que serão ordenados e transformados em quantis para obter-se a estimativa do VaR de acordo com um nível de confiança determinado.

2.5.2 Método da simulação de Monte Carlo

A diferença para o método de simulação histórica é que as variáveis para os fatores de risco são criadas a partir de ocorrências aleatórias de um processo estocástico, em vez de uma amostra de dados históricos.

O método de Monte Carlo utiliza amostras aleatórias repetidas das distribuições de probabilidade de cada uma das variáveis decisivas do projeto, para obter distribuições de probabilidade de risco. Além disso, manipula problemas de decisão sob incerteza, com múltiplas variáveis de interesse de entrada e iterações. Sua aplicação pode consistir em simular a taxa de retorno dos investimentos.

Para realizar as simulações de um ativo financeiro, deve-se primeiramente estabelecer uma distribuição de probabilidades que os retornos desse ativo devem seguir; por exemplo, uma distribuição normal. A distribuição de probabilidades é realizada sobre fatores que compõem o cálculo do VPL, tais como receitas e custos, que são gerados segundo um padrão com componente aleatório.

Dessa forma, as técnicas de simulação podem ser utilizadas na análise de investimento de projetos, por meio da geração contínua e aleatória de números que estão ligados a entradas e saídas de fluxo de caixa utilizadas no cálculo do VPL, empregando-se as distribuições de probabilidade de cada uma das variáveis de entrada, chegando-se a uma distribuição de probabilidade que constitui o risco do retorno do empreendimento em cenários aleatórios. Diante disso, realizando-se 1 mil simulações a cada ano até a última tendência do processo estocástico, o que totaliza 30 mil simulações para o período de trinta anos, obtém-se a distribuição do VPL do projeto, que gera caminhos possíveis de retorno do ativo a partir de uma série de valores assumidos para a demanda do projeto.

O método de Monte Carlo pode assim ser desenvolvido: definem-se as características do projeto e variáveis de fluxo de caixa; identificam-se as variáveis de risco de entrada das simulações; especifica-se a distribuição de probabilidade que melhor se ajusta à série de dados; identificam-se as variáveis de saída, que terão seu desempenho analisados; executa-se o modelo N vezes; e obtém-se a distribuição de frequência para as variáveis de saída.

2.5.3 *Value at risk e conditional value at risk*

Nesta subseção, descrevemos as métricas de risco empregadas nas simulações, com a finalidade de avaliar o maior prejuízo esperado que um investidor pode enfrentar ao longo do projeto. Utilizamos duas medidas principais: o *value at risk* e o *conditional value at risk* (CVaR).

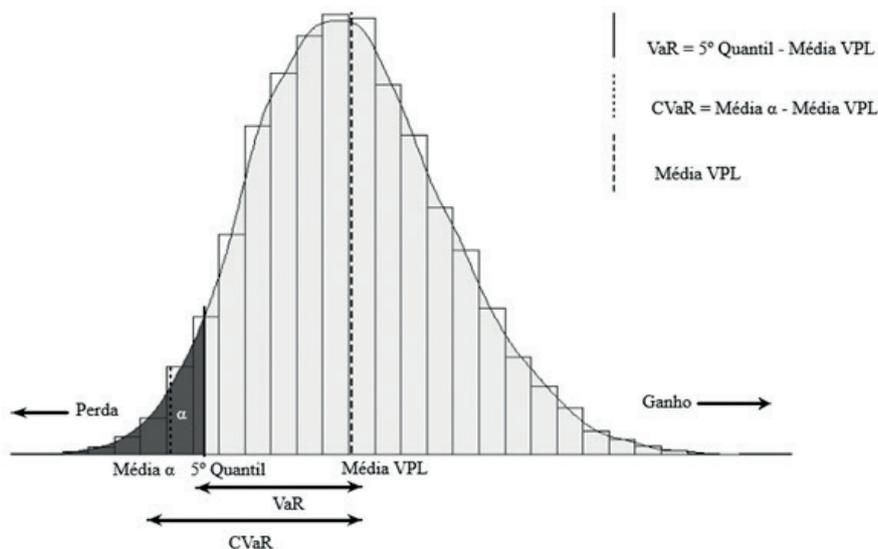
O VaR serve como uma métrica que estima a máxima perda potencial que um investidor pode enfrentar em determinado período, considerando-se um nível de confiança especificado. Por sua vez, o CVaR fornece informações sobre a perda média que ocorreria em cenários que excedem o limite estabelecido pelo VaR. Enquanto o VaR foca na perda máxima nos piores 5% dos cenários, o CVaR considera a perda média esperada nesses mesmos piores cenários.

Para estimar essas métricas, usamos a seguinte abordagem, descrita a seguir.

- 1) Primeiramente, aplicamos simulações de Monte Carlo baseadas no movimento geométrico browniano (MGB) para determinar a distribuição do valor presente líquido (VPL).
- 2) Em seguida, organizamos os valores dessa distribuição de VPL em ordem ascendente.
- 3) O VaR é então estimado pela perda máxima observada a partir do quinto quantil dessa distribuição, que comporta os 5% piores cenários estimados para o VPL, usando um intervalo de confiança de 5%.
- 4) Por sua vez, o CVaR é calculado tomando a média α dos 5% piores cenários na distribuição do VPL, em vez do seu valor máximo.

A perda esperada é definida como a diferença entre o valor obtido a partir do percentil 5% e a média da distribuição do VPL, conforme ilustrado no gráfico 1.

GRÁFICO 1
VaR e CvaR



Fonte: Sarykalin, Serraino e Uryasev (2008, p. 272).

Elaboração dos autores.

Obs.: A figura não pôde ser padronizada e revisada em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

O CvaR refere-se à diferença entre a média dos α piores cenários da distribuição da cauda e a média do VPL, sendo a perda máxima que excede o VaR.

2.6 Opções reais

No modelo de opções reais, ao executar uma oportunidade de investimento, uma empresa está realizando uma opção de compra (*call*) ou venda (*put*) sobre ativos reais, o que lhe confere o direito – mas não a obrigação – de concretizar essas ações no futuro. O valor de uma opção real é afetado por fatores como: valor do ativo; tempo até o vencimento; volatilidade do retorno do ativo; preço do exercício; e taxa livre de risco. Os principais modelos de avaliação de opções são o binomial e o de Black e Scholes, que avaliam opções por meio da criação e replicação de carteiras compostas pelo ativo (Damodaran, 2012; Dias, 2014).

A modelagem por opções reais mostra-se especialmente útil para avaliar a atratividade de ativos de infraestrutura aos investidores privados diante das condições contratuais para devolução, renovação e relicitação de concessões, além de “gatilhos” de investimentos e revisões tarifárias periódicas (Brandão e Saraiva, 2008; Iyer e Sagheer, 2011; Rocha, 2024). Porém, uma vez que o propósito deste trabalho é avaliar o impacto de diferentes mecanismos de garantias contra flutuações excessivas de receitas para

um mesmo projeto, e não uma análise de impacto regulatório (AIR) acerca de mudanças dessas condições contratuais, nossa análise prescinde do uso de opções reais. Outros trabalhos recentes, voltados especificamente à avaliação dessas mudanças regulatórias, apresentam sugestões relevantes de aprimoramento do marco contratual de concessões rodoviárias no Brasil, a partir de aplicações de modelos de opções reais (Plotkowski e Silva, 2022; Costa, 2023; Costa e Pompermayer, 2024).

3 APRESENTAÇÃO DO MODELO DE PROJEÇÃO DE TRÁFEGO E REGRAS DE COMPARTILHAMENTO DE RECEITAS PARA SIMULAÇÃO DO FLUXO DE CAIXA DE PROJETOS RODOVIÁRIOS

No atual arcabouço contratual das concessões rodoviárias, o ônus do risco associado ao volume de tráfego é alocado integralmente ao concessionário. Nesse sentido, torna-se essencial a avaliação da alocação ótima do risco de demanda, pois proporcionam-se incentivos econômicos adequados entre o poder concedente e o setor privado, bem como se busca definir qual o agente possui melhor capacidade de gerenciar os riscos, no sentido de atenuar ou evitar seus efeitos ao longo do período contratual.

Esta seção tem como finalidade apresentar o desenvolvimento do modelo estocástico para projeção da demanda da rodovia e, a seguir, comparar as regras de compartilhamento de receitas em termos de ajuste a parâmetros preestabelecidos, como o mesmo retorno ponderado pelo risco ou a menor tarifa compatível com determinado nível de risco e retorno. Tendo-se em vista que os modelos que apresentam maior compartilhamento de risco são os que exigem menor retorno – e, conseqüentemente, tarifas menores cobradas dos usuários –, o método de análise proposto será o IS, que apresenta a relação de risco e retorno dos projetos. Para atingir o objetivo de comparação dos modelos, executamos simulações baseadas em modelos estocásticos de demanda, especificamente seguindo o MGB, tendo como objetivo calcular o valor presente da receita (VPR), a taxa interna de retorno (TIR), o valor presente líquido, o valor presente das despesas (VPD), VAR e o CVaR, a fim de compreender a melhor forma de mitigar o risco de demanda.

A escolha do IS como critério primário de comparação dos modelos de compartilhamento de risco não se deu de forma arbitrária, mas, antes, constituiu uma solução pragmática após sucessivas tentativas de conciliar modelos consagrados na literatura de análise financeira de projetos, tais como o modelo de precificação de ativos de capital e o do custo médio ponderado do capital. Em especial, o modelo WACC apresenta vantagens para avaliação de projetos de infraestrutura, uma vez que estes demandam maior participação de recursos de terceiros na estrutura de capital dos empreendimentos, em razão do elevado volume de gastos nos primeiros anos e da exigência de prazo mais longo para alcançar o retorno do capital investido (*payback*).

Inicialmente, cogitou-se o emprego do modelo WACC para efetuar a comparação entre os diferentes sistemas de compartilhamento de risco de demanda apresentados neste estudo, seguindo a metodologia proposta pelo governo brasileiro como padrão para avaliação de concessões de infraestrutura (Brasil, 2018). Contudo, a excessiva volatilidade do beta desse modelo – que representa a ponderação do risco específico da empresa pelo setor econômico em que se insere – inviabilizou seu uso de forma abrangente, uma vez que a imprecisão dos resultados poderia induzir à equiparação em termos de risco-retorno de modelos que apresentavam características bastante distintas em termos de distribuição de riscos entre o poder concedente e o concessionário, bem como do custo do serviço para os usuários. De modo que, embora mais simples, o IS apresentou resultados mais robustos do ponto de vista de comparação dos modelos de compartilhamento de risco, uma vez que, ao contrário do WACC, esse indicador não é sensível ao risco sistêmico de mercado e independe de estimativas adicionais desse parâmetro para ser implementado.⁷

Nas análises, o índice de Sharpe do modelo da regra 1 (sem compartilhamento de receitas) é fixado como referência. Nesse modelo, o risco de tráfego é integralmente assumido pelo concessionário. Este serve como referência de comparação para com outros modelos, nos quais há compartilhamento de risco, uma vez que ainda constitui o modelo adotado na maioria das concessões de rodovias no Brasil. Nos casos em que há maior compartilhamento de risco, o índice de Sharpe ajuda a informar ajustes tarifários, com o objetivo de igualar ou aproximar do IS da regra 1, em que não há nenhum tipo de compartilhamento. O resultado é potencial redução nas métricas financeiras, como a TIR, o VPL e o VPR, tornando os projetos financeiramente comparáveis e, portanto, buscando a indiferença entre os projetos pela parte do setor privado.

3.1 Construção do modelo estocástico e implementação das regras de compartilhamento do risco de demanda

Para prever o comportamento futuro da demanda anual de veículos, implementou-se a abordagem geométrica do movimento geométrico browniano. Utilizando-se estimativas baseadas em dados reais obtidos de diferentes rodovias federais, assumiu-se que, ao longo dos trinta anos do projeto, o comportamento do tráfego seguirá um $MGBS(t)$, expresso pela equação:

7. O emprego do modelo WACC nas licitações de projetos de infraestrutura no Brasil é recente e, embora tenha contribuído para maior transparência e robustez metodológica no desenho financeiro dos contratos, sua aplicação não se deu isenta de críticas e questionamentos. Em particular, foram levantadas questões quanto à estabilidade e à estacionariedade das séries temporais utilizadas para a estimação dos betas setoriais, bem como a elevada discricionariedade na adoção de parâmetros para essa estimação. Em 2018, o Ministério da Fazenda (MF) apresentou o guia *Metodologia de Cálculo do WACC para Concessões Públicas*, com a finalidade de harmonizar e disciplinar o emprego dessa metodologia pelos ministérios setoriais e órgãos de regulação e controle envolvidos na avaliação de projetos de infraestrutura no país. O guia encontra-se disponível em Brasil (2018).

TEXTO para DISCUSSÃO

$$S_t = S_{t-1} \cdot \exp\left(\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)dt + \sigma\sqrt{dt}W\right)$$

em que S_t representa o volume de tráfego no período t ; $S_{(t-1)}$ é o volume de tráfego no período $t-1$; μ denota taxa de crescimento do tráfego; σ é a volatilidade do tráfego; dt é o intervalo de tempo; e W corresponde ao processo de Weiner que depende de t , com distribuição normal $\sim N[0,1]$.

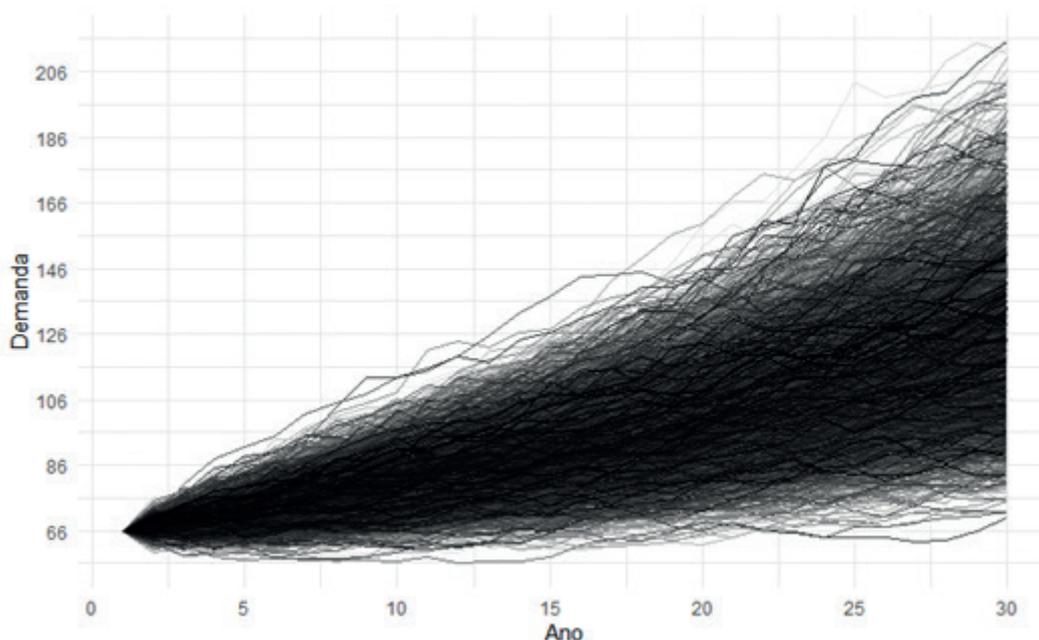
Esse processo ocorre de maneira contínua, com uma trajetória do MGB sendo gerada a partir da simulação do processo de Weiner (Johnson e Clark, 2019). O gráfico 2 demonstra as simulações de Monte Carlo executadas, que incluíram a geração aleatória de 10 mil amostras sucessivas. Partindo de demanda média anual de 66 milhões de veículos equivalentes, essas simulações foram projetadas para uma série de trinta anos, resultando em 300 mil observações aleatórias.

A média, ao considerar todas as simulações realizadas, indica demanda anual de 125 milhões de veículos no trigésimo ano das simulações.

GRÁFICO 2

Simulando trajetórias do MGB

(Em $S(t)$)



Fonte:

Obs.: A figura não pôde ser padronizada e revisada em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

3.2 Regras de compartilhamento de receitas para mitigação do risco de demanda

A seguir, apresentamos as regras de compartilhamento de receitas utilizadas em nosso modelo, com o objetivo de projetar como se dará a mitigação dos impactos de flutuações da demanda sobre o fluxo de caixa do projeto, tendo-se por base as simulações de tráfego construídas a partir do MGB, cujos parâmetros foram discutidos na subseção anterior. Essas regras replicam os mecanismos de garantias de compartilhamento de risco de demanda presentes em contratos de concessões rodoviárias adotados em diversos países – inclusive, no Brasil, a partir da quinta etapa de concessões federais iniciada em 2023 (Silva Filho, Borges e Bravo, 2024).

3.2.1 Regra 1: ausência de compartilhamento de risco (modelo de concessão simples)

Nesta regra, não existe compartilhamento de risco de demanda, sendo o modelo ainda mais frequentemente observado nos contratos de concessões vigentes de rodovias no Brasil. A função de receita do concessionário é expressa como segue:

$$R_{(1,t)} = V_t \times P_t$$

Em que V_t é o tráfego total e P_t é a tarifa.

Essa regra serve como referência para a comparação dos valores das principais variáveis no modelo de demanda em relação às outras regras.

3.2.2 Regra 2: compartilhamento em bandas de variação de receitas

Esta regra inclui uma faixa percentual de variação, na qual o risco é inteiramente absorvido pelo concessionário. A função de receita é descrita da seguinte maneira:

$$R_{(2,t)} = V_t \times P_t - D_t$$

$$D_t = (V|t - E[V_t]) \times P_t \times C$$

$$\text{Se } V_t > B \times E[V_t], D_t = (V|t - B \times E[V_t]) \times P_t$$

$$\text{Se } B \times E[V_t] < V_t < B \times E[V_t], D_t = 0$$

$$\text{Se } V_t < B \times E[V_t], D_t = (V|t - B \times E[V_t]) \times P_t$$

Em que B é o percentual aplicado à banda; e D_t é o depósito feito pela concessionária, em uma conta vinculada à concessão, no caso de a variação de tráfego ficar acima da banda. Caso contrário, a concessionária cria um crédito a ser resgatado no final dos trinta anos, como extensão de prazo da concessão, convertendo o valor monetário deficitário em prazo adicional, sem necessidade de qualquer depósito por parte do Tesouro.

Neste estudo, serão simulados os percentuais de 5%, 10%, 15% e 20% para fins de comparação.

3.2.3 Regra 3: compartilhamento linear de receitas

Esta regra propõe um compartilhamento linear da receita, conforme expresso pela seguinte função:

$$R_{3,t} = V_t \times P_t - D_t$$

$$D_t = (V|t - E[V_t]) \times P_t \times C$$

Em que D_t é a depósito realizado pela concessionária e C é a fração da receita excedente – seja maior ou menor – em relação à estimativa projetada inicialmente.

Assim como mencionado na regra 2, há uma conta específica da concessionária na qual os depósitos são feitos. Se as receitas excederem o limite superior da variação estimada para a receita do projeto, a concessionária deverá compartilhar uma parcela da receita. Caso o valor da receita anual fique deficitário, a concessionária cria um crédito na conta vinculada à concessão, uma vez que o valor de C se torna negativo. Dessa forma, com uma curva de demanda projetada no momento do contrato, a qualquer desvio-padrão, $C\%$ seriam pagos para o investidor.

O custo marginal refere-se ao aumento do custo total gerado pela produção de uma unidade adicional. Nesse cenário, para fornecer um mecanismo de incentivo eficaz na implementação de contratos de concessão com compartilhamento linear, a porção destinada ao concessionário deve ser suficiente para cobrir o custo marginal de um veículo adicional na rodovia.

Sob essa ótica, se o custo de um veículo adicional exceder os ganhos marginais, isso diminuiria a expectativa de retorno do agente, o que incentiva um problema de risco moral (*moral hazard*). Conseqüentemente, sem aportes financeiros do poder concedente, não haverá incentivos para a execução e o cumprimento das obrigações contratuais.

3.2.4 Regra 4: modelo híbrido de bandas e compartilhamento linear de receitas (simétrico)

Neste modelo, é adotado um método híbrido que permite o compartilhamento de receitas que ultrapassem o intervalo das bandas de variação por meio de um mecanismo de compartilhamento linear. A proporção garantida ao concessionário, caso a receita fique abaixo do percentual estabelecido para da banda, e a proporção absorvida pelo poder concedente, caso a receita ultrapasse a faixa de variação, são definidas de maneira simétrica, com percentuais de 50%, 60%, 70% ou 80%. A função de receita do concessionário será expressa como:

$$R_{4,t} = V_t \times P_t - D_t$$

$$D_t = (V|t - E[V_t]) \times P_t \times C$$

$$\text{Se } V_t > B \times E[V_t], D_t = (V|t - B \times E[V_t]) \times P_t$$

$$\text{Se } B \times E[V_t] < V_t < B \times E[V_t], D_t = 0$$

$$\text{Se } V_t < B \times E[V_t], D_t = (V|t - B \times E[V_t]) \times P_t$$

Em que B é o percentual aplicado a banda, $E[V]$ é o tráfego estimado antes da licitação e D é o depósito. Se negativo, D deve ser entendido como um saque. C é a fração da receita excedente que será repassada ao poder concedente.

3.2.5 Regra 5: modelo híbrido de bandas e compartilhamento linear de receitas (assimétrico)

Este modelo é similar ao da regra 4; contudo, a fração absorvida pelo poder concedente caso se exceda a banda de variação é realizada de forma assimétrica, em duas situações: i) caso a receita frustre a expectativa da banda, será garantida em 80% ao concessionário, mas, caso as exceda, apenas 50% serão absorvidos pelo poder concedente, gerando-se assim um desequilíbrio em favor do concessionário; e ii) caso a receita frustre a expectativa da banda, será garantida em apenas 50% ao concessionário, mas, caso as exceda, 80% serão absorvidos pelo poder concedente, ocasionando-se desequilíbrio em favor deste.

A função de receita do concessionário será:

$$R_{4,t} = V_t \times P_t - D_t$$

$$D_t = (V|t - E[V_t]) \times P_t \times C$$

TEXTO para DISCUSSÃO

$$\text{Se } V_t > B \times E[V_t], D_t = (V|t - B \times E[V_t]) \times P_t$$

$$\text{Se } B \times E[V_t] < V_t < B \times E[V_t], D_t = 0$$

$$\text{Se } V_t < B \times E[V_t], D_t = (V|t - B \times E[V_t]) \times P_t$$

Em que B é o percentual aplicado à banda, $E[V]$ é o tráfego estimado antes da licitação e D é o depósito. Se negativo, D deve ser entendido como um saque. C é a fração da receita excedente que será repassada ao poder concedente.

4 ANÁLISE DE SIMULAÇÃO DE IMPACTOS DAS REGRAS DE COMPARTILHAMENTO DE RISCO DE DEMANDA, UTILIZANDO DADOS DA BR-040 NO TRECHO DISTRITO FEDERAL-GOIÁS-MINAS GERAIS

A seguir, realizaremos um exercício empírico para aplicação dos indicadores de risco e desempenho em contrato de infraestrutura rodoviária real, verificando o impacto de diferentes mecanismos de compartilhamento de risco de demanda sobre sua sustentabilidade financeira. Especificamente, o exercício de simulação permite ajustar tanto o nível de exposição das partes quanto a taxa interna de retorno do empreendimento, de modo a oferecer soluções contratuais eficientes que permitam redução na TIR percebida pelo concessionário e nas tarifas de pedágio cobradas dos usuários, preservando-se a viabilidade do projeto por meio de maior compartilhamento do risco com o poder concedente.

Para servir como base nessa análise, executaremos diversas simulações de variação do tráfego usando os dados do contrato de concessão da BR-040 no trecho entre Brasília-DF e Juiz de Fora-MG. Os parâmetros utilizados foram obtidos no estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEA), apresentado com o edital de licitação da rodovia em 2013, e incluem: i) estimativas de custos e investimentos a serem realizados durante a vigência do contrato de concessão; ii) tarifa inicial fixada em R\$ 5,30; iii) demanda média inicial de 66 milhões de veículos equivalentes por ano; iv) prazo de concessão de trinta anos; e v) taxa de desconto de 4%.

Adicionalmente, definimos a taxa de crescimento do tráfego (μ) em 2,22% e a volatilidade do tráfego (σ) em 2,93%. Esses parâmetros foram derivados da série histórica do índice de tráfego fornecido pela Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias (ABCR).⁸ Esse índice representa o fluxo total de veículos passando pelos pedágios e considera apenas o tráfego em rodovias sob concessão privada, no período 1999-2019.

8. Disponível em: <https://abcr.org.br/indice/historico-do-indice>.

Ao todo, foram realizadas 300 mil iterações, com 10 mil simulações anuais de projeção de demanda para um período de trinta anos – prazo legal padrão para concessões de infraestrutura rodoviária no Brasil –, com o uso do *software* RStudio.

É importante destacar que, em todas as simulações realizadas, se utiliza o mesmo projeto – ou seja, o mesmo fluxo de caixa simulado com dados da BR-040, a partir do modelo de demanda do MGB para diferentes regras de compartilhamento. Dessa forma, a distribuição do fluxo de tráfego permanecerá a mesma, mudando-se de forma significativa apenas o desvio-padrão de cada variável, ao qual o fluxo foi ajustado no caso de compartilhamento, mantendo-se alguns dos valores das principais variáveis analisadas inalterados ou com valor semelhante.

O VPD é tratado como uma constante para todas as regras analisadas no cálculo do valor presente líquido, com um valor de R\$ 5,544 bilhões. Assim, o desvio-padrão do VPR e do VPL deverá permanecer o mesmo.

Além disso, a probabilidade de o VPL ser menor ou igual a 0 mantém-se em 0 em todas as simulações pela forma que foi calculado. Após as simulações e os valores de fluxo de caixa trazidos a valor presente, obtemos o VPL de forma acumulada em cada projeto – ou seja, o valor acumulado a cada trinta anos, para 10 mil simulações, tornando inexistente qualquer valor negativo. Desse modo, a introdução do método para compartilhamento não deverá afetar a probabilidade de VPL menor que 0 ou nulo.

4.1 Aplicação de banda de variação com diferentes percentuais (regra 2)

Nesta subseção, apresentamos as simulações com o modelo de compartilhamento de bandas de variação com os percentuais de 5%, 10%, 15% e 20%, em que inicialmente a tarifa será fixa de R\$ 5,30 na tabela 1. Posteriormente, na tabela 2, são expostas as respectivas reduções tarifárias, com o intuito de igualar ou aproximar o IS da regra do caso-base, em que não há nenhum tipo de compartilhamento de risco.

Vale salientar que os resultados simulados do VPR, do VPL e da TIR apresentam valores próximos ou iguais devido à utilização do mesmo fluxo de caixa simulado com os dados da BR-040, ajustando o fluxo de tráfego a cada percentual da banda de variação e mudando de forma significativa apenas o desvio-padrão de todas as variáveis analisadas. Ademais, todos os valores apresentados nas tabelas referem-se às médias das distribuições das variáveis.

Com a inserção de algum tipo de compartilhamento de risco, observa-se que o índice de Sharpe aumenta, o que tornará o projeto mais atrativo pela ótica do setor privado.

TEXTO para DISCUSSÃO

Ademais, isso permitirá que a tarifa seja reduzida, de modo que se aproxime ou iguale ao IS da regra atual, em que não há o compartilhamento do risco da demanda, tomando-se como premissa que o IS calculado para o caso-base é aceitável pelo mercado.

Quando se analisa a tabela 2, pode-se observar que, à medida que se aumenta o percentual da banda de variação, se eleva o risco do projeto. No caso extremo, de uma banda de 20%, os valores das principais variáveis ficam próximos do caso-base, indicado na coluna 1. Além disso, na comparação dos percentuais, a banda de 5%, exposta na coluna 2, apresenta-se com a melhor relação de risco e retorno pelo IS, bem como a menor perda esperada durante o projeto.

Além do IS, verificam-se medidas de risco. Primeiro, o *value at risk* do desvio-padrão refere-se à diferença entre o VaR estimado a partir do quinto quantil (percentil de 5%) da distribuição do VPL, com a média da distribuição do VPL; segundo, o CVaR será obtido com a diferença entre a média da perda esperada dos 5% piores cenários com a média do VPL, sendo a perda máxima que excede o VaR.

Conforme exposto na coluna 1, a regra sem compartilhamento apresenta perda esperada pelo desvio-padrão de VaR de R\$ 1,064 bilhão, enquanto o desvio-padrão de CVaR é de R\$ 1,304 bilhão. Desse modo, com a introdução de compartilhamento de risco com uma banda de 5%, a perda máxima esperada cai para R\$ 361,00 milhões, e a perda que excede o VaR, para R\$ 372 milhões.

TABELA 2

Regra de banda de variação: diferentes percentuais

Modelo de demanda MGB com banda de variação					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Caso-base: sem compartilhamento	Banda de 5%	Banda de 10%	Banda de 15%	Banda de 20%
VPR (R\$ 1 milhão)	8.294	8.278	8.271	8.273	8.278
Desvio-padrão do VPR	695	259	446	562	628
VPL (R\$ 1 milhão)	2.749	2.734	2.727	2.728	2.734
Desvio-padrão do VPL	695	259	446	562	628
VPD esperado (R\$ 1 milhão)	5,544	5,544	5,544	5,544	5,544
$Pr[VPL] < 0$ (%)	0	0	0	0	0
TIR esperada (%)	11,28	11,31	11,29	11,28	11,28
Desvio-padrão da TIR (%)	1,41	0,62	1,01	1,23	1,33

(Continua)

(Continuação)

Modelo de demanda MGB com banda de variação					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Caso-base: sem compartilhamento	Banda de 5%	Banda de 10%	Banda de 15%	Banda de 20%
IS	4.67	10.65	6.52	5.34	4.96
Tarifa (R\$)	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30
VaR (R\$ 1 milhão)	1,685	2,373	2,067	1,852	1,736
Desvio-padrão do VaR	-1.064	-361	-660	-876	-998
CvaR (R\$ 1 milhão)	1,445	2,362	2,025	1,762	1,585
Desvio-padrão do CVaR	-1.304	-372	-702	-966	-1.149

Fonte:

Na tabela 3, são apresentadas as simulações com redução de tarifa, a fim de igualar ou aproximar o IS da regra-base, apresentada na coluna 1. Dessa forma, a regra da banda com 5% continua mostrando-se com a melhor relação do risco retorno, também com a menor tarifa e menor perda esperada.

TABELA 3**Regra de banda de variação: diferentes percentuais – máxima redução tarifária**

Modelo de demanda MGB com banda de variação					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Caso-base: sem compartilhamento	Banda de 5% – redução de tarifa	Banda de 10% – redução de tarifa	Banda de 15% – redução de tarifa	Banda de 20% – redução de tarifa
VPR (R\$ 1 milhão)	8,294	6,700	7,432	7,867	8,106
Desvio-padrão do VPR	695	210	402	535	615
VPL esperado (R\$ 1 milhão)	2,749	1,156	1,888	2,323	2,562
Desvio-padrão do VPL	695	210	402	535	615
VPD esperado (R\$ 1 milhão)	5,544	5,544	5,544	5,544	5,544
$Pr[VPL] < 0$ (%)	0	0	0	0	0
TIR esperada (%)	11,28	7,12	9,03	10,18	10,81
Desvio-padrão da TIR (%)	1,41	0,52	0,94	1,18	1,31
IS	4.67	4.68	4.66	4.66	4.67
Tarifa (R\$)	5,30	4,29	4,76	5,04	5,19

(Continua)

TEXTO para DISCUSSÃO

(Continuação)

	Modelo de demanda MGB com banda de variação				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Caso-base: sem compartilhamento	Banda de 5% – redução de tarifa	Banda de 10% – redução de tarifa	Banda de 15% – redução de tarifa	Banda de 20% – redução de tarifa
VaR (R\$ 1 milhão)	1,685	864	1,281	1,489	1,585
Desvio-padrão de VaR	-1.064	-291	-603	-834	-977
CvaR (R\$ 1 milhão)	1,445	855	1,249	1,403	1,437
Desvio-padrão de CVaR	-1.304	-301	-635	-920	-1.125

Fonte:

Diante das simulações com diferentes percentuais de faixa de variação, é notável que, conforme o percentual da faixa aumenta, há aproximação ao caso-base, que é a regra sem compartilhamento de risco de demanda. Nesse contexto, as faixas de variação de 5% e 10% destacam-se por apresentar melhor relação de risco e retorno, maior redução tarifária e menor perda esperada ao longo do projeto, tornando-se assim possivelmente mais atrativas para o investidor.

4.2 Aplicação de compartilhamento linear com diferentes percentuais (regra 3)

A tabela 4 apresenta os resultados das simulações realizadas com compartilhamento linear do risco de demanda. Na coluna 1, expõe a regra do caso-base, sem compartilhamento de risco; nas colunas 2 a 5, há o compartilhamento linear de 50%, 60%, 70% e 80%, em que a tarifa fixa é de R\$ 5,30.

Dado que se utiliza o mesmo fluxo de caixa simulado para a BR-040 para todas as formas de compartilhamento, o VPR mantém-se igual para todos os percentuais, assim como o VPL, alterando apenas o desvio-padrão das variáveis. Dessa forma, à medida que o percentual do compartilhamento linear aumenta, reduz-se o risco do projeto, apresentando-se melhor relação de risco de retorno pelo IS, assim como menor perda esperada durante o projeto.

TABELA 4**Regra de compartilhamento linear para diferentes percentuais**

Modelo de demanda MGB com compartilhamento linear					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Caso-base: sem compartilhamento	Linear – 50%	Linear – 60%	Linear – 70%	Linear – 80%
VPR (R\$ 1 milhão)	8,294	8,294	8,294	8,294	8,294
Desvio-padrão do VPR	695	347	278	208	139
VPL esperado (R\$ 1 milhão)	2,749	2,749	2,749	2,749	2,749
Desvio-padrão do VPL	695	347	278	208	139
VPD esperado (R\$ 1 milhão)	5,544	5,544	5,544	5,544	5,544
$Pr[VPL] < 0$ (%)	0	0	0	0	0
TIR esperada (%)	11,28	11,33	11,33	11,33	11,34
Desvio-padrão da TIR (%)	1,41	0,70	0,56	0,42	0,28
IS	4.67	9.45	11.83	15.77	23.66
Tarifa (R\$)	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30
VaR (R\$ 1 milhão)	1,685	2,218	2,324	2,431	2,537
Desvio-padrão de VaR	-1.064	-531	-425	-318	-212
CvaR (R\$ 1 milhão)	1,445	2,098	2,228	2,359	2,489
Desvio-padrão de CVaR	-1.304	-651	-521	-390	-260

Fonte:

A tabela 5 apresenta a redução de tarifa de cada percentual de compartilhamento, que é aplicado em relação a receita média anual. O percentual de 80% mostra-se com menor risco para a concessionária e maior redução de tarifa, de R\$ 5,30 para R\$ 3,98, assim como menor perda esperada, de R\$ 196,00 milhões.

Além disso, comparando com o caso-base, no qual não há nenhum compartilhamento de risco, a perda esperada tem diferença de R\$ 1,108 bilhão a menos, quando inserido o compartilhamento linear de 80%.

TABELA 5

Regra de compartilhamento linear para diferentes percentuais: máxima redução tarifária

Modelo de demanda MGB com compartilhamento linear					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Caso-base: sem compartilhamento	Linear – 50% (redução da tarifa)	Linear – 60% (redução da tarifa)	Linear – 70% (redução da tarifa)	Linear – 80% (redução da tarifa)
VPR esperado (R\$ 1 milhão)	8,294	6,932	6,697	6,464	6,228
Desvio-padrão do VPR	695	290	224	163	104
VPL esperado (R\$ 1 milhão)	2,749	1,388	1,153	997	684
Desvio-padrão do VPL	695	290	224	163	104
VPD esperado (R\$ 1 milhão)	5,544	5,544	5,544	5,544	5,544
$Pr[VPL] < 0$ (%)	0	0	0	0	0
TIR esperada (%)	11,28	7,71	7,10	6,49	5,86
Desvio-padrão da TIR (%)	1,41	0,65	0,52	0,39	0,26
IS	4.67	4.65	4.68	4.66	4.63
Tarifa (R\$)	5,30	4,43	4,28	4,13	3,98
VaR (R\$ 1 milhão)	1,685	943	809	663	524
Desvio-padrão do VaR	-1.064	-445	-344	-334	-160
CvaR (R\$ 1 milhão)	1,445	843	732	607	488
Desvio-padrão do CVaR	-1.304	-545	-421	-390	-196

Fonte:

Conforme as simulações envolvendo diversos percentuais de compartilhamento linear, o percentual de 80% destaca-se por oferecer a melhor relação entre risco e retorno, além de apresentar menor redução de tarifa e menor perda esperada no projeto, em comparação com os outros percentuais simulados. Assim, ao elevar o percentual de compartilhamento, o risco associado ao projeto diminui significativamente, especialmente quando comparado com a regra em que não há nenhum tipo de compartilhamento de risco.

4.3 Modelo híbrido simétrico (regra 4)

O modelo híbrido é a composição dos modelos de compartilhamento por banda de variação e compartilhamento linear simétrico. No cenário no qual a banda é de 10%, o risco da variação de 10% acima ou abaixo da receita média anual será totalmente assumido pelo concessionário. Dessa forma, nos casos analisados nesta subseção, quando a receita anual ficar abaixo da banda, o investidor terá 80% da receita assegurada. Se a receita exceder a faixa, o investidor terá de compartilhar o mesmo percentual da garantia.

A tabela 6 mostra as simulações realizadas com diferentes percentuais de faixa, com um compartilhamento linear de 80%. Na coluna 1, é apresentado o modelo-base para comparação com as demais regras; nas colunas 2 a 5, são exibidas as faixas de variação de 5%, 10%, 15% e 20%.

TABELA 6

Modelo híbrido simétrico com compartilhamento linear de 80% da receita

Modelo de demanda MGB com banda de variação e compartilhamento linear: 80%					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Caso-base: sem compartilhamento	Banda – 5%	Banda – 10%	Banda – 15%	Banda – 20%
VPR esperado (R\$ 1 milhão)	8,294	8,281	8,276	8,277	8,281
Desvio-padrão do VPR	695	341	492	587	641
VPL esperado (R\$ 1 milhão)	2,749	2,737	2,732	2,733	2,737
Desvio-padrão do VPL	695	341	492	587	641
VPD esperado (R\$ 1 milhão)	5,544	5,544	5,544	5,544	5,544
$Pr[VPL] < 0$ (%)	0	0	0	0	0
TIR esperada (%)	11,28	11,31	11,29	11,28	11,28
Desvio-padrão da TIR (%)	1,41	0,77	1,09	1,26	1,35
IS	4.67	8.62	6.08	5.24	4.90
Tarifa (R\$)	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30
VaR (R\$ 1 milhão)	1,685	2,243	1,995	1,818	1,725
Desvio-padrão do VaR	-1.064	-494	-737	-915	-1.012
CvaR (R\$ 1 milhão)	1,445	2,190	1,920	1,704	1,559
Desvio-padrão do CVaR	-1.304	-547	-812	-1.029	-1.178

Fonte:

TEXTO para DISCUSSÃO

Tomando-se como referência o modelo de regra apresentando na coluna 1, reduz-se a tarifa dos demais modelos, a fim de igualar ao IS do caso-base. Desse modo, a tabela 12 expressa as reduções tarifárias referentes aos modelos da tabela 11.

TABELA 7

Modelo híbrido com compartilhamento linear de 80% da receita: máxima redução tarifária

Modelo de demanda MGB com banda de variação e compartilhamento linear: 80%					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Caso-base: sem compartilhamento	Banda – 5% (redução de tarifa)	Banda – 10% (redução de tarifa)	Banda – 15% (redução de tarifa)	Banda – 20% (redução de tarifa)
VPR esperado (R\$ 1 milhão)	8,294	6,984	7,589	7,949	8,140
Desvio-padrão do VPR	695	287	451	564	630
VPL esperado (R\$ 1 milhão)	2,749	1,440	2,044	2,405	2,596
Desvio-padrão do VPL	695	287	451	564	630
VPD esperado (R\$ 1 milhão)	5,544	5,544	5,544	5,544	5,544
$Pr[VPL] < 0$ (%)	0	0	0	0	0
TIR esperada (%)	11,28	7,85	9,44	10,39	10,89
Desvio-padrão da TIR (%)	1,41	0,68	1,02	1,23	1,33
IS	4,67	4,68	4,68	4,66	4,67
Tarifa (R\$)	5,30	4,47	4,86	5,09	5,21
VaR (R\$ 1 milhão)	1.685	1.023	1.369	1.526	1.602
Desvio-padrão do VaR	-1.064	-417	-675	-879	-994
CvaR (R\$ 1 milhão)	1,445	978	1,300	1,417	1,438
Desvio-padrão do CVaR	-1.304	-462	-744	-988	-1.158

Os indicadores financeiros VaR e CVaR também mostram um aumento conforme a banda de variação se amplia. Esses indicadores são métricas de risco que quantificam a perda potencial que pode ser enfrentada. O aumento desses valores indica um risco financeiro maior associado a uma banda de variação mais ampla.

O cenário com a banda de variação de 10% representa um ponto médio em que o desvio-padrão do VPR e do VPL, bem como os indicadores VaR e CVaR, é relativamente mais baixo em comparação com bandas de variação mais amplas, enquanto ainda apresenta valores de TIR e IS competitivos.

Essa análise sugere que uma banda de variação mais ampla pode não ser favorável do ponto de vista de gestão de risco, apesar de poder proporcionar receita ou lucratividade ligeiramente maior. O cenário com banda de variação de 10% surge como opção equilibrada, que proporciona mitigação de risco eficaz enquanto mantém a rentabilidade do projeto em um nível aceitável.

Portanto, no contexto do modelo híbrido de compartilhamento, com 80% de compartilhamento linear, a banda de variação de 10% pode ser vista como uma estratégia eficaz para balancear risco e retorno, tornando-se uma opção atraente para a gestão de projetos de concessão.

4.4 Modelo híbrido assimétrico (regra 5)

O modelo híbrido assimétrico possui compartilhamento por meio de banda de variação e um compartilhamento de receita assimétrico. Ou seja, em uma banda de 5%, o risco da variação que exceder em 5% o valor projetado para a receita média anual, para cima (ou baixo), é integralmente do concessionário, que auferirá então o lucro (ou perda) correspondente. Quando a receita anual observada ficar abaixo do limite mínimo da banda, o investidor ainda terá a garantia de 80% da receita projetada. Caso a receita observada fique acima desta, terá de compartilhar 50% do ganho excedente com o poder concedente.

A tabela 8 apresenta as simulações realizadas nas colunas de 2 a 5, com as bandas de variação de 5%, 10%, 15% e 20%, com compartilhamento assimétrico.

TABELA 8

Modelo híbrido com compartilhamento assimétrico de receita: 50% e 80%

Modelo de demanda MGB com banda de variação e compartilhamento assimétrico					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Caso-base: sem compartilhamento	Banda – 5%	Banda – 10%	Banda – 15%	Banda – 20%
VPR esperado (R\$ 1 milhão)	8,294	8,233	8,254	8,268	8,273
Desvio-padrão do VPR	695	400	522	600	655
VPL esperado (R\$ 1 milhão)	2,749	2,697	2,718	2,732	2,738
Desvio-padrão do VPL	695	400	522	600	655
VPD esperado (R\$ 1 milhão)	5,544	5,544	5,544	5,544	5,544
$Pr[VPL] < 0$ (%)	0	0	0	0	0

(Continua)

TEXTO para DISCUSSÃO

(Continuação)

Modelo de demanda MGB com banda de variação e compartilhamento assimétrico					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Caso-base: sem compartilhamento	Banda – 5%	Banda – 10%	Banda – 15%	Banda – 20%
TIR esperada (%)	11,28	11,22	11,26	11,27	11,27
Desvio-padrão da TIR (%)	1,41	0,89	1,14	1,29	1,37
IS	4.67	7.39	5.76	5.14	4.80
Tarifa (R\$)	5,30	5,30	5,30	5,30	5,30
VaR (R\$ 1 milhão)	1,685	2,046	1,888	1,775	1,694
Desvio-padrão do VaR	-1.064	-651	-830	-957	-1.044
CVaR (R\$ 1 milhão)	1,445	1,921	1,755	1,619	1,454
Desvio-padrão do CVaR	-1.304	-776	-963	-1.113	-1.284

Fonte:

Comparando-se com nosso caso-base, observa-se que o risco do projeto reduz de forma significativa, de um desvio-padrão de R\$ 695 milhões para um de R\$ 400 milhões, no caso da banda de 5%. Além disso, a perda esperada estimada pela medida de risco do desvio-padrão do CVaR reduz-se de R\$ 1,304 bilhão para R\$ 776 milhões.

TABELA 9

Modelo híbrido com compartilhamento assimétrico de receita (50% e 80%): máxima redução tarifária

Modelo de demanda MGB com banda de variação e compartilhamento assimétrico					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Caso-base: sem compartilhamento	Banda – 5%	Banda – 10%	Banda – 15%	Banda – 20%
VPR esperado (R\$ 1 milhão)	8,294	7,207	7,665	8,003	8,195
Desvio-padrão do VPR	695	350	487	581	649
VPL esperado (R\$ 1 milhão)	2,749	1,672	2,173	2,467	2,660
Desvio-padrão do VPL	695	350	487	581	649
VPD esperado (R\$ 1 milhão)	5,544	5,544	5,544	5,544	5,544
$Pr[VPL] < 0$ (%)	0	0	0	0	0
TIR esperada (%)	11,28	8,47	9,65	10,55	11,06
Desvio-padrão da TIR (%)	1,41	0,81	1,10	1,26	1,37

(Continua)

(Continuação)

Modelo de demanda MGB com banda de variação e compartilhamento assimétrico					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Caso-base: sem compartilhamento	Banda – 5%	Banda – 10%	Banda – 15%	Banda – 20%
IS	4.67	4.68	4.54	4.68	4.68
Tarifa (R\$)	5,30	4,64	4,92	5,13	5,25
VaR (R\$ 1 milhão)	1,685	1,102	1,330	1,540	1,626
Desvio-padrão do VaR	-1.064	-570	-843	-927	-1.034
CVaR (R\$ 1 milhão)	1,445	992	1,207	1,390	1,388
Desvio-padrão do CVaR	-1.304	-680	-966	-1.077	-1.272

Fonte:

4.5 Comparação dos modelos com melhor relação de risco e retorno

Baseando-se nas análises de modelos simulados, a tabela 9 destaca os cenários que expressaram melhor relação de risco e retorno, em comparação com os demais, tornando-se preferíveis tanto pela perspectiva privada quanto pela pública. O caso-base, ilustrado na coluna 1, serve como referência para a comparação com os modelos de compartilhamento de risco expostos nas colunas subsequentes.

Nas colunas 2 e 3 da tabela 10, são apresentados os casos de banda de variação de 10%, respectivamente, aplicados a uma receita média anual simulada. Em seguida, na coluna 3, é exposto o modelo de compartilhamento linear de 80%, em relação à receita média anual. Posteriormente, nas colunas 4 a 5, são demonstrados os modelos híbridos, que combinam banda de variação e compartilhamento de receita, em configurações simétricas e assimétricas.

Inicialmente, ao comparar os cinco modelos pelas medidas de risco, o caso linear de compartilhamento de 80% apresenta menor perda esperada com VaR, obtendo maior redução tarifária e reduzindo o risco do projeto de R\$ 1,304 bilhão para R\$ 390 milhões, quando comparado com o caso-base.

Quando se analisa o modelo híbrido composto por uma banda de variação com compartilhamento simétrico, apresenta-se como preferível em relação ao caso assimétrico, com maior IS, apontando menor risco para o projeto e a perda que pode ser esperada, com as medidas de VaR e CVaR, com uma banda com percentual de 10%.

TEXTO para DISCUSSÃO

Em contrapartida, o modelo assimétrico em que se oferece maior segurança para o concessionário, compartilhando apenas 50% da receita acima da banda, obtém uma maior TIR; no entanto, com maior risco para o projeto.

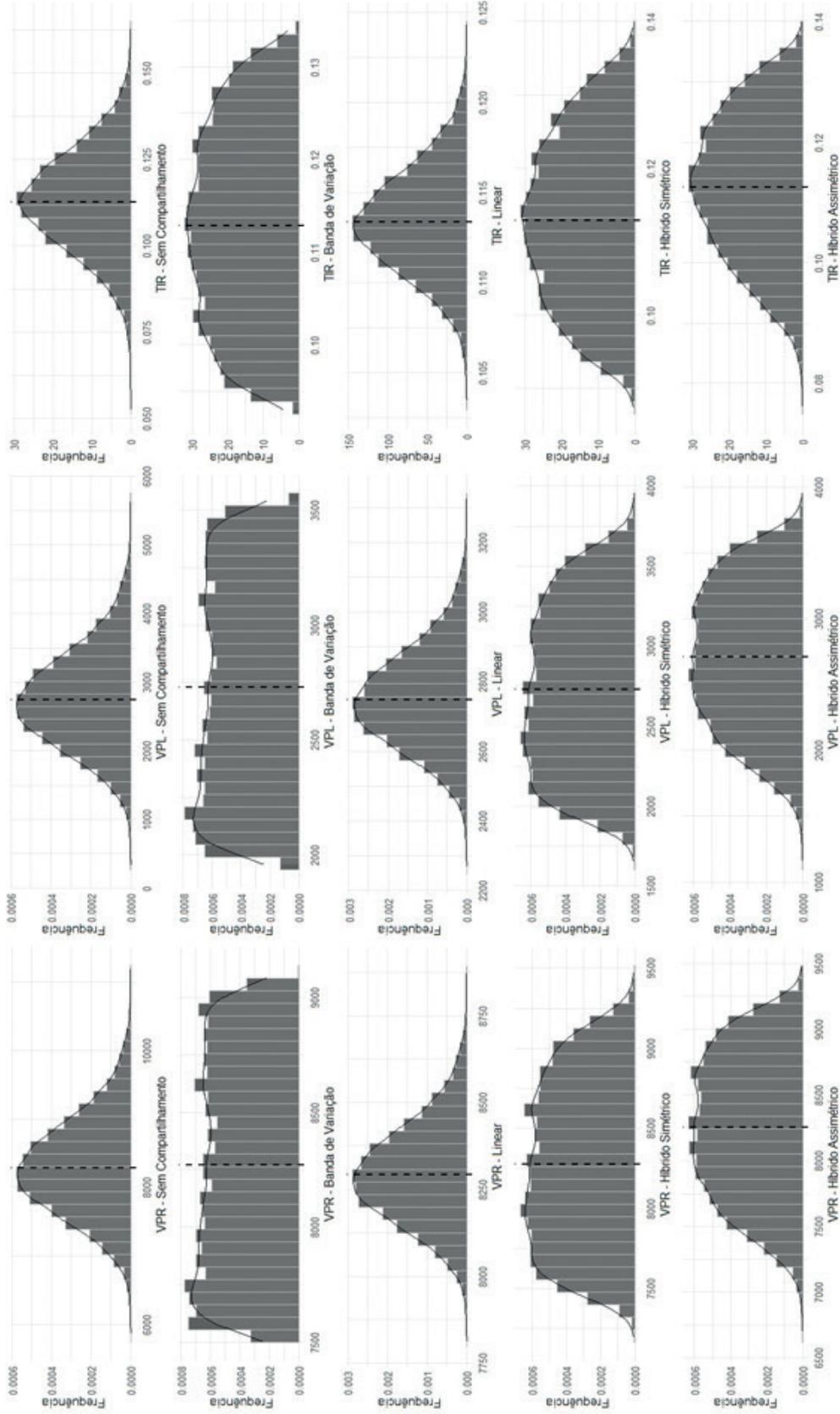
TABELA 10

Comparação dos modelos de compartilhamento de receita selecionados pelo critério de maior redução tarifária

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Caso-base: sem compartilhamento	Banda – 10%	Linear – 80%	Híbrido simétrico – 80% Banda –10%	Híbrido assimétrico – 80% e 50% Banda –10%
VPR esperado (R\$ 1 milhão)	8,294	7,432	8,294	7,589	7,665
Desvio-padrão do VPR	695	402	139	451	487
VPL esperado (R\$ 1 milhão)	2,749	1,888	2,749	2,044	2,173
Desvio-padrão do VPL	695	402	139	451	487
VPD esperado (R\$ 1 milhão)	5,544	5,544	5,544	5,544	5,544
$Pr[VPL] < 0$ (%)	0	0	0	0	0
TIR (%)	11,28	9,03	11,34	9,44	9,65
Desvio-padrão da TIR (%)	1,41	0,94	0,28	1,02	1,10
IS	4.67	4.66	23.66	4.68	4.54
Tarifa (R\$)	5,30	4,76	5,30	4,86	4,92
VaR (R\$ 1 milhão)	1,685	1,281	2,537	1,369	1,330
Desvio-padrão do VaR	-1.064	-603	-212	-675	-843
CVaR (R\$ 1 milhão)	1,445	1,249	2,489	1,300	1,207
Desvio-padrão do CvaR	-1.304	-635	-260	-744	-966

Fonte:

GRÁFICO 3
Gráficos de comparação dos modelos referentes à tabela 9



Fonte:

Obs.: A figura não pôde ser padronizada e revisada em virtude das condições técnicas dos originais (nota do Editorial).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo simulou a trajetória da demanda por uma rodovia por meio de modelo estocástico embasado no MGB, bem como os impactos de diferentes modelos com regras de compartilhamento do risco de demanda, utilizando dados e parâmetros do edital de concessão da BR-040 no trecho Distrito Federal-Goiás-Minas Gerais. A opção metodológica pela simulação estocástica pretende não introduzir qualquer viés sobre o comportamento projetado das receitas, cuja trajetória de crescimento acompanha o ritmo de expansão econômica regional. Os valores críticos simulados derivam exclusivamente da magnitude do desvio-padrão adotado na simulação, que, tal como a taxa de crescimento da demanda, pode ser calibrada de acordo com a evidência empírica e o propósito de cada pesquisador. Assim, o modelo de simulação desenvolvido mostra-se suficientemente robusto, porém também flexível, para ser aplicado a diferentes setores de infraestrutura, com vista a avaliar o grau de exposição do Estado e concessionário a flutuações de demanda e, destarte, identificar qual o nível e o instrumento mais adequados para suprimento de garantias a esses riscos.

Com base nos indicadores financeiros adotados para a avaliação das simulações, certos modelos apresentaram relação de risco e retorno mais vantajosa, sugerindo a possibilidade de ganhos relevantes em termos de redução tarifária e/ou maiores outorgas nos leilões de rodovias, a partir da adoção de regras de compartilhamento de riscos de demanda. Os modelos que incorporam menores bandas de variação, com percentuais limitados a 10%, emergem como preferíveis no que tange ao risco, dado que bandas de 15% e 20% englobam praticamente todas as flutuações de receita projetadas, tornando inócuo o mecanismo de proteção contra essas variações. Por sua vez, pelo mesmo critério de risco/retorno, o modelo de compartilhamento linear de 80% mostrou-se superior aos modelos de banda em termos de indicadores de risco e perda esperada, o que possibilitaria redução tarifária mais acentuada ao usuário, não obstante maior exposição ao risco por parte do poder concedente.

Sob essa ótica, um modelo híbrido simétrico, que combina bandas de variação de 5% ou 10% com um compartilhamento linear de receitas igual ou superior a 50%,⁹ apesar de não apresentar menor risco quando comparado a outros modelos, ainda dispõe de indicadores de risco/retorno mais sustentáveis e permitiria reduções tarifárias sem onerar excessivamente o poder concedente e o concessionário. Esse modelo se assemelha àquele adotado pela ANTT em novos leilões de rodovias realizados a partir

9. Nas simulações realizadas neste trabalho, foi adotado o percentual de 80% apenas para fins de maior diferenciação dos impactos do compartilhamento linear de receitas perante as demais regras de partilha, sem implicar superioridade ou preferência por esse percentual.

de 2023, com a quinta etapa de concessões rodoviárias federais, nas quais o compartilhamento de receitas é feito com bandas de 10% de variação e fixado em 50% do valor excedente em relação à receita prevista na banda (ANTT, 2023). Por seu turno, o modelo alternativo híbrido assimétrico poderia ser empregado em cenários em que seja necessário reduzir ainda mais o risco percebido pelo concessionário, proporcionando a este uma garantia maior, mas, em contrapartida, maior risco para o poder concedente.

A alocação ótima dos riscos de demanda apresenta-se como condição essencial para a efetividade da prestação dos serviços públicos, com vistas à minimização do risco de solvência dos projetos sem onerar em demasia o poder público, nem comprometer a qualidade da infraestrutura disponibilizada à sociedade. Assim, em face dos modelos apresentados neste trabalho, é recomendada a seleção da regra de compartilhamento conforme as peculiaridades de cada projeto para concessão, levando-se em consideração a preferência do investidor e o interesse do usuário, de modo a alcançar melhor relação de risco e retorno com patamar tarifário igualmente sustentável.

REFERÊNCIAS

ANTT – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Estudo internacional de contratos de concessão de rodovias**. Brasília: ANTT, 2020. 147 p.

ANTT – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Anexos**: contrato de concessão nº 1/2023 – sistema rodoviário BR-277/373/376/476 e PR-418/423/427. Brasília: ANTT, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/novos-projetos-em-rodovias/br-277-373-376-476-pr-e-pr-418-423-427/arquivos-para-download/edital-e-anexos/anexos-contrato-parana-lote-1>. Acesso em: 14 maio 2024.

BRANDÃO, L. E. T.; SARAIVA, E. The option value of government guarantees in infrastructure projects. **Construction Management and Economics**, v. 26, n. 11, p. 1171-1180, 2008.

BRASIL. Ministério da Fazenda. **Manual de orientação para cálculo do WACC**. Brasília: MF, 21 dez. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/fazenda/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/guias-e-manuais-anteriores-a-2019/metodologia-de-calculo-do-wacc2018.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.

BRAVO, L. C.; SILVA FILHO, E. B. da; BORGES, D. L. **Avaliação jurídica de mecanismos contratuais de compartilhamento de riscos de demanda para concessões rodoviárias no Brasil**. Rio de Janeiro: Ipea, ago. 2024. (Texto para Discussão, n. 3035).

BRIGHAM, E. F.; EHRHARDT, M. C. **Administração financeira**: teoria e prática. São Paulo: Cengage, 2006.

CAMPOS NETO, C. A. da S.; MOREIRA, S. V.; MOTTA, L. V. **Modelos de concessão de rodovias no Brasil, no México, no Chile, na Colômbia e nos Estados Unidos**: evolução histórica e avanços regulatórios. Rio de Janeiro: Ipea, mar. 2018. (Texto para Discussão, n. 2378).

CHILE. **Concesiones de obras públicas en Chile**: 20 años. Santiago: CCOP/MOP, jun. 2016. 193 p.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Concessões rodoviárias**: experiência internacional e recomendações para o Brasil. Brasília: CNI, 2018.

COSTA, F. A. **Avaliação dos condicionantes de abandono contratual e viabilidade econômica da relicitação em concessões de infraestrutura pela abordagem das opções reais**. Rio de Janeiro: Ipea, abr. 2023. (Texto para Discussão, n. 2872).

COSTA, F. do A.; POMPERMAYER, F. M. **Aplicação da análise por opções reais para o abandono contratual em concessões rodoviárias**: proposição de remédio regulatório sobre o valor da indenização por investimentos não amortizados. Brasília: Ipea, fev. 2024. (Texto para Discussão, n. 2961).

DAMODARAN, A. **Investment valuation**: tools and techniques for determining the value of any asset. 3. ed. Nova York: Wiley, mar. 2012. 992 p.

DIAS, M. A. G. **Análise de investimentos com opções reais**: teoria e prática com aplicações em petróleo e em outros setores – conceitos básicos e opções reais em tempo discreto. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. v. 1.

ELTON, E. J. *et al.* **Moderna teoria de carteiras e análise de investimentos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

ENGEL, E. *et al.* **Financing PPP projects with PVR contracts**: theory and evidence from the UK and Chile. Santiago: CEA/Universidad de Chile, 2019. (Documentos de Trabajo, n. 347).

GUIMARÃES, F. V. *et al.* **Distribuição de riscos nas concessões rodoviárias**. Brasília: CBIC, abr. 2018.

IYER, K. C.; SAGHEER, M. A real options based traffic risk mitigation model for build-operate-transfer highway projects in India. **Construction Management and Economics**, v. 29, n. 8, p. 771-779, 2011.

JOHNSON, K. L.; CLARK, T. E. Modeling demand in public-private partnerships. **International Journal of Project Management**, v. 37, n. 1, p. 50-64, 2019.

JORION, P. **Value at risk**: the new benchmark for managing financial risk. Nova York: McGraw-Hill, 2001.

LINTNER, J. The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets. **Review of Economics and Statistics**, v. 47, n. 1, p. 13-37, fev. 1965.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais: modelos lineares univariados**. São Paulo: Blucher, 2018.

PLOTKOWSKI, F. M.; SILVA, R. I. da. A flexibilidade de abandono em concessões de infraestrutura de transporte: um estudo de caso em rodovias no Brasil. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 58, p. 301-357, dez. 2022.

POMPERMAYER, F. M.; SILVA FILHO, E. B. da. **Concessões no setor de infraestrutura: propostas para um novo modelo de financiamento e compartilhamento de riscos**. Rio de Janeiro: Ipea, fev. 2016. (Texto para Discussão, n. 2177).

ROCHA, K. Opções reais e o novo modelo de compartilhamento de riscos da ANTT: reflexões sobre o leilão vazio da BR381/MG. **WebAdvocacy**, 19 fev. 2024. Disponível em: <https://webadvocacy.com.br/2024/02/19/opcoes-reais-e-o-novo-modelo-de-compartilhamento-de-riscos-da-antt/>. Acesso em: 23 mar. 2024.

SARAIVA, E. C. G. **Projetos de infraestrutura pública: risco, incerteza e incentivos**. 2008. Tese (Doutorado) – Escola de Pós-Graduação em Economia, Fundação Getulio Vargas, Rio de Janeiro, 2008.

SARYKALIN, S.; SERRAINO, G.; URYASEV, S. Value-at-risk vs. conditional value-at-risk in risk management and optimization. **Tutorials in Operations Research – Informs**, p. 270-294, set. 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/200798611_Value_at-Risk_vs_Conditional_Value-at-Risk_in_Risk_Management_and_Optimization. Acesso em: 23 set. 2023.

SHARPE, W. Mutual fund performance. **Journal of Business**, v. 39, p. 119-138, 1966.

SILVA FILHO, E. B. da; BORGES, D. L.; BRAVO, L. C. **Compartilhamento do risco de demanda em concessões rodoviárias: experiências dos países emergentes e perspectivas para o Brasil**. Brasília: Ipea, jun. 2024. (Texto para Discussão, n. 3003).

SMITH, J. A.; WILLIAMS, B. X. Risk allocation in infrastructure financing. **Journal of Finance**, v. 75, n. 3, p. 1234-1269, 2020.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

COX, J. C.; ROSS, S.; RUBINSTEIN, M. Option pricing: a simplified approach. **Journal of Financial Economics**, v. 7, n. 3, p. 229-263, 1979.

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

EDITORIAL

Coordenação

Aeromilson Trajano de Mesquita

Assistentes da Coordenação

Rafael Augusto Ferreira Cardoso

Samuel Elias de Souza

Supervisão

Ana Clara Escórcio Xavier

Everson da Silva Moura

Revisão

Alice Souza Lopes

Amanda Ramos Marques Honorio

Barbara de Castro

Cláudio Passos de Oliveira

Clícia Silveira Rodrigues

Denise Pimenta de Oliveira

Fernanda Gomes Teixeira de Souza

Nayane Santos Rodrigues

Olavo Mesquita de Carvalho

Reginaldo da Silva Domingos

Susana Souza Brito

Yally Schayany Tavares Teixeira

Jennyfer Alves de Carvalho (estagiária)

Katarinne Fabrizzi Maciel do Couto (estagiária)

Editoração

Anderson Silva Reis

Augusto Lopes dos Santos Borges

Cristiano Ferreira de Araújo

Daniel Alves Tavares

Danielle de Oliveira Ayres

Leonardo Hideki Higa

Capa

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Projeto Gráfico

Aline Cristine Torres da Silva Martins

The manuscripts in languages other than Portuguese published herein have not been proofread.

Ipea – Brasília

Setor de Edifícios Públicos Sul 702/902, Bloco C

Centro Empresarial Brasília 50, Torre B

CEP: 70390-025, Asa Sul, Brasília-DF

Missão do Ipea
Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.