

# Avaliação por Opções Reais de Incentivos para Investimento em Infraestrutura à luz da Lei da Relicitação e Metodologias de Indenização

Katia Rocha (IPEA)\*

Naielly Lopes Marques (PUC-Rio, UFJF, Bolsista IPEA)\*\*

## Resumo

Este estudo explora como o desenho de incentivos regulatórios propostos pelo poder concedente tem potencial de impactar as decisões de investimentos do concessionário na participação no certame, no valor potencial das outorgas e na solicitação de processo de relicitação ou devolução da concessão. Tais incentivos embutem valores contingentes semelhantes ao de uma *Opção Real*. O modelo proposto analisa a decisão de investimento em uma concessão típica (*Call*), e o respectivo impacto da Lei das Relicitações (*Put*) sob diferentes metodologias de indenização de investimentos não depreciados ou amortizados (*payoff* de resgate) no comportamento dos investidores. Trata-se de uma opção composta do tipo americana (uma *Call* de uma *Put*), e se diferencia da maioria dos trabalhos por analisar a decisão de investimento (opção) anterior ao certame. Seu exercício implica em receber o ativo e respectivos fluxos de caixa futuros da concessão com a respectiva opção de devolução, mediante pagamento do Capex (preço de exercício). Os resultados ilustram bem o *trade off* entre atratividade da concessão e política indenizatória. A adoção de metodologias de indenização que resultam em valores mais elevados – custo histórico ou valor novo de reposição, em detrimento ao valor justo de mercado – implicam em maior atratividade da concessão, maior incentivo na participação no certame e maior potencial de outorgas. Quanto maior a incerteza da demanda, maior a aversão ao risco do investidor – exige uma alta demanda para a decisão de investimento, e, suporta maior frustração de demanda para a devolução da concessão. Essa dinâmica representa uma região de histerese, usual em modelos de opções reais. Penalidades podem ser incluídas no modelo com o objetivo de desincentivar comportamentos oportunistas de devolução. Os resultados servem de ponto de atenção ao formulador de política pública e regulador, especialmente na estruturação de projetos e análise de impactos regulatórios de concessões e PPPs não atrativas – VPL baixo ou com alta incerteza de demanda, justamente onde a metodologia de *opções reais* produz maior impacto ao potencializar investimentos. Nesse sentido, sublinhamos que o melhor desenho pode não ser, necessariamente, o que isenta financeiramente a administração pública, mas sim, o que viabiliza o projeto.

**Palavras-chave:** Concessões e PPPs; Lei das Relicitações; Metodologias de Cálculo de Indenização de Investimentos; Opções Reais.

---

\* Técnica de Planejamento e Pesquisa do IPEA. E-mail: [katia.rocha@ipea.gov.br](mailto:katia.rocha@ipea.gov.br)

\*\* Doutora em Administração de Empresas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio); Professora na Faculdade de Administração e Ciências Contábeis (FACC) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF); e, Bolsista de Doutorado no IPEA. E-mail: [naielly.lopes@iag.puc-rio.br](mailto:naielly.lopes@iag.puc-rio.br)

## 1. Introdução

A infraestrutura inadequada, seja em termos de estoque ou qualidade, é atualmente uma das principais barreiras ao crescimento e ao desenvolvimento econômico brasileiro. No Brasil, investimentos públicos e privados em infraestrutura econômica<sup>1</sup> corresponderam, respectivamente, a 0,72% e 1,13% do PIB a.a. em média na última década, perfazendo um total de 1,85% do PIB a.a. na média (Infralatam, 2020; PPI, 2020). Tal volume situa-se abaixo da meta, estimada entre 4 e 5%, para um crescimento sustentável, e enseja uma lacuna de no mínimo 2% do PIB a.a. (Global Infrastructure Outlook, 2022). Estimativas recentes do Plano Integrado de Longo Prazo da Infraestrutura (PILPI) projetam a necessidade de investimentos de cerca R\$ 300 bilhões ao ano até 2050 (CIP-INFRA, 2021).

Esse panorama ilustra o senso de urgência do Brasil, que precisa aprimorar a eficiência e qualidade do investimento público e, ao mesmo tempo, mobilizar o capital privado em escala e ritmo, tendo, portanto, de gerar as condições necessárias para incentivar substancialmente o investimento privado em infraestrutura.

Atualmente, o debate sobre a preservação do investimento público num ambiente de ajuste fiscal é objeto de grande relevância (Ardanaz et al., 2021), e dada a limitação fiscal do Estado Brasileiro, a participação dos investidores privados aparece como uma importante fonte de recursos de longo prazo para o setor de infraestrutura nas próximas décadas.

O desafio requer ação simultânea em várias frentes, seja no equilíbrio macroeconômico, arcabouço regulatório, planejamento institucional e políticas de financiamento.

A primeira frente sobre equilíbrio macroeconômico é condição básica para crescimento econômico e social de toda economia, afetando principalmente o usuário final, que em última instância, financia a infraestrutura via tarifas indexadas a inflação.

A segunda frente sobre arcabouço regulatório abrange o fortalecimento constante das agências reguladoras, estabilidade regulatória com segurança jurídica, transparência nos reequilíbrios econômicos e financeiros dos contratos, de forma a reforçar os mecanismos de responsabilização das instituições e gestores públicos.

A terceira frente sobre aprimoramentos no planejamento institucional reforça o papel das Parcerias Público Privadas (PPPs) no plano nacional de infraestrutura e desenvolvimento estratégico nacional de longo prazo, incentivando maior integração dos projetos com as prioridades de investimento do governo.

Finalmente, a quarta frente relaciona-se a estruturas de financiamentos dos projetos, e abrange melhorias quanto à repactuação de contratos de concessão, visando sua transferência de controle e continuidade na prestação dos serviços públicos, mecanismos para desenvolvimento e ampliação do mercado de debêntures de infraestrutura, financiamento pelo modelo *project finance*, aumento da base de investidores, incluindo questões sobre emissões internacionais e estímulos a investidores institucionais, e desenvolvimento da infraestrutura como uma classe de ativos financeiros.

Do ponto de visto regulatório, o governo federal, ao longo dos anos, vem se empenhando na consolidação de um arcabouço regulatório propício aos investimentos em infraestrutura com maior segurança jurídica e perseguindo maior eficiência e qualidade na prestação de serviços. Desde 2016, diversas iniciativas importantes foram logradas

---

<sup>1</sup> Na literatura, tal definição abrange os setores de energia elétrica, transportes, água e saneamento e resíduos.

como a Lei das Agências Reguladoras, a Lei das Estatais, Programa de Parcerias de Investimento (PPI), Lei de Ambiente de Negócios e Liberdade Econômica, o novo Marco Legal de Saneamento, as novas leis do gás, cabotagem, ferrovias, entre outras.

Fazem parte desse pacote a Lei das Relicitações (Lei 13.448/2017)<sup>2</sup> e respectivas resoluções sobre metodologia de indenização de investimentos vinculados a bens reversíveis não depreciados ou amortizados<sup>3</sup>. Tais regramentos visam o aumento da segurança jurídica e na maior previsibilidade dos investimentos privados em infraestrutura, trazendo mais clareza acerca dos procedimentos e regras de prorrogação e indenização.

Para o formulador de políticas públicas (principal) é fundamental o entendimento de como tais iniciativas impactam e condicionam o comportamento dos concessionários (agentes) em presença de incertezas. Tais dispositivos, bem como as políticas de incentivos, subsídios e garantias dadas aos projetos, afetam a matriz de risco e retorno do projeto e embutem valores contingentes ao projeto – dependem de forma não linear de alguma variável de estado incerta do projeto, como por exemplo da demanda pelo serviço, semelhantes aos de uma *Opção Real* (Dixit & Pindyck, 1994; Trigeorgis, 1996).

O presente estudo explora a metodologia de *opções reais* para explicitar o comportamento do licitante/concessionário em presença de diversos incentivos e regramentos, usuais em uma concessão ou PPPs, com objetivo de identificar pontos de atenção e auxiliar o poder concedente na formulação de políticas públicas e análises de impactos regulatórios. Possibilita entender como o desenho de incentivos regulatórios pode impactar as decisões do concessionário, seja na participação no certame, no preço potencial das outorgas, na decisão de investimento ou de devolução da concessão. Tais impactos são mais evidentes em concessões de baixa atratividade, ou seja, de baixo VPL (fora do dinheiro) ou com alta incerteza de demanda, uma vez que no Brasil, as rodovias federais mais atrativas já foram concedidas (SDI, 2022). Portanto, o desafio atual é estabelecer diretrizes para estimular o investimento em concessões não rentáveis neste setor, como as apresentadas neste trabalho. Nesse sentido, sublinhamos que o melhor desenho pode não ser,

---

<sup>2</sup> A Lei de Concessões (Lei 8.987/95) estabelece que em cada contrato conste a respectiva política de reversão de ativos não amortizados em caso de extinção antecipada. Em contrapartida ao processo de caducidade, moroso e de grandes disputas judiciais, com penalizações sobre a continuidade da prestação do serviço e aos usuários finais; a Lei das Relicitações visa dar celeridade a este processo com benefícios a continuidade do projeto, aos usuários finais, a administração pública e empresa prestadora. Trata sobre prorrogação dos contratos (antecipadamente ou na iminência de término do prazo original) e procedimento administrativo de extinção amigável dos contratos com posterior relicitação. Abrange contratos federais e os setores rodoviário, ferroviário e aeroportuário e serve de diretriz geral para os demais entes federativos e demais setores. Cabe mencionar que desde a sua regulamentação, nenhuma relicitação saiu do papel e uma dezena de processos de rodovias e aeroportos ainda aguardam decisão do TCU.

<sup>3</sup> A metodologia para cálculo do valor das indenizações é disciplinada em ato normativo do órgão competente, atribuindo às respectivas agências reguladoras esta competência. Cada agência possui um regramento específico para o cálculo de indenização de ativos. A ANTT (Agência Nacional de Transporte Terrestre), por exemplo, se baseia no custo histórico atualizado do ativo (valor contábil); a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), por outro lado, se baseia na metodologia de valor novo de reposição; e, a ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) realizou em 2021 tomada de subsídios para o processo de elaboração da norma de referência de indenização de ativos para os segmentos de água e esgoto a serem usadas nos Estados e Municípios. Para maiores detalhes sobre todo o arcabouço normativo sugerimos a consolidação recente feita pela KPMG (2020). A discussão sobre regras de indenização é geral para todos os setores de infraestrutura.

necessariamente, o que isenta financeiramente a administração pública, mas sim, o que viabiliza o projeto.

O modelo proposto segue Rocha Armada, Pereira e Rodrigues (2012) e analisa a opção de investimento em uma concessão típica (*Call*), a partir do qual investigamos os impactos da Lei das Relicitações (*Put*) sob diferentes metodologias de indenização de investimentos vinculados a bens reversíveis não depreciados ou amortizados – custo histórico, valor novo de reposição e valor justo de mercado<sup>4</sup> – no comportamento dos investidores. Trata-se de uma opção composta (uma *Call* de uma *Put*), e se diferencia da maioria dos trabalhos por analisar a decisão de investimento (opção) anterior ao certame. Seu exercício implica em receber o ativo da concessão com a respectiva opção de devolução, mediante pagamento do Capex (preço de exercício).

Estamos no início de um ciclo de grandes programas de concessões e PPPs, e, políticas públicas que estimulem uma maior participação privada, eficiente e dinâmica com o ente público. Setores como saneamento e transportes, que no Brasil respondem pelas maiores lacunas de infraestrutura e cuja incidência de renegociações/cancelamentos contratuais permanece elevada em diversos países emergentes como veremos nas próximas seções, podem ser estimulados a partir da metodologia proposta.

O trabalho se organiza da seguinte forma. A próxima seção apresenta o referencial teórico sobre renegociações e cancelamentos de contratos no ambiente de PPPs com estatísticas disponíveis no âmbito global e local. Na seção 3, descrevemos o modelo proposto de *opções reais* e de como políticas de incentivos como a Lei das Relicitações e metodologias de indenização da base de investimentos modificam o comportamento e as decisões do concessionário, seja na participação do certame, no preço potencial das outorgas, e na decisão de devolução da concessão. Por fim, na seção 4, concluimos e propomos sugestões de pesquisas futuras.

## **2. Renegociações e Cancelamentos em PPPs: Referencial Teórico e Estatísticas**

Ocorrências de renegociações são esperadas e de certa forma necessárias para o bom funcionamento de concessões e PPPs, dada a natureza incompleta dos contratos e da inviabilidade da previsão ex-ante de todas as contingências contratuais que podem afetar o acordo no longo prazo (Guasch et al., 2014; Ribeiro, 2011, 2020; Ribeiro e Pinto, 2019).

No entanto, uma alta incidência de renegociações levanta questionamentos sobre a credibilidade do modelo e do respectivo programa de concessão, impactando, até mesmo, o efeito competitivo do leilão, onde o concessionário selecionado passa a ser o “especialista em renegociações”, ao invés do operador mais eficiente. Isso incentiva comportamentos oportunistas, com impactos fiscais potenciais nas despesas do Governo e na percepção dos agentes econômicos e sociais, resultando em atrasos e/ou reduções nas obrigações de investimentos e/ou aumentos na tarifa. Como consequência, observa-se a diminuição dos benefícios do programa e do bem-estar dos usuários finais.

---

<sup>4</sup> De forma reduzida, o modelo valor contábil consiste no cálculo da indenização dos investimentos não amortizados com base nos valores históricos registrados em demonstrativos contábeis; o modelo valor novo de reposição se baseia na estimativa dos custos necessários para a completa reposição do ativo; e, o modelo valor justo é determinado através de uma avaliação econômico-financeira, realizada na data base do término antecipado de contrato, por meio do método de fluxo de caixa descontado. Maiores detalhes em: KPMG (2017, 2020), World Bank (2019) e European PPP Expertise Centre (2013).

O referencial teórico sobre determinantes de renegociações a partir de características endógenas e exógenas do contrato e/ou país e a respectiva associação a um aumento (+) ou redução (–) na probabilidade de renegociações está sintetizado na Tabela 1. De forma geral, setores de transporte, água e saneamento apresentam maiores incidências de renegociações. Além disso, melhores características institucionais, presença de arcabouço regulatório expressos em lei (em oposição aos expressos apenas nos contratos), melhores indicadores de qualidade institucional da regulação, do controle de corrupção e do aparato legal do país, diminuem a incidência de renegociações. Por outro lado, maior obrigação de investimentos no contrato (regulação por meios, em oposição à regulação por incentivos), maior parcela de risco alocada ao operador, desenhos de menor tarifa em detrimento aos de maior outorga (*lock-in effect*), modelos fortes de incentivos do tipo *Price-Cap*<sup>5</sup> (em especial em países de maior volatilidade macro), maior competição no certame, choques macroeconômicos (recessão e desvalorização cambial), aumentam a incidência de renegociação em especial após eventos de eleições.

Segundo a Global Infrastructure Hub (2022), diversas negociações ocorreram entre 2005 e 2015, seja a nível global (33%), e especialmente, na América Latina e Caribe (58%), com predominância do setor de transporte (42%), seguido por água e saneamento (33%). A prevalência de renegociação alcança 20% dos projetos até o quarto ano após a assinatura do contrato. Aumentos nos custos de construção e operação, juntamente com mudanças na regulamentação, mudanças de política do Governo e falhas na estimativa da demanda ou falhas de projeto foram as causas mais citadas das renegociações.

Caso não logre êxito no processo de renegociação, o contrato pode ser cancelado. Dados de cancelamentos de projetos de PPPs, disponíveis no Banco Mundial para economias de baixa e média renda, mostram que a incidência total de término antecipado é de 5,8% do total de projetos, sendo que na América Latina esse índice atinge 9,4%, e no Brasil apenas 1,4% no período entre 2000 e 2020 (PPI, 2020). Os cancelamentos ocorreram em diversos setores especialmente no de transporte com 24,7% seguido de transmissão e distribuição de gás natural com 18% e água e saneamento com 12,6%.

---

<sup>5</sup> Guasch et al. (2008) pontuam que as renegociações constantes acabam transformando regulações do tipo *Price cap* de maior incentivo em taxas de retornos, em especial, em países com maior volatilidade como os da América Latina. Sugere reconsiderações sobre sistema de taxa de retorno ou esquemas regulatórios híbridos (um limite e cláusulas de repasse de custos).

**Tabela 1 – Determinantes de Renegociações de Contratos: Referencial Teórico.**

	<b>Determinantes das Renegociações</b>	<b>Impactos nas Renegociações</b>	<b>Referências</b>
<b>Características Institucionais</b>	Maior Qualidade Regulatória, Maior Efetividade da Governança	–	Guasch et al. (2003, 2007, 2008) Guasch & Straub (2009)
	Maior Controle de Corrupção, Maior Aparato Legal	–	Guasch et al. (2003, 2007, 2008) Guasch & Straub (2009)
<b>Modelo e Desenho da Concessão</b>	Setor Transporte, Água e Saneamento	+	Guasch et al. (2003, 2007, 2008) Guasch & Straub (2009) Guasch (2004)
	Menor Tarifa	+	Guasch et al. (2003, 2007, 2008) Guasch & Straub (2009)
	Maior Outorga	–	Guasch et al. (2003, 2007, 2008) Guasch & Straub (2009)
	Investimentos Requeridos no Contrato (regulação por meios)	+	Guasch (2004, 2008)
	Indicadores de Performance (regulação de incentivos)	–	Guasch (2004, 2008)
	Bid competitivo	+	Guasch et al. (2003, 2008) Guasch (2004)
<b>Arcabouço Regulatório</b>	<i>Price Cap</i>	+	Guasch et al. (2003, 2008) Guasch (2004)
	<i>Rate of Return</i>	–	Guasch et al. (2003, 2008) Guasch (2004)
	Arcabouço Regulatório Existente	–	Guasch et al. (2003, 2008) Guasch (2004)
	Arcabouço Regulatório na Lei	–	Guasch et al. (2003, 2008) Guasch (2004)
	Arcabouço Regulatório no Contrato	+	Guasch et al. (2003, 2008) Guasch (2004)
<b>Outros</b>	Eleições	+	Guasch et al. (2003, 2007, 2008) Castro e Silva Neto et al. (2016)
	Garantias Governamentais	+	Guasch et al. (2003, 2008)
	Falha na Estruturação e Modelagem do Projeto	+	Guasch (2004) Castro e Silva Neto et al. (2016)
	Inadequada alocação de riscos	+	Guasch et al. (2003, 2008) Guasch (2004)
<b>Ambiente Macro</b>	Crescimento do PIB	–	Guasch et al. (2003, 2007, 2008) Guasch & Straub (2009)
	Choque Macro	+	Guasch et al. (2003, 2008)

### 3. Opções Reais e Incentivos para Investimento em Infraestrutura

A metodologia de opções reais surgiu da necessidade de levar em conta a flexibilidade gerencial na avaliação de ativos reais, que não é contemplada por técnicas tradicionais, como o método de Fluxo de Caixa Descontado – FCD (Copeland & Tufano, 2004). Essa nova abordagem adapta os modelos de precificação de opções financeiras seminais

desenvolvidos por Black e Scholes (1973) e Merton (1973), permitindo o tratamento do investimento sob incerteza e flexibilidade.

Myers (1977) é creditado como um dos primeiros autores a usar opções reais para determinar o valor de ter flexibilidade e capacidade de investimento no futuro. Este estudo mostrou que as empresas que têm um alto risco de dívida perderão oportunidades valiosas de investimento, enquanto as empresas que têm baixo risco de dívida poderão aproveitar as oportunidades futuras de investimento. Este e outros trabalhos pioneiros e seminais constituem as referências clássicas sobre o tema com aplicações em diversos setores (Tourinho, 1979; Brennan & Schwartz, 1985; Titman, 1985; McDonald & Siegel, 1986; Majd & Pindyck, 1987; Paddock, Siegel & Smith, 1988; Triantis & Hodder, 1990; Dixit & Pindyck, 1994; Trigeorgis, 1996). Desde a década de 80, diversos trabalhos empíricos abrangem áreas de exploração e produção de recursos naturais (óleo e gás, mineração e florestas), compartilhamento de redes, setores regulados, entre outros. Para uma visão geral de referencial teórico e suas diversas aplicações, recomendamos Schwartz e Trigeorgis (2004).

As opções reais permitiram inferir diversos modelos teóricos de otimização sob incerteza no comportamento do agente, resultando em importantes aplicações na teoria de regulação econômica e de desenho de mecanismos e incentivos nos últimos anos (Alonso-Conde, Brown, & Rojo-Suarez, 2007; Soliño, Galera, & Colín, 2018; Song et al., 2018). Alguns trabalhos recentes utilizam essa metodologia, visto que ela possibilita melhor compreensão de como políticas de incentivos, subsídios ou regramentos diversos impactam as decisões do concessionário (agente) seja na participação no certame, na formação do preço potencial de outorgas ou até mesmo na decisão de devolução da concessão (Rose, 1998; Blank et al., 2016; Brandão & Saraiva, 2008; Cheah & Liu, 2006; Chiara, Garvin, & Vecer, 2007; Vassallo, 2006).

Um problema sensível ao poder concedente com inúmeros impactos negativos tanto aos usuários quanto aos investidores, são as devoluções de contratos como ilustrado na seção anterior (Huang & Chou, 2006; Colín, Soliño, & Galera, 2017; Bowe & Lee, 2004; Huang & Pi, 2014; Rakić & Rađenović, 2014; Scandizzo & Ventura, 2010; Silaghi & Sarkar, 2021).

No presente trabalho, de forma simplificadora, seguimos o padrão da literatura e consideramos a demanda pela capacidade da infraestrutura a única fonte de incerteza (Armada et al., 2012; Blank et al., 2016; Marques, Bastian-Pinto, & Brandão, 2021; Galera & Soliño, 2010; Irwin, 2003). Essa incerteza pode corresponder a demanda de veículos, volume de veículos equivalente, número de passageiros no aeroporto, número de consumidores atendidos, dependendo do setor em questão, o que não modifica a análise.

O modelo proposto segue Rocha Armada, Pereira e Rodrigues (2012)<sup>6</sup>, que analisa a decisão de investimento (opção) em uma concessão típica (*Call*), a partir do qual analisamos os impactos da Lei das Relicitações (*Put*) sob diferentes metodologias de indenização de investimentos vinculados a bens reversíveis não depreciados ou amortizados no comportamento dos investidores. Cada metodologia de indenização corresponde a um *payoff* (resgate) caso a opção de devolução (*Put*) seja exercida. Trata-se, portanto, de uma opção composta do tipo americana perpétua (uma *Call* de uma *Put*), e se diferencia da maioria dos trabalhos por analisar a decisão de investimento (opção) anterior ao certame. Seu exercício implica em receber o valor dos fluxos futuros

---

<sup>6</sup> Este modelo foi apresentado inicialmente em Dixit e Pindyck (1994).

esperados da concessão com a respectiva opção de devolução, mediante pagamento do Capex (preço de exercício).

Como usual em modelos teóricos, estes fornecem boa intuição, às custas de hipóteses simplificadoras. O investidor, inicialmente, detém uma opção de investimento (*Call*) em uma concessão típica que apresenta uma opção de devolução (*Put*). No exercício da primeira opção de investimento (*Call*), o investidor participa do certame com bid vencedor. Nesse caso ele recebe o *payoff*, qual seja, o VPL da concessão, que corresponde ao fluxo de caixa futuro descontado (incerto, uma vez que depende da demanda), mediante desembolso total do *Capex* (preço de exercício da *Call*). Após esse primeiro exercício, o investidor adquire a concessão, i.e., ativo que gera fluxos de caixa futuros, juntamente com uma opção de abandono/devolução (*Put*), que pode ser exercida a qualquer instante. É possível incluir penalidades pela devolução. No exercício da segunda opção (*Put*), o investidor devolve a concessão e recebe a respectiva indenização – admitida como uma função do *Capex*. Metodologias de indenização de valor histórico/contábil correspondem, grosso modo, a uma maior proporção do *Capex* devolvido, enquanto metodologias de valor justo de mercado, a uma proporção menor do *Capex*. No limite do valor de mercado, o *payoff* da *Put* é zero, uma vez que se devolve a concessão pelo seu valor contingente naquele estado. Indenizações intermediárias correspondem a metodologias do tipo valor novo de reposição<sup>7,8</sup>.

Os momentos ótimos de exercício tanto da *Call* quanto da *Put* são calculados pelo modelo e dependem da demanda (variável estocástica) bem como de processos de otimização (condições de contorno de primeira e segunda ordem). Para demandas superiores a um valor de gatilho  $QI^*$  (calculado), a *Call* é exercida, e para demandas inferiores a um valor de gatilho  $QA^*$  (calculado), a *Put* é exercida, onde  $QI^* > QA^*$ .

O modelo geral detalhado é apresentado no Apêndice A, com as respectivas soluções para metodologias de indenizações pelo valor histórico/contábil, valor novo de reposição e valor justo de mercado/*fair value*.

O valor do projeto/concessão  $V(Q)$  com opção de devolução/indenização (*Put*) é dado pela Eq. (1) – equação (A.17) no Apêndice A, enquanto que o valor da opção de investimento  $F(Q)$  no projeto/concessão (*Call*) é dado pela Eq.(2) – equação (A.25) no Apêndice A.

---

<sup>7</sup> Nada impede que a indenização assuma valores maiores que o Capex, como nos casos de encampação, onde o poder público extingue unilateralmente o contrato de forma antecipada e procede à indenização. A encampação (evento discricionário e incerto) não cabe na análise pela ótica do agente investidor, uma vez que o mesmo não pode decidir devolver a concessão e receber a encampação. A decisão de encampação não é do investidor e sim do poder concedente, ou seja, a flexibilidade gerencial ou opção dessa decisão não é do agente privado. Para sua modelagem pode-se pensar em incluir uma variável de eventos discretos do tipo Poisson no modelo.

<sup>8</sup> Neste trabalho, não tratamos da discussão teórica de regulação por incentivos que evidencia as fragilidades da metodologia de indenização pelo valor histórico/contábil. Apesar desta metodologia poder causar incentivos perversos, como a participação de licitantes sem capacidade de gestão, estamos considerando somente o comportamento do agente dado as opções de devolução e resgate (indenização). Ainda, nossos resultados mostram que as regras de indenização por valor contábil tendem a gerar maior valor para o contrato e, consequentemente, torná-lo mais atrativo a um maior número de licitantes. Contudo, essa conclusão nos permite questionar se isso pode provocar algum viés para cada tipo de licitante. Uma forma de tratar esse possível viés seria através da aplicação de modelos de option games ou jogos sequenciais, que permitem considerar os perfis e características de diferentes investidores, não contemplado no presente estudo.

$$V(Q) = \begin{cases} \theta K - M; Q \leq Q_A^* \\ B_2 Q^{\beta_2} + \frac{RQ}{\delta}; Q > Q_A^* \end{cases} \quad (1)$$

$$F(Q) = \begin{cases} H_1 Q^{\beta_1}; Q < Q_I^* \\ B_2 Q^{\beta_2} + \frac{RQ}{\delta} - K; Q \geq Q_I^* \end{cases} \quad (2)$$

A Figura 1 ilustra o comportamento do investidor vis a vis diferentes políticas de indenização ( $\theta$ ) em um projeto inicial de VPL zero (caso base exemplificando uma concessão não atrativa a priori<sup>9</sup>). O valor da outorga (opção de investimento na concessão – *Call*) depende da demanda incerta  $Q$  (eixo  $y$ ). Existe uma demanda  $Q_I^*$  (gatilho de exercício da *Call*) a partir da qual é ótimo a participação no certame e investimento imediato na concessão e  $Q_A^*$  (gatilho de exercício da *Put*) a partir da qual a concessão é devolvida pelo respectivo valor de indenização (função do Capex  $K$ ). Portanto, a decisão sobre metodologias de cálculo da indenização impacta o comportamento do investidor, seja através da participação no certame, no valor potencial da outorga/bid e na decisão de devolução da concessão. A indenização  $\theta$  pode assumir valores entre 0% (limite típico da indenização do tipo valor de mercado/*fair value*) e 100% (limite típico da indenização do tipo contábil/histórico)<sup>10</sup>. Pontos intermediários correspondem a valor novo de reposição.

A curva azul representa o gatilho ótimo de investimento ( $Q_I^*$ ) enquanto a vermelha indica gatilho ótimo para devolução da concessão ( $Q_A^*$ ). Quanto maior a política de indenização (eixo  $x$ , representado por  $\theta$ ), há um maior incentivo para a participação no certame (curva azul decresce com  $\theta$ ), às custas de maior probabilidade de devolução<sup>11</sup> no caso de uma frustração de demanda (a curva vermelha cresce com  $\theta$ ).

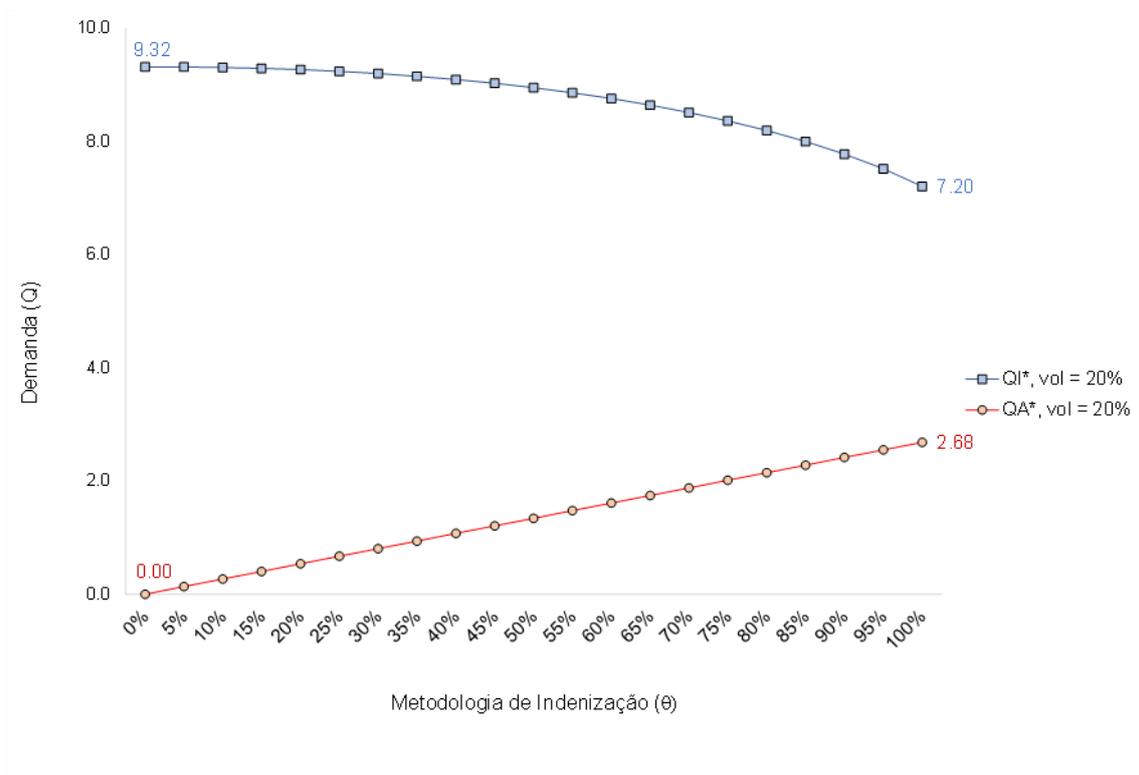
Dessa forma, observamos um *trade off* entre atratividade da concessão e política indenizatória. Maiores incentivos de indenização (valor histórico/contábil ou novo de reposição), mais atrativo o valor da concessão e, por conseguinte, maior o número potencial de licitantes (competição) e valores de outorgas (especialmente para concessões não atrativas ou *fora do dinheiro*). Esse incentivo é alcançado às custas de maior probabilidade de devolução em caso de uma frustração de demanda.

<sup>9</sup> Parâmetros adotados detalhados no Apêndice são  $R = 1$ ;  $Q = 5$ ,  $K = 100$ ,  $\sigma = 20\%$ ,  $r = \delta = 5\%$  e  $M = 0$ .

<sup>10</sup> Ver nota de rodapé 5 sobre cenários de  $\theta > 100\%$ .

<sup>11</sup> A probabilidade de devolução (ou probabilidade de exercício da PUT) pode ser calculada através do distribuição “*hitting time*”. Quanto mais deslocado a curva de gatilho de devolução para cima maior a densidade de eventos simulados de devolução. Para maiores detalhes sobre o conceito de tempo de parada ou tempo do primeiro toque (“*first hitting time*”), sugerimos Karlin e Taylor (1975).

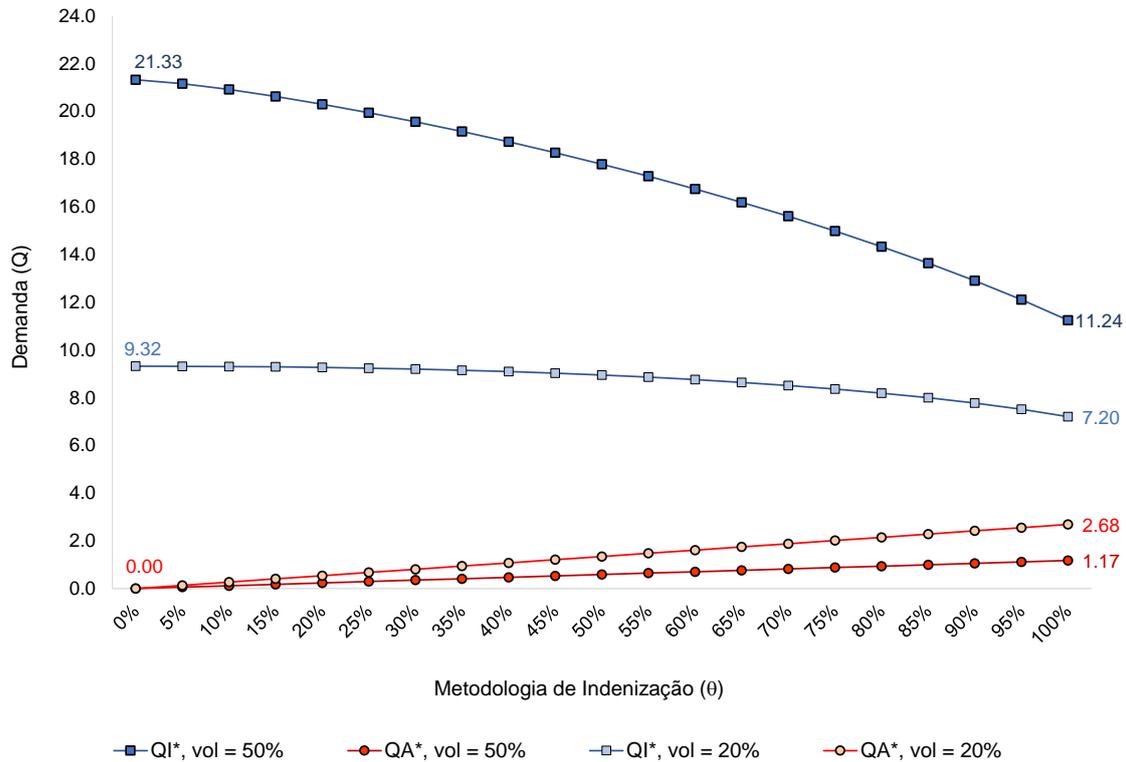
**Figura 1 – Gatilhos de Investimento  $Q_I^*$  e Devolução  $Q_A^*$  x Metodologias de Indenização ( $\theta$ ).**



Para uma política de indenização de valor de mercado/*fair value* ( $\theta$  tendendo a zero), o investidor exige uma demanda extremamente alta (no exemplo,  $Q = 9,32$ ) para participar no certame, que pode não se viabilizar no contexto de concessões de baixo VPL ou fora do dinheiro. Se movendo no eixo horizontal para uma política de maior indenização – valor novo de reposição ou custo histórico ( $\theta$  tendendo à unidade), a atratividade da concessão aumenta (o investimento é ótimo a partir de uma demanda mais baixa,  $Q = 7,20$ ). A contrapartida é que a probabilidade de devolução aumenta (ao redor de  $Q = 2,68$ ).

A Figura 2 analisa o impacto da incerteza da demanda (volatilidade,  $\sigma$ ) nas curvas de gatilho  $Q_I^*$  e  $Q_A^*$  para casos de volatilidade ( $\sigma$ ) 20% e 50% (maior incerteza). Observamos que um aumento na volatilidade desloca a curva de investimento  $Q_I^*$  para cima e de devolução  $Q_A^*$  para baixo. Evidencia portanto uma maior área de histerese, indicando uma aversão maior tanto para se comprometer inicialmente com os investimentos, quanto para sua devolução.

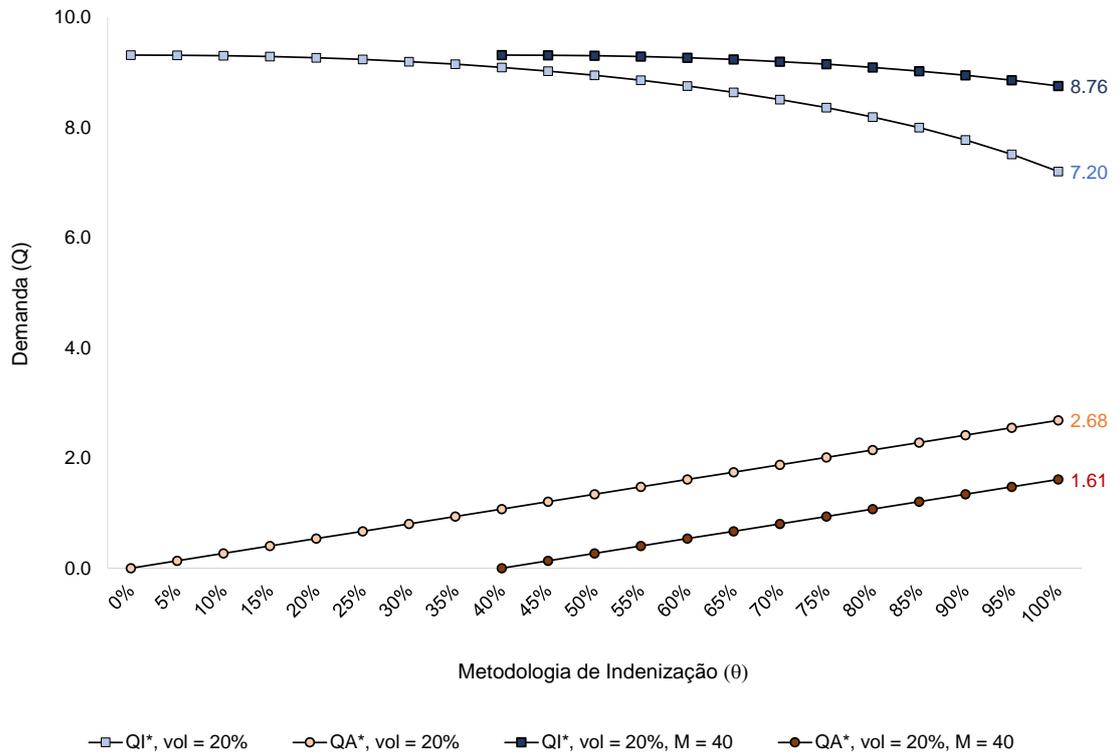
**Figura 2 – Gatilhos de Investimento  $Q_I^*$  e Devolução  $Q_A^*$  x Metodologias de Indenização ( $\theta$ ) e Volatilidades.**



A Figura 3 acrescenta ao modelo uma variável de penalidade/multa pela devolução ( $M = 40$ ). Note que, ao se adicionar a penalidade, deslocamos para baixo a curva de gatilho de devolução  $Q_A^*$ , fazendo com que o investidor postergue mais para exercer a devolução (ilustrando novamente o efeito da histerese característicos em opções reais). Por outro lado, a curva de gatilho de investimento  $Q_I^*$  é deslocada para cima, fazendo com que o investidor fique também mais avesso para se comprometer com o investimento inicial.

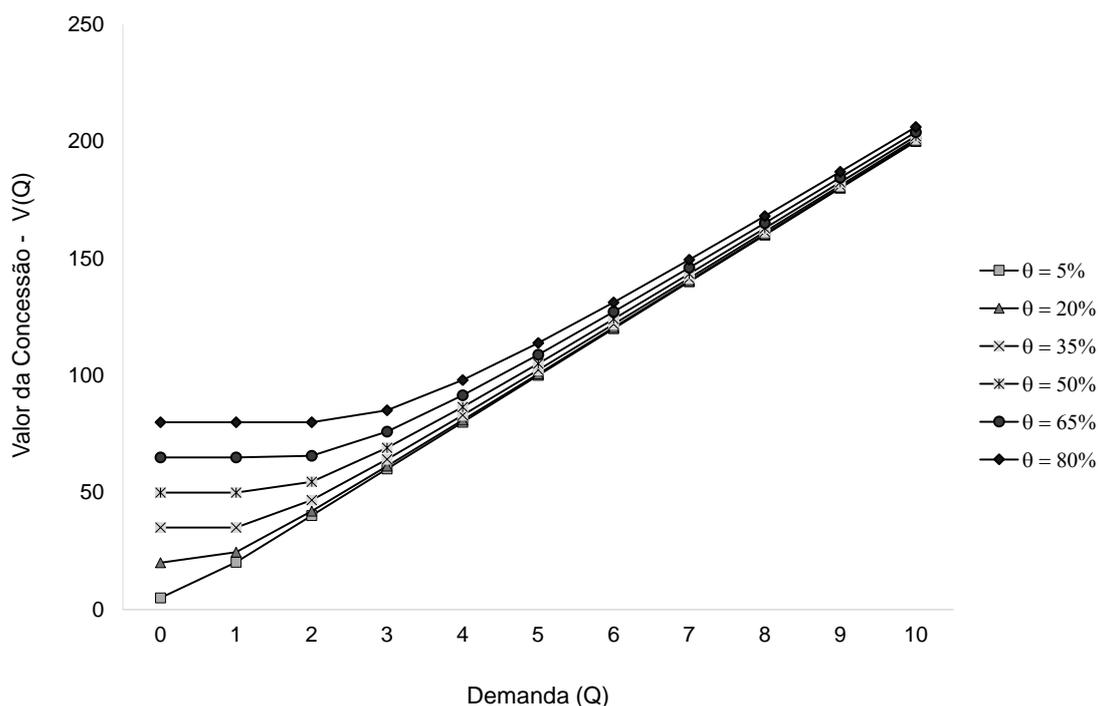
De forma resumida, o formulador de políticas públicas dispõe de instrumentos que modificam o comportamento do agente. Pode adotar metodologias de indenização que resultam em valores indenizatórios mais elevados (custo histórico ou valor novo de reposição, em detrimento ao valor justo de mercado) que implicam em maior VPL da concessão, maior incentivo para a participação no certame, maior potencial de outorgas, ou embutir penalidades, de forma a desincentivar comportamentos oportunistas no exercício da opção de devolução da concessão.

**Figura 3 – Gatilhos de Investimento  $Q_I^*$  e Devolução  $Q_A^*$  x Metodologias de Indenização ( $\theta$ ) e Penalidades para Devoluções.**



É importante analisar a atratividade da concessão  $V(Q)$ , e potenciais outorgas  $F(Q)$ , com a metodologia de indenização ( $\theta$ ). A Figura 4 ilustra que, para qualquer demanda ( $Q$ ), uma política de maior indenização leva a um aumento no valor da concessão e respectivas outorgas, que deve ser levado em consideração como um instrumento de incentivos, especialmente para concessões não atrativas e fora do dinheiro.

**Figura 4 – Efeito da Política de Indenização ( $\theta$ ) no Valor da Concessão  $V(Q)$ .**



Por fim, esclarecemos um último ponto de atenção sobre incentivos em contratos de concessão. Alguns argumentos ponderam que, no limite, uma estratégia possível seria o poder concedente contratar uma obra de engenharia (construção) e administrar ou conceder sua administração. Pela teoria das opções, mesmo considerando tal estratégia, o poder concedente, além do custo do investimento (obra), estaria incorrendo num custo extra equivalente ao valor da opção de investimento (conforme calculado nesse estudo), fazendo com que o efeito financeiro esperado seja semelhante (mas não a distribuição de riscos). Rocha Armada et al. (2012) argumentam que tal estratégia apresenta os mesmos custos líquidos envolvidos, especialmente no caso de uma frustração de demanda (onde a opção de devolução é exercida), o que na prática seria uma explicação dessa estratégia não ser usualmente adotadas em concessões e PPPs<sup>12</sup>:

*“We have to remember that the net cost of the incentive structure is always the value of the option to defer. It would cost the same for the government to pay only the investment cost to the firm, so it builds the infrastructure that would be owned by the government, or to give this type of incentive structure, even if the firm abandons immediately after the construction, which is assumed here to be instantaneous. The rescue fraction required for certain demand levels is so high that, although the cost is the same as that for the previous incentive arrangements, it can explain why this is not common in PPP arrangements.”*

<sup>12</sup> Adicionalmente, é oportuno lembrar que uma das principais razões da existência das concessões é justamente a dificuldade operacional de entes estatais no tocante à realização de investimentos com qualidade, preço e prazo esperados, como pontua Ribeiro (2017).

#### 4. Conclusões e Recomendações

Como recomendações estruturais para diminuir a incidência de renegociações recorrentes, em especial nos setores de transportes e saneamento em mercados emergentes, segundo Guasch et al. (2008), está a ênfase sobre o papel da qualidade regulatória e das instituições adequadas como um filtro dissuasor de renegociações oportunistas. Medidas que reduzam a probabilidade de renegociação por meio de avanços na qualidade regulatória e ambiente institucional, melhorando a previsibilidade e alocação da matriz de retorno e risco, aumentando governança e segurança jurídica, devem ser consideradas.

Modelos regulatórios híbridos de *Price-Cap* e taxas de retornos (um limite e cláusulas de repasse de custos), por exemplo, podem ser efetivos para diminuir a incidência de renegociações em especial em ambientes macroeconômicos desfavoráveis. Além disso, modelos de leilão híbrido ou de maior outorga em detrimento ao de menor tarifa (associados a lances oportunistas), também podem ser boas opções para reduzir a quantidade de renegociações (Ministério da Infraestrutura, 2021).

O ciclo político e os choques macroeconômicos também são determinantes e altamente significativos para a renegociação. Logo, incorporar aos contratos cláusulas de contingência, gatilhos e explicitar a matriz de risco aos agentes, podem contribuir para diminuição de renegociações. Além disso, a literatura recomenda a sinalização de política de não renegociação, de forma a dissuadir lances e comportamentos oportunistas, salvo ocorrências exógenas expressas na matriz de risco do contrato.

Este estudo explora como o desenho de incentivos regulatórios propostos pelo poder concedente tem potencial de impactar as decisões de investimentos do concessionário na participação no certame, no valor potencial das outorgas e na solicitação de processo de relicitação ou devolução da concessão. Tais incentivos embutem, intrinsecamente, valores contingentes ao projeto semelhantes ao de uma *Opção Real*.

O modelo proposto analisa a opção de investimento em uma concessão típica (*Call*), e o respectivo impacto da Lei das Relicitações (*Put*) sob diferentes metodologias de indenização de investimentos não depreciados ou amortizados (*payoff* de resgate) no comportamento dos investidores. Cada metodologia de indenização - custo histórico, valor novo de reposição e valor de mercado –corresponde a um *payoff* caso a opção de devolução (*Put*) seja exercida. Trata-se de uma opção composta do tipo americana (uma *Call* de uma *Put*), e se diferencia da maioria dos trabalhos por analisar a decisão de investimento (opção) anterior ao certame. Seu exercício implica em receber o ativo e respectivos fluxos de caixa futuros da concessão com a respectiva opção de devolução, mediante pagamento do Capex (preço de exercício).

Os resultados ilustram bem o *trade off* entre atratividade da concessão e política indenizatória. A adoção de metodologias de indenização que resultam em valores mais elevados – custo histórico ou valor novo de reposição, em detrimento ao valor justo de mercado – implicam em maior atratividade da concessão, maior incentivo na participação no certame e maior potencial de outorgas.

Quanto maior a incerteza da demanda, maior a aversão ao risco do investidor – exige uma alta demanda para a decisão de investimento, e, suporta maior frustração de demanda para a devolução da concessão. Essa dinâmica representa uma região de histerese, usual em modelos de opções reais. Penalidades podem ser incluídas no modelo com o objetivo de desincentivar comportamentos oportunistas de devolução.

Os resultados servem de ponto de atenção ao formulador de política pública e regulador, especialmente na estruturação de projetos e análise de impactos regulatórios de concessões e PPPs não atrativas – VPL baixo ou com alta incerteza de demanda, justamente onde a metodologia de *opções reais* produz maior impacto ao potencializar investimentos. No Brasil as rodovias federais mais atrativas já foram concedidas e, nesse sentido, sublinhamos que o melhor desenho pode não ser, necessariamente, o que isenta financeiramente a administração pública, mas sim, o que viabiliza o projeto.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomendamos a análise de incentivos de compartilhamento de riscos, como Garantia de Demanda Mínima (GDM) ou Garantia de Receita Mínima (GRM), de forma a estimular a atratividade da concessão/PPPs (em especial naquelas de baixo VPL), minimizando sua probabilidade de devolução. Através deles, o poder público se compromete a indenizar a concessionária caso a demanda/receita fique abaixo de um nível pré-estabelecido. Tais subsídios têm sido estudados e usados como mecanismos de mitigação de risco para viabilizar os investimentos em infraestrutura em diversos países, como Brasil (Linha 4 do Metrô de São Paulo – linha amarela – Brandão, Bastian-Pinto, Gomes, & Labes, 2012; Ponte Salvador-Itaparica – Sant’Anna et al., 2022), China (Shuiguan Expressway – Song et al., 2018; Rodovia Capital Beltway – Liang & Ashuri, 2020) e EUA (Rodovia César Chávez no Texas – Aldrete, Bujanda, & Valdez, 2012).

## Apêndice A

### (I) Modelo Geral – valor da opção de investimento no projeto/concessão sem opção de devolução ou indenização:

Seja a demanda (Q) pela capacidade de infraestrutura descrita pelo processo estocástico apresentado na equação (A.1), onde  $\alpha$  equivale a tendência esperada,  $\sigma$  a volatilidade no período  $dt$  e  $dz$  o processo de Wiener padrão. Adotamos o Movimento Geométrico Browniano (MGB) por ser o mais usual para modelagem da demanda (geralmente correlacionada com o PIB da área ou região) e, principalmente, por conduzir a fórmulas analíticas de fácil tratamento matemático (Irwin, 2007).

$$dQ = \alpha Q dt + \sigma Q dz \quad (\text{A.1})$$

A opção de investimento (F) é descrita pela equação (A.2), como um valor contingente da demanda (Q), única fonte de incerteza a priori, onde  $r$  equivale a taxa livre de risco e  $\delta$  o custo de oportunidade do projeto<sup>13</sup>. Sua solução é dada pela equação (A.3) e as raízes da equação quadrática apresentada em (A.2), representadas por  $\beta_1$  e  $\beta_2$ , são apresentadas nas equações (A.4) e (A.5).

$$\frac{1}{2} \sigma^2 Q^2 F_{QQ} + (r - \delta) Q F_Q - r F = 0 \quad (\text{A.2})$$

$$F(Q) = A_1 Q^{\beta_1} + A_2 Q^{\beta_2} \quad (\text{A.3})$$

$$\beta_1 = \frac{1}{2} - \frac{r - \delta}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{r - \delta}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{2r}{\sigma^2}} \quad (\text{A.4})$$

$$\beta_2 = \frac{1}{2} - \frac{r - \delta}{\sigma^2} - \sqrt{\left(\frac{r - \delta}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{2r}{\sigma^2}} \quad (\text{A.5})$$

A partir das condições de contorno usuais de barreira, de investimento e suavidade no ponto de “gatilho ótimo” ( $Q^*$ ), demanda a partir da qual ocorre o investimento, descritas pelas equações (A.6), (A.7) e (A.8)<sup>14</sup>, o valor da opção de investimento (F) pode ser descrito pela equação (A.9) com respectivos parâmetros pelas equações (A.10) e (A.11).

$$F(0) = 0 \rightarrow A_2 = 0 \quad (\text{A.6})$$

$$F(Q^*) = \frac{RQ^*}{\delta} - K \quad (\text{A.7})$$

$$F_Q(Q^*) = \frac{R}{\delta} \quad (\text{A.8})$$

$$F(Q) = \begin{cases} A_1 Q^{\beta_1}; & Q < Q^* \\ \frac{RQ}{\delta} - K; & Q \geq Q^* \end{cases} \quad (\text{A.9})$$

<sup>13</sup> Equivalente a demanda esperada subtraída do seu prêmio de risco na medida equivalente neutra ao risco.

<sup>14</sup> Observe que o valor do projeto (VPL) equivale a diferença entre o valor presente do fluxo de caixa do projeto ( $RQ/\delta$ ), no caso um fluxo de caixa por cliente (R) em perpetuidade ( $R/\delta$ ) multiplicado pela demanda (Q), e seu investimento dado por K.

$$Q^* = \left( \frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} \right) \frac{\delta}{R} K \quad (\text{A.10})$$

$$A_1 = \frac{K}{\beta_1 - 1} \frac{1}{Q^{*\beta_1}} \quad (\text{A.11})$$

A intuição da solução apresentada pela equação (A.9), é que o investimento no projeto somente ocorre com demanda superior a  $Q^*$  (gatilho de investimento). Abaixo deste valor (demanda inferior a  $Q^*$ ), o valor da opção possui um valor positivo dado pela equação (A.9). A equação (A.10) estabelece o gatilho de demanda a partir do qual o investimento é imediato. Indica que o momento ótimo do investimento ocorre apenas quando a demanda é alta suficiente acima de  $Q^*$  (gatilho), ou seja, quando o valor presente do fluxo de caixa do projeto ( $RQ/\delta$ ) supera o seu investimento  $K$  acrescido de uma cunha (que depende do processo estocástico subjacente da demanda). Tal solução corresponde ao comportamento do agente quando não existe opção de devolução com resgate. A próxima seção acrescenta ao modelo geral descrito a opção de “regaste”, que corresponde a rescisão da concessão mediante um valor indenizatório.

## **(II) Valor da opção de investimento no projeto/concessão com opção de devolução/indenização:**

A Lei das Relicitações, bem como a metodologia de indenização de investimentos modificam o comportamento do agente no sentido que o investimento na concessão lhe possibilita uma opção de devolução com respectivo resgate (que depende da metodologia de indenização adotada).

A opção de devolução com resgate, i.e., a possibilidade de entregar a concessão em troca de uma indenização, pode ser representada, genericamente, por uma proporção ( $\theta$ ) dos investimentos realizados ( $K$ ). Variações nessa proporção ( $\theta$ ) correspondem às metodologias usuais adotadas para indenização de bens reversíveis não amortizados.

Entre as metodologias de indenização temos, basicamente, a regra de indenização pelo valor contábil/histórico (limite superior), valor novo de reposição (limite intermediário) e valor justo/*fair value* (limite inferior sem opção de resgate)<sup>15</sup>.

### **(a) O valor do projeto/concessão com opção de devolução/indenização:**

O valor do projeto ( $V$ ) após o investimento ( $K$ ) segue a equação diferencial (A.12), cuja solução geral é dada pela equação (A.13).

$$\frac{1}{2} \sigma^2 Q^2 V_{QQ} + (r - \delta) Q V_Q - rV + RQ = 0 \quad (\text{A.12})$$

$$V(Q) = B_1 Q^{\beta_1} + B_2 Q^{\beta_2} + \frac{RQ}{\delta} \quad (\text{A.13})$$

A partir das condições de contorno usuais de barreira, de valor e suavidade no gatilho de devolução  $Q_A^*$ , equações (A.14), (A.15) e (A.16), onde  $M$  equivale aos custos incorridos

<sup>15</sup> A metodologia de valor justo implica que não há opção de resgate, uma vez que o concessionário é reembolsado pelo próprio valor da concessão no respectivo estado da natureza do momento da rescisão e os resultados colapsam para os apresentados na seção anterior.

na devolução, o valor do projeto (V) é dado pela equação (A.17) com respectivos parâmetros apresentados pela equações (A.18) e (A.19).

$$V(Q)_{Q \rightarrow \infty} < \infty \rightarrow B_1 = 0 \quad (\text{A.14})$$

$$V(Q_A^*) = \theta K - M \quad (\text{A.15})$$

$$V_Q(Q_A^*) = 0 \quad (\text{A.16})$$

$$V(Q) = \begin{cases} \theta K - M; Q \leq Q_A^* \\ B_2 Q^{\beta_2} + \frac{RQ}{\delta}; Q > Q_A^* \end{cases} \quad (\text{A.17})$$

$$Q_A^* = \left( \frac{\beta_2}{\beta_2 - 1} \right) \frac{\delta}{R} (\theta K - M) \quad (\text{A.18})$$

$$B_2 = \left( \frac{-R}{\delta \beta_2} \right) Q_A^{*\beta_2} \quad (\text{A.19})$$

A equação (A.17) representa o valor do projeto na devolução, quando a demanda cai abaixo de  $Q_A^*$ , que corresponde a um valor  $\theta$  proporcional ao custo de investimento  $K$  menos o custo da devolução  $M$ . A equação (A.17) corresponde ao valor presente do projeto em operação. O primeiro termo corresponde ao valor da opção de devolução caso a demanda caia abaixo do gatilho ( $Q_A^*$ ), e o segundo termo corresponde ao valor presente do fluxo de caixa múltiplo da demanda ( $RQ/\delta$ ) em perpetuidade como na seção anterior.

**(b) O valor da opção de investimento no projeto/concessão com opção de devolução/indenização:**

Seguindo a mesma dinâmica apresentada no modelo geral, calcula-se o valor da opção de investimento com a opção de devolução/indenização ( $\theta < 1$ ). A opção de investimento (F) pode ser escrita como um valor contingente da incerteza da demanda (Q) a partir da equação diferencial equação (A.20) cuja solução geral é dada pela equação (A.21):

$$\frac{1}{2} \sigma^2 Q^2 F_{QQ} + (r - \delta) Q F_Q - rF = 0 \quad (\text{A.20})$$

$$F(Q) = H_1 Q^{\beta_1} + H_2 Q^{\beta_2} \quad (\text{A.21})$$

A partir das condições de contorno usuais de barreira, de investimento e suavidade no gatilho de investimento  $Q_I^*$  (momento ótimo do investimento na concessão) e das equações (A.22), (A.23) e (A.24), obtemos o valor da opção de investimento (F) dado pela equação (A.25) com respectivos parâmetros dados pelas equações (A.26) e (A.27).

$$F(0) = 0 \rightarrow H_2 = 0 \quad (\text{A.22})$$

$$F(Q_I^*) = V(Q_I^*) - K \quad (\text{A.23})$$

$$F_Q(Q_I^*) = V_Q(Q_I^*) \quad (\text{A.24})$$

Substituindo a solução de  $V(Q)$  obtida na equação (A.17) nas equações (A.23) e (A.24), obtém-se  $H_1$  e  $Q_I^*$  através da solução das equações (A.26) e (A.27). A intuição é a mesma

da seção anterior. Para valores abaixo de  $QI^*$  não há investimento, mas a opção tem valor positivo dado pela equação (A.25). Esse valor reflete a probabilidade eventual do processo da demanda superar o gatilho  $QI^*$ . Para valores superiores a  $QI^*$ , ocorre o investimento com respectivo custo ( $K$ ). O valor do projeto corresponde ao calculado anteriormente, ou seja, um valor de devolução, primeiro termo da equação (A.25), acrescido do valor presente do fluxo de caixa múltiplo da demanda ( $RQ/\delta$ ) em perpetuidade.

$$F(Q) = \begin{cases} H_1 Q^{\beta_1}; Q < Q_I^* \\ B_2 Q^{\beta_2} + \frac{RQ}{\delta} - K; Q \geq Q_I^* \end{cases} \quad (\text{A.25})$$

$$H_1 Q_I^{*\beta_1} = B_2 Q_I^{*\beta_2} + \frac{RQ_I^*}{\delta} - K \quad (\text{A.26})$$

$$\beta_1 H_1 Q_I^{*\beta_1-1} = \beta_2 B_2 Q_I^{*\beta_2-1} + \frac{R}{\delta} \quad (\text{A.27})$$

Note que  $QI^*$  é a solução de uma equação não linear que deve ser encontrada numericamente através da equação (A.28).

$$(\beta_1 - \beta_2) H_2 Q_I^{*\beta_2} + (\beta_1 - 1) Q_I^* \frac{R}{\delta} - \beta_1 K = 0 \quad (\text{A.28})$$

## Referências Bibliográficas

- Aldrete, R., Bujanda, A., & Valdez, G. A. (2012). Valuing public-sector revenue risk exposure in transportation public–private partnerships. *Transportation Research Record*, 2297(1), 88-96.
- Alonso-Conde, A. B., Brown, C., & Rojo-Suarez, J. (2007). Public private partnerships: incentives, risk transfer and real options. *Review of Financial Economics*, 16(4), 335–349.
- Ardanaz, M., Cavallo, E. A., Izquierdo, A., & Puig, J. (2021). *Output Effects of Fiscal Consolidations: Does Spending Composition Matter?* (No. 11857). Inter-American Development Bank.
- Black, F., Scholes, M. (1973). The pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 81, 637-659.
- Blank, F. F., Samanez, C. P., Baidya, T. K. N., & Dias, M. A. G. (2016). Economic valuation of a toll road concession with traffic guarantees and the abandonment option. *Production*, 26(1), 39-53.
- Bowe, M., & Lee, D. L. (2004). Project evaluation in the presence of multiple embedded real options: evidence from the Taiwan High-Speed Rail Project. *Journal of Asian Economics*, 15(1), 71-98.
- Brandão, L. E. T., Bastian-Pinto, C., Gomes, L. L., & Labes, M. (2012). Government supports in public–private partnership contracts: Metro Line 4 of the São Paulo subway system. *Journal of Infrastructure Systems*, 18(3), 218-225.
- Brandão, L. E. T., & Saraiva, E. C. G. (2008). The option value of government guarantees in infrastructure projects. *Construction Management and Economics*, 26(11), 1171–1180.
- Brennan, M. J., & Schwartz, E. S. (1985). Evaluating natural resource investments. *Journal of Business*, 135-157.
- Castro e Silva Neto, D., Cruz, C. O., Rodrigues, F., & Silva, P. (2016). Bibliometric analysis of PPP and PFI literature: Overview of 25 years of research. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(10), 06016002.
- Cheah, C. Y. J., & Liu, J. (2006). Valuing governmental support in infrastructure projects as real options using Monte Carlo simulation. *Construction Management and Economics*, 24(5), 545–554.
- Chiara, N., Garvin, M. J., & Vecer, J. (2007). Valuing simple multiple-exercise real options in infrastructure projects. *Journal of Infrastructure Systems*, 13(2), 97-104.
- CIP-INFRA. (2021). *Plano Integrado de Longo Prazo da Infraestrutura: 2021-2050*. Comitê Interministerial de Planejamento da Infraestrutura. Disponível em: <https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/comite-interministerial-de-planejamento-da-infraestrutura/relatorio-pilpi-consolidado-20211215-v2-sem-logogf.pdf>. Acesso em: 20 de setembro de 2022.
- Colín, F. C., Soliño, A. S., & Galera, A. L. L. (2017). Default and abandonment option in motorway concessions. *Journal of Infrastructure Systems*, 23(1), 04016022.
- Copeland, T., & Tufano, P. (2004). A real-world way to manage real options. *Harvard Business Review*, 82(3), 90-99.

- Dixit, A., & Pindyck, R. (1994). *Investment under Uncertainty*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- European PPP Expertise Centre. (2013). Termination and Force Majeure Provisions in PPP Contracts: Review of current European practice and guidance.
- Galera, A. L. L., & Soliño, A. S. (2010). A real option approach for the valuation of highway concessions. *Transportation Science*, 44(3), 416–427.
- Global Infrastructure Hub. (2022). *Renegotiation Data*. Disponível em: <https://managingppp.gihub.org/data/renegotiation-data/>. Acesso em: 25 de maio de 2022.
- Global Infrastructure Outlook. (2022). *Forecasting infrastructure investment needs and gaps*. Disponível em: <https://outlook.gihub.org/>. Acesso em: 25 de maio de 2022.
- Guasch, J. L. (2004). *Granting and Renegotiating Infrastructure Concessions: Doing it Right*. World Bank. Washington, D.C.: The World Bank.
- Guasch, J. L., Benitez, D., Portables, I., & Flor, L. (2014). The renegotiation of PPP contracts: An overview of its recent evolution in Latin America. International Transport Forum Discussion Paper.
- Guasch, J. L., Laffont, J. J., & Straub, S. (2003). *Renegotiation of concession contracts in Latin America* (Vol. 3011). World Bank Publications.
- Guasch, J. L., Laffont, J. J., & Straub, S. (2007). Concessions of infrastructure in Latin America: government-led renegotiation. *Journal of Applied Econometrics*, 22(7), 1267-1294.
- Guasch, J. L., Laffont, J. J., & Straub, S. (2008). Renegotiation of concession contracts in Latin America: Evidence from the water and transport sectors. *International Journal of Industrial Organization*, 26(2), 421-442.
- Guasch, J. L., & Straub, S. (2009). Corruption and concession renegotiations. Evidence from the water and transport sectors in Latin America. *Utilities Policy*, 17(2), 185-190.
- Huang, Y. L., & Chou, S. P. (2006). Valuation of the minimum revenue guarantee and the option to abandon in BOT infrastructure projects. *Construction Management and Economics*, 24(4), 379-389.
- Huang, Y. L., & Pi, C. C. (2014). Real-option valuation of build-operate-transfer infrastructure projects under performance bonding. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(5), 04013068.
- Infralatam. (2020). *Public Investment in Economic Infrastructure: Evolution by Country and Sector*. Disponível em: <http://infralatam.info/en/home/>. Acesso em: 25 de maio de 2022.
- Irwin, T. (2003). *Public money for private infrastructure: deciding when to offer guarantees, output-based subsidies, and other fiscal support*. World Bank Working Paper No. 10. Washington, DC: The World Bank.
- Irwin, T. (2007). *Government guarantees: allocating and valuing risk in privately financed infrastructure projects*. Washington, DC: The World Bank.
- Karlin, S., & Taylor, H. M. (1975). *A First Course in Stochastic Processes*. San Diego: Academic Press Limited, second edition.

- KPMG (2017). *Projeto PNUD – EPL: ativos reversíveis em concessões rodoviárias e aeroportuárias (produto 1)*. São Paulo: KPMG. Acesso em: 08 de agosto de 2022.
- KPMG. (2020). *Diagnóstico das metodologias de indenização no setor de saneamento no Brasil*. Disponível em: <https://www.gov.br/produktividade-e-comercio-externo/pt-br/choque-de-investimento-privado/saneamento/metodologia-de-indenizacao-de-ativos-nao-amortizados/anexo-1.pdf>. Acesso em: 08 de agosto de 2022.
- Liang, Y., & Ashuri, B. (2020). Option Value of Contingent Finance Support in Transportation Public–Private Partnership Projects. *Transportation Research Record*, 2674(7), 555-565.
- Majd, S., & Pindyck, R. S. (1987). Time to build, option value, and investment decisions. *Journal of Financial Economics*, 18(1), 7-27.
- Marques, N. L., Bastian-Pinto, C. D. L., & Brandão, L. E. T. (2021). Crossing the Brownian Bridge: valuing infrastructure capacity expansion policies as real options. *Construction Management and Economics*, 39(3), 261-276.
- McDonald, R., & Siegel, D. (1986). The value of waiting to invest. *The Quarterly Journal of Economics*, 101(4), 707-728.
- Merton, R. C. (1973). Theory of rational option pricing. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 141-183.
- Ministério da Infraestrutura. (2021). Modelo híbrido de concessão. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/noticias/2021/4/modelo-hibrido-de-concessao-torna-projeto-de-rodovias-mais-atrativo-diz-tarcisio>. Acesso em: 04 de julho de 2022.
- Myers, S. C. (1977). Determinants of corporate borrowing. *Journal of Financial Economics*, 5(2), 147-175.
- Paddock, J. L., Siegel, D. R., & Smith, J. L. (1988). Option valuation of claims on real assets: The case of offshore petroleum leases. *The Quarterly Journal of Economics*, 103(3), 479-508.
- PPI. (2020). *Private Participation in Infrastructure (PPI) – Annual Report*. World Bank. Disponível em: <https://ppi.worldbank.org/en/ppi>. Acesso em: 25 de maio de 2022.
- Rakić, B., & Rađenović, T. (2014). Real options methodology in public-private partnership projects valuation. *Economic Annals*, 59(200), 91-113.
- Ribeiro, M. P. (2011). *Concessões e PPPs: melhores práticas em licitações e contratos*. Editora Atlas S.A., São Paulo.
- Ribeiro, M. P. (2017). Novo Pacote de Infraestrutura do Governo Dilma: 15 erros que precisam ser corrigidos. Disponível em: <https://www.portugalribeiro.com.br/novo-pacote-de-infraestrutura-do-governo-dilma-15-erros-que-precisam-ser-corrigidos/>. Acesso em: 29 de julho de 2022.
- Ribeiro, M. P. (2020). *Equilíbrio econômico-financeiro de contratos e sincretismo metodológico*. Disponível em: <https://www.jota.info/opiniao-e-analise/artigos/equilibrio-economico-financeiro-de-contratos-sincretismo-metodologico-06102020>. Acesso em: 25 de maio de 2022.
- Ribeiro, M. P., & Pinto, M. B. (2019). *Investimento privado em infraestrutura: diagnóstico e propostas*. Disponível em: <https://www.jota.info/opiniao-e>

[analise/artigos/investimento-privado-em-infraestrutura-diagnostico-e-propostas-13082019](#). Acesso em: 25 de maio de 2022.

- Rocha Armada, M. J., Pereira, P. J., & Rodrigues, A. (2012). Optimal subsidies and guarantees in public-private partnerships. *The European Journal of Finance*, 18(5), 469-495.
- Rose, S. (1998). Valuation of interacting real options in a tollroad infrastructure project. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 38(3), 711-723.
- Sant'Anna, R. L., Brandão, L. E. T., Bastian-Pinto, C. D. L., & Gomes, L. L. (2022). Liability Cost of Government Guarantees in Highway Concession Projects: Case of the Salvador-Itaparica Bridge. *Journal of Infrastructure Systems*, 28(2), 05022003.
- Scandizzo, P. L., & Ventura, M. (2010). Sharing risk through concession contracts. *European Journal of Operational Research*, 207(1), 363-370.
- Schwartz, E. S., & Trigeorgis, L. (Eds.). (2004). *Real options and investment under uncertainty: classical readings and recent contributions*. MIT press.
- SDI. (2022). *Nota Técnica SEI nº 3046/2022/ME*. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/18Y2F1tH6q9g3Dbr-R35JoBqh5rZiMaFP/view>  
Acesso em: 18 de outubro de 2022.
- Silaghi, F., & Sarkar, S. (2021). Agency problems in public-private partnerships investment projects. *European Journal of Operational Research*, 290(3), 1174-1191.
- Soliño, A. S., Galera, A. L. L., & Colín, F. C. (2018). Valuation of the option of early reversion in road concessions. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 18(2), 239-249.
- Song, J., Yu, Y., Jin, L., & Feng, Z. (2018). Early termination compensation under demand uncertainty in public-private partnership projects. *International Journal of Strategic Property Management*, 22(6), 532-543.
- Titman, S. (1985). Urban land prices under uncertainty. *The American Economic Review*, 75(3), 505-514.
- Tourinho, O. A. (1979). *The option value of reserves of natural resources* (No. 94). Working Paper, University of California at Berkeley.
- Triantis, A. J., & Hodder, J. E. (1990). Valuing flexibility as a complex option. *The Journal of Finance*, 45(2), 549-565.
- Trigeorgis, L. (1996). *Real Options - Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*. MIT Press.
- Vassallo, J. M. (2006). Traffic risk mitigation in highway concession projects: the experience of Chile. *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 40(3), 359-381.
- World Bank Group. (2019). *Guidance on PPP contractual provisions*. Washington: World Bank Group. Acesso em: 18 de outubro de 2022.