

Modelo de opções reais para avaliação de investimentos em novos portos e terminais portuários brasileiros

João Carlos Félix Souza¹, Carlos Henrique Rocha², João Gabriel de Moraes Souza³

¹Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia de Produção, jocafs@unb.br

²Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia de Produção, chrocha@unb.br

³Universidade de Brasília, Departamento de Administração, joagabrielsouza@yahoo.com.br

Recebido:

31 de outubro de 2017

Aceito para publicação:

29 de março de 2018

Publicado:

31 de dezembro de 2018

Editor de área:

Claudio Barbieri, EESC-USP

Palavras-chaves:

Terminais portuários,
Concessão,
Opções reais,
Modelo Black-Scholes-Merton.

Keywords:

Port terminals,
Concession,
Real options,
Black-Scholes-Merton model.

DOI:10.14295/transportes.v26i4.1497

RESUMO

O governo brasileiro identificou áreas para a instalação de novos portos e terminais portuários que serão concedidos, mediante *aluguel*, para a iniciativa privada. Esses empreendimentos têm grandes investimentos e apresentam incertezas quanto aos fluxos de caixa futuros. Os projetos com Valor Presente Líquido (VPL) negativo poderão se tornar rentáveis, desde que apareçam investidores interessados em pagar pelo direito de desenvolvê-los mais adiante. O valor do direito de desenvolver um empreendimento com VPL negativo, e que no futuro poderá se tornar rentável, pode ser apurado pela abordagem das opções reais. Este artigo traz uma aplicação de cálculo do valor da opção de esperar para investir em terminais portuários com VPL negativo. O valor da opção é calculado com o modelo Black-Scholes-Merton. Este valor representa o valor de licitação da espera. É recomendável que o edital de licitação contenha a memória de cálculo do valor da espera, minimizando a desconfiança quanto ao potencial da área licitada. Por fim, cabe dizer que é desnecessário fixar uma multa para o vencedor da licitação que abrir mão de empreender na data de vencimento da opção real, mesmo porque o valor pago pela opção, no ato de sua compra, o penaliza.

ABSTRACT

The Brazilian Government has identified areas for installation of new ports and port terminals that will be, by rent, to the private sector. These enterprises have large investments and present uncertainties regarding future cash flows. The projects with net present value (NPV) negative can become profitable, since investors appear interested in paying the right to develop them further. The value of the right to develop a venture with NPV negative, and that in the future might become profitable, can be determined by the approach of real options. This article brings an application for calculating the option value of waiting to invest in port terminals with NPV negative. The value of the option is calculated with the Black-Scholes-Merton model. It is recommended that the notice with invitation to bid contain the calculation of the expected value, minimizing suspicion about the potential bid area. Finally, it is to say that it is unnecessary to set a penalty for the winner of the bidding to give up wage on the maturity date of the real option, if only because the amount paid by the option, in the act of your purchase, the sanctions.



1. INTRODUÇÃO

O movimento de produtos manufaturados em áreas portuárias requer modernos terminais de contêineres, integração de modalidades de transporte, zonas industriais de processamento e

centros de distribuição. Essas funções portuárias são essenciais para aumentar a competitividade dos produtos brasileiros nos mercados globais.

Os principais portos marítimos do Brasil estão todos localizados no centro das grandes cidades, encerrados pela expansão urbana e sem possibilidades de grandes expansões. Para piorar, a maioria dos portos brasileiros tem profundidades de água que são inadequadas ou insuficientes para os padrões atuais dos navios que frequentam os principais portos do mundo.

Pode-se dizer que a modernização da indústria portuária brasileira exige, em grande parte, a construção de novos portos de águas profundas, longe das grandes cidades, dotado de altos níveis de eficiência de custos e totalmente capazes de desempenhar todas as suas funções. Os portos também dependem de uma boa infraestrutura de acesso terrestre e marítimo.

Sabe-se que para construir um porto envolve enormes somas de dinheiro e o governo brasileiro já mostrou sinais de que não tem recursos suficientes disponíveis em seu orçamento para financiar a construção portuária (Frischtak, 2012). Por outro lado, está disposto a permitir que empresas privadas construam novos portos e operem por períodos específicos.

Segundo ANTAQ (2009), o governo brasileiro identificou áreas para a instalação de vários novos portos e terminais portuários, como é o caso do projeto de novo porto de contêineres de águas profundas no estado do Espírito Santo e de Candeias, na Bahia. Para se ter uma ideia, o custo total de cada projeto foi estimado em 1,0 bilhão de dólares. Tais áreas devem ser concedidas para a iniciativa privada que em troca se comprometerá a pagar anualmente outorga para o governo.

Os empreendimentos dos novos portos e terminais portuários envolverão inversões vultosas, como registrado acima, e incertezas existirão quanto aos fluxos de caixa futuros. Decerto, haverá empreendimentos com valor presente líquido (VPL) positivo, outros com VPL menor do que zero. Os projetos com VPL negativo poderão se tornar rentáveis, a depender dos desdobramentos dos eventos futuros da economia. Para esses empreendimentos, poderá haver investidores interessados em pagar pelo direito de desenvolvê-los mais adiante.

O valor do direito de desenvolver um empreendimento que apresente VPL negativo na época atual e que no futuro poderá se tornar positivo pode ser apurado pela abordagem das opções reais (Dixit e Pindyck, 1994), conforme Adetunji e Owolabi (2017) e Taneja et al (2010) a não consideração das flexibilidades que um modelo de opções reais pode gerar VPL negativo o que inviabilizaria a execução do projeto. Quando da utilização do modelo de opções reais esse mecanismo de flexibilidade pode ser observado levando-se a consideração de um processo dinâmico e uma possível alteração do VPL, tornando assim o projeto viável. Os modelos de apuração de opções reais se espelham nos modelos de precificação de opções financeiras. Os principais modelos são: Black-Scholes-Merton e binomial recombinante. No livro de Hull (2005) encontra-se uma elegante exposição do modelo Black-Scholes-Merton e para uma discussão do modelo binomial recombinante referir-se aos livros de Copeland e Antikarov (2001), de Dias (2014) e de Titman e Martin (2010), por exemplo. Registre-se que o modelo de McDonald e Siegel (1986) é também usado para apreçar opções reais em geral.

Este artigo traz uma aplicação de cálculo do valor da opção de esperar para investir no futuro para o caso dos novos portos e terminais portuários com VPL negativo. O valor da opção, calculado com a utilização do modelo Black-Scholes-Merton, representa o quanto os interessados pelo empreendimento estarão dispostos a pagar pelo direito de desenvolvê-lo no futuro; o valor da opção representa o valor de licitação da espera.

O artigo tem cinco seções, contando com esta introdutória. A seção 2 apresenta a fundamentação teórica sobre opções financeiras e opções reais, ressaltando as principais aplicações e referências básicas sobre o assunto. A seção 3 explana conceitos importantes sobre opções, os quais são a base para o desenvolvimento da metodologia de opções reais. A seção 4 simula o valor do direito de desenvolver um empreendimento com VPL negativo na época atual e que no futuro poderá se tornar atrativo. A seção 5 conclui o artigo e faz recomendações.

2. REVISÃO DA LITERATURA

As empresas buscam continuamente criar valor corporativo a fim de agregar valor para os acionistas sejam de empresas privadas ou estatais. Entre as possibilidades de aplicação de capital pelas empresas, a escolha de projetos interessantes no atual contexto competitivo globalizado é uma tarefa importante do gestor corporativo. Para Porter (1992), o objetivo da empresa deve ser a criação de um sistema através do qual os gestores façam investimentos que maximizem o valor de suas companhias a médio e longo prazo.

Um dos maiores desafios de projetos, principalmente de infraestrutura, é sua gestão e implantação. A complexidade em analisar a incerteza técnica, a incerteza de mercado e os movimentos competitivos em uma indústria com mudanças muito rápidas, frequentemente direciona os gestores a reduzir o horizonte de tempo dos projetos para uma extensão em que cada projeto tenha uma conclusão bastante previsível (Amram e Kulatilaka, 1999). De outro modo, os leva a reunir os projetos como uma coleção de apostas, na esperança de encontrar uma que traga benefícios para a companhia ou para o Estado segundo os resultados tangíveis ou intangíveis que se pretendam.

O impacto econômico do investimento público em infraestruturas tem sido de maneira recorrente, o centro dos debates no mundo acadêmico e político, devido às externalidades positivas que elas criam para o setor privado, contribuindo para o bem-estar das famílias e para a produtividade das empresas. Assim, é natural encontrar países que assentaram o seu desenvolvimento nos grandes projetos de investimento público em infraestruturas.

Uma das formas mais utilizadas para viabilizar a participação do setor privado em projetos de infraestrutura é por meio das Parcerias Público Privada. Porém, para que a entrada do ente privado neste tipo de projeto seja viabilizada, deve ser condicionada à mitigação de riscos avaliando o momento ideal do investimento (Mendonça, 2014). Assim, espera-se que o fluxo de caixa do projeto seja satisfatório para permitir um retorno adequado aos investidores, sejam estes terceiros ou sócios. As expectativas sobre o fluxo de caixa oriundas de projetos com certo grau de incerteza, como projetos de infraestrutura estão em geral correlacionadas com a incerteza do processo temporal no futuro. Tal quais as opções financeiras, o valor de uma oportunidade de investimento resulta, em parte, das incertezas ligadas ao futuro. Portanto, a questão central, segundo Dixit e Pindyck (1994), é saber qual o momento certo para exercer uma opção de investimento. Para resolver esta questão torna-se necessário conhecer o impacto da incerteza no valor da opção de investir.

Pindyck (1991) aborda a problemática do momento ótimo e do valor de oportunidade de investimento, usando os princípios de avaliação de opções. O seu trabalho analisa de forma abrangente, o efeito da irreversibilidade e da incerteza na decisão de investir. McGahan (1993) avalia o momento ótimo de um investimento com incerteza acerca da procura de um novo produto no mercado. Ingersoll e Ross (1992) e Ross (1995) estudaram o impacto da incerteza sobre as taxas de juros na decisão de investir.

Na mesma linha de pensamento Pindyck (1991) e Dixit e Pindyck (1994) defendem que um projeto de investimento irreversível é semelhante a uma opção de compra, em virtude do detentor de uma opção de compra ter o direito, mas não a obrigação, em uma determinada data de pagar o preço de exercício. De forma análoga o mesmo acontece com uma empresa que detém a oportunidade de investimento, uma vez que esta possui a opção de investir agora ou no futuro, recebendo um ativo, o qual tem o valor determinado pelos fluxos de caixa gerados pelo projeto.

Os investimentos em novas infraestruturas possuem características particulares, uma vez que exigem um elevado volume de recursos. Por esse motivo sofrem grandes influências quer a nível político, quer a nível de regulamentação. Assim, é normal que projetos desta natureza possam incorporar várias opções (expansão, diferimento, contração ou abandono) as quais podem, de alguma forma, proteger os investidores de possíveis perdas (Copeland e Antikarov, 2001).

Entre as infraestruturas que geram benefícios em nível nacional e regional estão incluídos os aeroportos, portos marítimos e fluviais, rodovias, estradas de ferro, tecnologia da informação (TI), pesquisa, desenvolvimento e inovação e redes e usinas geradoras de eletricidade. Os governos desempenham, neste tipo de investimento, um papel fundamental uma vez que, além de desenvolver todo o quadro legal necessário, é também um dos principais investidores e/ou acionista.

A abordagem das opções reais para análise de projetos de concessões em Parceria Público-Privada (PPP) tem sido bem extensa nos últimos anos conforme relatado em artigos, como o de Brandão e Saraiva (2007) que propõe um modelo de valoração quantitativa de garantias governamentais em PPP. No artigo de Brandão e Saraiva (2007), propõe-se um modelo de opções para determinar o valor das garantias e se estabelece limites, tanto para o risco do investidor privado, quanto para o comprometimento financeiro do governo, no caso com aplicações em concessão rodoviária. Também, com estudo de caso de rodovias, Brandão et al. (2012), além da modelagem do impacto dos incentivos governamentais, analisa a relação custo/benefício para o Estado nos modelos de mitigação de risco.

Huisman (2000) escreveu sobre as oportunidades de investimento em TI. A análise foi para avaliar o momento correto, diante da volatilidade do setor, de aproveitar a capacidade instalada para iniciar novos investimentos ou diferimento na modernização do Centro de TI de uma empresa.

Paxon (2003) propõe aplicar opções reais em investimentos de P&D (Pesquisa e Desenvolvimento) na intenção de avaliar o momento ótimo na produção em pesquisa e inovação.

Smit (2003) e Pereira et al. (2006) são dois trabalhos empíricos que avaliam investimentos em aeroportos através de opções reais. O trabalho de Smit (2003) combina as Opções reais com a teoria dos jogos para captar o valor implícito derivado à mudança de posição da empresa na indústria onde se insere, com aplicação específica à expansão do aeroporto de Amsterdã. A grande contribuição de Smit (2003) é a de avaliar as oportunidades de crescimento geradas por uma infraestrutura como um jogo de exercícios sequenciais em Teoria dos Jogos, em que considera a influência e impacto da concorrência num contexto competitivo com outros aeroportos europeus.

Pereira et al. (2006) apresenta um modelo em tempo contínuo orientado, essencialmente, para avaliar a oportunidade de investimento no aeroporto de Lisboa, que incorpora a incerteza no número de passageiros e no preço da taxa aeroportuária. Oliveira (2013) analisa a política

ótima de decisão de investimento no novo aeroporto de Lisboa. Trata-se de um exemplo característico de cálculo da opção de diferimento inerente à tomada de decisão que consiste, essencialmente, na oportunidade de esperar para realizar o projeto.

Tanto o setor rodoviário como o setor ferroviário são, também, setores com grandes investimentos. Rose (1998) e Brandão et al. (2012) são exemplos de trabalhos para estes setores. O primeiro avaliou a concessão de um investimento em infraestruturas rodoviárias considerando a existência de duas opções – opção de compra antecipada e a opção de diferimento do pagamento das fees (comissões/honorários) – as quais interagem entre si. O segundo recorre às opções reais para avaliar um projeto de concessão da construção e exploração de autoestradas no Brasil, tendo por base a metodologia de Copeland e Antikarov (2001).

Posteriormente, no artigo de Brandão e Saraiva (2007), encontra-se um modelo de opções para determinar o valor das garantias e se estabelece limites, tanto para o risco do investidor privado, quanto para o comprometimento financeiro do governo. Já Blank (2008) faz uma aplicação envolvendo concessões rodoviárias de Project Finance em **PPP**.

Também em **PPP**, Mendonça (2014) utiliza opções reais para modelar o impacto dos incentivos do governo, sobre o valor do projeto, no contrato de concessão de construção e expansão do metrô no estado do Rio de Janeiro. A análise sob esta ótica considera as flexibilidades específicas do projeto em estudo, tornando viável o que antes poderia não ser atrativo ao investidor privado em função das grandes incertezas existentes sobre a demanda prevista.

Bowe e Lee (2004) desenvolveram trabalhos relativos à rede ferroviária. Eles aplicam a análise numérica binomial para avaliar o projeto de investimento em trens de alta velocidade em Taiwan, com recurso às opções de expansão, redução e diferimento e suas respectivas interações. Por sua vez, Pimentel (2009) e Pimentel et al. (2012) analisam o processo de tomada de decisão relativa ao momento ótimo para a implementação de trens de alta velocidade em ambiente de incerteza em Portugal.

Decisões de investimento em portos estão, principalmente, relacionadas com estratégias de melhoria de produtividade ou capacidade de expansão para maior utilização da capacidade e desempenho financeiro. Lagourdis et al. (2014) propõem um processo de tomada de decisões de investimentos em infraestrutura de futuros Portos, considerando várias incertezas que podem afetar o retorno do investimento durante a vida útil do projeto. A metodologia foi aplicada sobre a avaliação de expansão de instalações de armazenamento num porto multiuso. Os resultados mostram que a estratégia de investimento para um novo armazém com opções flexíveis é a melhor escolha comparada com estratégias de escala similar.

Rocha e Britto (2015) iniciaram o debate acadêmico sobre o valor do aluguel das novas áreas para a instalação de portos e terminais portuários. Para eles, o aluguel é função do valor do imóvel, da taxa anual de crescimento da movimentação de carga no porto ou no terminal portuário e do retorno exigido pelo governo.

Em Schwartz e Trigeorgis (2001) pode-se encontrar uma coletânea de artigos aplicados a respeito de opções reais, que variam de projetos de construção de edificações em terras urbanas a construção de usinas nucleares.

3. OPÇÕES FINANCEIRAS E OPÇÕES REAIS: CONCEITOS

As opções têm sido negociadas há séculos, mas a negociação formal das opções em bolsas difundiu-se somente após 1973 quando Black e Scholes (1973) e Merton (1973) proporem um

modelo contundente de precificação de opções europeias. Alguns autores como Cox, Ross e Rubinstein (1979) propuseram um modelo baseado em árvores de decisão para apurar o valor das opções. O modelo do tipo árvore de decisão é chamado pela literatura de modelo binomial re-combinante e pode ser aplicado para o caso de opções europeias e americanas.

As opções, financeiras ou reais, são emitidas sempre contra um ativo-objeto, uma ação, um projeto ou um empreendimento. Uma opção representa para o seu portador um direito, mas não uma obrigação. O agente que lança a opção tem a obrigação de comprar ou vender o ativo-objeto caso o portador da opção queira. Por assumir riscos, o lançador da opção recebe um prêmio igual ao valor da opção vendida. Um contrato de opção introduz uma relação assimétrica entre agentes, isto é, o lançador da opção e o comprador.

Basicamente, há no mercado opções de compra (*call*) e de venda (*put*). As opções de compra dão o direito ao seu portador de comprar o ativo-objeto, mas não a obrigação de comprá-lo, em certa data ou até certa data. As opções de venda dão ao seu portador o direito de vender o ativo-objeto, mas nunca a obrigação de vendê-lo, em certa data ou a qualquer data até o vencimento. Um investidor pode assumir as seguintes posições no mercado de opções financeiras:

- a) Comprada em opção de compra (compra-se uma opção de compra).
- b) Vendida em opção de compra (vende-se uma opção de compra).
- c) Comprada em opção de venda (compra-se uma opção e venda).
- d) Vendida em opção de venda (vende-se uma opção de venda).

O preço acertado de compra ou de venda do ativo-objeto é denominado preço de exercício, ou *strike price*.

As opções podem ser europeias ou americanas. As opções europeias são exercidas (ato de exercer o direito de comprar ou vender o ativo-objeto) somente na data de seu vencimento e as americanas a qualquer época até o vencimento.

Existem também a opção bermudiana e a opção exótica. A primeira, é a opção que só pode ser exercida antecipadamente em algumas datas preestabelecidas, além, é claro, de também poder ser exercida na data de expiração. A segunda é uma opção com estrutura de pagamento mais sofisticada do que as opções europeias e americanas (Dias, 2014).

O valor de uma opção financeira ou real é afetado pelos seguintes fatores: valor do ativo-objeto, preço de exercício, tempo até o vencimento, volatilidade do retorno do ativo-objeto e taxa livre de risco. Se o ativo-objeto distribui dividendos até a data de vencimento da opção, então, o seu valor é também impactado.

À medida que o preço do ativo-objeto cresce até o vencimento da opção, mais (menos) valiosa é a opção de compra (venda). Quanto maior for o preço de exercício, menor (maior) será o valor da opção de compra (venda). Quanto maior for o tempo até o vencimento, maior é o valor de uma opção de compra ou de venda americana. Quanto maior for a volatilidade do retorno do ativo-objeto, maior é o valor da opção de compra ou de venda europeia e americana. Finalmente, quanto maior for a taxa livre de risco, maior (menor) o valor da opção de compra (venda) europeia e americana. Uma discussão pormenorizada sobre a relação entre o valor das opções e os fatores enumerados acima pode ser encontrada em Copeland e Antikarov (2001).

3.1. Opção real sobre uma concessão

Usualmente, na ótica dos investimentos corporativos as opções reais são ficticiamente emitidas,

embora tenham valor na prática. No caso de concessões públicas, a opção pode ser verdadeiramente emitida pelo governo e o comprador da opção é o agente interessado em desenvolver no futuro a concessão.

A opção real de esperar para investir (no caso de uma concessão) pode ou não ter valor na época da licitação:

- a) Se na época da licitação o VPL da concessão for positivo, então, o valor da opção de esperar será zero.
- b) Se na época da licitação o VPL da concessão for negativo, mas se houver potencial para se tornar positivo, então, o valor da opção de esperar será positivo.

É interessante considerar o valor presente líquido de um projeto de investimento em ativo real com a presença de opções reais:

$$VPL_{COR} = VPL_{SOR} + VOR \quad (1)$$

em que: VPL_{COR} é o valor presente líquido do empreendimento com opções reais.

VPL_{SOR} é o valor presente líquido do empreendimento sem opções reais.

VOR é o valor da opção real.

Uma empresa pode optar por abandonar um projeto de investimento em ativo real, neste caso exerce-se a opção de venda. Ela pode adiar o início da construção de um armazém, de um silo, de um terminal portuário, de um aeroporto, de uma rodovia, de uma ferrovia etc., para exercer ou não a opção de compra do empreendimento no futuro. Uma empresa pode contrair a capacidade produtiva, entre outras possibilidades.

4. VALOR DO DIREITO DE ESPERA: O CASO DOS NOVOS PORTOS E TERMINAIS PORTUÁRIOS

Esta seção apresenta as equações do modelo Black-Scholes-Merton e faz a simulação do valor da opção de esperar para investir no futuro num novo porto ou terminal portuário.

4.1. As equações do modelo Black-Scholes-Merton

Um contrato derivativo é um contrato cujo preço deriva de um ativo subjacente. Portanto, um contrato de opção é um derivativo que dá o direito (mas não a obrigação) a uma das partes interessadas (que pagou por esse direito a outra parte interessada) de comprar (ou vender) um ativo por um preço especificado numa data futura (chamado preço de exercício) até o vencimento (data a partir da qual a opção não pode mais ser exercida).

Os contratos de opções podem ser caracterizados pelo tipo de operações e, nesse caso, os tipos mais simples são:

- Opções de compra (*call*) é uma opção para comprar um ativo especificado (ativo objeto) a um preço fixo.
- Opção de venda (*put*) é uma opção para vender um ativo especificado (ativo objeto) a um preço fixo.

Contratos de opções também podem ser caracterizados pela especificação do período de exercício e, nesse caso, os tipos mais comuns são:

- Opção Europeia é um contrato de opção que só pode ser exercido em apenas uma data fixa específica no futuro.
- Opção Americana é um contrato de opção que pode ser exercido em qualquer instante

até a data de vencimento.

Desta forma, o que se pretende é saber quanto se deve pagar hoje por um contrato de opção para ter direito à compra (venda) de um ativo que vale hoje S , numa data futura, por um preço X .

Sabe-se que uma opção de compra numa determinada data t tem valor dado por:

$$C_t = \max (S_t - X; 0) \tag{2}$$

e uma opção de venda numa determinada data t tem valor dado por

$$P_t = \max (X - S_t; 0) \tag{3}$$

para C_t é o preço de uma opção de compra no instante t , P_t é o preço de uma opção de venda no instante t , X é o preço de exercício e S_t é o preço do ativo no instante t .

O modelo binomial é a forma mais simples e flexível para avaliar contratos de opções. O método é baseado na ideia de construir uma árvore ou malha binomial que pressupõe a ausência de arbitragem e que deve acompanhar as trajetórias do preço, conforme Figura 1.

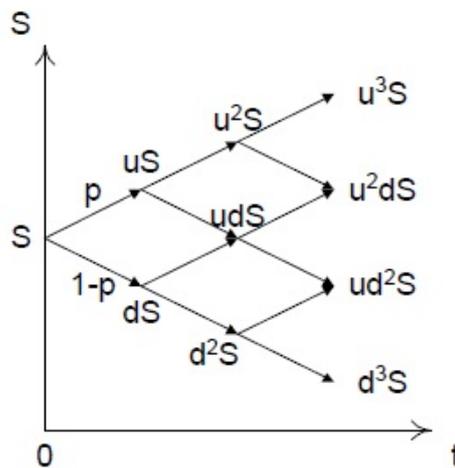


Figura 1 – Árvore Binomial com três períodos (Baidya e Castro, 2001).

Para usar explicitamente a hipótese de não arbitragem, deve-se construir uma carteira livre de risco com valor Π , formada pela compra de Δ ativos e pela venda de um contrato de opção:

$$\Pi = \Delta S - C \tag{4}$$

Para essa carteira ser livre de risco, precisa-se que independentemente do estado da natureza (estados possíveis das incertezas de mercado) - um estado com um aumento do valor do ativo para S_u ou a redução do valor do ativo para S_d - ela tenha o mesmo valor (u e d denotam, respectivamente, os movimentos ascendente e descendente do valor do ativo). Então, para isso ocorrer calcula-se:

$$\Delta S_u - C_u = \Delta S_d - C_d \tag{5}$$

que resolvendo para o valor de Δ , encontra-se:

$$\Delta = \frac{C_u - C_d}{S_u - S_d} \tag{6}$$

Portanto, para não haver arbitragem deve-se ter:

$$\Delta S - C = \frac{\Delta S_u - C_u}{1+r} = \frac{\Delta S_d - C_d}{1+r} \tag{7}$$

Sendo r a taxa livre de risco. Substituindo Δ na equação anterior, chega-se a seguinte equação:

$$C = \frac{qC_u + (1-q)C_d}{1+r} \tag{8}$$

então

$$q = \frac{(1+r)-d}{u-d} \quad (9)$$

A equação do modelo binomial para achar u e d parte do princípio que:

$$\frac{qSu+(1-q)Sd}{S} = e^r$$

$$qu^2 + (1-q)d^2 - [qu + (1-q)d]^2 = \sigma^2 \quad (10)$$

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (11)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (12)$$

$$q = \frac{e^r-d}{u-d} \quad (13)$$

O preço da opção C acima tem uma interpretação interessante. Note que $d < 1 + r < u$, pois em caso contrário, o ativo livre de risco será sempre melhor ou sempre pior que o ativo arriscado, o que faria que, em equilíbrio, um dos dois títulos sumisse do mercado.

Por exemplo, se $d > 1 + r$, nunca ninguém teria interesse em investir no ativo livre de risco, pois em qualquer situação o ativo arriscado estaria dando retorno maior que esse ativo livre de risco.

Esse modelo nos diz que o valor da opção hoje C é o valor esperado descontado dos valores futuros possíveis do contrato de opção num mundo neutro ao risco (independentemente do estado, a carteira com valor Π possui o mesmo valor), onde q é a probabilidade neutra ao risco. No entanto, a probabilidade p do mundo real não tem nenhuma influência no cálculo do preço da opção.

Pode-se estender essa mesma metodologia para 2, 3, ..., T períodos, usando as equações (7), (8) e (9). Sabendo-se que a distribuição binomial converge para a distribuição normal, natural se faz mostrar que o modelo converge para a famosa equação de Black-Scholes-Merton quando $T \rightarrow \infty$ e $qT \rightarrow \infty$ (Copeland e Antikarov, 2001).

O modelo Black-Scholes-Merton assume que a opção só pode ser exercida numa data pré-estabelecida. Portanto, utiliza o valor de opções europeias. As equações para uma opção de compra, *call*, são:

$$C_0 = S_0 N(d_1) - X e^{-R_F \tau} N(d_2) \quad (14)$$

Sendo que d_1 e d_2 são dados pelas seguintes expressões, respectivamente:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + (R_F + 0,5\sigma^2)\tau}{\sigma\sqrt{\tau}} \quad (15)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{\tau} \quad (16)$$

A variável $N(.)$ representa a função normal acumulada cujo valor é tabelado e de fácil apuração em livros de Estatística e Probabilidade, como o de Meyer (1975), por exemplo. C_0 é o valor da opção de compra. As outras variáveis do modelo são como especificadas na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1. Simbologia das variáveis do modelo Black-Scholes-Merton

Variável	Símbolo
Preço corrente da ação ou do ativo objeto (ativo subjacente)	S_0
Preço de exercício da opção	X
Tempo até o exercício da opção	T
Desvio-padrão do retorno da ação	Σ
Taxa de juros livre de risco ao longo da vida da opção	R_F

Na falta de conhecimento de alguns parâmetros ou variáveis pode-se usar Simulação Monte Carlo para estimativa e cálculo aproximado destes valores (Cheah e Liu, 2006; Godinho, 2006).

Diga-se que a fórmula da paridade *call-put* permite calcular o valor de uma opção de venda europeia a partir do cálculo da *call* de Black-Scholes-Merton. Para maiores detalhes, o livro de Copeland e Antikarov (2001) apresenta bons exemplos.

4.2. Simulação

Seja um empreendimento num novo porto ou terminal portuário com VPL negativo, avaliado na época atual. Suponha que esse empreendimento possa se tornar lucrativo se realizado numa data futura conhecida porque as condições de mercado podem se modificar favoravelmente.

Supõe-se que a opção real expire dois anos após a assinatura do contrato (em 2017) entre o porto e o vencedor da licitação.

O modelo Black-Scholes-Merton pode ser usado para apurar o valor da opção de espera, uma vez que se trata de uma opção europeia de adiar, com data fixa de exercício.

Como visto antes, o modelo Black-Scholes-Merton requer cinco entradas (variáveis):

- A taxa livre de risco.
- O tempo até a data de expiração da opção.
- O preço de exercício.
- O preço corrente da ação (ativo-objeto).
- A variância da taxa de retorno da ação.

Então, é preciso definir valores para essas cinco variáveis. A taxa livre de risco adotada é a taxa Selic, igual a 7,5% ao ano. A Selic é a taxa de juro formada nas negociações com títulos públicos no Brasil e é considerada como sem risco (Assaf Neto et al, 2008; Tosi, 2015). A empresa vencedora deve decidir se vai ou não empreender dentro de dois anos, de modo que ela tem dois anos até a opção expirar. O custo de construção do empreendimento é de \$ 10,0 milhões (em 2019), equivalente ao preço de exercício. O preço corrente da ação (ativo-objeto) é aproximado pelo valor presente dos fluxos de caixa esperados no futuro do empreendimento, avaliado em 2019 em \$ 9,0 milhões (a taxa de desconto é a taxa livre de risco). A variância do retorno esperado do empreendimento é usada para representar a variância da taxa de retorno da ação no modelo Black-Scholes-Merton, presumida ser igual a 0,045 ao ano.

As variáveis do modelo Black-Scholes-Merton e os seus respectivos valores estão resumidos abaixo:

Tabela 2. Simulação (resumo dos valores do modelo Black-Scholes-Merton)

$r_f =$	Taxa livre de risco	= 7,5% ao ano
$\tau =$	Tempo em anos até a expiração da opção	= 2
$X =$	Custo de implantação do empreendimento	= \$ 10,0
$S_0 =$	Valor corrente do empreendimento	= \$ 9,0
σ^2	Variância do retorno do projeto	= 0,045
d_1		= 0,2988
d_2		= - 0,0012
$N(d_1)$		= 0,62
$N(d_2)$		= 0,50

Os parâmetros d_1 e d_2 foram calculados com a ajuda das equações (15) e (16) e a partir dos valores das variáveis do modelo. Já os parâmetros $N(d_1)$ e $N(d_2)$ representam a probabilidade de uma variável aleatória, cuja a distribuição é normal padronizada $N \sim (0;1)$, ser menor ou igual a d_1 para $N(d_1)$ e d_2 para $N(d_2)$.

Para apurar o valor da opção real aplica-se a equação (14). O valor da espera para desenvolver o porto ou terminal portuário no ano de 2019 é de \$ 1,26 milhão. Recorde-se que o período atual é 2017. Como o empreendimento tem valor presente líquido negativo, isto é \$ -870,0 mil em 2017 $[(9 - 10) \div (1,075)^2]$, logo, o valor líquido da espera é de \$ 390 mil (\$ 1,26 milhão menos \$ 0,87 milhão).

Reconhece-se que o empreendimento tem VPL negativo, mas ele pode ser licitado para que entre em desenvolvimento após dois anos ou mais, quando se espera que as condições econômicas melhorem.

Obviamente, o governo poderia parcelar o valor líquido da espera, usando a fórmula da anuidade adiantada (Ross *et al*, 2010). Neste caso, o valor de cada uma das três parcelas seria de \$ 139,5 mil, iniciando em 2017. A primeira parcela seria devida no ano zero. Este procedimento evita que o desembolso referente à compra da opção real seja feito de uma única vez.

4.3 Comentários adicionais

A Tabela 3 representa o valor da opção real (VOR) conforme o tempo de espera em anos. Apenas como ilustração, simula-se um adiamento de, no máximo, seis anos. A simulação é feita também com o modelo Black-Scholes-Merton. Percebe-se que, substituindo os valores em função do tempo de espera, VOR cresce. Isto acontece porque ao aumentar o tempo de previsibilidade, conseqüentemente, aumenta-se exponencialmente a volatilidade esperada do modelo. Como a previsibilidade temporal é favorável a expectativa de sucesso em probabilidade superior ($q = 0,63$) a convergência da distribuição binomial à normal resulta em valores crescentes.

Tabela 3. Valor da opção real segundo o tempo de espera

Tempo de espera	\$ milhão
3 anos	1,81
4 anos	2,31
5 anos	2,78
6 anos	3,21

Evidentemente que a decisão de espera deve obedecer às regras estabelecidas no contrato e às expectativas da concessionária. A espera, naturalmente, a fim de atender os interesses públicos, não poderá ser excessiva, o que poderá ser limitado e equilibrado com a imposição de valores contratuais a respeito do valor de outorga no ato da assinatura do contrato de concessão.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO

O governo não deve deixar de promover a licitação de novos empreendimentos em infraestruturas com valor presente líquido negativo se houver indicativos de melhores perspectivas de mercado no futuro. Então, seria dado ao vencedor da licitação e comprador da opção de espera o direito, mas não a obrigação, de desenvolver o empreendimento.

O valor da espera para empreender pode ser obtido por meio da abordagem das opções reais, como exemplificado neste artigo por meio do modelo Black-Scholes-Merton. O valor da opção real pode funcionar como o valor inicial da licitação.

Assim, torna-se desnecessário atribuir multa para o vencedor da licitação que empreende na data de vencimento da opção real, em detrimento da data inicial fixada no contrato. Isto porque o valor pago pela opção no ato de sua compra – na assinatura do contrato e conforme o valor de

outorga - já remunera o licitante.

Desta forma, recomenda-se que o edital contenha a memória de cálculo do valor da espera considerando a melhor estratégia do empreendimento licitado, bem como com as fontes dos dados e cálculos. Isto trará segurança para os participantes do certame, minimizando a desconfiança quanto ao potencial da área licitada. Além disso, recomenda-se que haja possibilidade de parcerias pública e privada na concepção de investimentos portuária como boa estratégia de viabilidade para projetos de infraestrutura (Adetunji e Owlabi, 2017).

Por fim, sugere-se, em outros trabalhos, estabelecer uma ponderação contraditória com o impacto dessa formulação do ponto de vista da administração pública, visto que não é avaliada a taxa de oportunidade social. Isto é, houve ganho ou perda social para o setor público da licitação com opção comparada à possível decisão de espera em licitar?

REFERÊNCIAS

- Adetunji, O. M. A. A. Owlabi (2017) Real Options and Government Supports to Infraestructre Investments: An Empirical Study. *Journal of Modern Accounting and Auditing*, v. 13, n. 5, p. 196-215. DOI: 10.17265/1548-6583/2017.05.002
- Amram, M. e Kulatilaka N. (1999). Disciplined Decisions – Aligning Strategy with the Financial Markets. *Harvard Business Review*, Jan-Feb, p. 95-104. DOI: 10.4236/wjcamp.2013.31007.
- ANTAQ (2009) Subsídios técnicos para identificação de áreas destinadas à instalação de portos organizados ou autorização de terminais de uso privativo em apoio ao plano geral de outorgas. Brasília: Agência Nacional de Transportes Aquaviários.
- Assaf Neto, A., Lima, F. G. e Araújo, A. M. P. (2008). Uma proposta metodológica para o cálculo do custo de capital no Brasil. *Revista de Administração*, v. 43, n.1, p. 72-83. <http://www.spell.org.br/documentos/ver/4402/uma-proposta-metodologica-para-o-calculo-do-custo-de-capital-no-brasil/i/pt-br> (Link Permanente).
- Badaiya, T. K. N. e A. L. Castro (2001) Convergência dos Modelos de Árvores Binomiais para Avaliação de Opções. *Pesquisa Operacional*, v. 21, n. 1, p. 17-30. DOI: 10.1590/S0101-74382001000100002.
- Bailey, D. e G. Solomon (2004). Pollution prevention at ports: clearing the air. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 24, n. 7-8, p. 749-774. DOI: 10.1016/j.eiar.2004.06.005.
- Black, F. e M. Scholes (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, v. 81, p. 637-659. DOI: 10.1086/260062.
- Blank, F. F. (2008) Teoria de Opções reais em Project Finance e Parceria Público-Privada: Uma Aplicação em Concessões Rodoviárias. Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Boer, E. e G. Verbraak (2010) *Environmental impacts of international shipping: a case study of the port of Rotterdam*. Paris: OCDE.
- Bowe, M. e D.L. Lee (2004) Project evaluation in the presence of multiple embedded real options: evidence from the Taiwan High-Speed Rail Project. *Journal of Asian Economics*, v. 15, n. 1, p. 71-98. DOI: 10.1016/j.asieco.2003.12.001.
- Brandão, L.; C. Pinto; I. Gomes e M. Salgado (2012) Incentivos Governamentais em PPP: Uma análise por opções reais. *RAE – Revista de Administração de Empresas*, v. 52, n. 1, p. 10-23. DOI: 10.1590/S0034-75902012000100002.
- Brandão, L. e E. Saraiva (2007) Risco privado em infraestrutura pública: uma análise quantitativa de risco como ferramenta de modelagem de contratos. *RAP – Revista de Administração Pública*, v. 41, n. 6, p. 1035-1067.
- Cheah, C e J. Liu (2006) Valuing governmental support in infrastructure projects as real options using Monte Carlo simulation. *Construction Management & Economics*, v. 24, p. 545-554. DOI: 10.1080/01446190500435572.
- Copeland, T. e V. Antikarov (2001) *Opções reais: um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos*. Rio de Janeiro, Editora Campus.
- Cox, J. C., S. A. Ross e M. Rubinstein (1979) Option pricing: a simplified approach. *Journal of Financial Economics*, v. 7, p. 229-263. DOI: 10.1016/0304-405X(79)90015-1.
- Dias, M. A. G. (2014). *Análise de investimentos com opções reais: conceitos básicos e opções reais em tempo discreto*. Rio de Janeiro, Editora Interciência.
- Dixit, A. e R. Pindyck (1994) *Investment under uncertainty*. New Jersey, USA: Princeton University Press.
- Frischtack, C. R. (2012) *Infraestrutura e Desenvolvimento no Brasil*. IBRE-FGV.
- Hull, J. (2005) *Fundamentos dos mercados futuros e de opções*. São Paulo, Editora BM&F.
- Huisman, K. (2000) *Technology Investment: A Game Theoretic Real Options Approach*. Thesis Phd in Economics, Department of Econometrics, Center Dissertation Series – Center for Quantitative Methods in Eindhoven, Tilburg University.
- Ingersoll, J. e S. Ross (1992) Waiting to Invest: Investment and Uncertainty. *Journal of Business*, v. 65, p. 1-30.
- Lagoudis, I. N.; JR. J. B. Rice e J. B. Salminen (2014) Port Investment Strategies under Uncertainty: The Case of a Southeast Asian Multipurpose Port. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*. v. 30, n. 3. December, p. 299 – 319. DOI: 10.1016/j.ajsl.2014.12.003.
- Godinho, P. (2006). Monte Carlo Estimation of Project Volatility for Real Options Analysis. *Journal of Applied Finance*, spring/summer, p. 7 -22.

- McDonald, R. L. e D. Siegel (1986) The value of waiting to invest. *Quarterly Journal of Economics*, v. 4, p. 707-727. DOI: 10.2307/1884175.
- McGahan, A. M. (1993) The Effect of Incomplete Information About Demand on Preemption, *International Journal of Industrial Organisation*, v. 11, n.3, p. 327-346. DOI: 10.1016/0167-7187(93)90013-3.
- Mendonça, C. L. (2014) Teoria das Opções reais: Aplicação e Parcerias Público Privado (PPP), um estudo de caso em sistemas metroviários. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- Merton, R. (1973) Theory of rational option pricing. *Bell Journal of Economics and Management Science*, v. 4, p. 141-183. DOI: 10.2307/3003143.
- Meyer, P. (1975) *Probabilidade: aplicações à estatística*. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, Editora LTC.
- Oliveira, R. M. V. (2013) Contribuição da Análise de Opções reais na Avaliação de Projectos de Investimento. Dissertação de Mestrado em Finanças Empresariais – Faculdade de Economia, Universidade do Algarve.
- Paxson, D. (2003) *Real R&D Options: Theory, Practice and Implementation*. Editor Dean Paxson.
- Pereira, P.; A. Rodrigues e M. Armada (2006) *The Optimal Timing for the Construction of an International Airport: a Real Options Approach with Multiple Stochastic Factors and Shocks*. Real Options 10th Annual International Conference – New York, 2006.
- Pimentel, P. (2009) *Avaliação do Investimento na Alta Velocidade Ferroviária*. Tese de Doutorado em Economia e Gestão – O Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade de Lisboa.
- Pimentel, P. M.; M. Azevedo-Pereira e Couto, G. (2012) High-speed rail transport valuation. *The European Journal of Finance*, v. 18, n. 2, p. 167-183. DOI: 10.1080/1351847X.2011.574984.
- Pindyck, R. (1991) Irreversibility, Uncertainty, and Investment. *Journal of Economic Literature*, v. 29, n. 3, p. 110-1148. DOI: 10.3386/w3307.
- Porter, M. E. (1992) Capital disadvantage: America's failing capital investment system. *Harvard Business Review*, v. 70, n. 5, p. 65-82.
- Rocha, C. H. e P. A. P. Britto (2015) New Brazilian ports and port terminals, project finance and concession pricing model. *Latin American Business Review*, v. 16, n. 2, p. 127-141. DOI: 10.1080/10978526.2015.1045812.
- Rose, S. (1998) Valuation of interacting real options in a tollroad infrastructure project. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, v. 38, n. 3, p. 711-723. DOI: 10.1016/S1062-9769(99)80098-2.
- Ross, S. (1995) Uses, Abuses, and Alternatives to the Net-Present-Value Rule. *Financial Management*, v. 24, n. 3, p. 96-102. <http://www.jstor.org/stable/3665561> (Link Permanente). DOI: 10.2307/3665561.
- Ross, S. A.; R. W. Westerfield; J. F. Jaffe e R. Lamb (2015) *Administração financeira: corporate finance*. Porto Alegre: Bookman.
- Schwartz, E. e , L. Trigeorgis (2001) *Real options and investment under uncertainty*. The MIT Press, Massachusetts, USA.
- Smit, H. (2003) Infrastructure Investment as Real Options Game: The Case of European Airport Expansion. *Financial Management*, v. 32, n. 4, p. 27-57. DOI: 10.2307/3666135.
- Taneja, P., M. E. Aartsen, J. A. Annema, M. van Schuylenburg (2010) *Real Options for Port Infrastructure Investments*. Shenzhen, China. Infrastructure Systems and Services: Next Generation Infrastructure Systems for Eco-Cities (INFRA), 2010 Third International Conference – Shenzhen/ China, 2010.
- Titman, S. e J. D. Martin (2010) *Avaliação de projetos e investimentos*. Editora Bookman, Porto Alegre.
- Tosi, A. J. (2015). *Matemática financeira: com ênfase em produtos bancários*. São Paulo, Atlas.