

FLEXIBILIDADE DE EXPANSÃO EM INFRAESTRUTURA PORTUÁRIA: UM ESTUDO DE CASO NO BRASIL

ANA CAROLINA VELLOSO ASSIS

FACULDADE DE ECONOMIA E FINANÇAS IBMEC (FACULDADES IBMEC)

RAFAEL IGREJAS

FACULDADE DE ECONOMIA E FINANÇAS IBMEC (FACULDADES IBMEC)

LUIZ FLAVIO AUTRAN MONTEIRO GOMES

FACULDADE DE ECONOMIA E FINANÇAS IBMEC (FACULDADES IBMEC)

EDSON DANIEL LOPES GONCALVES

FGV - EPGE

FLEXIBILIDADE DE EXPANSÃO EM INFRAESTRUTURA PORTUÁRIA: UM ESTUDO DE CASO NO BRASIL

1. INTRODUÇÃO

O volume de movimentação de cargas em contêineres transportados via marítima no mundo apresentou crescimento superior a 350% no período de 2000 a 2018, passando de 224 milhões para 792 milhões de TEU (*Twenty-foot Equivalent Unit* na sigla em inglês). Em 2018, a América Latina e Caribe apresentava apenas 7% do total da movimentação mundial de contêineres, de acordo com a *United Nations Conference on Trade and Development* (UNCTAD, 2019). Nos portos brasileiros em 2019 foram movimentados mais de 1 bilhão de toneladas, sendo 10% desse valor representado pela carga de contêineres, segundo dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários do Brasil (ANTAQ, 2020). A partir da crise de saúde pública do COVID-19, no entanto, as incertezas de demanda tendem a se intensificar e gerar dúvidas quanto ao retorno de investimentos no setor portuário.

Apesar da relativa importância regional, o Brasil ocupa a 21^a colocação na classificação mundial de movimentação de contêineres (UNCTAD, 2019). Em desempenho de operações logísticas, o Brasil ainda ocupa a 56^a posição no total de 160 países avaliados pelo *World Bank* (WB, 2018). Os terminais portuários são severamente impactados por investimentos em infraestrutura com longo prazo de maturação e consideráveis incertezas de mercado. No caso do Brasil, em 2017 o investimento público em portos foi de apenas 1,85% do PIB, representando o menor nível dos últimos cinquenta anos (Andrade, Lee, Lee, Kwon, & Chung, 2019).

A atração de investimentos privados para o setor portuário no Brasil é extremamente relevante para contribuir com o crescimento econômico do país. O modelo financeiro de arrendamento proposto pelo poder concedente precisa ser robusto e flexível, para que estes investimentos sejam realizados e tornem-se sustentáveis no longo prazo.

1.1 Problema de pesquisa

O investimento em portos no Brasil ainda é pouco representativo, apesar da sua importância para promover o crescimento econômico no país. Os contratos de arrendamento para portos privados ainda podem ser aprimorados, permitindo maior flexibilidade para atração do investidor privado. Estes contratos são geralmente estruturados a partir de um plano de negócios, que prevê condições fixas de investimento ao longo do prazo de arrendamento. O modelo financeiro, que suporta a estruturação do plano de negócios do projeto, tradicionalmente adota o método do fluxo de caixa descontado (FCD) na sua avaliação financeira. Este método,

no entanto, não capta as flexibilidades gerenciais do projeto e limita a atuação do investidor privado.

Os portos são ainda impactados por inúmeras incertezas que afetam a viabilidade financeira de projetos no setor. O desenvolvimento de modelo de avaliação financeira, que incorporem incertezas e permitam gerenciar flexibilidades tem se mostrado fundamental no processo de aprimoramento do setor em outros países (Chainas, 2017).

Torna-se relevante buscar métodos capazes de incorporar incertezas à análise econômico-financeira de investimentos em infraestrutura portuária, além de adaptação progressiva às mudanças nas condições de mercado que afetam tais investimentos (Martins, Marques e Cruz, 2015).

1.2 Objetivo

O objetivo do presente estudo é propor um modelo para análise financeira de expansão de terminais portuários de contêineres no Brasil, incorporando a flexibilidade de expansão em etapas pela teoria de opções reais. O modelo proposto permite a tomada de decisão ótima de ampliações sequenciais de capacidade de terminais portuários, conforme a revelação de cenários. A flexibilidade de adiar as expansões em etapas é modelada por opções americanas em tempo discreto. O modelo é ainda aplicado ao caso real de um terminal de contêineres no Brasil, no qual poucos estudos em opções reais foram observados.

O estudo está organizado da seguinte forma: a seção dois fornece uma discussão sobre terminais portuários no Brasil; a seção três traz a metodologia utilizada no presente estudo; a seção quatro diz respeito ao caso aplicado, utilizando a metodologia e abordando os principais resultados; a seção 5 destaca as principais conclusões.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os portos são responsáveis pelo escoamento de mais de 95% das exportações e mais de 90% das importações. O Brasil apresenta 8.500 quilômetros de costa navegável e o setor de portos movimenta aproximadamente 1 bilhão de toneladas anuais (ANTAQ, 2020; Nes, 2016).

No entanto, o Brasil se encontra em 162º lugar no *ranking* de 264 países em termos de qualidade da infraestrutura portuária (WB, 2018). Os elevados custos logísticos, associados aos atrasos e demorado tempo de descarga são fatores que prejudicam a competitividade dos portos brasileiros (Andrade et al., 2019). Os problemas de infraestrutura associados a excessiva burocracia, são historicamente observados como as principais causas de ineficiência deste setor no Brasil (Bonelli & Dittrich, 2013).

Para contornar os problemas relacionados a ineficiência dos portos, a lei brasileira 8630/93, que passou a vigorar em 1993 estabeleceu o primeiro marco legal para investimentos privados por meio de contratos de arrendamento. Em 1995, a Lei 8907/95 estabeleceu as principais regras para privatização do setor e até 2016 já foram investidos mais de US\$ 1 bilhão na aquisição de equipamentos, treinamento e melhoria da infraestrutura (Nes, 2016). Além disso, os custos de movimentação de contêineres se reduziram em aproximadamente 53% entre 1997 e 2003, além de outros aprimoramentos observados nos padrões de eficiência do setor (Bonelli & Dittrich, 2013). O Brasil possui 37 portos públicos e 144 terminais de uso privado (TUP), sendo estes marítimos e fluviais. Os portos públicos são administrados pela Secretaria Nacional de Portos e Transportes Aquaviários (SNPTA), do Ministério dos Transportes. Os TUPs operam por autorização da Agência Nacional de Transportes Aquaviários do Brasil (ANTAQ, 2020; Brasil, 2020).

Diversos fatores de incerteza impactam no planejamento de projetos no setor (Bendall & Stent, 2005). A imprevisibilidade da demanda, a limitação de capacidade nos portos, as

constantes mudanças regulatórias e a volatilidade da atividade econômica global são variáveis de incerteza, que exigem mudanças e adaptações significativas na infraestrutura portuária.

2.1 Revisão bibliográfica

Nesta subseção é apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre opções reais em infraestrutura, seguida por aplicações na modelagem de projetos no setor portuário.

A avaliação de flexibilidades gerenciais por Opções Reais, em projetos de infraestrutura, tem sido amplamente observada na literatura. Rose (1998) avaliou, por simulação de Monte Carlo, múltiplas flexibilidades (*calls e puts*) embutidas em um contrato de infraestrutura e observou que ignorar as flexibilidades gerenciais poderia subestimar consideravelmente o valor do projeto. Em Bowe e Lee (2004) foram analisadas opções de expansão, adiamento, redução e abandono em um projeto de construção de um trem de alta velocidade em Taiwan. Cheah e Liu (2006) propuseram um modelo por simulação de Monte Carlo para apreçar a garantia de receita mínima, como mecanismo de incentivo flexível para o projeto de uma ponte pedagiada na Malásia. Huang e Chou (2006) também utilizaram garantia de receita mínima, mas neste caso com foco na opção de abandonar em um projeto de trem de alta velocidade em Taiwan. Chiara, Garvin, e Vecer (2007) propuseram um modelo de avaliação para concessões do tipo *built-operate-transfer* (BOT) utilizando garantia de receita mínima, com apreçamento por opções bermudianas e australianas. Alonso-Conde e Brown (2007) utilizaram a teoria de opções como instrumento para avaliar garantias contratuais em uma concessão na Austrália.

No Brasil, Brandão e Saraiva (2008) avaliaram garantias de tráfego mínimo com limites de gastos (*caps*), para limitar a exposição do governo em uma estrada pedagiada. Brandão et al. (2012) avaliaram o impacto dos incentivos governamentais por garantias de tráfego mínimo com níveis de cobertura, na concessão da Linha 4 do Metrô de São Paulo. Blank, Samanez, Baidya, e Dias (2016) modelaram opções de abandono em concessão rodoviária no Brasil com garantia mínima de tráfego. Kruger (2012) analisou a opção de expansão de uma rodovia na Suécia e as flexibilidades criadas, a partir da teoria dos contratos incompletos. De forma diferenciada, Rocha Armada, Pereira, e Rodrigues (2012) propuseram um modelo por subsídios de investimentos e receitas, além de garantias de demanda mínima, com opção de extensão de prazo contratual em um projeto de infraestrutura. Martins, Marques, e Cruz (2014) desenvolveram um modelo para tomada de decisão em projetos nas fases de estruturação e investimento e na fase operacional dos projetos de infraestrutura. De forma simplificada, Rakić e Rađenović (2014) compararam o valor da opção de abandono americana e opção de abandono europeia pela ótica da iniciativa privada, em projetos de infraestrutura.

Por outro lado, Xiong e Zhang (2014) propuseram o uso de opções reais para renegociações contratuais em projetos de infraestrutura e enfatizaram o mecanismo de recompensa em jogos estratégicos de barganha. Feng, Zang, e Gao (2015) desenvolveram um modelo de garantia mínima de receita, garantia mínima de tráfego e garantia de compensação de preço, determinando assim o preço ótimo de pedágio em projetos rodoviários. Attarzadeh, Chua, Beer, e Abbott (2017) avaliaram garantias de receita, utilizando lógica *fuzzy* para modelar projetos de infraestrutura. Buyukyoran e Gundes (2018) modelaram garantias de receita mínima em rodovia, identificando os limites superiores e inferiores das barreiras das opções. Carbonara e Pellegrino (2018) avaliaram limites ótimos de piso e teto de receita de forma a criar uma condição "ganha-ganha" para concessionário e governo em projetos de infraestrutura.

Apesar da extensa literatura de Opções Reais aplicada a projetos de infraestrutura, o apreçamento de flexibilidades em projetos portuários ainda é escasso. Defilippi (2004) utiliza teoria da regulação e Opções Reais por Simulação de Monte Carlo para analisar alternativas de concessão do porto de Callao, no Peru, entre mono ou multi-operador, analisando diferentes

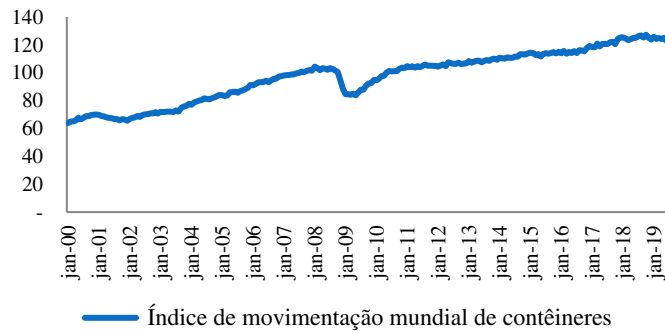
cenários de decisão. Bendall e Stent (2005) modelaram as decisões estratégicas de operadores de navios em terminais portuários, como opções de troca entre fluxos de receita arriscados. Juan, Olmos, e Ashkeboussi (2008) propuseram uma estrutura contratual dinâmica para PPPs em terminais portuários com garantia de receita mínima ao investidor, para projetos *greenfield* em países emergentes. Taneja, Ligteringen, e Walker (2012) avaliaram a construção do porto de Rotterdam em etapas, incorporando ao contrato, a flexibilidade de parada ótima e interrupção do programa de expansão, caso a demanda não aumentasse conforme esperado. Rocha e Brito (2015) utilizaram simulação de Monte Carlo para apreçar o valor de novos projetos portuários no Brasil, com a criação de um fundo permanente para financiamento para empresas do setor. Zheng e Negenborn (2017), apreçaram a opção de espera na expansão de um terminal marítimo para cargas de aço em *Bengbu* na China, utilizando mínimos quadrados de Monte Carlo (LSM) seguindo Longstaff e Schwartz (2001) para avaliar as decisões de roteamento de carga de transportadores e a concorrência entre portos rivais. Martins, Marques, Cruz e Fonseca (2017) modelaram por árvore binomial a flexibilidade de expansão do terminal de contêiner de Ferrol na Espanha, avaliando a sensibilidade do valor do projeto. Randrianarisoa e Zhang (2019) avaliaram a opção de espera, com adaptação aos efeitos da mudança climática e competição entre portos. Balliauw, Kort, e Zhang (2019) modelaram opções de adiar com jogos e o impacto da competição entre portos na tomada de decisão destes de investir em aumento de capacidade. Entre os estudos pesquisados, no entanto, ainda não foram obtidos achados quanto a abordagem de opções reais em terminais portuários de forma tão intuitiva e que se assemelhasse ao presente estudo.

3. METODOLOGIA

Para desenvolvimento do modelo por opções reais, inicialmente foram identificadas as incertezas mais relevantes para esta classe de projetos. De forma subsequente, a série histórica da variável principal de incerteza foi testada para compreensão do processo estocástico, distribuição de probabilidade e adequação à modelagem. O desenvolvimento do modelo por opções passou pela identificação das principais flexibilidades estratégicas envolvidas neste tipo de empreendimento. Por fim são calculados os valores presentes líquidos (VPLs) com e sem flexibilidade, para avaliar o valor que as flexibilidades agregam ao empreendimento e sua relevância e, adicionalmente, se é possível a aplicabilidade em outros projetos.

O modelo proposto foi aplicado na avaliação da opção de expansão de capacidade de terminais portuários, como uma abordagem ampliada a partir de Cox, Ross e Rubinstein (1979). O modelo binomial para cálculo do valor de opções europeias foi adaptado, contemplando dividendos, para permitir que a flexibilidade de tomada de decisão ocorra a qualquer momento ao longo da vida útil do projeto, sendo adequado, portanto, ao apreçamento de opções americanas em tempo discreto. A cada nó binomial, movimentos ascendentes revelam a valorização do projeto e movimentos descendentes demonstram sua desvalorização, de acordo com incertezas de mercado. Ao utilizar um modelo binomial com cálculo de dividendos, buscase incorporar à modelagem condições em que o exercício antecipado das opções seria ótimo (Black & Scholes, 1973; Copeland & Antikarov, 2001; Merton, 1973). A incerteza de demanda por movimentação de contêineres foi entendida como a que mais impacta a viabilidade do projeto. Por esta razão, foram analisados dados históricos de carga containerizada, através do índice de movimentação mensal de contêineres mundial do *World Container Index*, no período de 2000 a 2019, divulgado pelo Thomson & Reuters (2019), conforme Figura 1.

Figura 1 - World Container Index, entre 2000 e 2019.



Fonte: elaborado pelos autores; Thomson & Reuters (2019).

Está série foi escolhida em função do terminal de contêineres elegido para aplicação do modelo proposto apresentar navegação predominantemente de longo curso, sendo a participação relativa de 77% na movimentação do ano de 2019. Adicionalmente, cabe ressaltar que mesmo havendo dados sobre movimentação de contêineres no Brasil, divulgados pela ANTAQ, foi assumida a utilização da série histórica de dados *World Container Index*. A justificativa para uso desta série histórica é a grande representatividade da navegação de longo curso, para fins de exportações, na demanda de movimentação do terminal.

Na literatura sobre as aplicações de opções reais em infraestrutura e portos, a incerteza da demanda de carga tem sido amplamente modelada como um processo estocástico do tipo Geométrico Browniano (MGB). Dixit e Pindyck (1994) sugerem a execução de testes de estacionariedade sobre as variáveis de incerteza, antes da determinação do processo estocástico.

Inicialmente foi analisada a presença de uma ou mais raízes unitárias, como indicativo de não estacionariedade no comportamento da série histórica e, portanto, possibilitando avaliar se há indícios de passeio aleatório. O teste utilizado para identificar raízes unitárias foi o *Augmented Dickey-Fuller* (ADF). De acordo com testes realizados no software *E-views*, a hipótese nula H_0 não pôde ser rejeitada, apresentando indícios de que o processo estocástico subjacente segue o MGB.

Já no teste de razão de variância, que também foi aplicado, observou-se que a diferença da variância pode crescer ao longo do tempo, aproximando-se de 1. Assim, em função dos indícios de não estacionariedade observados nos testes realizados, assumiu-se o processo de difusão do tipo geométrico browniano (MGB). O MGB também é conhecido como um processo de caminho aleatório com tendência, cuja equação diferencial estocástica é dada por:

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz$$

na qual S é o valor da variável modelada, μ é a taxa de crescimento de S (tendência), σ é o parâmetro de volatilidade de S , o incremento de tempo é dado por dt e dz é o incremento de um processo de *Wiener ou movimento browniano padrão*. Este processo estocástico clássico possui distribuição normal com média zero e volatilidade (desvio-padrão) proporcional a \sqrt{dt} .

A modelagem da flexibilidade do projeto pode ser avaliada pelo método binomial para apreçamento das opções. No entanto, Copeland e Antikarov (2001) demonstraram que a volatilidade do ativo objeto e do projeto são distintas, em função do projeto ser impactado por aspectos operacionais e de alavancagem que alteram a incerteza sobre seus fluxos de caixa.

Dessa forma, além de avaliar o comportamento da série histórica de movimentação de contêineres que impacta inicialmente projeção dos fluxos de caixa, neste artigo foi adotado o modelo proposto por Brandão, Dyer e Hahn (2012) para estimar a volatilidade do projeto. Por

esta abordagem, a volatilidade foi obtida por simulação de Monte Carlo, a partir do cálculo da taxa de retorno do projeto ($\tilde{\gamma}$) em diversos cenários por:

$$\tilde{\gamma} = \ln \left(\frac{\tilde{V}_1}{V_0} \right) = \ln \left(\frac{\tilde{F}_1 + \sum_{t=2}^n E[\tilde{F}_t] e^{-\mu(t-1)}}{\sum_{t=1}^n E[\tilde{F}_t] e^{-\mu t}} \right)$$

onde V_0 e V_1 são os respectivos valores presentes dos fluxos de caixa iniciais, a partir de expectativas condicionais de cada período \tilde{F}_t . Ao final do período 1, as melhores estimativas imparciais de F_2-F_n são os valores esperados, condicionais ao resultado para F_1 . A volatilidade estimada para o projeto é, portanto, dada pelo desvio padrão de $\tilde{\gamma}$.

Neste caso, com a estimativa da volatilidade σ , o valor presente (VP) do projeto pode ser calculado seguindo o modelo binomial de Cox et al. (1979), no qual os movimentos ascendentes (u) e descendentes (d) são dados por:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (1)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = 1/u \quad (2)$$

onde Δt é o intervalo de tempo do processo. Para o presente estudo foi considerado que a tomada de decisão de investimento pode ocorrer a cada ano, a depender das condições de mercado para a continuidade do empreendimento. Para tanto, foi considerado o Δt igual a 1 ano.

Na árvore binomial, a cada cenário possível, em cada nó, a probabilidade influencia a avaliação final do projeto. A probabilidade de cada resultado, num primeiro momento é determinada para o fluxo de caixa determinístico do projeto, sendo: $q = \frac{e^k - d}{u - d}$, e: $1 - q = \frac{u - e^k}{u - d}$, onde q é a probabilidade. As variáveis de entrada do modelo são o seu custo de capital ajustado ao risco k e a sua volatilidade σ , sendo as probabilidades subjetivas q e $(1-q)$.

Por se tratar de uma árvore binomial com desconto de dividendos em t (Div_t), observou-se a necessidade de calcular o valor presente dos *ex-ante dividendos* (VP_a) e o valor presente dos *ex-post dividendos* (VP_p), como proposto por Copeland e Antikarov (2001). Para todos os períodos de projeção devem ser obtidos os fluxos de caixa projetados e calculados os VPs, sendo que:

$$FC_1 = VP_{a1} - VP_{p1}, \dots, FC_n = VP_{an} - VP_{pn} \quad (3)$$

O vetor de taxas de dividendos (δ) passa a ser definido como:

$$\delta_1 = FC_1 / VP_{a1}, \dots, \delta_n = FC_n / VP_{an}, \quad (4)$$

no qual:

VP_{at} : é o VP antes de dividendos antes da opção em t .

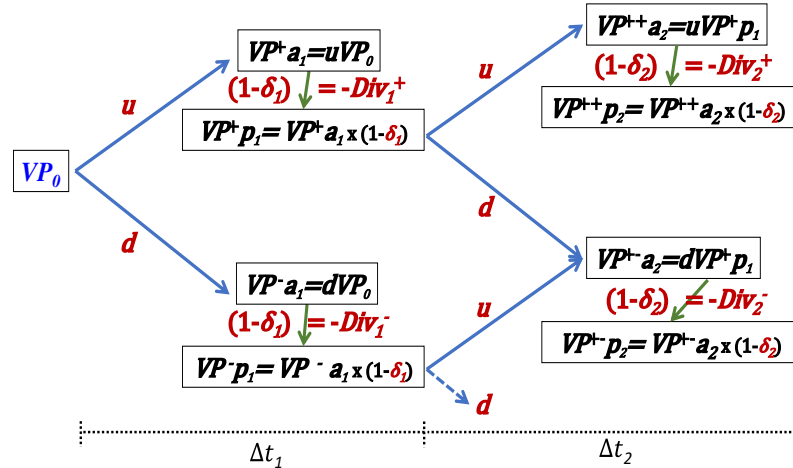
VP_{pt} : é VP após desconto de dividendos e antes da opção em t .

O VP_{pt} é igual a $VP_{at} \cdot (1 - \delta_t)$ e a taxa de dividendos observada considera:

$$Div_t = VP_{at} - VP_{pt} = VP_{pt} \times (1/(1 - \delta_t) - 1) = VP_{pt} \times \delta_t / (1 - \delta_t) \quad (5)$$

A árvore de eventos projetada a partir do desconto de dividendos pode ser observada pela Figura 2 a seguir, na qual são ilustrados os dois primeiros períodos da árvore binomial. A árvore binomial construída desta forma pressupõe taxas de desconto k diferenciadas a cada nó binomial, de acordo com o risco em cada etapa, dado que o exercício de opções altera o risco do projeto.

Figura 2 Binomial projetada com desconto de dividendos e sem opção



Fonte: elaborado pelos autores.

Por outro lado, para que não seja necessário utilizar diferentes taxas de desconto a cada passo da binomial, utiliza-se a abordagem neutra a risco. A abordagem neutra a risco simula o que aconteceria se o projeto tivesse uma rentabilidade esperada equivalente a taxa livre de risco em todos os nós de decisão e de modo que o VP seja sempre o mesmo com relação aquele obtido pela árvore binomial com risco.

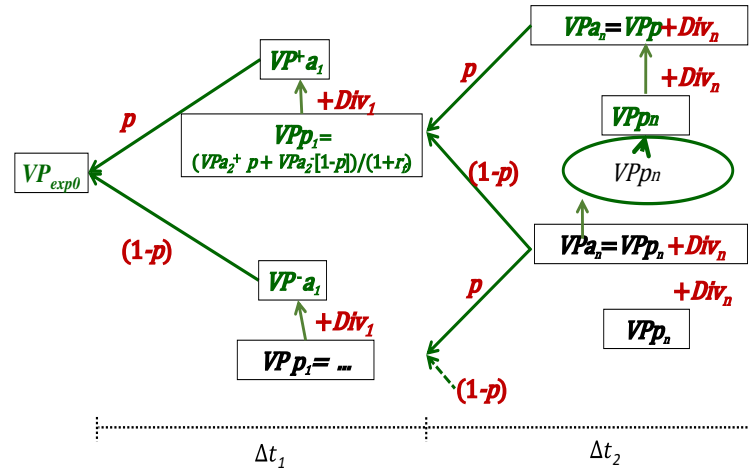
Dessa forma, em linha com as premissas do modelo binomial de Cox *et al.* (1979), assume-se mercados completos, de modo que o VP do projeto seja um estimador de seu valor de mercado a partir das probabilidades neutras ao risco. Sendo: r_f a taxa livre de risco, temos que p e $(1-p)$ são dados por:

$$p = \frac{e^{r_f} - d}{u - d}, \text{ e } (1-p) = \frac{u - e^{r_f}}{u - d} \quad (6)$$

as quais são chamadas de probabilidades neutras ao risco. Em não havendo oportunidades de arbitragem, o valor presente expandido do projeto na data zero (VP_{EXPO}) com opções pode ser descontado à taxa livre de risco r_f , como observado na Figura 3.

A avaliação da opção pela árvore binomial seguindo Cox *et al.* (1979) torna o resultado do valor da opção independente das probabilidades objetivas q e $(1-q)$ e permite que se utilize a taxa livre de risco como taxa de desconto em todos os nós da árvore binomial. Assim, as opções reais podem ser modeladas na árvore binomial, a partir de seu período final e num procedimento retroativo, calculando-se o *payoff* de trás para frente e descontando-se a taxa livre de risco, período a período, até o valor inicial, para obter o valor presente expandido do projeto.

Figura 3 Binomial com cálculo em *backward* do valor presente expandido com dividendos.



Fonte: elaborado pelos autores.

O valor da opção VPp_0 pode ser calculado pelo:

$$VPp_0 = VP_{EXP0} - VP_0 \quad (7)$$

Para chegar a este valor expandido em $t = 0$, a cada instante e nó binomial é utilizada a regra de maximização entre o exercício das opções de expansão e continuidade simultaneamente, o que igualmente confere a flexibilidade de exercício antecipado ou postergação de investimentos. O valor das opções (ξ), na data zero, será dado por:

$$\xi_0^{Call+Put} = \sum_{t=1}^n \left(\max \left(VP_{P\acute{O}S-DIV}^+ \cdot \chi_E - I; \left(VP_{P\acute{O}S-DIV}^+ \cdot p + VP_{P\acute{O}S-DIV}^- \cdot (1-p) \right) \cdot e^{-r_f} \right) \right)$$

no qual o $VP_{P\acute{O}S-DIV}^+ = VP_{pt} \times \delta t / (1 - \delta t)$ é multiplicado pela expectativa de crescimento do fluxo de caixa expandido, aqui visto como o fator de expansão do fluxo de caixa de χ_E . O modelo incorpora a cada nó binomial a regra de maximização entre a opção de adiar o investimento, a partir do valor presente do adiamento descontado em tempo contínuo (e^{-r_f}), e os demais valores de expansão pós-desconto de dividendos.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

O modelo de avaliação proposto foi aplicado à análise de um arrendamento de terminal de contêineres portuário privado, atualmente em operação e localizado no nordeste do Brasil. Este arrendamento recebeu um aditivo contratual em novembro/2016, contemplando a prorrogação antecipada do mesmo, passando o encerramento anteriormente previsto para 2025, a ser considerado para 2050. Para o presente estudo, as primeiras fases de expansão consideraram o ano de 2020 como marco inicial das expansões. O contrato de concessão facultava ao próprio concessionário a flexibilidade de prorrogação do prazo contratual, tendo como contrapartida a obrigação de realizar investimentos de expansão do terminal, a partir de marcos estabelecidos pelo poder concedente.

O compromisso de realizar a expansão, inicialmente contemplava um aumento da área de armazenagem em 28.159m² e posteriormente em 88.803 m², além do aumento do cais principal em 423m, e a aquisição de equipamentos de movimentação de cargas. Esta ampliação permitiria que navios maiores, com cerca de 366m passassem a ancorar nesse porto (CODEBA, 2019).

Segundo relatório do Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil (MTPA, 2018), a movimentação do Complexo Portuário de Salvador e Aratu-Candeias, quando somada correspondeu a 302 mil TEU em 2016, que foi o maior valor observado nos últimos anos. Entre 2012 e 2016, a movimentação de contêineres no Complexo aumentou em média 4,1% ao ano. O tipo de navegação predominante é a de longo curso, com participação relativa de 63% na movimentação no ano de 2016. No relatório do MTPA, a projeção de demanda de movimentação de cargas até 2060 deve impactar positivamente o crescimento da movimentação de contêineres a uma taxa média de 1,9% ao ano, atingindo 715 mil TEU no final do período.

Entretanto, entre 2018 e 2019 houve uma queda na movimentação mundial de contêineres (T&R, 2019). Em 2020, a partir da crise de saúde pública do COVID-19, que impactou severamente o cenário econômico mundial, as incertezas para realização de investimentos em portos podem se intensificar ainda mais.

De certa forma, já havia previsão de uma mudança na economia chinesa para o período de 2019-2024, com perspectiva de crescimento moderado na movimentação de contêineres no mundo (UNCTAD, 2019). Tais previsões estavam fundamentadas na aceleração de inovações tecnológicas na cadeia de suprimentos e possibilidades de desastres naturais, em decorrência de mudanças climáticas.

Os investimentos, como constam no segundo aditivo ao contrato firmado com a Companhia Docas do Estado da Bahia (CODEBA) estão divididos em três etapas principais (1,2,3), com cada estágio representando um aumento na capacidade e um determinado investimento. A Etapa 1 compreende a construção de cais para aumento da área de atracação de navios. Na Etapa 2 está prevista a pavimentação de área e na Etapa 3 está prevista a construção de um aterro para ampliação da área de armazenagem e movimentação do porto.

Para a aplicação preliminar do modelo proposto no presente estudo, os investimentos são trazidos a valor presente de 2020. O segundo aditivo ao contrato de arrendamento assinado com o poder concedente previa prazos limite para investimentos no terminal, sendo a etapa 1 até dois anos do início das obras, assim considerou-se até 2022 e as demais etapas até 2030 e 2034, respectivamente.

As receitas e custos de operação foram avaliados em TEU, que representa uma medida padrão muito utilizada para cálculo de movimentação, a partir do volume de contêiner. Tais premissas foram estimadas a partir de referências de especialistas do setor em dezembro de 2018 e obtidos com base no *benchmark* das operações existentes em portos no Brasil com condições operacionais semelhantes, além de dados disponibilizados pela CODEBA (2019). O custo de capital foi calculado a partir dos dados disponibilizados em Damodaran (2019). A Tabela 1 ilustra as premissas principais utilizadas para estruturar o modelo base do projeto.

Tabela 1 Premissas do projeto de expansão

Condições	Detalhes
Condições gerais de expansão do projeto	<ul style="list-style-type: none"> Operado pelo grupo Wilson Sons Aditivo 2 ao contrato de arrendamento assinado em nov/16, prorrogou o arrendamento por mais 25 anos (até 2050) Ampliação do cais principal: 423m Etapa 1: aumento de capacidade 314.000 TEU Etapa 2: aumento de capacidade 35.000 TEU Etapa 3: aumento de capacidade 141.000 TEU
Custos de Expansão	<ul style="list-style-type: none"> Etapa 1: R\$ 345,6 milhões até 2022 Etapa 2: R\$ 38 milhões, área de armazenagem, até 2030 Etapa 3: R\$ 154,8 milhões, ampliação de área de armazenagem, até 2034
Outros dados da projeção	<ul style="list-style-type: none"> Receita média em TEU: R\$ 713,0 Movimentação de Contêiner em 2019: 301.377 TEU Taxa de crescimento anual estimado para movimentação: 1,9% a.a Custo variável: R\$389,0 (média em TEU) Custo fixo: aproximadamente 20% da receita Taxa livre de risco: 4,13%a.a (T-Bond EUA) WACC estimado (<i>Shipping&Marine</i>): 12,06% a.a

No cenário base considera-se a avaliação do projeto pela metodologia do fluxo de caixa descontado (FCD), estimando a taxa de crescimento de demanda conforme previsto no Plano Mestre do MTPA (2018), ou seja 1,9% ao ano, tendo em vista que os investimentos ocorrerão necessariamente como previstos, sem considerar eventuais flexibilidades gerenciais.

Esta abordagem está alinhada ao planejamento comumente observado para projetos de infraestrutura, utilizando a metodologia do FCD com taxa de desconto ajustado a risco, e cujo plano de expansão de terminais portuários segue um cronograma fixo de investimentos, limitado até o ano 2034. Seguindo a metodologia FCD, o valor presente (VP) dos fluxos de caixa futuros é de R\$ 477,9 milhões em 2020. Frente aos investimentos totais que seriam realizados, neste mesmo ano, no valor de R\$ 539,2 milhões, o valor presente líquido (VPL) do projeto sem flexibilidade seria negativo em R\$ 61,3 milhões, apresentando uma taxa interna de retorno (TIR) de 6,3% a.a. Tais informações demonstram claramente a inviabilidade financeira do projeto ao serem considerados todos os investimentos de expansão sendo realizados em 2020 e projeções até 2050.

Uma vez que a TIR é uma variável relevante a ser considerada em concessões ou arrendamentos pelo poder concedente e ficou abaixo de custo de capital de 12,06%, este diferencial entre taxas poderia resultar em necessidade de reequilíbrio econômico-financeiro do contrato ou até mesmo na descontinuidade dos planos de expansão. Para avaliar um cenário alternativo, ainda pela metodologia do FCD foi considerada a realização das 3 etapas de obras de ampliação, conforme prazos (expansões até 2030, e 2034) e mantido o crescimento de cargas de 1,9%, como proposto no Plano Mestre. Para este cenário, o VPL do projeto seria negativo em R\$ 9,1 milhões, buscando refletir o contrato com alguma flexibilidade para o arrendatário, mesmo sem o apreçamento adequado desta flexibilidade.

Ao avaliar o projeto de expansão do terminal com a flexibilidade de adiamento ou antecipação das etapas de expansão a qualquer momento ao longo do prazo de arrendamento e não mais como uma obrigação contratual, o modelo proposto incorpora ao projeto a tomada de decisão ótima sob incerteza à modelagem da demanda. O arrendatário realiza as expansões apenas em cenários favoráveis e a medida em que as informações se relevam.

Para a modelagem da incerteza de demanda do projeto, foi utilizada a série histórica disponível e mais longa possível, do índice de movimentação mensal de contêineres mundial entre 2000 e 2019 (T&R, 2019). A partir desta série foram extraídos parâmetros de taxa de crescimento da movimentação de carga (α) e volatilidade (σ). A volatilidade foi ainda ajustada, conforme proposto por Brandão, Dyer, Hahn (2012). Ao utilizar estes parâmetros, foram calculados os movimentos de subida (u) e descida (d), bem como as probabilidades (p e $1-p$), para cada nó binomial no modelo binomial, seguindo Cox *et al.* (1979). Os dados seguem sintetizados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros para ao cenário flexível

Itens	Valores
Demanda inicial (ano zero: 2020)	301 mil TEUs
Taxa de crescimento da movimentação de carga (α)	1,9%
Volatilidade (σ)	4,43%
Volatilidade (σ) BHD	3,59%
Movimento de subida (u)	1,045
Movimento de descida (d)	0,957
Probabilidade (p)	0,954
Taxa livre de risco (r_f -T-Bond EUA)	4,13%

Ao adicionar a flexibilidade de adiar ou antecipar as expansões e realizar o projeto em etapas, o VPL torna-se positivo, a partir da revelação de cenários favoráveis, dentro do prazo permitido em contrato. A opção de adiar e expandir somente a primeira etapa a qualquer tempo ao longo do prazo de arrendamento, geraria um VPL expandido ($VPL_{OpçãoExp1}$) positivo de R\$ 393,5 milhões. Ao avaliar a flexibilidade de expandir a qualquer tempo a etapa 2, composta com a flexibilidade de expandir a etapa 1 ($VPL_{OpçãoExp2 e 1}$), o VPL do projeto passa a ser também positivo de R\$ 425,2 milhões. Tendo ainda a opção composta de expandir a etapa 3, a qualquer tempo de forma composta e otimizada à tomada de decisão flexível das etapas 1 e 2 ($VPL_{OpçãoExp3,2 e 1}$) o projeto passa a ter um VPL expandido positivo de R\$ 463,5 milhões.

A análise por Opções Reais aplicada a este estudo de caso de um terminal portuário no Brasil demonstra que a flexibilidade de expansão em etapas agrega significativo valor ao projeto, quando modelada adequadamente. Tal flexibilidade quando avaliada pela ótica de estímulo ao investidor privado, pode representar uma importante contribuição para fins de aprimoramento de cláusulas contratuais de arrendamentos portuários ou até mesmo impulsionar investimentos no setor. Sobretudo ao permitir que em um horizonte de tempo mais longo as expansões sejam realizadas sem datas pré-determinadas. O exercício ótimo das expansões ocorreria, de acordo com a revelação de cenários ótimo para expansão.

5. CONCLUSÃO E CONTRIBUIÇÕES

O planejamento da infraestrutura portuária no Brasil demanda estudos que abordem novas modelagens e flexibilidades em contratos. Considerando as diversas incertezas que podem impactar um projeto de infraestrutura portuária, a incerteza de demanda pode ser considerada uma das mais relevantes. Associar a análise dessa incerteza juntamente às flexibilidades contratuais em um único modelo pode ser um fator decisivo para identificar a viabilidade financeira de um projeto.

A dinâmica do comércio marítimo, as novas tecnologias, a consolidação de cargas dos grandes armadores e a pressão comercial dos portos tendem a aumentar o risco de demanda de movimentação de carga. Em acréscimo, os investimentos em terminais são intensivos em

capital, e a incerteza sobre a demanda (carga) pode impactar de forma significativa a viabilidade desses projetos.

A abordagem tradicional de planejamento de investimentos em terminais, baseada em datas predeterminadas, precisa ser aliada a uma abordagem mais flexível, sobretudo em países emergentes como o Brasil. A abordagem de tomada de decisão sob incerteza, pela Teoria das Opções Reais (TOR) pode permitir tanto ao arrendatário agregar valor aos empreendimentos, quanto ao poder concedente atrair novos investimentos ao setor.

O modelo proposto no presente estudo, aplicado ao caso de um Terminal de Contêineres no Brasil corrobora a hipótese de que é possível obter maior valor a um projeto portuário, se houver flexibilidade contratual. Tal flexibilidade está alinhada ao planejamento de expansão, seguindo o comportamento da demanda de carga (a variável modelada). A utilização de modelos flexíveis permite ao investidor programar seus investimentos, obtendo maior retorno do projeto e mitigação de riscos, de acordo com a mudança das variáveis ao longo do tempo.

A opção americana de antecipar e adiar investimentos, permite reavaliar projetos que antes seriam tidos como pouco atraentes do ponto de vista financeiro. Neste contexto, modelagens mais robustas são necessárias, sobretudo ao avaliar opções sequenciais de expansão. A abordagem proposta no presente estudo pode ainda contribuir para a reformulação de práticas contratuais, atualmente impostas pelo poder concedente para investimentos em infraestrutura em países emergentes como o Brasil. A flexibilização de prazos para investimento pelo poder concedente pode inclusive mitigar a necessidade de reequilíbrios financeiros contratuais em concessões e arrendamentos de infraestrutura.

No entanto, cabe destacar que o presente estudo encontra algumas limitações. A volatilidade calculada para o modelo utiliza uma média histórica anual de movimentação de contêineres não segregada por continentes. Ainda que tenha sido aplicado um modelo de ajuste para a volatilidade do projeto, cenários de alta volatilidade poderiam alterar de forma significativa o valor do empreendimento. Além disso, ao avaliar a taxa de crescimento do projeto ajustado a risco utilizada do presente estudo, observa-se que apesar do conservadorismo ao assumir um crescimento anual inferior a 2%, em cenário de crise pós-COVID, economias emergentes podem ser severamente impactadas. Neste sentido, o presente estudo não retratou a possibilidade de incorporar taxa de crescimento negativa.

Em futuros estudos, podem ser desenvolvidas modelagens que incorporem outras incertezas ainda não observadas em projetos portuários (custos, aspectos regulatórios, taxas de crescimento). A flexibilidade de renovação antecipada de contratos de arrendamento portuário (mediante exigência de investimentos), já existente em contratos no Brasil poderia ser incorporada a modelagem proposta no presente estudo e com isso permitindo o desdobramento em um modelo mais completo para modelagem de projetos no setor. O desenvolvimento de estudos aliando a teoria dos jogos e à teoria de opções reais no setor portuário, contribuiria ainda para avaliar o impacto da concorrência entre terminais.

Vislumbra-se ainda um amplo desdobramento de estudos de opções reais para outros projetos de infraestrutura, tais como: i) o apreçamento da renovação antecipada de contratos de infraestrutura em ferrovias e rodovias; ii) garantias de demanda (como o mecanismo de mitigação de risco de demanda pode representar uma flexibilidade para o investidor); iii) a opção de abandono incorporada a opção de adiamento; iv) modelagem de incertezas regulatórias por processos estocásticos diferenciados; v) apreçamento de opções com duas variáveis de incerteza; vi) incorporação de métodos multicritério a um modelo integrado ao apreçamento de flexibilidades por opções reais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso-Conde, A. B., & Brown, C. (2007). Public private partnerships: Incentives, risk transfer and real options. *Review of Financial Economics*, 16(4), 335-349.
- Andrade, R. M. d., Lee, S., Lee, P. T.-W., Kwon, O. K., & Chung, H. M. (2019). Port Efficiency Incorporating Service Measurement Variables by the BiO-MCDEA: Brazilian Case [Article]. *Sustainability*, 11(16), 4340.
- ANTAQ. (2020). *AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. Estatístico Aquaviário*. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/anuario/>. Brasília. Acesso: 05/05/2020).
- Attarzadeh, M., Chua, D. K. H., Beer, M., & Abbott, E. L. S. (2017). Options-based negotiation management of PPP–BOT infrastructure projects [research-article]. *Construction Management and Economics*, 35(11-12), 676-692.
- Balliauw, M., Kort, P. M., & Zhang, A. (2019). Capacity investment decisions of two competing ports under uncertainty: A strategic real options approach. *Transportation Research Part B: Methodological*, 122, 249 - 264.
- Bendall, H. B., & Stent, A. F. (2005). Ship Investment under Uncertainty: Valuing a Real Option on the Maximum of Several Strategies [OriginalPaper]. *Maritime Economics & Logistics*, 7(1), 19-35.
- Black, F., & Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3), 637-654.
- 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.
- Bonelli, E. C., & Dittrich, P. (2013). *IFRL. Shipping and ports in Brazil, São Paulo*. <https://www.iflr.com/article/b11t37fr6hjq50/shipping-and-ports-in-brazil?ArticleId=3216860>. (Accessed 02 March 2020).
- 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. d. L., Gomes, L. L., & Salgado, M. S. (2012). Incentivos governamentais em PPP: uma análise por opções reais. *Revista de Administração de Empresas*, 52(1), 10 - 23.
- Brandão, L. E. T., Dyer, J. S., & Hahn, W. J. (2012). Volatility estimation for stochastic project value models. *European Journal of Operational Research*, 220(3), 642 - 648.
- Brandão, L. E. T., & Saraiva, E. (2008). The option value of government guarantees in infrastructure projects. *Construction Management and Economics*, 26(11), 1171-1180.
- Brasil. (2020). *Ministério da Infraestrutura. Sistema Portuário Nacional*. Disponível em: <https://www.infraestrutura.gov.br/sistema-portu%C3%A1rio.html>. Acesso: 06/05/2020.
- Buyukyoran, F., & Gundes, S. (2018). Optimized real options-based approach for government guarantees in PPP toll road projects. *Construction Management and Economics*, 36(4), 203-216.

- Carbonara, N., & Pellegrino, R. (2018). Public-private partnerships for energy efficiency projects: A win-win model to choose the energy performance contracting structure. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1064 - 1075.
- Chainas, K. (2017). A dynamic routing system for short sea shipping following ship immobilisation [research-article]. *International Journal of Business and Systems Research*, 11(1-1), 198-212.
- 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.
- CODEBA. (2019). *Companhia das Docas do Estado da Bahia. Segundo aditivo ao contrato de arrendamento 12/2000, Bahia.* Disponível em: http://www.codeba.com.br/eficiente/repositorio/Porto_de_Salvador/contratos_de_exploracao_de_areas_e_instalacoes_portuarias/tecon/11724.pdf. Acesso 05/05/2019.
- Copeland, T., & Antikarov, V. (2001). *Real options: A Practitioner's Guide* (1st ed.). Thomson Texere.
- Cox, J. C., Ross, S. A., & Rubinstein, M. (1979). Option pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics*, 7(3), 229 - 263.
- Damodaran, A. (2019). *Historical Returns on Stocks*. Disponível em: http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datacurrent.html#discrate. Acesso: 03/05/2019.
- Defilippi, E. (2004). Intra-Port Competition, Regulatory Challenges and the Concession of Callao Port [OriginalPaper]. *Maritime Economics & Logistics*, 6(4), 279-311.
- Dixit, A., & Pindyck, R. S. (1994). *Investment Under Uncertainty* (1st ed.). Princeton University Press.
- Feng, Z., Zhang, B., S., & GAO, Y. (2015). Modeling the impact of government guarantees on toll charge, road quality and capacity for Build-Operate-Transfer (BOT) road projects. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 78, 54 - 67.
- 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.
- Juan, C., Olmos, F., & Ashkeboussi, R. (2008). Private-Public Partnerships as Strategic Alliances: Concession Contracts for Port Infrastructures [research-article]. *Transportation Research Record*, 2062(1), 1-9.
- Kruger, N. A. (2012). To kill a real option – Incomplete contracts, real options and PPP. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(8), 1359 - 1371.
- Longstaff, F. A., & Schwartz, E. S. (2001). Valuing American Options by Simulation: A Simple Least-Squares Approach. *The Review of Financial Studies*, 14(1), 113-147.
- Martins, J., Marques, R. C., & Cruz, C. O. (2014). Maximizing the value for money of PPP arrangements through flexibility: An application to airports. *Journal of Air Transport Management*, 39(0), 72 - 80.

- Martins, J., Marques, R. C., & Cruz, C. O. (2015). Real Options in Infrastructure: Revisiting the Literature. *Journal of Infrastructure Systems*, 21(1), 04014026.
- Martins, J., Marques, R. C., Cruz, C. O., & Fonseca, A. (2017). Flexibility in planning and development of a container terminal: an application of an American-style call option. *Transportation Planning and Technology*, 40(7), 828-840.
- Merton, R. C. (1973). Theory of Rational Option Pricing. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 4(1), 141-183.
- MTPA. (2018). *Ministérios dos Transportes, Portos e Aviação Civil. Plano Mestre do Complexo Portuário de Salvador e Aratu-Candeias-vol.1.*: Disponível em: http://infraestrutura.gov.br/images/SNP/planejamento_portuario/planos_mestres/versao_preliminar/vp27v2.pdf . Acesso: 05/05/2019.
- Nes, C. F. (2016). *Ports of Brazil. The Brazil Business*. Disponível em: <https://thebrazilbusiness.com/article/ports-of-brazil>. Acesso: 01/05/2020.
- Rakić, B., & Rađenović, T. (2014). Real options methodology in public-private partnership projects valuation. *Economic Annals*, 59(200), 91-113.
- Randrianarisoa, L. M., & Zhang, A. (2019). Adaptation to climate change effects and competition between ports: Invest now or later? *Transportation Research Part B: Methodological*, 123, 279 - 322.
- 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.
- Rocha, C. H., & Britto, P. A. P. d. (2015). Project Finance and Concession Pricing Models: An Application to Brazilian Ports [research-article]. *Latin American Business Review*, 16(2), 127-141.
- Rose, S. (1998). Valuation of interacting real options in a tollroad infrastructure project. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 38(3), 711 - 723.
- T&R. (2019). *Thomson&Reuters.World Container Index*. Disponível em: <https://www.thomsonreuters.com/en/press-releases/2016/april/thomson-reuters-acquires-wmreuters-foreign-exchange-benchmarks-from-state-street-corporation.html>. Acesso: 01/10/2019.
- Taneja, P., Ligteringen, H., & Walker, W. E. (2012). Flexibility in Port Planning and Design [Articles]. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 12(1), 66-87.
- UNCTAD. (2019). *United Nations Conference on Trade and Development. Review of Maritime Transport. United Nations, Geneva*. Disponível em: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2019_en.pdf. Acesso: 03/02/2020.
- WB. (2018). *The World Bank. Global Rankings 2018. Logistics Performance Index*. <https://lpi.worldbank.org/international/global?sort=asc&order=LPI%20Rank#datatable>. (Accessed 02 March 2020).
- Xiong, W., & Zhang, X. (2014). Concession Renegotiation Models for Projects Developed through Public-Private Partnerships. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(5), 04014008.
- Zheng, S., & Negenborn, R. R. (2017). Terminal investment timing decisions in a competitive setting with uncertainty using a real option approach [research-article]. *Maritime Policy & Management*, 44(3), 392-411.