

4 Opções Reais

O Valor Presente Líquido (VPL) é o método mais difundido e aplicado para a análise de investimentos corporativos. A metodologia do VPL consiste na subtração do investimento inicial de um projeto do valor presente dos seus fluxos de caixa em cada período, descontados a taxa de custo de capital (k) da empresa.

$$VPL = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+k)^t} - I \quad (4.1)$$

onde:

I = investimento Inicial

FC_t = fluxo de caixa no período t

k = custo de capital da empresa/ projeto

O critério de tomada de decisão de acordo com esta métrica está baseado em seu resultado final, seja ela positivo ou negativo. Desta forma se um projeto apresenta um VPL positivo ($VPL > 0$), deve-se aceitar o projeto uma vez que ao aceitar este projeto a empresa deverá obter um resultado superior ao seu custo de capital. Por analogia, se o VPL for negativo ($VPL < 0$) deve-se rejeitar o projeto.

DIXIT & PINDYCK (1993) consideram o VPL como um método excessivamente rígido para o ambiente corporativo, uma vez que menospreza eventuais benefícios pela espera de informações adicionais. O conceito implícito no VPL é de que este método assume que o gerenciamento de projetos é passivo. Isto implica em afirmar que todas as decisões são levadas a frente rigorosamente, como se para o investidor não existisse a flexibilidade para reavaliar suas decisões originais.

Entretanto, cita que a realidade enfrentada pelo mundo corporativo é essencialmente diferente, uma vez que um ambiente repleto de incertezas e

competição os fluxos de caixa efetivamente realizados apresentam uma grande probabilidade de divergirem daqueles traçados por meio de instrumentos tradicionais. Com o passar do tempo, as incertezas vão se desfazendo, especialmente devido ao surgimento de novas informações indisponíveis durante o momento da análise. Com isto, pode surgir uma série de alternativas que propiciarão a revisão e até o afastamento em relação às estratégias inicialmente estabelecidas.

A maioria das decisões de investimento tem em comum três características importantes: i) irreversibilidade; ii) incerteza sobre ganhos futuros; e iii) liberdade de ação no tempo. Segundo BATISTA (2007), é a interação entre estas características que determina a regra ótima para o investimento.

Uma oportunidade de investimento de uma empresa guarda grandes semelhanças com uma opção financeira, uma vez que a empresa tem o direito, e não a obrigação, de realizar este investimento. Uma vez realizado o investimento, considera-se que a opção de investir foi exercida. Ao exercer esta opção, a empresa está também anulando qualquer possibilidade de espera, ficando impossibilitada de qualquer ação no sentido de reverter uma situação desfavorável no futuro. Desta forma, o exercício da opção representa também um custo de oportunidade para a empresa, que deve ser incluído junto aos custos de investimentos do projeto.

Através da utilização do VPL não é possível perceber o valor desta opção. O VPL sinaliza que o investimento é viável quando o valor presente dos ganhos é maior do que o valor presente dos custos. No entanto, falha em não quantificar dentro deste valor os custos de oportunidades derivados do benefício de espera.

O valor das opções de investimento pode ser significativo, sendo que muitas empresas têm parte de seu valor de mercado atribuído às opções de investimento e crescimento no futuro.

A Teoria de Opções Reais possui grande aplicabilidade em diversos setores da economia, sendo bastante difundida no meio acadêmico. No entanto, esta metodologia ainda possui pouca utilização no ambiente corporativo.

No próximo item, será apresentado como a teoria de Opções Reais vem sendo aplicada. Especificamente busca-se apresentar a utilização desta metodologia em projetos de infra-estrutura rodoviária.

4.1

Métodos de Avaliação de Opções

Pode-se dividir as opções em duas categorias distintas: i) opção de compra; e ii) opção de venda. As opções de compra (também conhecidas como *call's*) se traduzem como um direito (e não obrigação) de comprar um determinado ativo, em uma determinada data futura por um preço previamente definido. Por sua vez, uma opção de venda (*put*) é o direito de vender determinado ativo. Ao ativo sobre a qual a opção é escrita denomina-se ativo subjacente.

As opções financeiras são, ainda, classificadas de acordo com sua possibilidade de exercício antecipado:

- Opções Europeias;
- Opções Americanas.

Desta forma, as opções europeias podem ser exercidas somente na data do seu vencimento enquanto as opções americanas podem ser exercidas em qualquer momento até o seu vencimento.

As opções de ações foram o primeiro tipo de opções negociadas em bolsa. Deste então, o mercado de opções sofreu um crescimento significativo o que acabou acarretando em uma maior necessidade de técnicas para uma correta avaliação do seu valor.

A avaliação de opções americanas são comparativamente mais complexas do que opções europeias, onde somente o conhecimento do preço final é suficiente para que sua avaliação possa ser realizada. Em 1973, o trabalho de Black & Scholes apresentou uma solução analítica para a avaliação de opções de compra (*call*) do tipo europeia.

Para opções financeiras mais complexas como as do tipo americana, ainda não existem, ou não foram inventadas, soluções analíticas. No entanto, o desenvolvimento de técnicas de avaliação para estes derivativos ganharam grandes contribuições nas últimas décadas¹. Dentre eles, podemos citar:

¹ BATISTA (2007)

- Modelo Binomial;
- Modelos de Simulação;

Nos próximos itens estas técnicas serão detalhadas.

4.1.1 Modelo Binomial

Pode-se destacar o modelo binomial desenvolvido por Cox, Ross e Rubinstein como uma das primeiras iniciativas para a avaliação de opções americanas. A característica básica deste modelo é a discretização do processo estocástico utilizado por BLACK & SCHOLES (1973), utilizando posteriormente técnicas de programação dinâmica com o objetivo de determinar o valor da opção.

A grande vantagem deste modelo é a capacidade de avaliar uma possibilidade de exercício antecipado das opções americanas com uma boa aproximação do seu valor (BATISTA, 2007).

O modelo considera que o preço do ativo (S), em um intervalo de tempo (Δt), está sujeito a somente dois tipos de variação: i) positiva e de intensidade u ; e ii) negativa de intensidade d . Adicionalmente, a probabilidade de variação positiva ou negativa é representada por q e $1-q$ respectivamente.

A árvore binomial de um passo encontra-se ilustrada a seguir:

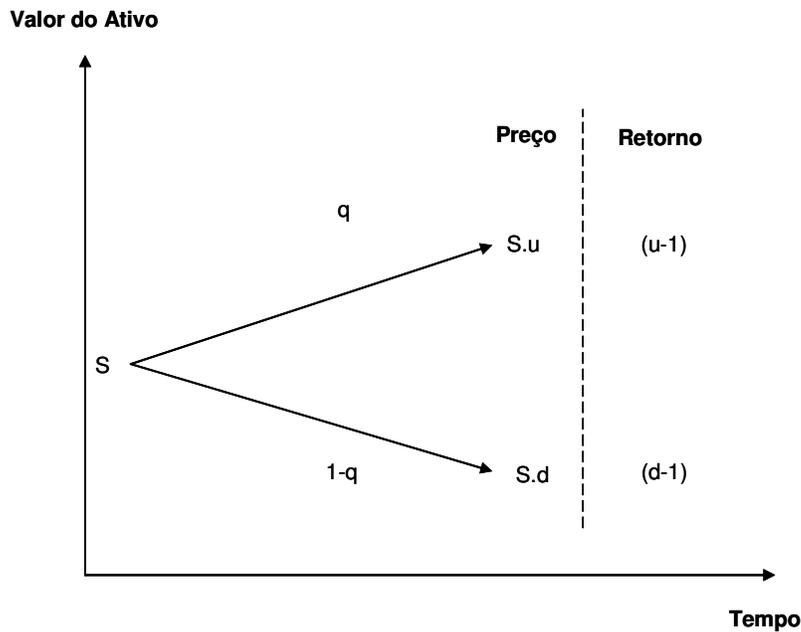


Ilustração 8 – Árvore binomial de um passo

A crítica a este modelo se deve ao fato de que o mesmo é baseado na hipótese de que o preço do ativo objeto é o único fator a ser considerado aleatório na análise. No entanto, a solução do problema tende a se tornar computacionalmente inviável na medida em que aumentam os fatores estocásticos considerados, já que a dimensão do problema cresce exponencialmente com o número de fatores. Isto ocorre porque no modelo binomial, a dimensão do problema cresce exponencialmente com o número destes fatores.

4.1.2 Técnicas de simulação

Técnicas de simulação passaram a ser utilizadas para a avaliação de opções financeiras durante a década de 1970 como uma alternativa ao método binomial (BOYLE, 1977).

BATISTA (2007) destaca que características de flexibilidade, transparência e simplicidade contribuíram para a popularidade desta técnica. O processo de simulação torna a avaliação independente da quantidade de variáveis de estado e dos processos estocásticos empregados. Tecnicamente, este método permite a utilização da computação em paralelo o que lhe confere ganhos de eficiência e desempenho.

Uma das críticas iniciais a esta técnica se referia a crença de que esta não poderia ser empregada na avaliação de opções americanas uma vez que o método possuía uma incapacidade em determinar o momento ótimo para o exercício do derivativo, que no caso de uma opção americana pode ser anterior à sua maturidade. Acreditava-se, portanto, que modelos do tipo forward, como o modelo de simulação, não comportaria modelos de programação dinâmica para a determinação de uma estratégia ótima de exercício antecipado, considerada backward por natureza.

4.2

Processos Estocásticos

Um processo estocástico é uma variável que evolui no decorrer do tempo de uma maneira que é, pelo menos em parte, aleatória (DIXIT & PYNDICK, 1993). Os autores citam como exemplos de processos estocásticos a variação da temperatura na cidade de Boston que apresenta ao longo do dia uma variação parcialmente determinística e parcialmente imprevisível. Outro exemplo citado é o de ações negociadas em bolsa de uma empresa multinacional que flutua de forma randômica, mas que no longo prazo apresenta uma taxa de crescimento positiva que compensa o risco dos investidores de manter suas ações em carteira.

O processo de Markov se destaca como um dos processos estocásticos mais difundidos. Neste processo, apenas o valor corrente de uma variável é relevante para se antecipar seu valor futuro. Ou seja, o histórico de determinada variável está totalmente contido no valor presente da mesma.

Dentre os processos de Markov, um dos mais disseminados é denominado o processo de Wiener – também conhecido como Movimento Browniano. Neste processo, considera-se dz como a alteração no valor de uma variável z em um intervalo de tempo infinitesimal dt . Desta forma, afirma-se que z segue um processo de Wiener se as propriedades detalhadas abaixo forem satisfeitas:

- $dz = \varepsilon\sqrt{dt}$, onde ε é uma variável aleatória com distribuição normal padronizada ($\varepsilon \sim N(0,1)$); e
- Os valores de dz são independentes para quaisquer dois intervalos de tempo distintos com tamanho dt .

BATISTA (2007) destaca que o processo de Wiener não considera nenhuma tendência para os valores futuros de z . Desta forma, o valor esperado do processo é sempre igual ao seu valor atual. Isto nem sempre representa a realidade do mercado financeiro.

O processo de Wiener, no entanto, pode ser generalizado de forma a considerar uma tendência na trajetória do ativo, conforme a equação diferencial a seguir:

$$dS = \alpha \cdot dt + b \cdot dz \quad (4.1)$$

onde:

α = Taxa de retorno esperada;

b^2 = Variância do processo

É tentador sugerir que o preço de um ativo financeiro siga um processo generalizado de Wiener. No entanto, a análise do comportamento destes ativos deve levar em conta que o retorno percentual exigido pelo investidor é independente do seu preço atual. Dada estas características, pode-se definir um novo tipo de processo estocástico onde as taxas de retorno exigido e variância estão sujeitas à variações ao longo do tempo:

$$dS = \alpha(S,t) \cdot dt + b(S,t) \cdot dz \quad (4.2)$$

A este processo, denomina-se processo de Ito. Um caso particular do processo de Ito, onde: $\alpha(S,t) = \mu \cdot S$ e $b(S,t) = \sigma \cdot S$ é denominado de Movimento Geométrico Browniano. O item a seguir apresenta as principais características deste processo.

4.2.1 Movimento Geométrico Browniano (MGB)

Conforme introduzido no parágrafo anterior, a variação no preço de um ativo financeiro que segue um MGB pode ser definida de acordo com a equação diferencial a seguir:

$$dS = \mu \cdot S \cdot dt + \sigma \cdot S \cdot dz \quad (4.3)$$

onde:

S = Preço do ativo;

μ = Taxa de retorno esperada;

σ = Volatilidade do preço do ativo;

dz = Processo de Wiener.

Este processo considera que o retorno efetivo do ativo é proporcional ao valor do preço do mesmo (S). Um raciocínio análogo pode ser aplicado para a variância deste processo.

Atualmente, o MGB é o processo estocástico mais aplicado nas análises econômico-financeiras. Adicionalmente, este processo representa de forma adequada as alterações marginais no preço dos ativos financeiros, muitas vezes originadas por desequilíbrios temporários entre Oferta e Demanda, oscilações nas taxas de juros ou, simplesmente, pela chegada de novas informações sobre o ativo (MERTON).

4.3

Aplicação de Opções Reais

A Teoria de Opções Reais tem sua base nas opções financeiras. A expressão “Opções Reais” foi utilizada pela primeira vez no final da década de 70 quando o professor Stewart C. Meyers a utilizou com o objetivo de estabelecer uma analogia entre as opções sobre ativos financeiros e a oportunidade de investimentos em ativos reais. Desta forma, teve início uma nova abordagem para a análise de investimentos que acabou originando a Teoria das Opções Reais. TOURINHO (1979) demonstra que reservas de recursos naturais poderiam ser avaliadas pelo método de Opções Reais. Diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos na área desde então.

O trabalho de BRENNAN e SCHWARTZ (1985) representa uma das primeiras iniciativas de aplicação da Teoria de Opções Reais na avaliação de reservas de recursos naturais. Neste trabalho, avaliou-se uma mina de cobre onde a exploração poderia sofrer ativação, suspensão e abandono por parte do investidor, com base no preço do cobre (considerado estocástico). Verificou-se que as flexibilidades inerentes ao projeto contribuíam de forma a elevar o valor do projeto.

Na aplicação da teoria de opções reais na indústria petroquímica, o trabalho de SIEGEL et. al. (1987) avalia o valor de reservas de petróleo ainda não exploradas. O valor da reserva já desenvolvida, considerado aleatório, representa o ativo objeto da opção real. Assim, a opção seria exercida em função do valor da reserva ao longo do tempo.

Algumas iniciativas de aplicação da teoria de opções reais ao setor elétrico também foram desenvolvidas. CASTRO (2000) avalia uma UTE (unidade termoelétrica) com parte de sua capacidade instalada com despacho flexível pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Desta forma, o projeto possui uma opção de suspensão (temporária) de operação da usina.

Muitos trabalhos foram desenvolvidos aplicando-se a Teoria de Opções Reais a projetos relacionados a setores de commodities (petróleo, minério, energia entre outros), onde o produto objeto é negociado em mercados organizados. No entanto, BRANDÃO (2002) ressalta que um projeto de infraestrutura rodoviária representa uma prestação de serviço (mercados incompletos) e não um processo de transformação industrial.

BRANDÃO (2002) ressalta que investimentos em infra-estrutura possuem normalmente um longo prazo de maturação o que representa um considerável risco econômico e político para o investidor privado. Em projetos de infraestrutura rodoviária, o risco econômico decorre, principalmente, da volatilidade do tráfego na rodovia. Outros fatores relevantes que podem compor este risco são: taxa de câmbio, taxa de juros e inflação. O risco político, por sua vez, deriva da incerteza relativa ao comprometimento do setor público no longo prazo com as políticas de privatização de serviços.

A alternativa usualmente encontrada pelo investidor para lidar com o risco político é adicionar à taxa de desconto ajustada ao risco econômico do projeto um prêmio de risco arbitrário. Este prêmio de risco é dito arbitrário, pois não é correlacionado com o mercado, ou seja, é um risco privado da empresa. Esta prática pode induzir o investidor a tomar decisões não-ótimas como, por exemplo, elevar o valor pleiteado para a tarifa de pedágio (como forma de compensar o risco político percebido) correndo conseqüentemente o risco de ser derrotado no processo licitatório por conservadorismo.

Adicionalmente, projetos desta natureza podem ser expandidos mediante a construção de novas pistas, extensão da concessão para novos trechos ou até mesmo possuir uma opção de abandono contratual implícita. Todos os exemplos anteriores são cenários possíveis em um projeto de concessão rodoviária e representam flexibilidades operacionais, que podem fazer o investidor

subestimar o valor real do projeto mediante a análise de Fluxo de Caixa Descontado tradicional.

4.3.1

Aplicação de Opções Reais em Concessões Rodoviárias

Diversos trabalhos recentes abordam a utilização da metodologia de opções reais para a avaliação de projetos de concessão rodoviária.

BLANK (2008) destaca que um dos métodos mais difundidos para fomentar a participação da iniciativa privada em projeto de infra-estrutura é o BOT (*Build-Operate-Transfer*). Esta participação, no entanto, é condicionada à mecanismos de mitigação de riscos que possam ameaçar a viabilidade econômico-financeira do projeto. Desta forma, o fluxo de caixa gerado pelo projeto deve ser suficiente de forma a oferecer retorno adequado a seus investidores.

A rentabilidade do projeto, sob a ótica do investidor privado, é de grande interesse para o Setor público, uma vez que este tem por objetivo a criação de um mecanismo de viabilidade de projetos de infra-estrutura de longo prazo. Dada a importância da alocação e gerenciamento de riscos e a influência que o risco de mercado exerce na fase operacional, a avaliação econômico-financeira do projeto deve contemplar critérios de opções reais de forma a torná-la mais correta (BLANK, 2008).

Adicionalmente ao caso em que o poder público se obriga a oferecer mecanismos de garantias e/ou benefícios, os projetos de infra-estrutura rodoviária que apresentam atratividade podem ainda (e deveriam) ser avaliados sob a ótica da teoria de opções reais de forma a explicitar e quantificar incertezas e flexibilidades existentes (BLANK, 2008). Desta forma, opções comumente encontradas em projetos desta natureza são:

- Opções de abandono;
- Opções de expansão;
- Opções de contração;
- Opções de exploração de receitas adicionais.

Em seu trabalho, BRANDÃO (2002) apresenta a modelagem de um projeto de concessão rodoviária utilizando uma metodologia em tempo discreto (através

de uma árvore binomial e técnicas de *Decision Analysis*) para incorporação de flexibilidades gerenciais. Neste trabalho, o autor modela opções de abandono e expansão levando-se em consideração riscos de demanda, político e macroeconômico.

GARVIN et.al. (2002), por sua vez, analisa as incertezas e flexibilidades de um projeto de uma auto-estrada localizada no estado da Virginia, Estados Unidos da América (EUA). Neste trabalho, o autor compara os modelo de avaliação tradicional (VPL) e o modelo binomial onde considera uma opção de espera referente à construção da rodovia para os cinco primeiros anos da concessão.

WEI-HUA e DA-SHUANG (2006) apresentam um trabalho onde consideram como incertezas o tráfego, preço do terreno, inflação e o risco de construção. Os três primeiros fatores de risco seguem um Movimento Geométrico Browniano (MGB) enquanto o último fator é representado por uma distribuição triangular. As opções embutidas no projeto são i) ajuste do preço da concessão; ii) opção de desenvolvimento (exploração) do terreno ao redor do terreno onde se localiza o projeto; e iii) expansão da capacidade do projeto. Tais opções são avaliadas de forma individual e com interações entre si.

4.3.2 Aplicação de Opções Reais em PPP

Conforme demonstrado anteriormente (Item 3), as PPP podem ser entendidas como mecanismo onde o poder público oferece garantias e benefícios como forma de melhorar a atratividade, sob a ótica do investidor privado, de determinados projetos de investimento.

As PPP se apresentam como uma alternativa atraente de viabilização de projetos no caso brasileiro, assim como em diversas outras economias emergentes, onde um cenário de escassez de recursos dificulta (e muitas vezes inviabiliza) projetos de investimento de infra-estrutura de larga escala.

BLANK (2008) destaca que no Brasil, casos práticos de PPP na área de transporte e especificamente em concessões rodoviárias podem ser verificados nas diferentes esferas do poder público.

Mecanismos de mitigação de riscos em projetos de concessão rodoviária também são recorrentes na literatura internacional. Em termos de opções reais presentes em projetos de PPP no setor de infra-estrutura rodoviária, podem-se destacar como as mais comuns:

- Garantias de tráfego mínimo ou receita mínima;
- Pagamento sobre excedente sobre tráfego máximo ou de receita máxima;
- Postergação de pagamentos de taxas de concessão;
- Permissão contratual de abandono na fase de construção;
- Garantia de ajuste de tarifas
- Garantia de valor máximo de juros a ser pago em financiamento.

Opções reais sob a forma de garantias em projetos de PPP podem representar um valor significativo. Uma avaliação má conduzida pode ser prejudicial tanto para o poder público como para os investidores privados, uma vez que podem representar um subsídio/ incentivo desproporcional ao risco do projeto ou uma avaliação subestimada do valor do projeto (CHIARA et. al, 2007).

Opções de demanda mínima garantida ou no caso de projetos de concessões rodoviárias, de tráfego ou de receita mínimos garantidos são abordadas em diversos trabalhos, sendo modeladas sob diversas formas.

Em seu trabalho, IRWIN (2003) explora o caso de uma rodovia colombiana onde o governo ofereceu uma garantia de receita caso o tráfego verificado caísse abaixo de um determinado valor estipulado. Esta garantia é modelada na forma de um pagamento feito ao concessionário privado uma vez que a receita verificada se encontre em patamares inferiores a um valor mínimo pré-determinado.

Esta opção pode ser definida como uma opção do tipo européia – de venda (*put*) – cujo *payoff* somente será positivo se a receita do concessionário for menor do que a garantia oferecida, conforme ilustrado a seguir:

$$G_T = \max(0, K - R_T) \quad (4.4)$$

onde:

K = Receita garantida;

R_T = Receita real auferida em T.

Apesar de assumir que esta garantia cobre somente um período, o mesmo raciocínio pode ser aplicado para o caso de n períodos mediante a adoção de uma seqüência de n opções européias de venda.

Adicionalmente, o autor modela a variável de risco do projeto – neste caso, a receita – seguindo um Movimento Geométrico Browniano (MGB):

$$\frac{dR}{R} = \alpha dt + \sigma dz \quad (4.5)$$

onde:

α = Taxa de crescimento esperada da receita;

σ = Volatilidade da receita;

dz = Processo de Wiener.

O trabalho define, ainda, alguma premissas sobre α e σ . Segundo o mesmo, estes parâmetros podem ser estimados mediante uma análise histórica, caso possível. Outra alternativa seria a utilização de projeções de receita para estimar α e a utilização de empreendimentos comparáveis forma de se estipular a volatilidade (σ).

Uma vez que o valor da garantia envolve o cálculo do valor de uma opção deve-se utilizar o conceito de neutralidade a risco. Para este projeto, o autor utiliza a metodologia por HULL (2006) para o cálculo de prêmio de risco a partir do preço de mercado do risco de tráfego². Assim o MGB neutro a risco pode ser expresso:

$$\frac{dR}{R} = (\alpha - \lambda \sigma) dt + \sigma dz \quad (4.6)$$

onde λ corresponde ao preço de mercado do risco da receita:

² BLANK (2008)

$$\lambda = \rho \left(\frac{E[R_m] - r}{\sigma_m} \right) \quad (4.7)$$

onde:

ρ = Correlação entre variação da receita e os retornos da carteira de mercado;

$E[R_m] - r$ = Retorno esperado da carteira de mercado;

σ_m = Desvio padrão dos retornos da carteira de mercado;

r = Taxa de juros livre de risco

O trabalho de BRANDÃO & CURI (2006) sugere uma modelagem híbrida para concessões rodoviárias através da metodologia de opções reais. O trabalho apresenta o estudo de caso da rodovia BR-163, propondo uma garantia de receita mínima diretamente relacionada ao percentual de tráfego esperado. Adicionalmente o trabalho prevê um teto de receita anual através de um mecanismo de compartilhamento da receita excedente relacionada a um volume de tráfego máximo pré-estabelecido. No trabalho, o valor do patrimônio da concessão é modelado como um MGB:

$$\frac{dV}{V} = \mu dt + \sigma dz \quad (4.8)$$

onde:

μ = taxa de desconto ajustada ao risco;

Os autores estipulam que $\mu = 15\% \text{a.a}$ = retorno esperado pelos acionistas. A volatilidade do projeto é calculada mediante a Simulação de Monte Carlo do fluxo de caixa do projeto, definido-se o tráfego como variável de risco do projeto, cujo processo estocástico é:

$$\frac{d\theta}{\theta} = \alpha_i dt + s dz \quad (4.9)$$

onde:

α_i = Taxa de crescimento variável esperada para cada ano;

s = Volatilidade do tráfego;

O trabalho estipula também que a volatilidade do tráfego é idêntica à volatilidade do PIB da região, neste caso 6%. As taxas de crescimento em cada período t são estimadas com base na projeção de tráfego para cada ano.

A seguir, o projeto é modelado seguindo uma árvore binomial de COX, ROSS e RUBINSTEIN (1979) com parâmetros que representam o MGB no limite de uma distribuição contínua. Em seguida no trabalho, apresenta-se a modelagem de uma árvore binomial para os fluxos de caixa do projeto nos períodos correspondentes. O valor do projeto é calculado, então, pela subtração do valor do projeto sem garantias do valor do projeto com garantias. Adicionalmente, estende-se a análise para o estabelecimento de um limite de tráfego máximo, onde as receitas, caso sejam verificadas superiores, são transferidas total ou parcialmente ao governo³.

O trabalho de BRANDÃO & SARAIVA (2007) utiliza o exemplo da rodovia BR-163 para a avaliação de opções diretamente sobre a receita. O trabalho utiliza Simulação de Monte Carlo e adota uma tarifa de pedágio constante (base real), sendo que a receita segue o mesmo processo do tráfego:

$$\frac{dR}{R} = \alpha_i dt + sdz$$

onde:

α_i = Taxa de crescimento esperada de cada ano;

s = Volatilidade de tráfego;

dz = Processo de Wiener.

O trabalho realiza a simulação de Monte Carlo utilizando conceito da neutralidade ao risco, sendo que o preço de mercado do risco da receita é calculado com base no retorno exigido aos acionistas e na volatilidade do fluxo de caixa do projeto. O preço de mercado do risco da receita e do projeto são considerados o mesmo, uma vez que existe somente uma única fonte de incerteza: o tráfego. Assim:

³ BLANK (2008)

$$\lambda = \frac{\mu - r}{\sigma} = \frac{\alpha_t - r}{s}$$

Supõe-se que o retorno exigido pelos acionistas é de 16% a.a. Estima-se a volatilidade do valor do patrimônio através da simulação de Monte Carlo aplicada ao fluxo de caixa sem considerar a presença de opções. A volatilidade da receita é assumida como igual a do tráfego e conseqüentemente estimada pela volatilidade do PIB da região (6%).

O movimento neutro a risco da receita é modelado:

$$\frac{dR}{R} = (\alpha_t - \lambda s)dt + sdz$$

A garantia de receita mínima se caracteriza como uma opção européia de venda em cada ano do prazo de concessão e seu payoff é dado por:

$$G(t) = \max(0, P_t - R_t)$$

onde:

P_t = Receita garantida;

R_t = Receita auferida no instante t .

O valor da garantia é a soma dessas opções européias, descontadas à taxa livre de risco, dada a simulação neutra a risco. Adicionalmente, consideram-se limites máximos de desembolso do governo como forma de diminuir sua exposição ao risco.

No capítulo 5 será apresentado o estudo de caso da MG-050. Adicionalmente, o capítulo trata de garantias governamentais modeladas com base na teoria de opções reais.