2
Revisão da Literatura

2.1.
Método do Fluxo de Caixa Descontado (FCD)

O objetivo dos administradores de empresas é criar valor para os acionistas. A criação de valor, por sua vez, é efetivada mediante investimentos em ativos reais. Esses ativos podem ser tangíveis como edificações e equipamentos ou intangíveis como patentes. Embora o valor de ativos de mercado seja obtido diretamente, a maior parte dos projetos de investimento possui mercados incompletos. (Brealey e Myers, 1992)

Existem diversos métodos para valorar projetos de investimento e um dos mais difundidos no meio empresarial e na literatura tradicional de finanças é o Fluxo de Caixa Descontado (FCD). A idéia por trás desse método é comparar o investimento necessário para implementar o projeto com o valor presente dos fluxos de caixa livres que serão gerados pelo mesmo. Se esse valor, chamado de valor presente líquido (VPL), for positivo, o projeto deve ser implementado. Copeland e Antikarov (2001) sugerem que o Valor Presente do projeto é o melhor estimador não tendencioso do seu valor de mercado, caso ele fosse negociado no mercado.

Para se obter o VPL do projeto deve-se primeiro estimar os fluxos de caixa livres do acionista para cada ano da vida do projeto. O fluxo de caixa livre do acionista (FCLA) corresponde ao fluxo de caixa efetivamente disponível para a distribuição de dividendos e pode ser obtido através da fórmula a seguir:

$$\begin{aligned} \text{FCLA} = {} & \text{Lucro Líquido} - \text{Despesas de Capital} + \text{Depreciação} - \\ & -\text{Variação no Capital de Giro} - \text{Pagamentos de dívida líquida} \end{aligned} \tag{1}$$

O fluxo de caixa livre deve então ser trazido a valor presente utilizando a taxa de desconto apropriada ao risco do projeto. Como o fluxo sendo descontado é referente ao acionista, a taxa adequada é o custo de capital próprio, que pode ser obtido através do CAPM.

2.1.1.
Taxa ajustada ao risco

O custo do capital próprio pode ser estimado a partir do CAPM (Capital Asset Pricing Model, ou Modelo de Precificação de Ativos de Capital), que descreve a relação entre o retorno esperado de um ativo e o seu risco sistemático. Os componentes do CAPM são a taxa livre de risco, o Beta e um prêmio de risco. O prêmio de risco mensura o retorno a mais exigido por um projeto de risco em relação a outro livre de risco, ou de risco médio. O Beta mede a sensibilidade de um ativo em relação aos movimentos do mercado, ou seja, mensura o grau de risco de um ativo (Damodaran, 2004).

A equação básica do CAPM se dá por:

$$\mu = r + \beta(R_m - r) \tag{2}$$

onde,

μ é o custo do capital próprio;

r é a taxa livre de risco;

β é o coeficiente dado pela correlação entre o retorno do mercado e do ativo dividido pela variância do retorno do mercado e;

R_m é o retorno médio do mercado.

O Valor Presente dos Fluxos de caixa é dado então por:

$$VP = \sum_{t=1}^{n} \frac{FCLA_t}{(1+\mu)^t} \tag{3}$$

2.1.2.
Limitações do FCD tradicional

Segundo Brandão (2002), uma das limitações do FDC tradicional é que esse método avalia o projeto apenas com base nas informações conhecidas no instante inicial. Entretanto, as empresas estão inseridas em um cenário dinâmico onde há constantemente novas informações, como a mudança no nível de demanda e nos preços. Um gerente provavelmente optaria por expandir a produção caso a demanda se mostrasse extremamente favorável, o que permitiria o aumento do lucro da empresa. Fica claro que as ações gerenciais, modificadas em resposta às alterações no cenário econômico, são capazes de alterar o fluxo de caixa do projeto. Nesse sentido, o FCD tradicional é um método de análise falho por não considerar as flexibilidades gerenciais inerentes ao projeto. Ao não considerar essas opções, o FCD pode subavaliar o projeto e levar a tomadas de decisões errôneas.

Outro fator que evidencia a fragilidade do FCD é que os novos fluxos de caixa obtidos a partir do exercício das opções podem refletir uma mudança nas operações da empresa, ou a entrada da firma em um novo mercado. Essas decisões afetam o risco inerente à atuação da empresa. Desta forma, a taxa de desconto ajustada ao risco, utilizada para trazer os fluxos de caixa a valor presente, também deve mudar, dificultando a análise por VPL.

Nesse contexto, a metodologia das Opções Reais surge como um importante ferramental na tomada de decisões empresariais.

2.2.
Teoria das Opções Reais

A teoria das opções reais se originou das opções financeiras. Uma opção financeira é um derivativo que confere a seu detentor o direito, mas não a obrigação, de comprar ou vender o ativo subjacente por um preço pré-estabelecido, denominado preço de exercício. O ativo subjacente pode ser uma ação, um índice ou um contrato futuro, por exemplo. Quando o direito é de comprar o ativo, a opção é uma *call*; quando o direito é de vender, a opção é uma *put*. Se a opção permite o exercício do direito apenas na data pré-estabelecida de exercício, a opção é européia. Se é possível exercer a opção a qualquer momento antes da data de exercício, trata-se de uma opção americana.

Nas opções reais, o ativo subjacente é um projeto, investimento ou aquisição de ativos reais. O preço de exercício da opção é o montante investido, quando se trata de uma opção de compra, ou o montante recebido, no caso da opção de venda.

Segundo Triantis (2005), ao utilizar a modelagem das Opções Reais, os administradores de empresas têm maior capacidade de reagir à medida em que há mudanças no ambiente econômico, além de poderem ser mais pró-ativos ao gerar novas flexibilidades nos projetos. Copeland e Antikarov (2005) consideram que o método das opções reais é mais eficiente também nos casos onde há projetos mutuamente excludentes.

A Teoria das Opções Reais lida, portanto, com a avaliação de empresas ou projetos que apresentam flexibilidade gerencial. Ao longo da duração do projeto, a atuação da empresa pode sofrer mudanças qualitativas à medida que sua gerência determinar que existe uma oportunidade lucrativa ao redefinir alguma componente de sua estratégia. Alguns exemplos dessas opções são (Hull, 2008):

- Opções de abandono: É possível que a projeção da demanda por um produto se demonstre excessivamente superestimada, ou que choques inesperados de custo ocorram. Nessas ocasiões, é freqüentemente desejável abandonar o projeto. Neste caso, a opção é uma *put* americana. A qualquer momento, a administração pode exercer o direito de liquidar seus ativos.
- Opções de expansão: Quando é possível, em algum momento da vida de um projeto, realizar novos investimentos para expandir as operações da empresa, essa flexibilidade é uma opção de compra americana com preço de exercício igual ao valor presente do total de investimentos adicionais.
- Opções de contração: Reduzir a escala de operação de um projeto pode ser vista como uma opção de venda, na qual o preço de exercício é o valor presente das despesas futuras economizadas.
- Opções de adiamento: Quando uma empresa pode adiar a implantação de um novo projeto, ela tem uma opção de compra americana sobre o valor do projeto considerado.
- Opções de extensão: Quando é possível optar por estender a duração de algum ativo, tem-se uma opção de compra européia.

Como o FCD não considera as possíveis mudanças nas operações da empresa, oriundas da disponibilidade dessas opções, métodos alternativos de valoração são necessários, como a metodologia das opções reais ou *decision analysis*. Os três modelos mais utilizados para a valoração de projetos por Opções Reais são os modelos de tempo contínuo, derivados do modelo de Black &

Scholes; modelos de simulação e modelos de árvore binomial, como o de Cox *et al*. Dado que a presença de opções altera o risco do projeto, não é possível saber, de antemão, que taxa de desconto utilizar. Dessa forma, para o correto apreçamento das opções, cria-se uma carteira neutra a risco contendo o projeto e utiliza-se a medida neutra ao risco para valorá-lo conforme será visto a seguir.

2.2.1.
Modelo de Black & Scholes

A idéia do modelo de Black & Scholes é obter o preço da opção através da construção de uma carteira neutra ao risco, cujos componentes sejam uma posição comprada (*long*) em uma determinada quantia do ativo subjacente e uma posição vendida (*short*) na própria opção. Como essa carteira gera um retorno certo, a taxa de crescimento de seu valor pode ser igualada à taxa livre de risco, obtendo-se assim uma relação entre o preço da opção, a taxa livre de risco, e outros componentes que caracterizam a evolução do ativo subjacente. O modelo encontra essa relação a partir de certas premissas[1], quais sejam:

1. O ativo subjacente segue um processo de Itô, em particular um MGB[2]; com crescimento instantâneo e volatilidade constantes;
2. É possível vender os títulos a descoberto com a total utilização dos recursos;
3. Não existem custos de transação ou impostos e todos os títulos são perfeitamente divisíveis;
4. Não existem oportunidades de arbitragem sem risco;
5. A negociação com títulos é contínua;
6. A taxa de juro livre de risco de curto prazo é constante e a mesma para todos os vencimentos.

Sendo S o preço do ativo e $f\left(S,t\right)$ o valor da opção dependente apenas do ativo subjacente e do tempo, as hipóteses implicam, juntamente ao lema de Itô, que:

[1] Diversas premissas podem ser relaxadas, sem alterar os resultados qualitativos do modelo, mas nos ateremos ao caso mais ilustrativo.
[2] Movimento Geométrico Browniano.

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz \tag{4}$$

$$df = \left(\frac{\partial f}{\partial S} \mu S + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 \right) dt + \frac{\partial f}{\partial S} \sigma S dz \tag{5}$$

onde *dz* é um processo de Wiener padrão, igual para ambas as equações, μ é taxa de crescimento instantânea e constante do ativo e σ é a volatilidade constante do ativo.

Sob as hipóteses adotadas, é sempre possível construir uma carteira $\Pi = -f + S\partial f / \partial S$ tal que sua variação seja independente de fatores aleatórios. Assim, o retorno da carteira pode ser igualado ao retorno livre de risco, gerando a equação diferencial de Black & Scholes:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + rS \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} \sigma^2 S^2 = rf \tag{6}$$

Para qualquer opção $f(S,t)$, seu preço deve obedecer a equação acima em qualquer instante de tempo ou valor de *S*. Por exemplo, é possível encontrar o valor de uma *call* européia sobre uma ação utilizando a condição de fronteira que caracteriza a opção:

$$f(S,t) = \max\{S - K, 0\} \text{ se } t = T \tag{7}$$

onde *S* é o preço da ação, *K* é o preço de exercício e *T* é a data de exercício. A equação acima determina *f* para um instante específico *t*=*T*. A equação *f* que satisfaz a equação diferencial de Black & Scholes e à condição de fronteira para a *call* européia é:

$$f = S_t N(d_1) - Ke^{-r(T-t)} N(d_2) \tag{8}$$

com

$$d_1 = \frac{\ln(S/K) + (r + \sigma^2/2)(T - t)}{\sigma\sqrt{T - t}} \tag{9}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T - t} \tag{10}$$

e $N(\cdot)$ é a distribuição cumulativa da normal padrão para o valor do argumento.

Outra forma de encontrar a equação *f* para o valor da opção em qualquer instante do tempo é utilizar o seguinte argumento: a equação diferencial mostra que o valor da opção não depende de nenhum componente que contenha incerteza, uma vez que μ, o retorno esperado ajustado pelo risco do ativo *S*, não aparece na fórmula. Isso significa que o risco do ativo subjacente não afeta o valor da opção. Se o risco do ativo não importa, então qualquer retorno esperado do ativo pode ser utilizado para avaliar o *payoff* esperado da opção, contanto que este seja descontado a uma taxa pertinente. Em particular, o ativo pode seguir um processo com crescimento neutro ao risco, sendo, portanto, adequado descontar o *payoff* da opção à taxa de juros livre de risco. Como a taxa de juros livre de risco é conhecida, elimina-se o problema de conhecer a taxa de desconto adequada para uma opção que altera as operações de uma empresa. O procedimento para encontrar a taxa de crescimento neutra ao risco, por sua vez, é contingente na espécie de ativo sendo considerado. No caso de ações, ela é a própria taxa de juros livre de risco. Para ativos reais, como é o caso desta dissertação, encontraremos o processo neutro ao risco utilizando as características da incerteza inerente ao ativo.

Apesar do modelo Black & Scholes ter sido desenvolvido para precificar opções financeiras, ele pode ser utilizado para valorar opções reais européias simples. Entretanto, o modelo não é válido para a avaliação de projetos cujas opções sejam do tipo americano e não é muito eficiente para precificar opções compostas (opções de opções). Além disso, o método não é capaz de modelar VPLs negativos de projetos (Copeland e Antikarov, 2005). Por fim, o modelo adota como premissa que o valor do projeto possui uma distribuição lognormal, o que nem sempre condiz com a realidade (Triantis e Borison, 2001).

2.2.2.
Árvore Binomial

O modelo de Cox *et al*. é um modelo de árvore binomial discreta, onde o valor (V) do projeto em cada passo pode assumir dois valores, um de subida Vu e um de descida Vd, com probabilidades p e $1-p$, respectivamente. Para cada valor Vu e Vd, há um valor associado para a opção, f_u e f_d. Para ilustrar, suponha que f seja uma *call* européia sobre o valor de um ativo real, V, com preço de exercício K e data de exercício T. No momento inicial t=0, o ativo vale V_0. Na data de exercício, V valerá V_T. O valor de V_T será V_0u com probabilidade p e V_0d com probabilidade (1-p). Imagine que $V_0u > K$ e $V_0d < K$. Então $f_u = V_0u - K$ e $f_d = 0$. Em outras palavras, a opção terá valor apenas se o valor do ativo na data de exercício for maior que o preço de exercício.

Na mesma linha que o modelo de Black & Scholes, pode-se utilizar um argumento de não arbitragem para obter o valor da opção. A partir da escolha de uma participação específica Δ do ativo subjacente na carteira $\Pi = \Delta V - f$, pode-se criar uma carteira com retorno sem risco. Para árvores binomiais constituindo de apenas uma etapa, temos:

$$\Delta = \frac{f_u - f_d}{V_0u - V_0d} \tag{11}$$

onde V_0 é o valor inicial do ativo real.

Como a carteira que utiliza esse peso tem retorno certo, sua variação deve corresponder ao retorno associado à taxa livre de risco. Obtém-se então o valor da opção f em termos de u, d, f_u, f_d e r, todas constantes. Em outras palavras, o valor da opção não inclui nenhum elemento que dependa do risco do ativo subjacente, evidenciado pela ausência de p e 1-p. Para o exemplo considerado, o valor da opção é dado por:

$$f = e^{-rT}\left[qf_u + (1-q)f_d\right] \text{ com } q = \frac{e^{rT}-d}{u-d} \tag{12}$$

em que T é o tempo percorrido pela primeira etapa.

Segue-se que o valor do projeto com as opções pode ser obtido montando a árvore de acordo com o número necessário de etapas e especificando os *payoffs* de cada nódulo para a opção, em seguida encontrando a carteira sem risco e, por fim, obtendo o valor da opção em função dos parâmetros que caracterizam a evolução do ativo.

Outra forma de utilizar a árvore binomial é elaborar o mesmo argumento que apresentamos no modelo de Black & Scholes para empregarmos o artifício da avaliação neutra ao risco: como o valor da opção não depende da incerteza do ativo, então seus *payoffs* esperados em cada etapa da árvore podem ser calculados através da suposição de que o crescimento esperado do ativo seja condizente com o esperado por investidores neutros ao risco. No contexto da árvore binomial, isso significa substituir a verdadeira probabilidade de o valor do ativo subir, p, pela probabilidade de subir neutra ao risco, $\hat{p}$. No exemplo considerado com apenas uma etapa, o valor esperado da opção é, então $\hat{p}f_u + (1-\hat{p})f_d$. Descontando os *payoffs* esperados da opção dentro do mundo neutro ao risco à taxa de juro livre de risco, obtém-se o valor da opção: $f = e^{-rT}\left[\hat{p}f_u + (1-\hat{p})f_d\right]$. A determinação de $\hat{p}$ depende do ativo sendo analisado. No exemplo, como já obtivemos a solução para f através da carteira equivalente, sabemos que:

$$\hat{p} = q = \frac{e^{rT}-d}{u-d} \tag{13}$$

Como conhecemos a taxa de juro livre de risco, podemos calcular o valor do projeto com as opções pela forma habitual em árvores de decisão, do final para o início. Esse modelo é superior ao Black & Scholes por permitir a precificação de opções americanas, além de possibilitar a adoção de outras premissas em relação à distribuição de probabilidades do valor do projeto.

2.2.3.
Simulações de Monte Carlo

A Simulação de Monte Carlo é um método numérico para encontrar a distribuição de uma variável de interesse que dependa de algum componente aleatório. Por exemplo, se a demanda por um produto segue algum processo estocástico, então o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelas operações da empresa vendendo esse produto depende do elemento estocástico da demanda. A proposta da simulação é encontrar valores esperados para o VPL do projeto, ou outras variáveis de interesse sem a necessidade de desenvolver soluções analíticas para essas variáveis, como é o caso dos dois modelos discutidos anteriormente.

Utilizando o resultado teórico de que é possível fazer uma avaliação neutra ao risco para precificar uma opção, a simulação de Monte Carlo para o caso de uma opção real consiste no seguinte procedimento:

1. Estabelecido o processo estocástico neutro ao risco do ativo subjacente, realiza-se uma iteração da simulação criando valores aleatórios para o ativo real seguindo a distribuição de seu processo. Se a demanda por um produto segue um MGB, por exemplo, e o projeto sendo valorado tem uma vida de 10 anos, então uma iteração consiste em obter 10 números de demanda escolhidos de forma aleatória e condizentes com o MGB. Calculando o fluxo de caixa livre de cada ano e descontando à taxa livre de risco, obtém-se o valor presente de cada fluxo nesta iteração.
2. Dados os valores dos fluxos do projeto, calcula-se o *payoff* da opção na iteração. Para ilustrar, imagine que se trate de uma opção de abandono (uma *put*), com data de exercício $T = 5$ e preço de exercício K. Ou seja, a empresa tem a opção de abandonar a produção no quinto ano e pode liquidar seus ativos pelo valor K. Descontam-se, para T=5, os valores obtidos pela iteração para os cinco anos restantes do projeto utilizando a taxa livre de risco. Sua soma é o valor, V, de continuar o projeto. Se $V > K$, não é vantajoso exercer a opção, logo seu valor é zero. Se $V < K$, a opção tem o *payoff* K-V. Trazendo o *payoff* a valor presente pela taxa de juro livre de risco, temos o valor da opção na iteração.
3. Repete-se os passos 1 e 2 um grande número de vezes. Obtém-se, assim, I iterações e em cada $i = 1, 2, \ldots, I$ há um valor específico para a opção

contingente na extração aleatória do valor da demanda. O conjunto de iterações consiste em uma simulação e comumente utiliza-se I = 10.000 ou I = 100.000.

4. A partir da simulação, é possível obter o valor esperado de qualquer variável desejada. Se buscamos o valor esperado da opção, então tiramos a média aritmética do valor da opção nas I iterações.

A vantagem da simulação de Monte Carlo é que ela consegue retornar os valores esperados utilizando qualquer processo estocástico para a incerteza no projeto. Também é possível incorporar mais de um fator de incerteza e trabalhar com diversas opções mais complexas simultaneamente.

Por outro lado, o tempo consumido para realizar as iterações pode ser considerável e, em geral, é necessário utilizar algum *software* específico como o @RISK, da Palisade ou o Crystal Ball 2000, da Decisioneering.

2.3. Método das opções reais aplicado a projetos de infra-estrutura

Alguns estudos já foram realizados acerca da análise de projetos de infraestrutura através da teoria das opções reais.

Bowe e Lee (2004) analisaram o projeto da *Taiwan High-Speed Rail*, incorporando a opção da concessionária de desenvolver projetos imobiliários na faixa de domínio da concessão, obtendo um valor para as opções de aproximadamente 21,98% do VP do projeto base. Os autores concluem que o risco do projeto é reduzido ao se considerar o valor da opção. Brandão (2002) aplicou o modelo de Opções Reais, através da metodologia das árvores binomiais, para avaliar o projeto de concessão da Via Dutra incorporando o impacto das opções de expansão e abandono. Considerando a existência simultânea das opções de expansão e abandono, o autor estima que há aumento de 39% no VP do projeto.

O estudo de Charoenpornpattana *et al.* (2002) foi pioneiro em analisar a valoração de garantias governamentais. Neste estudo os autores modelam uma garantia de piso de tráfego como um conjunto de opções independentes. Para calcular o valor do projeto com as garantias de demanda, os autores consideram que o fluxo de caixa do projeto é composto por dois componentes distintos, quais sejam: fluxo de caixa sem o suporte governamental; e o conjunto de opções independentes. Os autores adotam uma premissa de que para ser atrativo para os investidores privados, o projeto deve possuir um VPL de 1 bilhão de ienes. Como o projeto base possui VPL negativo de -2,29 bilhões de ienes, os autores calculam que o governo deve oferecer uma garantia de tráfego mínimo de 86,4%. Os autores concluem que as garantias governamentais devem ser cuidadosamente quantificadas, dada a sua importância para a implantação dos projetos.

Brandão e Saraiva (2008) avaliam um projeto de concessão rodoviária, incorporando uma garantia de receita mínima dada pelo governo. Os autores consideram que as garantias contratuais são compostas por opções de venda européias independentes. Para valorar as opções, os autores utilizam a metodologia da Simulação de Monte Carlo. Além do piso de receita, os autores incorporam no modelo um teto para evitar que a concessionária obtenha lucros excessivos em cenários extremamente favoráveis. Considerando um piso de tráfego de 60% e teto de 140%, os autores estimam um aumento de 35% no VPL do projeto. Os autores concluem, então, que a oferta de garantias pelo governo pode atrair o investimento privado em projetos de infraestrutura que apresentam riscos elevados. Além disso, os autores ressaltam a importância de se quantificar corretamente as garantias, uma vez que elas podem representar um significativo ônus para o governo. Nesse sentido, os autores sugerem que se adote um limite para os desembolsos governamentais.

Massotti (2007) analisa o projeto Expresso Aeroporto, trem de alta velocidade que ligaria o centro da cidade de São Paulo ao aeroporto internacional de Guarulhos, incorporando também as garantias de demanda. Através de um modelo de árvore binomial e considerando um piso de demanda de 75%, a autora estima que as opções aumentam o VP do projeto em 58%. A autora conclui, então, que a existência de garantia de demanda aumenta significativamente o valor do projeto.

Oliveira (2008) avalia a concessão da rodovia BR-116/324, incorporando as garantias de tráfego mínimo e o modelo de prazo variável de concessão. Utilizando o método de simulação de Monte Carlo, o autor estima que o piso de tráfego de 80% combinado com o modelo de prazo variável eleva o VPL do projeto em mais de 60%. O autor conclui que essa combinação de flexibilidades eleva consideravelmente a atratividade do projeto, diminuindo seu risco. Segundo o autor, quando se considera apenas o piso de tráfego, o VPL médio é maior do que no modelo misto, entretanto, a probabilidade de ocorrer um VPL negativo é também significativamente mais elevada.

Brandão e Cury (2005) analisam a concessão da rodovia federal BR-163, incorporando um piso de receitas vinculado a um nível de tráfego mínimo. Dessa forma, sempre que o nível de tráfego acarretar uma redução no fluxo de caixa abaixo desse piso, o poder público deverá aportar recursos para a concessionária. O trabalho propõe um modelo de concessão híbrido composto pelos fundamentos das parcerias público-privadas, das concessões e do *project finance*. Os autores concluem que rodovias pioneiras e com elevados riscos de tráfego podem ser tornadas atraentes para o setor privado através da concessão de garantias governamentais.

Salgado (2009), avaliou a concessão da Linha 4 do Metrô de São Paulo comparando a avaliação pelo método do FCD tradicional com o método das Opções Reais. No modelo, a autora incorporou duas faixas de garantias governamentais de tráfego mínimo. A autora conclui que a metodologia tradicional não consegue incorporar as flexibilidades inerentes ao projeto, sendo, portanto, menos adequada do que a teoria das opções reais para a avaliação do projeto em questão.