

1 INTRODUÇÃO

A eficiência dos métodos tradicionais de análise de investimentos, como o VPL ¹ obtido a partir do desconto dos fluxos de caixas usando uma taxa que reflita o custo de oportunidade do investidor, vem sendo amplamente questionada. Brealey, Myers e Marcus (2007) defendem que o VPL trata os investimentos como se fossem “caixas pretas”, que produziram fluxos de caixa inflexíveis. Segundo esses autores o método assume que, uma vez que as estratégias operacionais da empresa foram definidas, o administrador tem um envolvimento praticamente passivo diante dos fatos que venham a ocorrer ao longo do tempo.

Assaf Neto (2012) afirma que o aspecto mais importante de uma decisão de investimento está no correto dimensionamento dos fluxos de caixa previstos para serem produzidos pelas propostas em análise. Para o autor a taxa de desconto, por ser um dos fatores determinantes da magnitude do VPL, deve ser flexível a ponto de permitir que um critério de análise de investimentos use taxas de descontos específicas para as diferentes naturezas de riscos que possam ser identificadas nos fluxos de caixa. Esta ideia é confirmada por Mun (2006) ao definir o VPL como sendo a diferença entre os fluxos de caixa operacionais descontados pelo custo médio ponderado de capital da empresa e os fluxos de investimentos descontados por uma taxa de reinvestimentos. Ross et al. (2007) defendem o uso do VPL a fluxo de caixa com risco utilizando a taxa de desconto definida a partir do CAPM ². Por outro lado, Damodaran (2012) afirma que independente do método de avaliação de investimentos selecionado, do mais simples ao mais sofisticado, a maioria dos analistas financeiros utilizarão três variáveis essenciais: o fluxo de caixa, o risco e o tempo.

Brandão et al. (2005a) afirmam que embora o método do fluxo de caixa descontado seja utilizado na maioria das análises de projetos de investimentos em ativos reais, ele é limitado ao não incorporar o valor das flexibilidades gerenciais necessárias a muitos tipos de projetos. Corroborando com essa ideia, Lima e Suslick (2001) defendem que em ambientes de elevado grau de incertezas o uso dos métodos tradicionais de análise de investimentos é inadequado e produz resultados incompatíveis com a realidade. Para Dixt e Pindyck (1994) a maioria das decisões de investimentos partilha de três importantes características: a irreversibilidade, a incerteza e o momento de investir. Complementando, Minardi (2000)

¹ Valor Presente Líquido.

² Do inglês *Capital Asset Pricing Model* ou Modelo de Precificação de Ativos.

afirma que essas ditas flexibilidades gerenciais são opções reais que podem ser inerentes aos próprios projetos ou simplesmente construídas com o aumento do valor do investimento.

Arantes (2010) argumenta que uma das maiores dificuldades enfrentada pelos gestores no processo de avaliação de investimentos é com relação às incertezas que envolvem o projeto, o que aumenta consideravelmente o grau de dificuldade da previsão dos fluxos futuros de caixa. Em contrapartida, Brandão et al. (2012) entendem que as decisões envolvendo projetos de investimentos com fluxos de caixa cercados por incertezas apresentam significativas flexibilidades gerenciais, e que a Teoria das Opções Reais é a ferramenta mais adequada para suportar tais decisões, pois os métodos tradicionais já não conseguem abranger todos os cenários possíveis, e fatores relevantes no processo de avaliação podem ser desconsiderados.

1.1 Importância do tema

Graham e Harvey (2001) argumentam que as decisões de investimentos de capital compreendem uma das principais formas de criação de valor para o acionista e que o método de avaliação de investimento mais usado para auxiliar na tomada dessas decisões é o FCD³, introduzido nas empresas a partir da segunda metade do século XX. Entretanto este método ignora o valor da oportunidade de se alterar a estratégia operacional de um projeto em resposta a alterações nas condições de mercado.

Black e Scholes (1973) e Merton (1973) desenvolveram o trabalho pioneiro para o apreçamento de opções financeiras e forneceram a base para a incorporação dessas ferramentas a projetos em condições de incerteza, dando origem ao método de análise de investimentos conhecido como Teoria das Opções Reais, sendo que sua aplicação sobre ativos reais permite capturar o valor das flexibilidades gerenciais existentes em diversas classes de projetos.

O Quadro 1 apresenta uma amostra das diversas contribuições e aplicações para o desenvolvimento da TOR no Brasil e no mundo, listadas em ordem cronológica desde sua origem até as mais recentes.

³ Fluxo de Caixa Descontado.

Ano	Contribuição	Referências
1979	Desenvolvimento do primeiro modelo matemático para avaliar investimentos em um reservatório de petróleo considerando um cenário de incertezas de preços	Tourinho (1979)
1984	Aplicação de técnicas de valoração de investimentos irreversíveis em recursos naturais	Mason e Merton (1984)
1985	Análise de estratégias operacionais em uma mina de cobre	Brennan e Schwartz (1985)
1986	Determinação do momento ótimo para investir em um projeto com incerteza de receitas e custos	McDonald e Siegel (1986)
1988	Aplicação na indústria de petróleo com a valoração das opções da indústria <i>offshore</i>	Paddock et al. (1988)
1990	Estudo de caso sobre a opção de expansão da produção de óleo	Copeland e Weiner (1990)
1994 e 1996	Aplicação em diversos setores da economia	Dixit e Pindyck (1994) e Trigeorgis (1996)
2001	Avaliação da Embratel no processo de privatização do sistema Telebrás	Berrêdo (2001)
2002 e 2004	Análise e estratégias de investimentos em telecomunicações em ambiente de concorrência	Gonçalves e Medeiros (2002) e Lopes (2004)
2003	Avaliação do melhor momento para a decisão de realizar investimentos em redes <i>wireless</i> ⁴	Halluin, Forsythe e Vetzal (2003)
2004	Estudos para simplificar e desmistificar o uso da TOR em aplicações do mundo real	Copeland e Tufano (2004)
2005	Estudos sobre o <i>unbundling</i> ⁵ no mercado de telecomunicações americano incorporando as flexibilidades gerenciais para fomentar a continuidade dos investimentos no setor	Pindyck (2005)
2006	Desenvolvimento de estudo para determinar o melhor momento de empresas do setor de telecomunicações investirem em novas tecnologias	Rocha (2006)
2007	Análise da oferta de serviços <i>wireless</i> para o segmento de grandes empresas	Ramirez et al. (2007)
2010	Estudo para auxiliar na decisão de oferta em leilões de telecomunicações	Teixeira, Brandão e Gomes (2010)
2010	Avaliação de investimentos em telecomunicações com o uso do modelo binomial e simulação de Monte Carlo	Arantes (2010)
2010	Avaliação do investimento no projeto de construção da linha do trem de alta velocidade entre o Rio de Janeiro e Campinas	Lopes e Brandão (2010)
2011	Aplicação no planejamento e execução de investimentos estratégicos sob condições de incerteza	Filippo e Baidya (2011)
2012	Aplicação em <i>Project Finance</i> ⁶ para o setor petrolífero	Mendes e Samanez (2012)
2012	Avaliação da viabilidade de uma parceira público-privada (PPP) na construção e operação de uma linha de metrô em São Paulo	Brandão, Bastian-Pinto, Gomes e Salgado (2012)

Quadro 1: Contribuições para a teoria das opções reais

Fonte: Elaborado pelo autor

⁴ Redes sem fio para serviços de comunicação de dados e acesso à Internet.

⁵ Desagregação das redes das operadoras de telefonia local possibilitando o aluguel de partes destas redes para outras empresas prover serviços.

⁶ Forma de captação de recursos para financiamento de projetos de capital.

A TOR iniciou-se com Myers (1977) ao usar o termo *real options* (opções reais) para mostrar que os ativos reais e projetos de uma empresa são opções de investimento. Dixt e Pindyck (1994) foram os primeiros a elaborar a síntese dos principais conceitos envolvendo esse método e paralelamente, Trigeorgis (1996) fez importantes contribuições para a teoria e sua aplicação prática em diversos setores da economia. Copeland e Antikarov (2001, 2003) apresentaram um guia prático para a aplicação da TOR facilitando o uso desse método de avaliação de projetos e empresas.

Salgado (2009) usou a TOR para avaliar uma PPP (parceira público-privado) para avaliar o projeto de exploração e operação da linha 4 do Metrô de São Paulo com demanda de investimentos superior a US\$ 1 bilhão em 7 anos, enquanto Macedo e Nardeli (2011) usaram a TOR para avaliar a viabilidade econômico-financeira de projetos agroindustriais com investimentos superiores a R\$ 2 bilhões. Além desses, no Brasil há vários exemplos de utilização desse método na avaliação de projetos de investimentos, sobretudo naqueles que demandam grandes quantidades de recursos e apresentam um alto grau de incertezas e riscos, que não podem ser mapeados e analisados apenas com os modelos tradicionais de avaliação de investimentos, como é o caso dos investimentos em telefonia móvel 4G.

A importância e a relevância do tema podem ser traduzidas pela diversidade de aplicações, conforme apresentado no Quadro 1, e nos inúmeros trabalhos desenvolvidos em todo o mundo desde a consolidação dos principais conceitos envolvendo a TOR. Acrescenta-se ainda o fato de a disponibilização dos serviços de telefonia móvel 4G ser o evento mais importante dos próximos 5 anos no setor de telecomunicações (ANATEL, 2012; TELECO, 2013).

1.2 Problema de pesquisa

Para Markowitz (1952) o risco e o retorno são as principais variáveis envolvidas em uma decisão de investimentos. Sob a hipótese de que os investidores possuem verdadeira aversão ao risco, estes se pautarão pela busca da maximização dos retornos. Securato (1996) define risco como sendo a probabilidade de um evento futuro resultar em fracasso em relação a um objetivo prefixado. Aplicando esses conceitos aos planos de investimentos de empresas pode-se, por analogia, avaliar o retorno pelo VPL dos projetos e o risco pela probabilidade de os indicadores dos projetos não atingirem os objetivos pré-fixados pela própria empresa,

como a probabilidade de o VPL ser negativo, de a TIR ⁷ assumir valores inferiores às taxas de juros do mercado ou de o período de *payback* extrapolar o período de análise do projeto.

As empresas definem seus planos de investimentos com o propósito de criar e explorar oportunidades de lucro, ou em outras palavras, de escolher investimentos que possam criar valor ao seu negócio. Graham e Harvey (2001) mostram que o VPL e a TIR são as técnicas mais utilizadas pela maioria das empresas, Arantes (2010) confirma essa liderança mostrando que são utilizados em 75% das avaliações. Dixit e Pindyck (1995) argumentam que tanto o VPL quanto a TIR assumem uma dentre duas premissas: ou o investimento é reversível e de alguma forma pode ser desfeito com a recuperação dos valores envolvidos, ou o investimento é irreversível e do tipo agora ou nunca, ou seja, se a empresa não realizar o investimento neste momento a janela de oportunidade se fechará para sempre. Nesse contexto o simples reconhecimento da existência da hipótese do investimento ser irreversível adiciona valor à possibilidade de adiá-lo, o que pode ser interpretado como uma opção de compra. Esta compreensão contribui fortemente para que os investidores entendam o papel crucial das incertezas nas decisões de investimentos.

Sob a ótica de investimentos em condições de incertezas quanto ao retorno e aos riscos incorridos pelo investidor esta pesquisa tem o propósito de responder à seguinte questão:

Qual a viabilidade econômico-financeira dos investimentos no projeto de telefonia móvel 4G no Brasil usando a Teoria das Opções Reais em conjunto com as técnicas de simulação de Monte Carlo?

Em busca da resposta ao problema, esta pesquisa irá avaliar o projeto de telefonia móvel 4G das empresas Claro, Vivo, TIM e Oi, que, segundo a Anatel (2012), adquiriram o direito de explorar esse serviço em todo o território nacional ao apresentarem as melhores propostas no leilão da faixa de frequência de 2.500 MHz.

⁷ Taxa Interna de Retorno.

1.3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a viabilidade dos investimentos no projeto de telefonia móvel 4G no Brasil desenvolvido a partir do edital de licitação número 004/2012/PVCP/SPV da ANATEL ⁸ usando métodos tradicionais de avaliação de investimentos e a Teoria das Opções Reais em conjunto com as técnicas de simulação de Monte Carlo.

Para alcançar o objetivo geral foram definidos quatro objetivos específicos: 1) elaborar a avaliação do projeto de telefonia móvel 4G no Brasil pelos métodos tradicionais de avaliação de investimentos; 2) encontrar a volatilidade do projeto usando técnicas de simulação de Monte Carlo; 3) identificar as flexibilidades gerenciais do projeto, ou opções reais; 4) elaborar a avaliação do projeto de telefonia móvel 4G no Brasil usando a Teoria das Opções Reais em conjunto com as técnicas de simulação Monte Carlo e 5) comparar os resultados obtidos no processo de avaliação pelos métodos tradicionais e pela Teoria das Opções Reais.

Baseado no modelo de CA de quatro passos definido por Copeland e Antikarov (2003) este pesquisa definiu que para atingir esses objetivos específicos seria necessário: 1) delimitar o escopo do projeto; 2) definir as principais premissas e restrições do projeto de telefonia móvel 4G; 3) estimar todos os investimentos necessários para o projeto; 4) elaborar as projeções mercadológicas e estimar as receitas do projeto; 5) elaborar os fluxos de caixa do período de análise; 6) encontrar a volatilidade do projeto usando simulação de Monte Carlo; 7) elaborar a árvore de eventos do projeto; 8) identificar as flexibilidades gerenciais e os impactos no projeto; 9) elaborar a árvore de decisão binomial de acordo com a modelagem do projeto pela Teoria das Opções Reais e 10) calcular o valor do VPL expandido do projeto.

1.4 Justificativa do tema

Desde 1998, quando ocorreram as privatizações do sistema Telebrás⁹, o mercado de telecomunicações no Brasil tem se tornado cada vez mais competitivo, afirmação apoiada pelo fato de que no início do ano de 2012 foram registrados no Brasil mais de 250 milhões de

⁸ Agência Nacional de Telecomunicações

⁹ Empresa estatal destinada a prestar serviços de telecomunicações.

números de celulares habilitados, o que reflete o potencial desse mercado, uma vez que a população brasileira é estimada em 192 milhões de habitantes (IBGE, 2010). Deste total de acessos móveis, aproximadamente 21% (Anatel, 2012) é constituído por dispositivos 3G, tecnologia de comunicação móvel que permite o acesso à Internet a uma velocidade de até 12 Mbps¹⁰. Utilizando essa prerrogativa a Anatel promoveu em 2012 o leilão da faixa de frequência de 2.500 MHz para exploração dos serviços de telefonia móvel usando tecnologia de quarta geração ou 4G. O *LTE*¹¹ é a tecnologia mais moderna para tráfego de dados a partir de dispositivos portáteis e móveis permitindo acesso à Internet com velocidade superior a 100 Mbps. Obviamente, um dos principais objetivos do projeto é oferecer à população brasileira serviços que passam por um processo de massificação e apresentam demanda crescente justificando a escolha do tema.

De acordo com a Anatel (2012) a construção das redes para suportar os serviços de telefonia móvel 4G em todo o Brasil demandará investimentos na ordem de R\$ 4 bilhões nos 2 primeiros anos do projeto e R\$ 16 bilhões em 7 anos, quando espera-se a conclusão total da cobertura de todo o território nacional. Considerando que o *ARPU*¹² nacional da telefonia móvel estava em R\$ 19,40 no final do primeiro semestre de 2012, esse investimento consumiria quase metade da receita bruta de um ano de todas as empresas do setor. Conforme estabelecido no edital de licitação número 004/2012/PVCP/SPV da Anatel a implantação do projeto será feita em etapas ou fases a serem cumpridas pelas operadoras vencedoras do leilão até o limite do prazo pré-estabelecido. Para Harmantzis, Trigeorgis e Tanguturi (2007) esta constatação já configura uma flexibilidade gerencial e assim, recomendam que o projeto seja avaliado por um método que atribua valor a esta flexibilidade, como a Teoria das Opções Reais. Essa demanda por significativos recursos justifica a utilização das técnicas mais robustas de análise de investimentos disponíveis na literatura.

Hull (2009) define que qualquer variável cujo valor ou parte dele sofre mudanças ao longo do tempo de forma incerta segue um processo estocástico. No conjunto destas variáveis estão o valor das ações negociadas em bolsa de valores e por analogia o valor presente dos projetos, que seguem um processo classificado como Movimento Geométrico Browniano. Uma vez definidos os parâmetros do MGB¹³ podem-se simular os caminhos que o valor presente do projeto seguirá usando as técnicas de simulação de Monte Carlo. O resultado

¹⁰ Medida de velocidade de uma conexão de comunicação de dados que significa Mega bits por segundos.

¹¹ Do inglês *Long Term Evolution*.

¹² Do inglês *Averaged Receipt per Use*, representa a receita média mensal por usuário.

¹³ Movimento Geométrico Browniano.

dessa simulação possibilita encontrar o valor das opções e uma análise dos riscos envolvendo o projeto. A disponibilidade de estudos e técnicas que permitem uma correta avaliação de projetos dessa magnitude corrobora a justificativa e a escolha do tema.

1.5 Delimitações da pesquisa

Visando encontrar a resposta ao problema de pesquisa sobre a viabilidade econômico-financeira do projeto de telefonia móvel 4G no Brasil pela ótica da Teoria das Opções Reais em conjunto com as técnicas de simulação de Monte Carlo esta pesquisa delimitou-se a avaliar os projetos de investimento das quatro empresas de telefonia móvel que adquiriram as frequências de 2.500 MHz para explorar os serviços 4G no território nacional, ou seja, Claro S/A, Vivo S/A, TIM Celular S/A e Oi Móvel S/A.

As premissas necessárias para projetar os fluxos de caixa foram definidas como sendo as mesmas para todas as quatro empresas, sejam elas macroeconômicas, mercadológicas, financeiras, tributárias, técnicas ou operacionais. No entanto, em alguns pontos elas são diferenciadas para atender às características empresariais, como *Market Share*¹⁴ e margem *EBITDA*¹⁵. Premissas, como preços de produtos, tributos sobre vendas, custo de aluguel e valor de investimentos, foram consideradas as mesmas para todas as empresas.

O cálculo do custo médio ponderado de capital de cada empresa foi baseado em informações secundárias divulgadas nos relatórios contábeis das empresas, portanto, podem apresentar divergências quanto aos valores reais. A identificação das flexibilidades gerenciais dos projetos utilizaram as mesmas premissas para todas as empresas, ou seja, não foram consideradas opções reais em virtude de características específicas de uma empresa.

De forma geral a pesquisa foi delimitada na avaliação dos projetos pelos métodos tradicionais baseados no fluxo de caixa descontado, na aplicação das técnicas de simulação de Monte Carlo¹⁶ para encontrar a volatilidade dos retornos de cada projeto e no cálculo do valor das flexibilidades através da Teoria das Opções Reais usando o método da árvore binomial com a técnica da probabilidade neutra a risco, conforme feito também por Arantes (2010).

¹⁴ Representa a fatia do mercado de cada empresa sobre determinado produto ou serviço.

¹⁵ Do inglês *Earning Before Interest Tax Depreciation and Amortization* ou lucro antes dos impostos, juros, depreciação e amortização.

¹⁶ Conjunto de técnicas de simulação usando a geração de números aleatórios baseado numa distribuição previamente conhecida.

1.6 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em 7 capítulos iniciando com esta introdução, que envolve a contextualização e a importância do tema para o estudo das finanças corporativas, apresentando-se também o problema de pesquisa, os objetivos gerais e específicos, a justificativa do tema e as delimitações da pesquisa.

Nos capítulos 2 e 3 são apresentados os alicerces que dão sustentação ao embasamento da pesquisa pelo referencial teórico, com um capítulo para as decisões de investimentos baseadas nas técnicas tradicionais e outro dedicado às decisões de investimentos em condições de incertezas com a abordagem da Teoria das Opções Reais.

O capítulo 4 apresenta uma contextualização sobre a telefonia móvel no Brasil, com referência às regulamentações do setor e aos editais de licitação de frequências para a prestação de serviços de telefonia móvel, em especial os serviços baseados na tecnologia LTE, que permite a exploração dos serviços 4G.

O capítulo 5 dedica-se ao delineamento da metodologia utilizada no estudo, apresentando de forma detalhada cada passo adotado para mensurar o valor dos projetos pelos métodos tradicionais e pela Teoria das Opções Reais. Aliado a isso, são apresentadas as premissas adotadas para cada projeto, bem como a fundamentação para as escolhas e as decisões tomadas.

A análise dos resultados é apresentada ao longo do capítulo 6. Primeiramente são mostrados os resultados das avaliações dos projetos pelos métodos tradicionais e pela TOR. Em seguida é feita uma análise dos riscos dos projetos e uma última parte dedica-se a fazer uma análise específica de cada empresa objeto da avaliação.

O último capítulo dedica-se às considerações finais com a missão de estabelecer a ligação entre o problema de pesquisa e os objetivos gerais e específicos com os resultados da pesquisa. Aborda também as implicações da pesquisa para a teoria das finanças corporativas envolvendo o assunto Opções Reais e as implicações práticas do estudo para o mercado em geral. O trabalho é então finalizado com sugestões para futuros estudos.

Uma seção incluindo a citação de todas as referências usadas no desenvolvimento deste trabalho foi inserida, bem como alguns anexos considerados relevantes para uma possível replicação de tal estudo por outros pesquisadores.

2 MÉTODOS TRADICIONAIS DE AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTOS

As decisões de investimento, também conhecidas como orçamento de capital, são fundamentais para o sucesso das empresas, pois produzem consequências de longo prazo, uma vez que os ativos adquiridos no presente podem determinar o negócio em que a empresa estará por muitos anos (BREALEY; MYERS; MARCUS, 2007).

Dixit e Pindyck (1994, p. 3) postularam que:

A economia define investimento como ato de incorrer em custo imediato na expectativa de recompensas futuras. Firms que constroem fábricas e instalam equipamentos, comerciantes que investem em estoque de bens para revenda, e pessoas que gastam tempo em educação são todos investidores neste sentido. Algo menos óbvio é uma empresa que fecha uma fábrica deficitária estar também “investindo”: os pagamentos feitos para quitar as suas obrigações contratuais, incluindo multas e rescisões de contratos de trabalho, são apenas as despesas iniciais, e o retorno futuro é a redução nas perdas futuras.

Estas decisões, geralmente de médio e longo prazo, envolvem a elaboração, avaliação e seleção de propostas de aplicação de capital objetivando produzir determinado retorno ao investidor. São decisões tomadas segundo um critério racional, pois envolvem a mensuração dos fluxos de caixa incrementais associados com as propostas de investimentos e avaliação da sua atratividade econômica pela comparação com o custo de oportunidade do investidor. Diferentes métodos de análise foram desenvolvidos para suportá-las e podem ser divididos entre: 1) aqueles que são estáticos em relação ao valor do dinheiro no tempo, ou seja, os fluxos de caixa não sofrem mudanças em função das taxas de juros do mercado; e 2) aqueles que consideram os efeitos das variações do dinheiro no tempo por meio do critério do fluxo de caixa descontado, portanto, incorporando no modelo as taxas de juros do mercado e o custo de oportunidade do investidor (ASSAF NETO, 2012).

Damodaran (2012) argumenta que as mensurações de fluxo de caixa livre (FCL) começam com os lucros contábeis e podem ser divididos em: 1) FCL para o patrimônio líquido, conforme mostra a Equação 1. Estes fluxos iniciam-se com o lucro líquido e representam os fluxos de caixa apenas para os acionistas no negócio e estão, portanto, após os fluxos de caixa associados à dívida e 2) FCL para a empresa, conforme apresentado na Equação 2. Estes fluxos baseiam-se nos lucros operacionais após impostos, pois são aqueles gerados pelos detentores de direitos na empresa e constituem os fluxos de caixa antes da dívida.

$$\begin{aligned}
 FCL \text{ para } PL &= \text{Lucro Líquido} - (\text{Gastos de Capital} - \text{Depreciação}) \\
 &\quad - \text{Alteração em Capital de Giro não Monetário} \\
 &\quad + (\text{Nova Dívida Levantada} - \text{Repagamento de Dívida}) \quad [1]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FCL \text{ para Empresa} \\
 &= \text{Lucro Operacional} (1 - \text{Alíquota}) \\
 &\quad - (\text{Gastos de Capital} - \text{Depreciação}) \\
 &\quad - \text{Alteração em Capital de Giro não Monetário} \quad [2]
 \end{aligned}$$

Para Assaf Neto (2012), todo projeto de investimento deve ser avaliado em termos de fluxo de caixa e não com base nos lucros, por isso o aspecto mais importante de uma decisão de investimento é o dimensionamento adequado dos fluxos de caixa incrementais que serão produzidos em função da proposta em análise, ou seja, originados em consequência da decisão de investimento. Estes fluxos devem ser mensurados de acordo com as efetivas movimentações operacionais de caixa da empresa.

Copeland e Antikarov (2003) ressaltam que mesmo para uma abordagem por opções reais, que se propõe a capturar as flexibilidades do projeto, o primeiro passo é estimar o VPL do projeto sem estas flexibilidades. Para operacionalizar uma decisão de investimento são necessários: definir os fluxos de caixa livres do projeto, o capital a ser investido e o custo de oportunidade do capital.

2.1 Período de *payback*

Para Brealey, Myers e Marcus (2007), o período de *Payback* é definido como sendo o tempo necessário para recuperar o investimento (gasto de capital) em um determinado projeto por meio dos benefícios incrementais líquidos de caixa. Estabelece uma regra para a decisão de investimento em que um projeto deveria ser aceito se o seu período de *Payback* fosse menor que um período predefinido pelo investidor. Embora seja um método amplamente conhecido, o seu uso encontra restrições, pois não considera os fluxos de caixa que ocorrem após o período de *Payback* e distribui pesos iguais a todos os fluxos de caixa que ocorrem antes do período de *Payback*, apesar do fato de que os fluxos mais distantes possuem valores menores no presente.

O período de *Payback* é interpretado como um importante indicador do nível de risco de um projeto de investimento, pois quanto maior esse prazo, maior será o risco envolvido na decisão. Com o intuito de contornar as restrições atribuídas ao uso desse método é comum a introdução do critério do fluxo de caixa descontado passando a usar uma taxa de desconto que leve em consideração o valor do dinheiro no tempo, porém ainda assim ele não leva em consideração os fluxos de caixa que ocorrem após o período de *Payback*. Pode-se, então, concluir que o período de *Payback* é uma medida auxiliar nas decisões financeiras de longo prazo, tornando indispensável o uso simultâneo de outros métodos mais sofisticados (ASSAF NETO, 2012).

2.2 Valor presente líquido e o fluxo de caixa descontado

Copeland e Antikarov (2003), ao desenvolverem o *framework*¹⁷ para encontrar o valor das flexibilidades de um projeto, definiram o VPL como valor de referência para construir a análise do investimento por Opções Reais. Conceitualmente Assaf Neto (2012) define o Valor Presente Líquido como sendo a medida obtida pela diferença entre o valor presente dos benefícios líquidos de caixa previstos para cada período de duração do projeto, e o valor presente do investimento. O VPL exige a definição prévia da taxa de desconto a ser utilizada nos vários fluxos de caixa, pois ele não expressa diretamente a rentabilidade do projeto e sim o seu resultado econômico atualizado.

O método de análise de investimentos baseado no VPL estabelece que todos os projetos que apresentam VPL positivo devem ser aceitos com o objetivo de gerar valor aos acionistas, ou seja, apresentam retorno positivo porque os benefícios previstos são maiores que os custos previstos. Esta afirmativa se baseia no fato de que todos os fluxos de caixa sejam conhecidos, o que obviamente não é verdade porque esses valores representam apenas uma estimativa dos gastos a serem incorridos (BREALEY; MYERS; MARCUS, 2007). O VPL pode ser expresso conforme a Equação 3.

$$VPL = \sum (VP_{Benefícios} - VP_{Investimentos}) = \sum_{t=1}^N \frac{FCL_t}{(1 + WACC)^t} - \sum_{t=0}^N \frac{I_t}{(1 + r)^t} \quad [3]$$

¹⁷ Estrutura conceitual básica que permite aplicar uma metodologia.

Onde o FCL_t é o fluxo de caixa livre em cada período do projeto, o $WACC$ ¹⁸ representa a taxa de desconto exigida pelo investidor, r é a taxa de desconto a ser aplicada sobre os fluxos de investimentos, podendo ser a própria $WACC$ ou a taxa de juros livre de risco e I_t é o fluxo de investimentos em cada período do projeto¹⁹.

Mun (2006) argumenta que os benefícios de caixa devem ser descontados a uma taxa ajustada ao risco como o custo médio ponderado de capital da empresa e os investimentos devem ser descontados à mesma taxa de aplicação financeira da empresa, similar à taxa de juros livre de risco, isso quando os investimentos forem realizados em múltiplos períodos, o que é mais comum do que a concentração destes apenas no primeiro ano do projeto.

A taxa de desconto que melhor representa o custo de oportunidade dos investidores é o custo médio ponderado de capital, o que indica a remuneração mínima exigida para um determinado investimento. Copeland e Antikarov (2003) definem $WACC$ como sendo a média ponderada do custo de capital após os impostos marginais e afirmam ser ela apropriada para descontar fluxos de caixa de empresas ou projetos porque estes recursos estão disponíveis para pagamentos a ambas as fontes de capital (Passivo e Patrimônio Líquido).

O $WACC$ representa a taxa mínima de atratividade econômica para a empresa em suas decisões de investimentos, significando que projetos que apresentem taxas de retorno inferior ao $WACC$ estão destruindo o valor da empresa para o acionista. A Equação 4 apresenta a forma de cálculo dessa variável para N fontes de capital.

$$WACC = \sum_{i=1}^N W_i K_i \quad [4]$$

Onde o W representa a participação relativa da fonte de capital na estrutura de capital da organização e o K representa o custo de cada fonte de financiamento, própria ou de terceiros, sendo esta última após a tributação do Imposto de Renda.

O custo das fontes de capital originadas no passivo (financiamentos e empréstimos) é relativamente de fácil mensuração. Para tanto, basta calcular a participação da fonte na estrutura de capital da empresa e deduzir da taxa de juros o Imposto de Renda. No entanto, para o custo das fontes originadas no patrimônio líquido (capital próprio ou K_e) é necessário

¹⁸ Do inglês *Weighted Average Cost of Capital*.

¹⁹ Para os investimentos é considerada a variação do momento zero até N para que os investimentos iniciais I_0 sejam incluídos.

usar um método específico, sendo o *CAPM*²⁰ o mais utilizado, podendo ser calculado usando a Equação 5.

$$K_e = R_f + \beta(R_m - R_f) \quad [5]$$

Onde R_f é a taxa de retorno para ativos livre de risco, β é a medida do risco do ativo em relação ao risco sistemático da carteira de mercado e R_m é taxa de retorno da carteira de mercado.

Para Mun (2006) a metodologia de avaliação de investimento do fluxo de caixa descontado é a principal aplicação da técnica do VPL e considera como pontos positivos: 1) a clareza ao apresentar um critério consistente de decisão para todos os projetos; 2) o fato de apresentar o mesmo resultado independente das preferências de risco do investidor; 3) ser um método quantitativo com um bom nível de precisão e economicamente racional; 4) não apresentar vulnerabilidade quanto às convenções contábeis; 5) considerar fatores como dinheiro no tempo e estrutura de risco; 6) ser relativamente simples, difundido e aceito e 7) ser simples de apresentar e explicar os resultados aos gestores que tomarão a decisão do investimento. O Quadro 2 apresenta uma comparação entre premissas assumidas pelo FCD e o que acontece na prática.

Premissas do FCD	Realidade
As decisões são tomadas no presente momento e os fluxos de caixa não variam no futuro	Incertezas e variabilidades ocorrerão no futuro
Uma vez iniciados os projetos são gerenciados passivamente	Os projetos são ativamente gerenciados durante o ciclo de vida
Todos os riscos são completamente computados pela taxa de desconto	Os riscos da empresa e do projeto podem variar durante o curso do projeto
A taxa de desconto é proporcional ao risco não diversificável e representa o custo de oportunidade do dinheiro	Existem múltiplas fontes de risco com diferentes características e algumas são diversificáveis através dos projetos ou do tempo
Todos os futuros fluxos de caixa são altamente previsíveis e determinísticos	Difícil estimar os fluxos de caixa, pois são estocásticos e de alto risco
Todos os fatores que podem afetar o retorno do projeto e o valor ao investidor estão refletidos no FCD através do VPL ou da TIR	Em função da complexidade do projeto e fatores externos é muito difícil ou impossível quantificar todos os fatores em termos de fluxos de caixa incrementais
Fatores desconhecidos, intangíveis ou não mensurados não são considerados	Muitos dos benefícios importantes são ativos intangíveis ou posições estratégicas qualitativas

Quadro 2: Desvantagens do FCD (premissas x realidade)

Fonte: Adaptado de Mun (2006)

Para Mun (2006), o FCD assume premissas que levam ao questionamento da sua eficácia, principalmente no que tange à rigidez dos fluxos de caixa projetados.

²⁰ Do inglês *Capital Asset Pricing Model* significa Modelo de Precificação de Ativos.

2.3 Taxa interna de retorno

De acordo com Brealey, Myers e Marcus (2007) muitas empresas preferem avaliar se o retorno do projeto é maior ou menor que o custo de oportunidade do capital a ser investido, sendo a TIR a taxa de desconto sob a qual o VPL do projeto é zero. Isto sugere a decisão de investir em qualquer projeto cujo VPL seja positivo quando os fluxos de caixa são descontados a uma taxa igual ao custo de oportunidade do capital, ou de investir em qualquer projeto que ofereça uma TIR maior que o custo de oportunidade do capital. O valor da TIR pode ser calculado pela Equação 6.

$$\sum_{t=1}^N \frac{FCL_t}{(1 + TIR)^t} = \sum_{t=0}^N \frac{I_t}{(1 + r)^t} \quad [6]$$

Onde FCL_t são os fluxos de caixa livre previstos em cada período do projeto, a **TIR** é a rentabilidade equivalente periódica ou taxa interna de retorno, r é a taxa de descontos do fluxo de investimentos e I_t é o fluxo de investimentos em cada período do projeto.

O método de decisão de investimento da taxa interna de retorno representa a taxa de desconto que iguala as entradas com as saídas de caixa. Para avaliação de propostas de investimentos usando esse método é necessário o conhecimento dos fluxos de caixa incrementais gerados pela decisão. Pode-se afirmar que a TIR representa a rentabilidade do projeto expressa em termos da taxa de juros composta equivalente ao período em que os fluxos de caixa foram elaborados (ASSAF NETO, 2012).

3 INVESTIMENTOS EM CONDIÇÕES DE INCERTEZA

A avaliação de investimentos pelos métodos apresentados anteriormente considera o ambiente em que o projeto está inserido como constante ou com mínimas variações de cenários. A dinâmica do mercado introduz algumas variáveis no cenário que podem mudar completamente os rumos inicialmente planejados para uma decisão de investimento. Redução de demanda, aumento do custo de matéria prima, entrada de novos competidores no mercado, mudança na legislação aumentando a carga tributária, acordos sindicais que ampliam benefícios e salários para os trabalhadores e mudanças nas restrições ambientais são exemplos dessas possíveis mudanças que provocam incertezas. A maioria das decisões de investimento compartilham três importantes características que interagem entre si e determinam a decisão ótima para o investidor, de acordo com Dixit e Pindyck (1994, p.3):

A primeira delas refere-se ao fato do investimento ser parcialmente ou completamente irreversível, em outras palavras, o custo inicial do investimento é, ao menos, parcialmente perdido e não pode ser recuperado em sua totalidade caso haja uma mudança nos planos. Segundo, existem incertezas acerca dos benefícios futuros que serão gerados pelo investimento, neste caso, o melhor a fazer é avaliar as probabilidades dos diferentes resultados que significam maiores ou menores retornos (ou até perda total ou parcial) do investimento. Terceiro, há alguma flexibilidade em relação ao momento de realizar o investimento, ou seja, é possível adiá-lo até obter mais informações sobre o futuro.

Copeland e Antikarov (2003) afirmam que o paradigma central para a tomada de decisões acerca de grandes investimentos é o VPL ao subavaliar oportunidades de investimentos em não considerar o valor das flexibilidades. Para Trigeorgis (1996) a abordagem tradicional pelo Fluxo de Caixa Descontado assume implicitamente a premissa de que a empresa manterá todos os investimentos passivamente admitindo uma estratégia operacional estática, porém é sabido que os gestores são pagos para assumir posições ativas diante de situações imprevistas que surgirão no futuro. Assim, Brealey, Myers e Marcus (2007) postulam que projetos que podem ser facilmente modificados são melhores avaliados perante outros que não apresentam esta flexibilidade, pois se as previsões confirmam ou superam as expectativas iniciais o projeto pode ser expandido, caso contrário o projeto pode ser interrompido ou abandonado.

As opções reais são comumente apresentadas como sendo análogas às opções financeiras, entretanto alguns desses argumentos não refletem as condições práticas das avaliações por opções reais, pois muitos procedimentos usados para mensurar o valor dessas opções são derivados das opções financeiras e apresentam problemas justamente por não

seguirem as mesmas premissas, como o fato de as opções financeiras sempre apresentarem valor nulo ou positivo enquanto algumas opções reais podem ter seus ativos subjacentes com valores negativos (HAAHTELA, 2012). O Quadro 3 apresenta uma analogia entre opções financeiras e opções reais.

Opções Financeiras	Opções Reais
Valor corrente do ativo subjacente (preço da ação)	Valor presente dos fluxos de caixa esperados do projeto
Preço de exercício	Valor presente do investimento (Opção de compra) ou valor recebido (Opção de venda)
Tempo de expiração	Tempo até que a oportunidade do investimento desapareça
Volatilidade da ação	Volatilidade do projeto
Taxa livre de risco	Taxa livre de risco
Dividendos pagos pelo ativo subjacente (ação)	Fluxo de caixa das saídas do projeto

Quadro 3: Analogia entre opções financeiras e opções reais

Fonte: Adaptado de Trigeorgis (1996) e Haahtela (2012)

Para Brandão et al. (2005a), as opções derivadas da flexibilidade gerencial são comumente chamadas “Opções Reais” para refletir sua associação com ativos reais ao invés de ativos financeiros, e a metodologia que aborda e atribui valor à flexibilidade existente nos projetos é a Teoria das Opções Reais, que se baseia nos conceitos abordados nas precificações de Opções Financeiras. O Quadro 4 apresenta as diferenças entre ativos financeiros e ativos reais.

Ativos Financeiros	Ativos Reais	Comentário
Divisibilidade	Indivisibilidade	Projetos não são divisíveis
Repetição de Eventos	Eventos únicos	Reduz utilidade de medidas estatísticas
Alta liquidez	Baixa Liquidez	Baixa liquidez aumenta o risco
Baixo custo de transação	Alto custo de transação	Viola premissa do CAPM
Informações amplamente difundidas	Assimetria de informação entre investidores	Permite ganhos de arbitragem
Existência de mercado	Ausência de mercado	Sem valor de mercado
Risco de mercado	Risco de mercado e risco Privado	Risco privado não correlacionado com o mercado
Curto Prazo	Longo Prazo	Tempo de expiração
Gerência passiva	Gerência ativa	Valor da flexibilidade

Quadro 4: Diferença entre ativos financeiros e ativos reais

Fonte: Adaptado de Brandão (2002)

Outra característica importante dos ativos financeiros é que estes são investimentos cujo preço é determinado pelo mercado e independem de qualquer ação de um investidor individual, enquanto que para os ativos reais as decisões gerenciais podem alterar o valor do projeto, pois na prática, à medida que o futuro se revela, os gestores podem ajustar a estratégia

definida para a empresa ou para o projeto procurando maximizar retornos ou minimizar prejuízos (BRANDÃO, 2002).

3.1 Processos estocásticos ²¹

As decisões de investimentos em ações, derivativos financeiros e projetos corporativos são influenciadas por incertezas de diferentes tipos. Um modo de lidar com essas incertezas é escolher um processo estocástico que melhor descreva o comportamento dos preços dos ativos ao longo do tempo, sendo o MGB o processo mais usado para descrever as incertezas na avaliação de projetos usando a TOR (OZORIO; BASTIAN-PINTO; BRANDÃO, 2012).

Qualquer variável cujo valor sofre mudanças ao longo do tempo de forma incerta segue um processo estocástico, que pode ser classificado em tempo discreto, onde a variável pode mudar o valor apenas em certos pontos no tempo, ou contínuo, quando a variável pode mudar o valor a qualquer momento. Podem também ser classificados como variável contínua, podendo assumir qualquer valor dentro de uma determinada faixa de valores, ou variável discreta, podendo assumir apenas alguns valores discretos.

O processo de Markov é um tipo particular de processo estocástico onde apenas o valor presente de uma variável é relevante para prever o futuro. O histórico passado da variável e a forma como ela chegou ao presente são irrelevantes. O preço das ações é um exemplo de variável que segue esse processo. Em um caso particular está o processo de Wiener, processo estocástico com média zero e variância anual igual a 1, também chamado de Movimento Browniano, sendo considerado um processo em tempo contínuo onde cada incremento depende do anterior e possui distribuição normal.

O MGB ou modelo multiplicativo segue o processo de Wiener generalizado e é um dos processos estocásticos mais usados para descrever o comportamento do preço de ativos financeiros em que o retorno e a volatilidade são constantes. É dividido em duas partes, sendo que a primeira apresenta um crescimento μ proporcional ao preço do ativo em um dado intervalo de tempo e uma segunda parte que apresenta um crescimento aleatório proporcional ao preço do ativo com distribuição normal e volatilidade σ , conforme a Equação 7.

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz \quad [7]$$

²¹ Baseado em Hull (2009).

Onde, μ é a taxa de retorno esperada da ação, S é o preço da ação, dt é a variação no tempo, σ é o desvio padrão e $dz = \epsilon \sqrt{dt}$, $\epsilon \sim N(0,1)$, sendo que $\epsilon \sim N(0,1)$ segue uma distribuição normal com média 0 e desvio padrão igual a 1.

3.2 Opções financeiras

Uma opção é um título que concede ao seu proprietário o direito de comprar (*call*) ou vender (*put*) um determinado ativo a um preço fixo (preço de exercício) até uma data específica (vencimento). Pode ser do tipo “Americana”, que pode ser exercida a qualquer tempo até a data de vencimento da opção, ou do tipo “Europeia”, que somente pode ser exercida na data de vencimento da opção. Uma vez que se trata de um direito e não uma obrigação, o seu proprietário pode decidir por não exercer o direito de comprar ou vender o ativo e deixar a opção expirar (BLACK; SCHOLES, 1972).

A possibilidade de uma opção do tipo Americana ser exercida a qualquer tempo antes da data de vencimento a torna mais valiosa que a opção do tipo Europeia, o que também a torna mais difícil de ser valorada. Entretanto, na maioria dos casos o valor da opção associado com o seu tempo de vida e os custos de transação envolvidos tornam o exercício da opção antes do vencimento uma decisão não muito boa, pois o detentor da opção tem maior retorno se a vender para outra pessoa ao invés de exercer o direito de adquirir o ativo subjacente. Assim, há pelo menos duas exceções a essa regra, uma é quando o ativo subjacente efetua o pagamento de uma quantia significativa de dividendos reduzindo o valor do ativo e de todas as opções de compra, a outra é quando o investidor adquire uma opção de compra bem “dentro do dinheiro”²² e as taxas de juros do mercado estão altas (DAMODARAN, 2012).

Uma opção de compra (*call*) concede ao seu detentor o direito de comprar um determinado ativo a um preço fixo até uma data de vencimento especificada. Se nesta data o preço do ativo subjacente for menor que o preço de exercício, a opção não será exercida e expirará sem valor. Por outro lado, se o preço do ativo subjacente for maior que o preço de exercício a opção de compra será exercida. Neste caso o detentor da opção poderá comprar o ativo pelo preço de exercício, sendo o lucro da operação representado pela diferença entre o

²² Uma opção de compra cujo preço de exercício está bem abaixo do preço de mercado, ou seja, com alta probabilidade de ser exercida.

valor do ativo subjacente e o preço de exercício subtraído do valor pago inicialmente pelo direito à opção (BLACK; SCHOLES, 1973; DAMODARAN, 2012).

Uma opção de venda (*put*) concede ao seu detentor o direito de vender um determinado ativo a um preço fixo até uma data de vencimento especificada. Se nesta data o preço do ativo subjacente for maior que o preço de exercício, a opção não será exercida e expirará sem valor. Por outro lado, se o preço do ativo subjacente for menor que o preço de exercício, a opção de venda será exercida. Neste caso o detentor da opção poderá vender o ativo pelo preço de exercício, sendo o lucro da operação representado pela diferença entre o preço de exercício da opção e o preço do ativo subjacente subtraído do valor pago inicialmente pelo direito à opção (BLACK; SCHOLES, 1973; DAMODARAN, 2012).

O valor de uma opção é determinado por variáveis relacionadas ao ativo subjacente e ao mercado financeiro. O Quadro 5 apresenta um resumo dos efeitos provocados nas opções quando ocorre uma variação nestas variáveis.

Aumento em	Valor da opção de compra	Valor da opção de venda
Valor do ativo subjacente	Aumenta	Diminui
Preço de exercício	Diminui	Aumenta
Variância do ativo subjacente	Aumenta	Aumenta
Tempo para o vencimento	Aumenta	Aumenta
Taxa de juros	Aumenta	Diminui
Pagamento de dividendos	Diminui	Aumenta

Quadro 5: Resumo das variáveis que afetam o preço das opções de compra e de venda

Fonte: Adaptado de Damodaran (2012)

Os modelos de precificação de opções são de fundamental importância para compreender a Teoria das Opções Reais, sendo os mais importantes e mais usados o modelo binomial e o modelo de Black e Scholes.

3.2.1 Modelo binomial²³

O modelo binomial de precificação de opções é baseado na premissa de que os preços do ativo podem assumir apenas dois valores no tempo, descrevendo movimentos de valorização (subida) ou desvalorização (descida) através de momentos discretos no tempo.

²³ Baseado em Cox, Ross e Rubinstein (1979).

Também foi definido que a taxa de retorno de uma ação em cada período pode assumir dois valores possíveis: $(u-1)$ com probabilidade q , ou $(d-1)$ com probabilidade $(1-q)$. Assim, se o valor atual da ação é S , ao final do período seu valor poderá ser uS ou dS , podendo ser representado da seguinte forma:

$$S \begin{cases} uS - \text{com probabilidade } q \\ dS - \text{com probabilidade } 1-q \end{cases}$$

Para precificar uma opção de compra dessa ação com valor atual S cujo vencimento se dará a apenas um período à frente considera-se que C é o seu valor corrente, C_u será o seu valor ao final do período se a ação for para uS , e C_d será o seu valor se a ação for para dS . Sabendo que K é o valor de exercício da opção de compra pode-se afirmar que os valores possíveis para a opção de compra serão os seguintes:

$$C \begin{cases} C_u = \max[0, uS-K] \text{ com probabilidade } q \\ C_d = \max[0, dS-K] \text{ com probabilidade } 1-q \end{cases}$$

O modelo binomial utiliza o conceito de um portfólio ²⁴ composto por Δ ações e uma quantia B em títulos emprestados ou tomados a uma taxa r (taxa de juros livre de risco). Este portfólio terá o custo de $\Delta S + rB$, e ao final do período terá o seguinte valor:

$$\Delta S + rB \begin{cases} \Delta uS + rB - \text{com probabilidade } q \\ \Delta dS + rB - \text{com probabilidade } 1-q \end{cases}$$

Supondo que foram escolhidos Δ e B de forma que o valor de C seja dado pela Equação 8 e ao final de um período, o valor de C seja obtido pela Equação 9.

$$C = \Delta S + B \quad [8]$$

$$\Delta uS + rB = C_u; \Delta dS + rB = C_d \quad [9]$$

Então, o valor dessas variáveis pode ser calculado usando a Equação 10.

²⁴ Copeland e Antikarov (2003) sugerem que este portfólio seja chamado de portfólio replicante.

$$\Delta = \frac{(Cu - Cd)}{(u - d)S} ; B = \frac{(uCd - dCu)}{(u - d)(1 + r)} \quad [10]$$

O preço da opção pela árvore binomial é calculado de forma regressiva, ou seja, de trás para frente, partindo da data de vencimento até o presente momento. A Equação 11 foi formulada para calcular o valor da opção de compra.

$$C = \frac{[pCu + (1 - p)Cd]}{(1 + r)} \quad [11]$$

O modelo de Cox et al. (1979) assume as seguintes premissas: 1) a taxa de juros é constante durante o período de vigência da opção; 2) indivíduos podem emprestar e tomar emprestado qualquer quantia de dinheiro a essa taxa de juros; 3) não há taxas, custos de transações ou margens requeridas e 4) não há pagamento de dividendos no período de vigência da opção. Assim, o modelo binomial pode ser desenvolvido a partir das Equações 12 e 13.

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}; d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = \frac{1}{u} \quad [12]$$

$$p = q = \frac{(1 + r\Delta t - d)}{(u - d)} \quad [13]$$

Onde u e d são respectivamente as taxas de subida e descida do preço do ativo para o próximo nó da árvore binomial com probabilidades p e $(1-p)$, σ é a volatilidade do ativo medida pelo desvio padrão, r é a taxa livre de risco e Δt é o intervalo de tempo ou passo da árvore binomial. As equações 9,10 e 11 assumem a hipótese de que o intervalo de tempo ou passo da árvore binomial possa ser dividido em subintervalos menores que o tempo da taxa de juros tornando $\Delta t < 1$. Assim, a opção de compra pode ser calculada usando a Equação 14.

$$C = \frac{[pCu + (1 - p)Cd]}{(1 + r\Delta t)} \quad [14]$$

Aplicando-se os conceitos e equações apresentadas anteriormente é possível construir uma árvore binomial para uma determinada opção apresentando as diferentes alternativas que podem ser verificadas nos preços da ação subjacente (ativo) durante a vigência da opção. Como os preços das ações podem apresentar uma infinidade de valores no futuro, quanto maior o número de subperíodos ou passos melhor será a estimativa do preço da opção.

Análise semelhante pode ser aplicada à precificação das opções de vendas, diferenciando apenas no fato de que para esta opção o valor é definido pela diferença entre o

preço de exercício (*strike*) e o valor da ação adjacente (ativo), conforme mostra o diagrama a seguir:

$$P \begin{cases} Pu = \max[0, K - uS] \text{ com probabilidade } q \\ Pd = \max[0, K - dS] \text{ com probabilidade } 1 - q \end{cases}$$

Analogamente o preço da opção de venda também pode ser obtido pela formulação de Cox et al. (1979) conforme a Equação 15.

$$P = \frac{[pPu + (1 - p)Pd]}{(1 + r\Delta t)} \quad [15]$$

A Figura 1 apresenta um exemplo de utilização do modelo binomial para cálculo do valor de uma opção de compra tipo “Europeia” com tempo de vida de 1 ano subdividido em seis passos.

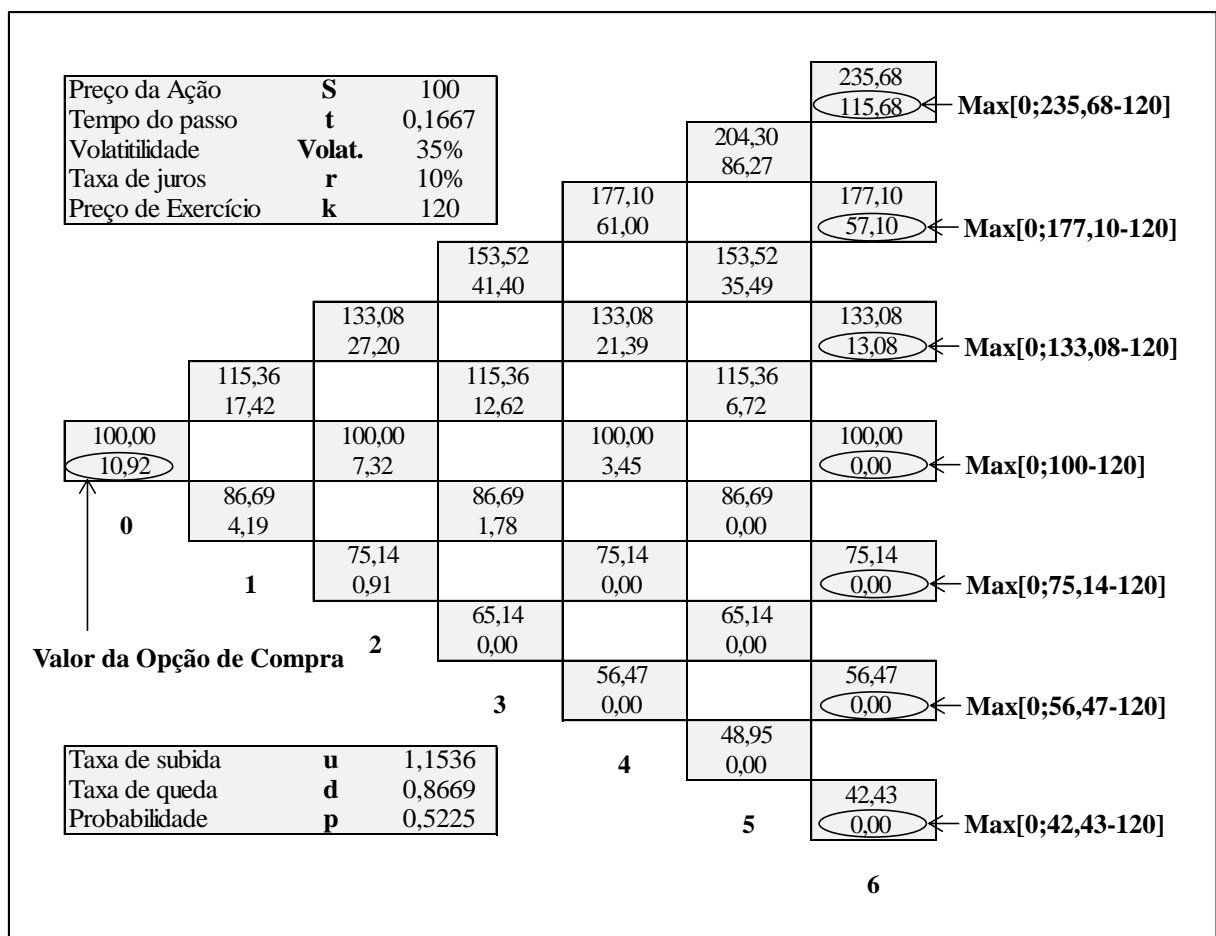


Figura 1: Cálculo do valor de uma opção de compra usando o modelo binomial

Fonte: Adaptado de Brandão (2000)

O modelo binomial também é muito utilizado para promover um melhor entendimento do modelo Black & Scholes de apreçamento de opções, porém uma das suas grandes utilidades está na precificação de opções tipo “Americana”, que podem ser exercidas a qualquer momento.

3.2.2 Modelo de Black & Scholes ²⁵

Black e Scholes (1973) desenvolveram o modelo de precificação de opções partindo do processo de subdivisão contínua em prazos cada vez menores de forma que mais variações nos preços das ações pudessem ser calculadas formando uma distribuição chamada lognormal.

Esse modelo assume condições ideais no mercado de ações e opções: 1) a taxa de juros de curto prazo é conhecida e constante através do tempo; 2) o preço da ação é aleatório e contínuo no tempo com variância proporcional ao quadrado do preço da ação; 3) a distribuição dos possíveis valores para o preço da ação ao final de um período finito é lognormal; 4) a variância dos retornos da ação é constante; 5) a ação não paga dividendos ou qualquer outra distribuição; 6) a opção é do tipo “Europeia”, ou seja, pode ser exercida somente no vencimento; 7) não há custos de transação ao comprar ou vender ações ou opções; 8) é possível tomar emprestado qualquer fração do preço de um ativo para comprá-lo à taxa de juros de curto prazo e 9) não há penalidades para vendas a descoberto.

Sob tais premissas o valor de uma opção depende apenas do preço da ação e do tempo até o exercício (vencimento), bem como de outras variáveis que são tomadas como constantes (taxa de juros, preço de exercício e variância do preço da ação), conforme mostram as Equações 16, 17 e 18.

$$w(x, t) = xN(d_1) - ce^{r(t-t^*)}N(d_2) = xN(d_1) - ce^{-rt}N(d_2) \quad [16]$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{x}{c}\right) + \left(r + \frac{v^2}{2}\right)(t^* - t)}{v\sqrt{t^* - t}} = \frac{\ln\left(\frac{x}{c}\right) + \left(r + \frac{v^2}{2}\right)t}{v\sqrt{t}} \quad [17]$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{x}{c}\right) + \left(r - \frac{v^2}{2}\right)(t^* - t)}{v\sqrt{t^* - t}} = \frac{\ln\left(\frac{x}{c}\right) + \left(r - \frac{v^2}{2}\right)t}{v\sqrt{t}} \quad [18]$$

²⁵ Baseado em Black e Scholes (1973) e Merton (1973).

Onde $w(x,t)$ é o valor da opção de compra, x é o preço da ação subjacente, $N(d)$ é a função densidade acumulada de probabilidade de d , c é o preço de exercício da opção, r é a taxa de juros, t é o tempo até o exercício da opção (vencimento) e σ^2 é variância do preço da ação.

Ao aplicar o modelo de Black & Scholes para calcular o valor da opção de compra ilustrada na Figura 1 foi encontrado o valor de 10,59, enquanto pelo modelo binomial de 6 passos o valor dessa mesma opção foi calculado em 10,92.

3.3 Teoria das opções reais

Brealey, Myers e Marcus (2007) apresentam um caso de flexibilidade no plano de investimento da empresa FedEx ²⁶. Para tanto, descrevem que no ano 2000 a companhia americana FedEx adquiriu junto à fabricante de aviões Airbus dez unidades da aeronave modelo *A380 Superjumbo Transport Planes* ²⁷ para serem entregues no período de 2008 a 2011. Se o negócio de transporte aéreo de cargas para longas distâncias da FedEx continuasse a expandir, eles precisariam de mais aeronaves desse tipo, porém restavam dúvidas sobre isso. Então, ao invés de comprar as aeronaves, a FedEx assegurou um lugar na linha de produção da Airbus adquirindo uma opção de compra de uma quantidade adicional de aeronaves por um preço predeterminado. Tal opção não obrigava a FedEx a expandir seus negócios, mas lhe dava a flexibilidade de fazê-lo caso julgasse conveniente no futuro. O que de fato caracteriza essa estratégia é a opção de postergar a decisão de investir no presente.

Para Dixit e Pindyck (1994), o VPL é baseado em algumas premissas implícitas que são comumente negligenciadas, pois assume que: ou o investimento é reversível, ou seja, pode ser de alguma forma desfeito e os desembolsos recuperados caso as condições de mercado revelem-se piores do que aquelas inicialmente planejadas; ou o investimento é irreversível, e esta proposta é do tipo “agora ou nunca”, o que significa que se a empresa não investir agora não poderá fazê-lo no futuro.

Trigeorgis (1996) argumenta que a realização dos fluxos de caixa provavelmente será diferente da expectativa de quem tomou a decisão de investimento, uma vez que o mercado é caracterizado por mudanças, incertezas e interações competitivas. Então, à medida que novas

²⁶ Empresa americana de transporte expresso internacional.

²⁷ Avião com capacidade de transportar até 100 toneladas de carga por voo.

informações tornam-se conhecidas, e as incertezas sobre as condições de mercado e os futuros fluxos de caixa são resolvidas, os investidores passam a valorizar a flexibilidade de alterar a estratégia operacional inicial com o intuito de aproveitar futuras oportunidades ou de reagir e mitigar possíveis perdas.

Dixit e Pindyck (1995) argumentam que, o reconhecimento de uma oportunidade de investimento como uma opção de compra contribui para que os gestores entendam a função crucial da incerteza na definição do momento ideal de tomar a decisão de investimento, pois a irreversibilidade da decisão de investimento atribui um valor significativo à possibilidade de adiá-la. O Quadro 6 apresenta a relação entre as variáveis determinantes no valor das opções reais, a forma de atuação e o efeito.

Variável	Atuação	Efeito
Valor presente dos fluxos de caixa do projeto (valor do ativo subjacente)	Também aumentará o VPL do projeto sem flexibilidades, o que produz um aumento no valor das opções reais	Aumenta
Valor dos investimentos (preço de exercício)	Reduzirá o valor do VPL do projeto sem flexibilidades, o que reduz o valor das opções reais	Diminui
Tempo de vida da opção	Um tempo maior para expirar a opção permitirá um maior entendimento das incertezas acerca do projeto, o que produz um aumento no valor das opções reais	Aumenta
Incerteza sobre o valor presente do projeto (volatilidade)	Um ambiente com flexibilidades gerenciais e um incremento nas incertezas aumentará o valor das opções reais	Aumenta
Taxa livre de risco	Um aumento na taxa livre de risco aumentará o valor das opções reais, uma vez que ela aumentará o valor do dinheiro no tempo ao adiar o investimento	Aumenta
Saídas de caixa (dividendos)	O aumento das saídas de caixa para investidores diminui o valor das opções reais	Diminui

Quadro 6: Variáveis que determinam o valor das opções reais

Fonte: Adaptado de Copeland, Kolle e Murrin (2000)

Copeland e Antikarov (2003) definem uma opção real como sendo o direito, mas não uma obrigação, de realizar uma ação (adiar, expandir, contrair ou abandonar) a um preço de exercício predeterminado por um período de tempo predeterminado.

3.3.1 Tipos de opções reais

A decisão de investimento pode ser tomada com maior segurança caso haja possibilidade de visualizar flexibilidades no projeto, conseqüentemente os investidores devem

ter a opção de adiar, expandir, contrair, abandonar ou efetuar qualquer alteração no projeto nos vários estágios por ele assumidos durante seu tempo de vida (TRIGEORGIS, 1996). O Quadro 7 apresenta um resumo dos principais tipos de opções.

Opção	Descrição	Importância	Referências
Adiar o investimento em um projeto	Equivale a uma opção de compra americana onde o preço de exercício é o valor do investimento inicial no projeto. Pode ser encontrada na grande maioria dos projetos onde o investidor pode esperar por algum tempo até que o cenário econômico justifique o investimento	Muito útil na decisão de investimentos em grandes projetos como na indústria da extração de recursos naturais, construção de imóveis e indústria de papel e celulose	McDonald e Siegel (1986); Paddock et al. (1988); Tourinho (1979); Titman (1985); Ingersoll e Ross (1992)
Abandonar o projeto	Equivale a uma opção de venda americana, pois o investidor pode tomar a decisão de interromper permanentemente as operações do projeto se as condições de mercado mudarem severamente para pior, vender os ativos no mercado de usados e abandonar o projeto	Muito útil na decisão de investimentos em indústria de capital intensivo como companhias aéreas, construção de rodovias ou ferrovias e lançamento de produtos em mercados incertos	Myers e Majd (1990)
Expandir o investimento em um projeto	Equivale a uma opção de compra americana, pois se as condições de mercado são mais favoráveis que as expectativas então o investidor pode expandir a escala de produção ou aumentar a utilização dos recursos	Muito útil em investimento na indústria de exploração de recursos naturais como a mineração e em indústrias caracterizadas cíclicas	Trigeorgis e Manson (1987); Pindyck (1988); McDonald e Siegel (1985); Brennan e Schawartz (1985)
Contrair os investimentos em um projeto	Equivale a uma opção de venda americana, pois se as condições de mercado apresentam adversidades o investidor pode reduzir a escala de produção. Em casos extremos pode até interromper a produção e retomá-la num momento mais oportuno	Muito útil em indústrias como a moda e bens de consumo, bem como na construção de imóveis comerciais	Trigeorgis e Manson (1987); Pindyck (1988); McDonald e Siegel (1985); Brennan e Schawartz (1985)

Quadro 7: Principais tipos de opções reais

Fonte: Adaptado de Trigeorgis (1996)

Há diversos outros tipos de opções reais que resultam de combinações ou modificações desses quatro tipos básicos, como a opção de crescimento (*Growth option*) muito útil em pesquisa e desenvolvimento ou a opção de mudar (*option to switch*), que é

composta por portfólios de opções de compra e de venda tipo americana, pois permite ao investidor mudar por um custo fixo entre dois modelos de operação. Se os preços ou a demanda mudarem, a empresa pode mudar a saída da produção usando as mesmas entradas, ou então, produzir os mesmos produtos com diferentes entradas. (COPELAND; ANTIKAROV, 2003).

3.3.2 Precificação de opções reais

Brandão (2002) propõe que a flexibilidade oferecida ao investidor pelo uso das opções reais facilita a decisão de investimento, porém para encontrar o valor que esta flexibilidade atribui ao projeto é preciso modelar adequadamente o problema. Como ilustração do quanto as opções reais podem atribuir valor a um projeto, exemplifica a avaliação de um projeto em dois cenários distintos, um sem considerar as flexibilidades e outro, considerando o efeito das flexibilidades. A Figura 2 ilustra a árvore de decisão formada para o projeto hipotético.

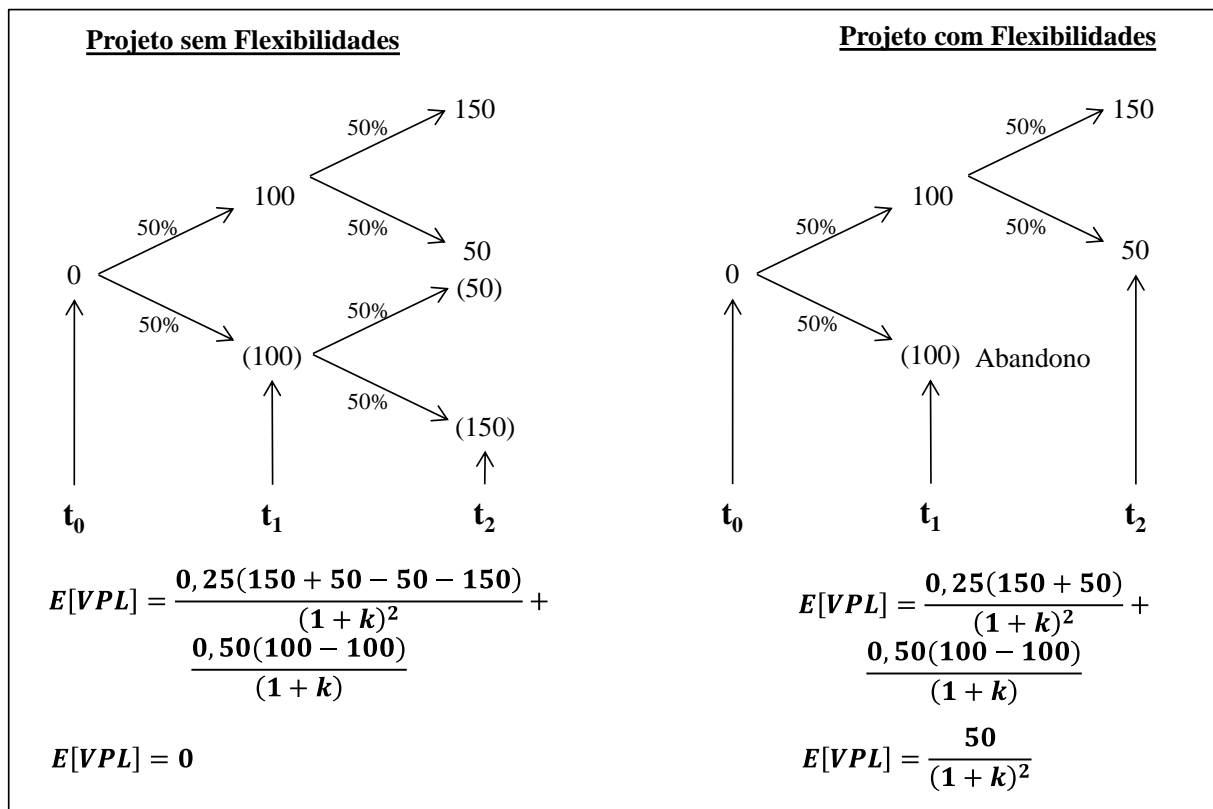


Figura 2: Expectativa do VPL de um projeto sem e com flexibilidades

Fonte: Adaptado de Brandão (2000)

Este projeto apresenta as seguintes características: 1) investimento inicial é zero; 2) a duração do projeto é igual a dois períodos; 3) no final não há valor residual dos ativos e 4) A

taxa de desconto é igual a K . Em seguida a seguinte flexibilidade foi inserida no projeto: 1) opção de abandonar o projeto ao final do primeiro período; 2) o critério de decisão será o resultado do período 1, quando negativo será exercida a opção de abandono; 3) a opção de abandono é uma oportunidade que pode ser vista como uma opção de venda e 4) esta opção de venda possui preço de exercício igual a zero e será exercida caso o resultado do projeto seja menor que zero.

Com este simples exemplo usando o cálculo do valor presente de um projeto considerando a introdução da flexibilidade, Brandão (2000) mostrou que: 1) a simples presença da opção aumenta o Valor do Projeto, independente da taxa de desconto utilizada, pois elimina os fluxos de caixa negativos; 2) a magnitude deste aumento dependerá da taxa de desconto utilizada; 3) a existência da opção de abandono diminui a dispersão dos resultados, o que reduz a variância e o risco do projeto e 4) em consequência disso, a taxa de desconto a ser utilizada na presença de opções deve ser menor do que a taxa de desconto do projeto sem a opção. Copeland e Antikarov (2003) definem que, pela teoria das opções reais, o valor da opção é igual à diferença entre o valor presente do projeto com flexibilidades e o valor do mesmo sem flexibilidades, portanto, esta opção de abandono tem o valor de $50/(1+k)^2$.

Para a resolução de problemas envolvendo opções reais Copeland e Antikarov (2003) defendem o uso de árvores binomiais com a técnica do portfólio replicante, enquanto Brandão et al. (2005a) propõem o uso de árvores binomiais em conjunto com a técnica da probabilidade neutra a risco. Embora a técnica da probabilidade neutra a risco apresente maior eficiência computacional quando comparado com o portfólio replicante, ambas as técnicas produzem resultados praticamente idênticos (MUN, 2007).

3.3.3 Portfólio replicante²⁸

O portfólio replicante assume a hipótese de que é possível encontrar um título no mercado que possua um fluxo de caixa perfeitamente correlacionado com o projeto em avaliação e, por conseguinte, também possuem o mesmo beta. A este título correlato é dado o nome de “*twin security*”. A composição deste portfólio é dada por m unidades da ação com valor S do “*twin security*” e B unidades de um título aplicado à taxa livre de risco.

²⁸ Baseado em Copeland e Antikarov (2003).

A formação deste portfólio e a dinâmica dos valores envolvidos estão representadas na Figura 4, onde o S_u é valor assumido pela ação caso o seu preço suba com probabilidade q , S_d é valor assumido pela ação caso o seu preço caia com probabilidade $1-q$ e r é a taxa livre de risco. A Figura 3 apresenta graficamente a evolução do valor dos componentes do portfólio replicantes: a dinâmica dos preços da ação, dos rendimentos do título e do valor do portfólio replicante.

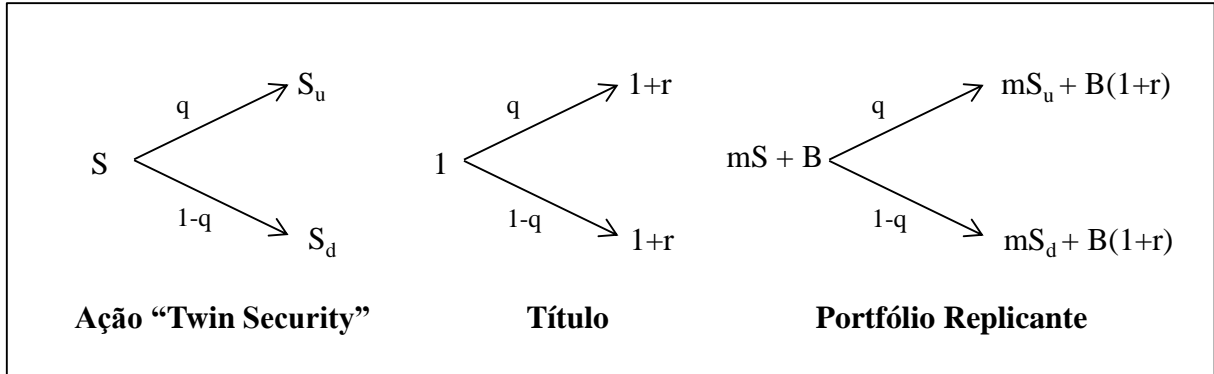


Figura 3: Evolução do valor dos componentes do portfólio replicante

Fonte: Adaptado de Brandão et al. (2005a)

Para que o valor deste portfólio replique o valor da opção real do projeto C_0 em cada estado (C_u e C_d), os valores das variáveis m e B devem ser calculados, sendo u um valor maior que 1 refletindo a proporção do aumento no valor da ação e $d=1/u$ um valor menor que 1 refletindo a proporção de decréscimo no valor da ação. As Equações 19, 20 e 21 são usadas para encontrar os valores de m e B .

$$m = \frac{C_u - C_d}{(u - d)S} \quad [19]$$

$$B = \frac{uC_d - dC_u}{(u - d)(1 + r)} \quad [20]$$

$$C_0 = mS + B \quad [21]$$

Copeland e Antikarov (2003) assumem a impossibilidade de se encontrar um título que se correlaciona perfeitamente com projeto e consideram que o valor presente dos fluxos de caixa sem considerar as flexibilidades é a melhor estimativa, não tendenciosa, para o valor de mercado do projeto. Essa premissa é chamada Marketed Asset Disclaimer e assume que o projeto sem opções é o próprio título de mercado que pode ser usado para formar os portfólios replicantes.

Brandão et al. (2005a) argumentam que o uso da premissa *MAD*²⁹ assumida por CA como a base para criar um mercado completo para um ativo que não é negociado pode levar a erros significativos, pois essa abordagem é baseada em premissas relacionadas ao valor do projeto, que não podem ser testadas no mercado. Defendem o uso da probabilidade neutra a risco para a precificação de projetos com opções, uma vez que cópias idênticas do projeto não estão disponíveis para serem negociadas no mercado.

3.3.4 Probabilidade neutra a risco³⁰

Se o valor da probabilidade de subida da ação q é conhecido, então a taxa de desconto k apropriada para o projeto pode ser encontrada resolvendo a relação entre o valor futuro esperado e o valor presente V_0 do projeto. A Equação 22 mostra essa relação, no entanto, ela depende das estimativas da probabilidade q e da taxa de desconto k .

$$V_0 = \frac{[qV_u + (1 - q)V_d]}{1 + k} \quad [22]$$

A abordagem pela probabilidade neutra a risco é uma segunda forma de precificar o valor do projeto com opções reais, ajustando-se as probabilidades de subida e descida ao invés de ajustar a taxa de desconto e, evitando a necessidade de estimar os valores de q e k . A taxa de desconto utilizada é a taxa livre de risco r . A Equação 23 calcula o valor do projeto.

$$V_0 = \frac{[pV_u + (1 - p)V_d]}{1 + r} \quad [23]$$

Analogamente o valor da opção real do projeto será dado pelas Equações 24 e 25.

$$C_0 = \frac{[pC_u + (1 - p)C_d]}{1 + r} \quad [24]$$

$$p = \frac{(1 + r) - d}{u - d} \quad [25]$$

Os valores de p e $(1-p)$ são conhecidos como probabilidade neutra a risco porque os ativos são precificados como se houvesse um risco neutro para o investidor com uma estimativa p de probabilidade de subida e $(1-p)$ de descida.

²⁹ Do inglês Marketed Asset Disclaimer.

³⁰ Baseado em Brandão et al. (2005a).

3.3.5 Opções reais em quatro passos ³¹

A modelagem de qualquer problema usando a Teoria das Opções Reais pode ser feita por meio de um processo composto por quatro passos. Copeland e Antikarov (2003) assumem que os parâmetros necessários para elaborar uma avaliação estão prontamente disponíveis e elencam algumas dificuldades para a efetiva utilização desse processo: 1) estimar a volatilidade de um projeto a partir de dados reais; 2) construir árvores de decisão e 3) construir modelos de planilhas que reflitam a complexidade das decisões do projeto sem complicar ou simplificar em demasia o problema.

O processo de quatro passos faz o uso de duas premissas para evitar complexidades indevidas, pois as mesmas tem o propósito de reduzir todas as fontes de incertezas a apenas uma. A primeira premissa define o uso do valor presente do ativo de risco subjacente (ou projeto) sem flexibilidades como o título de mercado para montar o portfólio replicante, conhecida como *MAD*, e a segunda define que os fluxos de caixa flutuam aleatoriamente, ou seja, independentemente do padrão esperado para os fluxos de caixa do projeto, as mudanças no seu valor presente seguirão por um caminho aleatório ao longo do tempo com volatilidade constante (COPELAND; ANTIKAROV, 2003).

Esta segunda premissa é também conhecida como Teorema de Paul Samuelson e permite combinar as incertezas em uma planilha usando simulação de Monte Carlo para produzir uma estimativa do valor presente de um projeto condicionado a um conjunto de variáveis aleatórias estimadas a partir de suas respectivas distribuições. Sucessivas iterações produzem uma estimativa do desvio padrão do retorno esperado do projeto, usada para calcular o valor do movimento de subida e descida na árvore binomial.

O primeiro passo trata-se de uma análise de VPL por técnicas tradicionais, onde todos os fluxos de caixa são projetados por toda a vida útil do projeto, ou em caso de investimentos em aquisição de empresas pelo período até iniciar a perpetuidade. Ao final do último passo deve ser verificado se o projeto apresenta o mesmo VPL quando avaliado sob a premissa de não haver flexibilidade.

O segundo passo é a construção de uma árvore de eventos baseada no conjunto de incertezas que, ao serem combinadas, produzem a volatilidade do projeto. Uma árvore de

³¹ Baseado em Copeland e Antikarov (2003).

eventos não contempla nenhuma decisão em sua construção, ao invés disso ela se propõe a modelar as incertezas que direcionam o valor do ativo de risco subjacente (projeto) ao longo do tempo. Na maioria dos casos essas múltiplas incertezas podem ser combinadas, via Análise de Monte Carlo, em uma única incerteza, a distribuição dos retornos do projeto.

O terceiro passo no processo de estimar o valor de uma opção é inserir as decisões a serem tomadas pelos gestores nos nós da árvore de eventos para torná-la uma árvore de decisões, modelando o conjunto de valores que o ativo de risco subjacente (projeto) assumirá ao longo do tempo de vida do projeto.

O quarto e último passo é a valoração dos retornos na árvore de decisões usando o método do portfólio replicante ou da probabilidade neutra a risco, ou seja, a atribuição de valor às flexibilidades encontradas no projeto, as opções reais.

O Quadro 8 apresenta um resumo dos quatro passos relativos ao processo de mapeamento e à análise de um projeto com flexibilidades que possa ser avaliado pela Teoria das Opção Reais.

Passo	Objetivo	Comentários
Encontrar o valor presente do projeto sem flexibilidades usando o método do VPL	Calcular o valor presente do projeto sem flexibilidades no momento $t=0$	Valor presente tradicional sem flexibilidades
Modelagem das incertezas usando árvore de eventos	Entender o comportamento do valor presente ao longo do tempo	Usando análise de Monte Carlo encontra-se a volatilidade do projeto
Identificar e incorporar flexibilidades gerenciais criando árvore de decisões	Analisar a árvore de decisões para identificar e incorporar flexibilidades gerenciais para responder a novas informações	As flexibilidades alteram as características de risco do projeto modificando o custo de capital
Conduzir a análise por opções reais	Valorar o projeto usando a Teoria das Opções Reais	Serão incluídos o valor do projeto sem flexibilidades somado ao valor das opções

Quadro 8: Resumo do processo de quatro passos

Fonte: Adaptado de Copeland e Antikarov (2003)

Para Copeland e Antikarov (2003) tão importante quanto a prescrição do que fazer quando implementar uma análise por opções reais é ter uma lista de coisas comumente feitas de forma equivocada: 1) assumir que a volatilidade do ativo de risco subjacente (projeto) é igual à volatilidade individual dos componentes do projeto; 2) não resistir à tentação de super complicar a análise com muitas incertezas ou muitas opções. Usualmente a volatilidade do projeto pode ser encontrada usando apenas duas ou três fontes de incertezas; 3) usar o modelo Black & Scholes para calcular o valor de opções como sendo uma aproximação de um modelo

geral, uma vez que o BS é o mais simples deles e assume uma série de premissas que o restringe a determinados casos e 4) usar a taxa de risco ajustada ao mercado para riscos relacionados ao mercado e taxa livre de risco para riscos independentes do mercado sem considerar que os riscos relacionados ao mercado não são constantes ao longo da árvore binomial.

A quantidade de passos que devem ser adotados para solucionar um problema com Opções Reais usando o modelo binomial é uma dúvida frequente nos trabalhos desenvolvidos. A resposta surge do fato de que opções apresentam sempre mais risco do que seu ativo subjacente, pois o valor presente dos fluxos de caixa esperados está razoavelmente distante no tempo e, ao serem descontados, tendem rapidamente a zero. Uma regra prática é ignorar os fluxos de caixa que excedam em mais de 15 anos no futuro, exceto para os casos onde os fluxos de caixa são fortemente apoiados em premissas de longo prazo.

3.3.6 Simulação de Monte Carlo

A simulação é um método analítico que procura imitar a vida real, especialmente quando outras análises são matematicamente muito complexas ou de reprodução extremamente difícil. Uma análise de risco pode ser elaborada com um sistema modelado em uma planilha e um simulador usado para variar o valor das entradas e analisar o efeito no valor das saídas, sendo a simulação de Monte Carlo um dos principais modelos usados para simulação em planilhas (MUN, 2007). Para Evan e Olson (2001), a simulação de Monte Carlo é um experimento amostral com o objetivo de estimar a distribuição de probabilidade das variáveis de saída com base em variáveis de entrada com comportamento baseado em uma distribuição de probabilidade conhecida. Por sua vez Law e Kelton (2000) a definem como sendo uma abordagem por números aleatórios para resolver um problema estocástico ou determinístico em que a variável tempo não apresenta relevância.

Mun (2006) argumenta que a importância das simulações está no fato de que uma simulação cria um grande número de cenários de um mesmo modelo de forma repetida usando como entrada valores de uma distribuição de probabilidade das variáveis do modelo. Todos esses cenários produzem resultados associados a eventos que produzem importantes

saídas para o modelo em simulação, podendo ser lucro líquido, valor presente do projeto, despesas brutas ou margem *EBITDA*.

De acordo com Copeland e Antikarov (2003), o processo de simulação de Monte Carlo inicia-se com a definição das premissas do modelo e em seguida, são ajustadas as autocorrelações entre as variáveis, depois definem-se as variáveis previstas e finalmente executa-se a simulação.

3.3.7 O VPL expandido ³²

A nova metodologia representada pela TOR possui uma ligação com a metodologia anterior representada pelo VPL, que se dá pelo VPL expandido (eVPL), que é a soma da avaliação determinística (VPL) com o valor das flexibilidades estratégicas (VP_{Flex}). A ligação entre as duas metodologias é mais bem entendida pelo fato de que o VPL pode ser considerado um caso especial da TOR, pois quando o projeto apresenta poucas incertezas, ou as flexibilidades encontradas são desprezíveis, o valor da volatilidade aproxima-se de zero, e assim o valor do eVPL se iguala ao VPL.

O VPL expandido ou eVPL oferece a dimensão do quanto o potencial do projeto foi melhorado com a introdução da análise de suas flexibilidades, assim tornando a Análise por Opções Reais uma técnica muito eficaz para conduzir a avaliação de projetos em condições de incerteza.

Para se chegar ao eVPL primeiramente calcula-se o valor presente das flexibilidades ou opções do projeto, o VP_{flex} , calculado a partir da Equação 26.

$$VP_{Flex} = VP_0 + ROA \quad [26]$$

Onde VP_0 é o valor presente dos fluxos de caixa do projeto sem flexibilidade e o ROA é o valor presente do projeto considerando as suas flexibilidades. O valor do ROA é o resultado de uma sucessão de decisões ótimas tomadas ao longo da árvore de decisões.

O valor da oportunidade do investimento pode ser traduzido como sendo o novo VPL (Valor Presente Líquido) resultante da soma do VPL tradicional com o valor das opções (flexibilidades), chamado de VPL expandido, sendo calculado pela Equação 27.

³² Baseado em Mun (2006).

$$eVPL = VPL + VP_{Flex} \quad [27]$$

Onde o eVPL é o valor presente líquido expandido, que considera o efeito das flexibilidades (opções) existentes no projeto, o VPL é o valor presente líquido calculado pelo método tradicional do Fluxo de Caixa Descontado e VP_{Flex} é o valor atribuído às flexibilidades do projeto.

3.3.8 Volatilidade

Brandão, Dyer e Hahn (2012), em artigo sobre a estimativa da volatilidade para modelos estocásticos de valorar projetos, afirmam que, para as decisões de orçamento de capital de projetos que apresentam flexibilidades, a ferramenta adequada de suporte à decisão é a análise por opções reais, que apresenta como ponto crítico a estimativa da volatilidade. Hull (1996, 2009) define a volatilidade de um ativo como sendo a medida da incerteza quanto aos retornos proporcionados por este, bem como afirma ser bem conhecida a relação entre volatilidade e o valor das opções reais.

Trigeorgis (1990) mostra que o acréscimo de 50% no valor da volatilidade resulta em um aumento de 40% no valor da opção real, enquanto Keswani e Shackleton (2006) encontram variações acima de 200% no valor de um projeto com opções reais quando a volatilidade varia de 10% para 30%. Paddock et al. (1988) e Trigeorgis (1996) defendem a premissa de que a volatilidade do ativo de risco subjacente e a do projeto são a mesma. Dixit e Pindyck (1994) usam a volatilidade do mercado de ações como *proxy*³³ para a volatilidade do projeto.

Copeland e Antikarov (2003) apresentam as abordagens histórica e subjetiva para estimar a volatilidade de um ativo ou projeto representado por uma árvore de eventos baseada em valores, chamadas de consolidada porque o produto resultante é uma estimativa de volatilidade construída a partir de várias incertezas (preço, quantidade, custos etc.). Estimativas dessas incertezas separadas são obtidas de dados históricos ou de estimativas subjetivas.

³³ Melhor estimativa disponível para representar uma variável do modelo em análise

O processo definido por Copeland e Antikarov (2003) para encontrar a volatilidade do projeto usando simulação de Monte Carlo segue os seguintes passos: 1) estimar o valor presente do projeto (PV) descontando os fluxos de caixa esperados pelo WACC; 2) modelar as fontes de incertezas (variáveis), capturando as autocorrelações de cada variável com ela mesma e com as outras variáveis, e decidindo como o intervalo de confiança das variáveis muda com o tempo e 3) usar simulação de Monte Carlo para gerar a distribuição de valores presentes do projeto, encontrando a volatilidade do projeto pelo desvio padrão dos retornos do projeto. A variável aleatória z é definida como o retorno do projeto entre o tempo 0 e o tempo 1, conforme definido por Brandão et al. (2005b) na Equação 28.

$$z = \ln\left(\frac{V_1}{V_0}\right) = \ln\left[\frac{C_1 + VP_1(C_2 + C_3 + \dots + C_n)}{V_0}\right] \quad [28]$$

Onde V_0 é o valor presente do projeto no ano 0, V_1 é o valor presente do projeto no ano 1, C_i é fluxo de caixa estocástico no período i e n é o número de períodos. Os valores de V_0 e V_1 podem ser obtidos, respectivamente, pelas Equações 29 e 30.

$$V_0 = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1 + WACC)^i} \quad [29]$$

$$V_1 = C_1 + \sum_{i=2}^n \frac{C_i}{(1 + WACC)^{i-1}} \quad [30]$$

Sendo que o **WACC** é a taxa de desconto que representa o custo de oportunidade do investimento. Durante o processo de simulação o valor de V_0 é constante, calculado com os valores projetados deterministicamente para as variáveis do projeto, enquanto o valor de V_1 é variável a cada uma das sucessivas iterações.

A Figura 4 apresenta a estrutura do método de Monte Carlo sendo usada para combinar diversas fontes de incertezas em apenas uma para estimar a volatilidade do projeto. Cada amostra de um conjunto de parâmetros gera uma estimativa do valor presente de um projeto ou ativo (VP).

Brandão et al. (2012) advertem que a abordagem CA ³⁴ apresenta um problema ao usar a simulação de Monte Carlo para estimar a volatilidade do processo MGB quando o ativo subjacente é o valor de um projeto sem flexibilidades, pois conforme pré-anunciado por Smith

³⁴ Proposta por Copeland e Antikarov (2003).

(2005), a volatilidade encontrado por este método é superestimada e pode produzir uma avaliação por opções reais com valores acima dos verdadeiros.

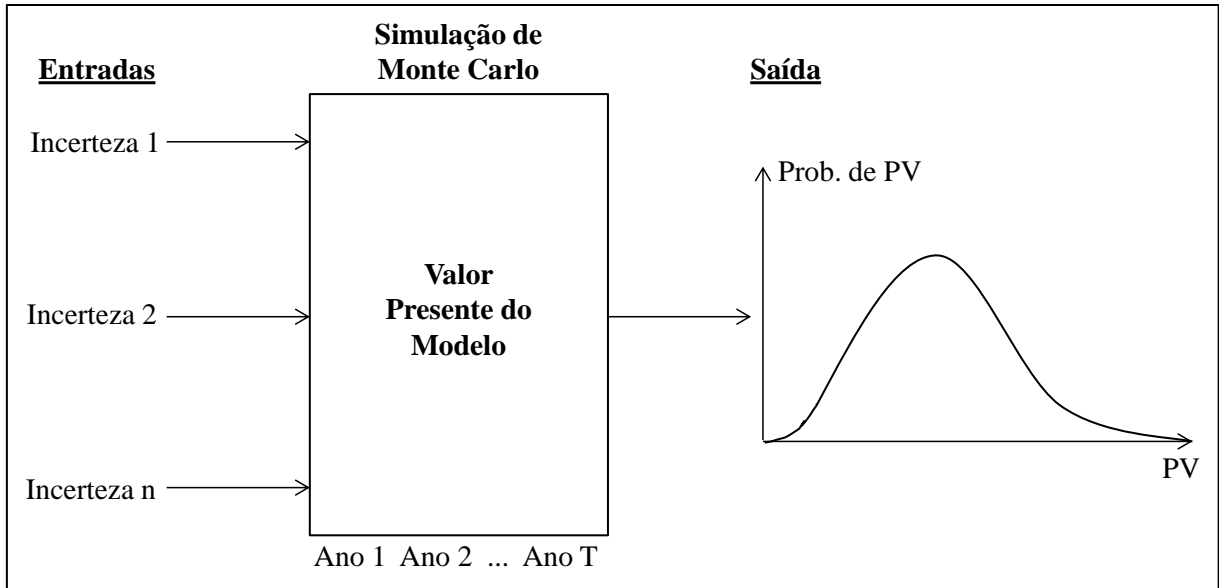


Figura 4: Estrutura do método de Monte Carlo

Fonte: Copeland e Antikarov (2003)

Smith (2005) sugere que uma melhor estimativa para o valor da volatilidade do projeto pode ser obtida usando a Equação 31 apresentada por Brandão et al. (2005b), em que foi inserida uma modificação na simulação da variável z considerando que apenas o fluxo de caixa do período 1, representado pela variável C_1 , seja estocástico e os demais fluxos de caixa (C_2, C_2, \dots, C_n) sejam condicionados aos valores assumidos por C_1 , variável que representa o fluxo de caixa do período 1.

$$z = \ln \left(\frac{V_1}{\bar{V}_0} \right) = \ln \left[\frac{C_1 + VP_1 [E_1(C_2) + \dots + E_1(C_n) | C_1]}{\bar{V}_0} \right] \quad [31]$$

Onde $E_1(C_i) | C_1$ é o valor esperado para o fluxo de caixa C_i no período i condicionado a C_1 , valor do fluxo de caixa do período 1.

4 A TELEFONIA MÓVEL NO BRASIL

A Lei Geral de Telecomunicações (Brasil. Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997) conceitua os serviços de telecomunicações como sendo “um conjunto de atividades que possibilita a oferta de telecomunicação”, entendida como “a transmissão, emissão ou recepção, por fio, radioeletricidade, meios ópticos ou qualquer outro processo eletromagnético, de símbolos, caracteres, sinais, escritos, imagens, sons ou informações de qualquer natureza”.

Para o Ministério das Comunicações (2013), as políticas para as telecomunicações têm como meta principal atender ao cidadão, observando os seguintes objetivos: 1) assegurar o acesso individualizado de todos os cidadãos a pelo menos um serviço de telecomunicação e à modicidade das tarifas; 2) garantir o acesso a todos os cidadãos à rede mundial de computadores (Internet); 3) assegurar o atendimento às necessidades das populações rurais; 4) estimular o desenvolvimento dos serviços de forma a aperfeiçoar e a ampliar o acesso de toda a população às telecomunicações, sob condições de tarifas e de preços justos e razoáveis; 5) promover o desenvolvimento e a implantação de formas de fixação, reajuste e revisão de tarifas dos serviços, por intermédio de modelos que assegurem relação justa e coerente entre o custo do serviço e o valor a ser cobrado por sua prestação, assegurado o equilíbrio econômico-financeiro do contrato; 6) garantir o atendimento adequado às necessidades dos cidadãos, relativas aos serviços de telecomunicações com garantia de qualidade e 7) organizar o serviço de telecomunicações visando à inclusão social.

Nesse cenário, o Programa Nacional de Banda Larga (PNBL) foi criado pelo Decreto nº 7.175, de 12 de maio de 2010 com o objetivo de “expandir a infraestrutura e os serviços de telecomunicações, promovendo o acesso pela população e buscando as melhores condições de preço, cobertura e qualidade”, com meta de proporcionar o acesso à banda larga a 40 milhões de domicílios brasileiros até 2014 à velocidade mínima de 1 Mbps ³⁵. O Programa é constituído de uma série de ações que buscam viabilizar esse objetivo, sendo que uma das principais é a licitação da faixa de frequência de 2.500 MHz ³⁶, que possibilitará a oferta de banda larga móvel de alta velocidade (4G) e a de 450 MHz, que será voltada para ampliação do atendimento de áreas rurais por serviços de telefonia e de internet banda larga.

³⁵ Megabit por segundo, representa a velocidade de uma conexão de comunicação de dados

³⁶ Mega Hertz, representa a frequência em ciclos por segundo

O Quadro 9 apresenta um resumo das principais tecnologias adotadas em cada geração da comunicação móvel no Brasil.

Geração	Tecnologia	Significado	Características
1G	AMPS	Advanced Mobile Phone Service	Padrão dominante na primeira geração de celular
2G	TDMA	Time Division Multiple Access	Padrão desenvolvido para aumentar a capacidade do sistema AMPS
	CDMA	Code Division Multiple Access	Revolucionou a comunicação entre terminal móvel e ERB
	GSM	Global System for Mobile Communication	Rede otimizada para tráfego dos serviços de voz
2,5 G	GPRS	General Packet Radio Services	Evolução do GSM para permitir serviços de dados
	EDGE	Enhanced Data rate for GSM Evolution	Mais uma evolução do GSM/GPRS rumo à terceira geração
3G	WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access	Padrão de terceira geração
	HSPA	High Speed Packet Access	Evolução do WCDMA que permite serviços de dados em alta velocidade
	HSPA+ LTE	High Speed Packet Access Plus Long Term Evolution	Evolução do HSPA Evolução do 3G como preparação para o padrão de quarta geração
4G	LTE-A	Long Term Evolution Advanced	Padrão genuíno de quarta geração

Quadro 9: Gerações e tecnologias de comunicação móvel

Fonte: Adaptado de Teleco (2013)

No Brasil, a tecnologia de comunicação móvel já passou por diversas evoluções, tendo seu início na década de 90 com as redes analógicas de tecnologia AMPS e depois, na segunda metade da década, evoluiu-se para as redes digitais com as tecnologias TDMA e CDMA. Finalmente entrou no novo milênio migrando grande parte das redes para o mundialmente utilizado GSM e em pequeno número para o CDMA 2000. Na segunda metade da primeira década do milênio a tecnologia móvel deu um salto e foram disponibilizadas ao consumidor as redes 3G com tecnologia WCDMA. No entanto, o grande salto evolutivo viria com a consolidação do 3G e com o surgimento das redes de quarta geração, o 4G, com tecnologia LTE no início dessa década (TELECO, 2013).

O Gráfico 1 apresenta um mapa consolidado das tecnologias de comunicação móvel no Brasil no período de março de 2011 a setembro de 2013. Observa-se uma queda na base de clientes que utilizam a rede GSM em contrapartida ao crescimento da base de clientes 3G. Nos últimos 12 meses a rede GSM apresentou queda de 12% na base de clientes contra um crescimento na rede 3G na ordem de 50%, refletindo uma tendência de migração dos serviços de uma tecnologia para outra.

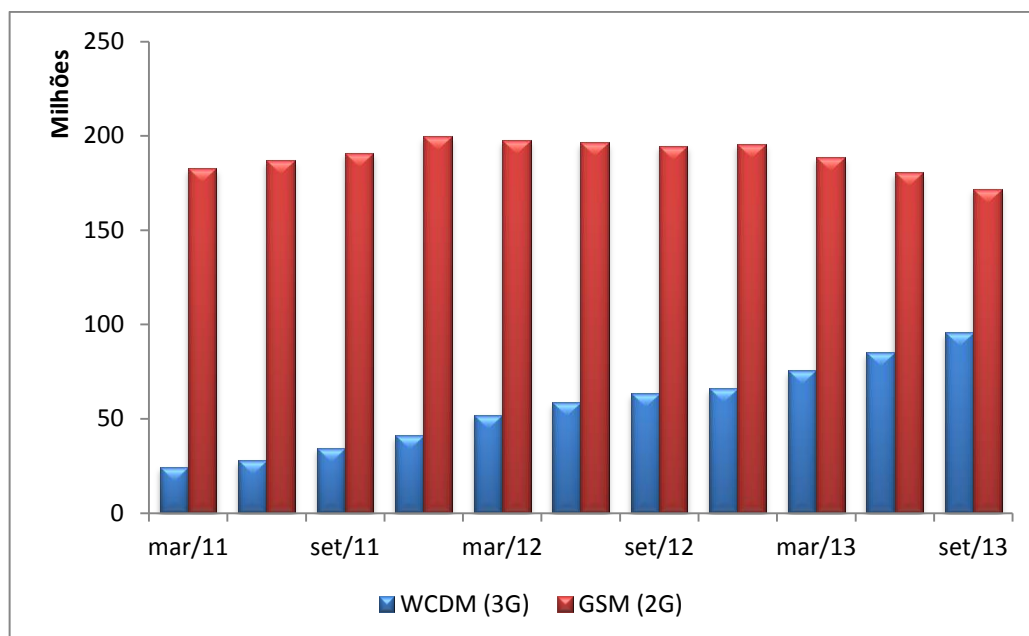


Gráfico 1: Base de clientes consolidada por tecnologia de comunicação móvel
Fonte: Adaptado de Anatel (2013)

Em 2007, a Anatel promoveu o leilão da faixa de frequência em 1900/2100 MHz para a exploração dos serviços móveis de terceira geração ou 3G, adotando-se predominantemente o padrão WCDMA/HSPA. Embora a Anatel tenha alocado essas frequências para implantação das redes 3G não havia nenhum impedimento para se utilizar outras faixas de frequências para 3G, levando várias operadoras a usarem a frequência em 850 MHz para esta finalidade. O Gráfico 2 apresenta uma comparação entre as velocidades médias teóricas obtidas na comunicação entre uma ERB (Estação Rádio Base) e o dispositivo móvel por tipo de tecnologia de comunicação móvel.

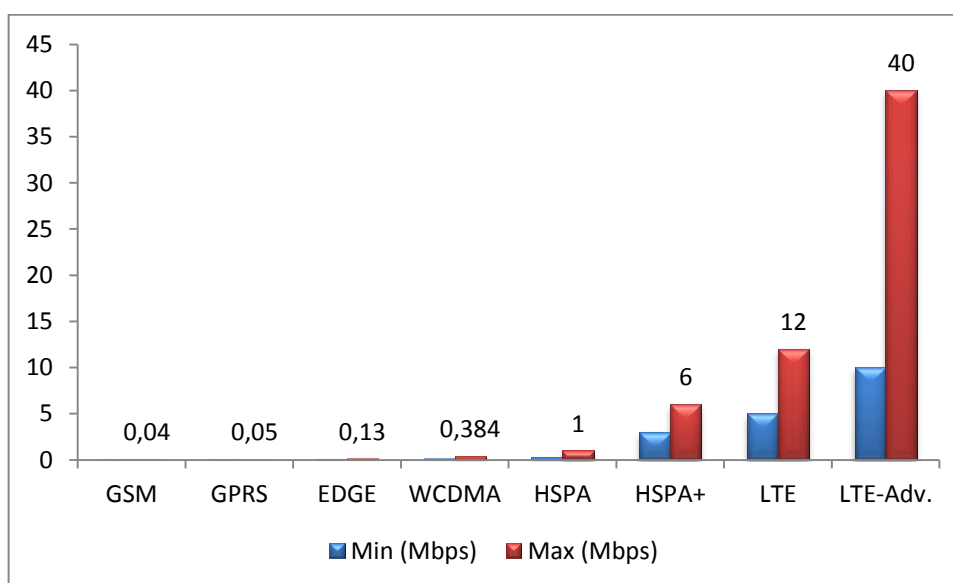


Gráfico 2: Comparação entre as velocidades de acesso por tecnologia
Fonte: Adaptado de Teleco (2013)

Teleco (2013) e Telereseach Labs (2012) defendem que o lançamento dos serviços usando as redes 4G produzirá um novo movimento de migração para esta tecnologia e acelerará a saída de clientes do GSM (2G) para o 3G, que a partir de 2015 passa a ser a principal tecnologia de comunicações móveis do Brasil.

Após 5 anos do início da exploração dos serviços 3G no Brasil, a Anatel realizou em 2012 a licitação da faixa de frequência de 2500 MHz destinada à exploração dos serviços 4G, sendo o *LTE* a tecnologia predominante no mundo para exploração desses serviços. As empresas que adquiriram estas frequências foram Vivo, Tim, Claro, Oi, Sky e Sunrise.

A licitação para o serviço móvel pessoal prevista no edital número 004/2012/PVCP-SPV da ANATEL foi realizada conforme a seguinte cronologia: 1) consulta pública do Edital: 25/01 a 05/03/12; 2) aprovação do Edital: 12/04/12; 3) publicação do edital: 26/04/12; 4) aquisição do edital: 24/04 a 05/06/12; 5) respostas a pedidos de esclarecimento: 25/05/2012; 6) entrega de propostas: 05/06/12; 7) leilão: 12/06/12; 8) adjudicação dos vencedores: 22/06/12 e 9) assinatura dos termos de autorização: dia 16/10/12.

Os participantes da licitação ofereceram R\$ 2,93 bilhões pelo direito de uso dessas radiofrequências atingindo um ágio médio de 31,27% em relação aos valores mínimos dos lotes colocados em disputa. A faixa de 450 MHz não recebeu nenhum lance isoladamente. Assim, a Anatel ofertou-a em conjunto com os lotes da faixa de 2,5 GHz de âmbito nacional. Basicamente o resultado do leilão foi: **Vivo** arrematou o lote "X" por R\$ 1,05 bilhões; **Claro** o lote "W" somado a outros 19 lotes regionais por um total de R\$ 988,8 milhões; **TIM** venceu o lote "V1" e adquiriu mais 6 lotes regionais pelo total de R\$ 382,2 milhões; **Oi** (incluída a Brasil Telecom) arrematou o lote "V2" somado a outros 11 lotes regionais por um total de R\$ 399,8 milhões; **Sky** ficou com 12 lotes por R\$ 90,5 milhões e **Sunrise** investiu R\$ 19,0 milhões em dois lotes (TELECO, 2013).

Conforme previsto no edital número 004/2012/PVCP-SPV da ANATEL as operadoras que adquiriram as faixas de frequência em 2.500 MHz com cobertura nacional, denominadas faixas W, X, V1 e V2, terão de atender aos seguintes compromissos: 1) oferta de acessos rurais em 450 MHz; 2) cobertura utilizando as faixas adquiridas; 3) cobertura usando a tecnologia 3G e 4) utilização de Tecnologia Nacional.

O Quadro 10 mostra os principais compromissos previstos no edital de licitação 004/2012/PVCP-SPV, que, de acordo com Anatel (2012), estabelece a ordem cronológica para o uso da frequência de 2.500 MHz com prazos finais para atendimento, como até 30 de

abril de 2013 para todas as sedes ³⁷ da Copa das Confederações 2013 e até dezembro de 2013 todas as sedes e subsedes ³⁸ da Copa do Mundo 2014. Ainda estabelece o compromisso de atender 24% dos municípios brasileiros, cuja população esteja abaixo de 30 mil habitantes e ainda não sejam atendidos com banda larga móvel, com cobertura 4G em 2.500 MHz ou oferta com tecnologia equivalente ou superior ao 3G.

Prazo	Compromisso
05/06/2012	Entrega das propostas
12/06/2012	Leilão da frequência de 2,5 GHz
22/06/2012	Adjudicação dos vencedores
16/10/2012	Assinatura dos termos de autorização
30/04/2013	4G em todas as cidades sede da Copa das Confederações
31/12/2013	4G em todas as sedes e subsedes da Copa do Mundo
31/05/2014	4G em todas as capitais e municípios com pop. acima de 500 mil habitantes
30/06/2014	Telefonia e banda larga rural em 1/6 dos municípios
31/12/2014	Telefonia e banda larga rural em 1/6 dos municípios
31/12/2015	4G em todos os municípios com pop. acima de 200 mil habitantes e telefonia e banda larga rural em 1/6 dos municípios
31/12/2016	Atendimento com 4G a todos os municípios com pop. acima de 100 mil habitantes
31/12/2017	4G em todos os municípios com pop. entre 30 e 100 mil habitantes, telefonia e banda larga rural em 1/2 dos municípios e 3G ou 4G em 30% de 24% dos municípios com população abaixo de 30 mil habitantes
31/12/2018	3G ou 4G em 30% de 24% dos municípios com população abaixo de 30 mil habitantes
31/12/2019	3G ou 4G em 40% de 24% dos municípios com população abaixo de 30 mil habitantes

Quadro 10: Compromissos previstos no edital de licitação 004/2012/PVCP-SPV

Fonte: Adaptado de Anatel (2012)

Outro compromisso assumido pelas empresas foi o uso de tecnologia nacional na aquisição de bens, produtos, equipamentos e sistemas de telecomunicações e de redes de dados com tecnologia nacional nos seguintes percentuais mínimos: 1) entre 2012 e 2014 pelo menos 60% dos investimentos na proporção de 50% PPB ³⁹ e 10% tecnologia desenvolvida no país; 2) entre 2015 e 2016 pelo menos 65% dos investimentos na proporção de 50% PPB e 15% tecnologia desenvolvida no país e 3) entre 2017 e 2022 pelo menos 70% dos investimentos na proporção de 50% PPB e 20% tecnologia desenvolvida no país (ANATEL, 2012).

³⁷ Cidades que receberão jogos da Copa das Confederações e da Copa do Mundo.

³⁸ Cidades que receberão equipes que participarão da Copa do Mundo.

³⁹ Processo Produtivo Básico

5 METODOLOGIA DA PESQUISA

5.1 Tipologia do estudo

Silva e Menezes (2001) definem pesquisa como um conjunto de ações, propostas para encontrar a solução para um problema, que têm por base procedimentos racionais e sistemáticos. A pesquisa é realizada quando se tem um problema e não se tem informações para solucioná-lo. O Quadro 11 apresenta as formas clássicas de classificação de uma pesquisa.

Classificação	Tipo de Pesquisa	Descrição	Referências
Natureza	Básica	Objetiva gerar conhecimentos novos úteis para o avanço da ciência sem aplicação prática prevista. Envolve verdades e interesses universais.	Silva e Menezes (2001)
	Aplicada	Propósito de gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdade e interesses locais.	
Abordagem	Quantitativa	Considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las. Adota o uso de procedimentos estatísticos.	Silva e Menezes (2001)
	Qualitativa	Considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. Não requer o uso de procedimentos estatísticos.	
Objetivos	Exploratória	Prover ao pesquisador maior conhecimento sobre o tema ou problema de pesquisa.	Gil (2001)
	Explicativa	Necessidade de estabelecer a relação de causa e efeito entre as variáveis de decisão e as resultantes.	
	Descritiva	Possui objetivos bem definidos, procedimentos formais bem estruturados e dirigidos para a solução de problemas ou avaliação de alternativas de cursos de ação.	

Quadro 11: Classificação da pesquisa

Fonte: Adaptado de Silva e Menezes (2001) e Gil (2001)

Esta pesquisa é classificada quanto à natureza como aplicada, sobretudo porque se propõe a gerar conhecimentos para aplicações práticas dirigidas à solução de problemas

específicos, além de apresentar uma abordagem quantitativa, pois adota o uso de procedimentos estatísticos. Quanto aos objetivos é classificada como sendo uma pesquisa descritiva, com objetivos bem definidos dirigidos à solução de um problema. Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, é classificada como estudo de caso, pois envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento.

5.2 O Projeto de investimento

O projeto de investimento escolhido para ser avaliado pela metodologia das Opções Reais é o projeto de telefonia móvel 4G no Brasil, com início em 2012 com a licitação pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) da faixa de frequência de 2.500 MHz. As quatro empresas selecionadas nesse estudo (Claro, Vivo, TIM e Oi) adquiriram as faixas de frequência com abrangência nacional e terão seus projetos analisadas por essa metodologia, possibilitando uma comparação dos fatores prós e contra de cada empresa.

O escopo dos quatro projetos é o mesmo, ou seja, o atendimento ao edital de licitação número 004/2012/PVCP/SPV com a implantação de redes de acesso móvel 4G em todo o território nacional conforme cronograma previsto.

5.2.1 O tempo da avaliação

Esta pesquisa definiu que as avaliações dos quatro projetos serão elaboradas considerando os fatos e eventos econômicos da época em que ocorreu o leilão da frequência de 2.500 MHz, ou seja, no dia 22/06/2012 após a adjudicação dos vencedores do leilão, pois as empresas ainda teriam a opção de desistirem do projeto antes do dia 16/10/2012, data da emissão dos termos de autorização, caso julgassem inviável tal investimento.

5.3 As premissas do projeto

As premissas consideradas na análise desse projeto compõem os fundamentos do processo de avaliação, pois a partir de sua formulação o projeto pode melhorar sua

atratividade para o investidor. O Quadro 12 apresenta um resumo das premissas adotadas para projetar os fluxos de caixa.

Tipo	Premissa	Fundamentação
Macroeconômica	Câmbio Inflação PIB	Projeções baseadas no relatório Focus do BACEN (Banco Central do Brasil)
Tributárias	PIS/Cofins ICMS Fust/Funtel IRPJ e CSLL	Projeções baseadas nos relatórios contábeis das empresas, bem como no edital de licitação 004/2012/PVCP-SPV da Anatel
Financeiras	Margem <i>EBITDA</i> Capital de giro Custo de capital	Projeções definidas de acordo com o histórico de cada empresa
Mercadológicas	Mercado potencial Penetração do mercado Market Share Preço por produto	Baseado no cronograma de entrada por cidade estabelecido no edital de licitação 004/2012/PVCP-SPV da Anatel, no relatório LTE Profit Mantras e no histórico de preços de produtos 3G por empresa
Técnicas	Energia elétrica Aluguel Custos de manutenção Investimentos	Baseado no relatório LTE Profit Mantras, nos dados históricos por empresa, no benchmark com empresas do setor e do mercado, cotações de preços com fornecedores, dados técnicos divulgados pela Anatel

Quadro 12: Premissas adotadas no modelo

Fonte: Elaborado pelo autor

5.3.1 Premissas macroeconômicas

As premissas macroeconômicas foram inseridas no modelo com o objetivo de refletir os efeitos da conjuntura econômica do país e do mundo nos fluxos de caixa, baseadas no relatório de mercado Focus de 29/06/2012 e no relatório de inflação de junho de 2012, ambos emitidos pelo BACEN⁴⁰.

De acordo com o BACEN (2012) a projeção da taxa de câmbio, medida pela relação entre o Real brasileiro (R\$) e o Dólar americano (US\$), segue uma tendência de desvalorização da moeda brasileira indicando que a paridade com a moeda americana passará para um novo patamar, passando do valor registrado em junho de 2012 (R\$ 1,87 por US\$) para R\$ 2,07 / US\$ no final de 2012 e R\$ 2,15 / US\$ no final de 2013. Assim, a projeção da cotação da moeda americana para os próximos 3 anos manteve a tendência de alta e para o restante do período de projeção ficou estabilizada em um novo patamar na ordem de 30% acima do atual.

⁴⁰ Banco Central do Brasil.

As projeções de inflação medidas pelo IPCA⁴¹ seguiram inicialmente os estudos estatísticos desenvolvidos pelo BACEN (2012, p.35) para o final do ano de 2012, 2013 e 2014.

A evolução da inflação acumulada em doze meses, de acordo com os cenários de referência e de mercado até o segundo trimestre de 2014, e a trajetória de metas. Até maio de 2012, os valores referem-se à inflação ocorrida e, a partir de então, as trajetórias consideram projeções associadas aos respectivos cenários para a construção dos valores acumulados. Nos dois casos, as projeções indicam inflação acumulada em doze meses posicionando-se ao redor do valor central da meta ao longo de 2012. Ao longo de 2013, até o final do horizonte considerado, as projeções situam-se em patamares mais afastados da trajetória de metas, oscilando em torno de 5%.

A meta da inflação brasileira faz parte dos princípios de sustentação da estabilidade econômica nacional, por isso possui uma meta estipulada oficialmente em 4,5% com variação prevista em 2 pontos percentuais para mais ou para menos. Neste sentido, para a projeção da inflação para os anos subsequentes aos compreendidos no relatório de inflação do BACEN de junho de 2012, pois considerou-se que a inflação ficará dentro dessa meta estabelecida de 4,5%, sendo os 2% de variação, para mais ou para menos, o desvio padrão das projeção na simulação dos fluxos de caixa.

No relatório de inflação de junho de 2012 o BACEN informou que a projeção de crescimento para o PIB⁴² foi revisada de 3,5%, conforme divulgada nos dois últimos Relatórios de Inflação, para 2,5%. Essa nova estimativa incorpora os resultados do primeiro trimestre 2012 contendo dados preliminares referentes ao segundo trimestre, período em que a retomada da atividade vem ocorrendo de forma bastante gradual. A atualização do cenário macroeconômico para a segunda metade do ano considera que a produção agropecuária deverá recuar 1,5% no ano, a expansão anual do setor industrial para 2012 está estimada em 1,9%, o que representa uma redução de 1,8 pontos percentuais, e o crescimento projetado para o setor de serviços foi revisto de 3,3% para 2,8% (BACEN, 2012). A Tabela 1 apresenta uma amostra das projeções dos indicadores macroeconômicos entre 2012 e 2027.

Tabela 1: Amostra das projeções dos indicadores macroeconômicos

Indicadores Macroeconômicos	2012	2013	2014	2015	2016	2017	...	2027
R\$/US\$	2,07	2,15	2,25	2,35	2,45	2,50		2,50
Inflação (IPCA)	5,0%	5,7%	5,1%	4,5%	4,5%	4,5%		4,5%
PIB	2,5%	4,5%	3,5%	3,5%	3,5%	3,5%		3,5%

Fonte: Adaptado de BACEN (2012)

⁴¹ Índice de Preços ao Consumidor Amplo.

⁴² Produto Interno Bruto.

Esta pesquisa considerou que as projeções adotadas para os fluxos de caixa estimam que a taxa de câmbio inicie uma fase de crescimento até 2017 estabilizando em um patamar de R\$ 2,50 / US\$ 1,00. A projeção da taxa de inflação estabiliza-se no centro da meta a partir de 2015 e o crescimento do PIB assume até 2013 um comportamento de acordo com as projeções do BACEN para que nos anos seguintes se estabilize em 3,5%.

5.3.2 Premissas tributárias

As premissas tributárias definem as alíquotas, com base na legislação tributária vigente no Brasil, dos tributos que incidem sobre a receita bruta e sobre o lucro. Nesta pesquisa os fluxos de caixa evidenciam dois tipos específicos de tributação, com fatores geradores diferentes, sendo que o primeiro incide sobre a receita bruta formada a partir de vendas de produtos e serviços, e por isso também são conhecidos como impostos sobre vendas. Dentre eles estão Imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS), PIS/Cofins e Fust/Funtel. O segundo tipo incide sobre o lucro contábil, sendo eles o Imposto de Renda Pessoa Jurídica (IRPJ) e a Contribuição Social sobre o Lucro Líquido (CSLL). O Quadro 13 apresenta os tributos que devem ser recolhidos, o órgão responsável, o fator gerador do tributo e a respectiva alíquota.

Tributo	Órgão Responsável	Fator Gerador	Alíquota
PIS/Cofins	Receita Federal	Receita Bruta	3,65%
ICMS	Receitas Estaduais	Receita Bruta	25%
Fust/Funtel	Anatel	Receita Bruta	1,5%
IRPJ e CSLL	Receita Federal	Lucro Bruto	34%

Quadro 13: Tributos e alíquotas

Fonte: Adaptado dos relatórios contábeis das empresas

A receita líquida é obtida deduzindo os tributos sobre as vendas da receita bruta, sendo que o tributo Fust/Funtel incide sobre a receita bruta já deduzida do ICMS e PIS/Cofins, conforme expressa a Equação 32. Já o lucro líquido é obtido deduzindo as alíquotas de IRPJ e CSLL do lucro bruto, conforme mostra a Equação 33.

$$Receita\ Líquida = Receita\ Bruta (1 - ICMS - PIS_Cofins)(1 - Fust_Funtel) \quad [32]$$

$$Lucro\ Líquido = Lucro\ Bruto (1 - IRPJ_CSLL) \quad [33]$$

5.3.3 Premissas financeiras

Esta pesquisa definiu que os indicadores financeiros para o correto dimensionamento dos fluxos de caixa são: a margem *EBITDA*, o capital circulante líquido e o custo médio ponderado de capital.

O *EBITDA* representa o lucro antes de juros, impostos, depreciação e amortização e consegue traduzir o lucro da empresa apenas com as atividades operacionais, pois exclui do seu cálculo as despesas financeiras e despesas não desembolsáveis (depreciação, amortização e exaustão). Assaf Neto (2012, p.130) conceitua o *EBITDA* como:

O conceito de *Earning Before Interest, Taxes, Depreciation/Depletion and Amortization (EBITDA)*, amplamente usado na análise financeira como medida de capacidade de geração operacional de caixa, é determinado pela soma do lucro operacional (antes do Imposto de Renda) e as despesas não desembolsáveis (depreciação, basicamente). É um indicador financeiro equivalente ao fluxo operacional bruto de caixa, evidenciando a capacidade financeira da empresa em remunerar os proprietários de capital (credores e acionistas).

A margem *EBITDA* (resultado da relação entre o *EBITDA* e a receita líquida) será usada como a melhor estimativa para os custos operacionais do projeto, uma vez que estimar todos os custos incrementais oriundos do projeto traria um grande viés aos resultados, pois demandaria por informações cujo *benchmark* não está disponível.

O capital de giro corresponde ao ativo circulante de uma empresa e ao valor total de recursos necessários para a empresa financiar seu ciclo operacional (ASSAF NETO, 2012). Esta pesquisa usa a relação do capital circulante líquido (CCL ou capital de giro) e a receita líquida para identificar os investimentos em capital de giro necessários para o projeto em análise, obtida considerando os dados históricos de cada empresa constantes em seus últimos relatórios contábeis.

O custo de capital de uma empresa representa a remuneração mínima exigida pelos proprietários das fontes de recursos (credores e acionista), ou seja, é o custo de oportunidade do capital empregado na implantação de projetos na empresa (ASSAF NETO, 2012). Brealey, Myers e Marcus (2007) argumentam que o custo médio ponderado de capital (WACC) é a taxa de retorno que a empresa deve almejar em seus investimentos com risco médio, porém enfatizam que esta taxa é apropriada apenas para projetos que são uma cópia fiel dos negócios existentes na empresa. Esta pesquisa definiu o WACC como sendo a taxa de desconto para os fluxos de caixa calculado usando a metodologia do *CAPM* para estimar o custo de capital de cada uma das empresas.

A Tabela 2 apresenta um resumo com os principais indicadores financeiros usados na pesquisa. A Margem *EBTIDA* e a relação CCL/Receita Líquida foram obtidas pela média dos dados históricos de cada empresa enquanto o cálculo do WACC será detalhado na seção 5.4.7.

Tabela 2: Indicadores financeiros

Indicadores Financeiros	Claro	Vivo	TIM	Oi
Margem <i>EBTIDA</i>	25,06%	35,87%	26,44%	30,29%
CCL/Receita Líquida	2,42%	9,50%	8,43%	7,23%
WACC	11,60%	11,52%	11,41%	10,22%

Fonte: Resultados da pesquisa

5.3.4 Premissas mercadológicas

As premissas mercadológicas são usadas com o objetivo de estimar a receita incremental produzida pelo projeto, sendo necessário identificar os produtos que serão comercializados, o número de clientes por produto e o valor médio do serviço por cliente e por produto. Para esta pesquisa foram definidos 3 produtos a serem explorados e 5 variáveis para cada produto que possibilitarão estimar a receita incremental.

Os produtos que serão explorados pelo projeto são aqueles definidos explicitamente no edital da Anatel, ou seja, 4G móvel (celular 4G com acesso à Internet), banda larga 4G (semelhante ao acesso fixo à Internet) e telefonia fixa rural 4G (telefonia fixa com acesso à Internet para a área rural).

A definição do mercado potencial usou como referência os relatórios populacionais do IBGE (2013) baseado no Censo Demográfico de 2010, que divide a população por idade e por classes de consumo. Esta pesquisa definiu que, de acordo com a Teleresearch Labs (2012), o público alvo para os produtos 4G estão nas classes A, B e C e possuem entre 10 e 60 anos de idade. Fazendo um cruzamento do cronograma de implantação da rede móvel 4G estabelecido pela Anatel (2012) com o público alvo, obtém-se o mercado potencial em cada ano do projeto. A população urbana representa o mercado potencial para o produto 4G Móvel, o número de domicílios rurais representa o mercado potencial para o produto telefonia fixa rural 4G e o número de domicílios urbanos representa o mercado potencial para o produto banda larga 4G. O Gráfico 3 apresenta o mercado potencial dos produtos que serão explorados pelo projeto.

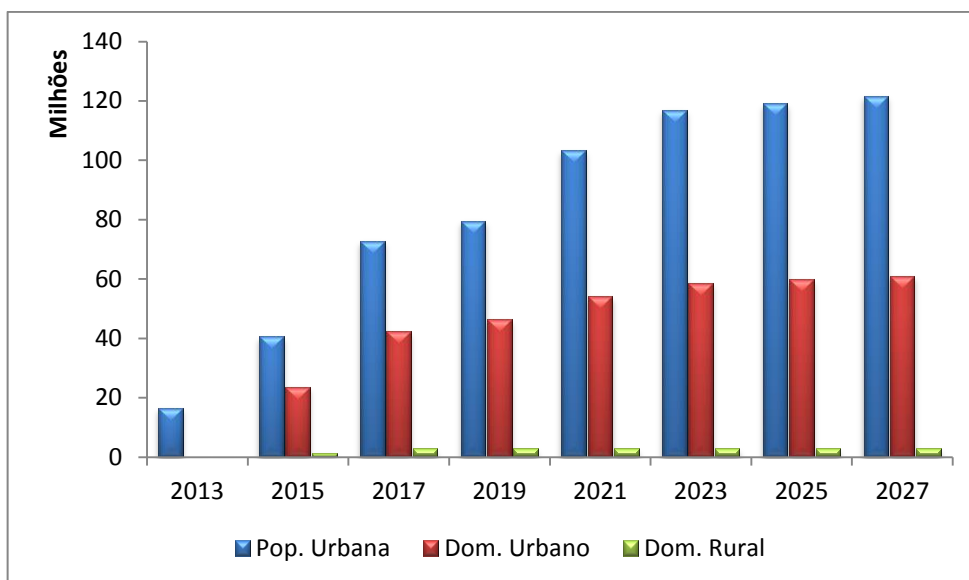


Gráfico 3: Mercado potencial entre o período de 2013 a 2027

Fonte: Adaptado de IBGE (2013) e Teleresearch Labs (2012)

A penetração do produto no mercado significa o percentual da população que irá adquirir o produto no referido ano. Esta pesquisa usou como referência a *Teleresearch Labs* (2012) e o benchmark da curva de penetração do 3G.

O *Market Share*⁴³, que cada empresa terá para os produtos, depende de fatores como qualidade dos serviços, atendimento, preço, propaganda e promoção. Sendo assim, cada empresa terá o *Market Share* que a mesma tinha no mês de junho de 2012 (momento zero deste *valuation*), exceto para o produto telefonia fixa rural com acesso à Internet, pois para este produto foi considerado a média do *Market Share* das empresas operadoras de telefonia fixa classificadas como *incumbent*⁴⁴. A Tabela 3 apresenta o *Market Share* definido por produto a ser explorado pelo projeto e por empresa.

Tabela 3: Market share por produto e por empresa

Produto	Claro	Vivo	TIM	Oi
4G Móvel	24,92%	29,08%	26,88%	18,81%
Banda Larga 4G	24,92%	29,08%	26,88%	18,81%
Telefonia Fixa Rural 4G	65,23%	65,23%	65,23%	65,23%

Fonte: Resultados da pesquisa

O preço de venda de um produto e a projeção de evolução desse preço ao longo do período de avaliação do projeto são fatores determinantes para a viabilidade ou não de um projeto. Esta pesquisa definiu que o produto 4G móvel começa a ser explorado em 2013 e o Banda Larga 4G, em 2014, ambos com preço médio de lançamento definido em R\$ 100,00

⁴³ Participação de mercado de uma empresa ou grupo dentro do seu mercado de atuação (KOTLER, 1999).

⁴⁴ Designa uma empresa que já atuava em um determinado mercado antes de sua abertura à concorrência.

(aproximadamente US\$ 50,00 usando a conversão vigente em junho de 2012) por acesso. Estes valores são resultado do benchmark com o mercado internacional apresentado pela *TeleResearch Labs* (2012) e apresentam queda anual que varia de 2% a 10% ao ano. A Equação 34 define a forma de cálculo do preço do produto no ano seguinte.

$$Preço_{t+1} = Preço_t(1 + IPCA_t)(1 - Queda_{t+1}) \quad [34]$$

Onde $Preço_{t+1}$ é o valor médio do produto no ano t+1, $IPCA_t$ é a inflação projetada pelo IPCA no ano t e $Queda_{t+1}$ é o percentual de queda projetado para o produto no ano t+1.

O produto Telefonia Fixa Rural 4G teve o preço inicial definido no edital e evolução crescente pela atualização do valor pela inflação registrada pelo IPCA no ano anterior. O valor definido por Anatel (2012, p.14) no edital de licitação número 004/2012/PVCP/SPV foi:

5.5.1.1. Plano de serviço de telecomunicações de voz pré-pago com preço igual ou inferior a R\$ 0,31600 por minuto para ligações locais, e plano de serviço de telecomunicações de voz pós-pago, com franquia mensal de 100 (cem) minutos com preço igual ou inferior a R\$ 31,60000 por mês, líquidos de tributos; e 5.5.1.2. Plano de serviço de telecomunicações de dados com taxa de transmissão de 256 kbps de download e de 128 kbps de upload, ou taxa de transmissão de 1 Mbps de download e 256 kbps de upload, de acordo com os compromissos e prazos dispostos no ANEXO II-B, com preço igual ou inferior a R\$ 32,59465 por mês, líquido de tributos.

Conforme consta no edital, o preço do produto líquido de impostos foi definido em R\$64,19, e com a tributação na receita bruta de 30,15% o valor inicial para esse produto foi de R\$ 70,82, com reajustes calculados pela Equação 35.

$$Preço_{t+1} = Preço_t(1 + IPCA_t) \quad [35]$$

Onde $Preço_{t+1}$ é o valor médio do produto no ano t+1 e $IPCA_t$ é a inflação projetada pelo IPCA no ano t.

5.3.5 Premissas técnicas

As premissas técnicas foram elaboradas com o objetivo de suportar a definição dos principais investimentos necessários para a operacionalização do projeto, bem como dos custos operacionais.

O espectro de frequência disponível medido em MHz é uma variável que indica a quantidade de clientes que podem ser atendidos simultaneamente com a mesma qualidade em

uma mesma ERB⁴⁵ (TELERESEARCH LABS, 2012). As empresas Vivo e Claro adquiriram as faixas W e X, ambas com espectro de 20 MHz, enquanto as empresas TIM e Oi adquiriram as faixas V1 e V2, ambas com espectro de 10 MHz. Na prática, Vivo e Claro podem atender uma maior quantidade de clientes que TIM e Oi em condições semelhantes. Para a expansão prevista nesta pesquisa com o futuro leilão da faixa de frequência de 700 MHz, a largura espectral será de 10 MHz para todas as empresas (ANATEL, 2013).

Os espaços físicos onde são montadas as torres para distribuição dos sinais da rede móvel 4G são locados de empresas especializadas em construção e manutenção de torres em áreas de grande concentração urbana, área rural, rodovias ou pequenas cidades. A definição deste custo de locação foi baseada no preço médio praticado por empresas especializadas.

Segundo especialistas técnicos, baseados em medições de campo e relatórios técnicos elaborado por fabricantes de equipamentos, o consumo médio de energia elétrica em KWh⁴⁶ de uma ERB é da ordem de 900 KWh por mês, o que produz um consumo anual de 10.800 KWh, pois os equipamentos permanecem em funcionamento durante todo o tempo. As variáveis que compõem este custo são o número de ERBs e o custo médio do KWh, que sofre variações de estado para estado, porém para esta pesquisa foi considerado o custo médio de tarifas das 7 maiores distribuidoras de energia elétrica do país segundo relatório da ANEEL⁴⁷.

Os custos com manutenção e suporte técnico compõem o custo total de propriedade, também conhecido como *TCO*⁴⁸, que representa o montante de recursos destinado a manter os ativos adquiridos para o projeto. Esta pesquisa definiu que o *TCO* para este projeto será 5% sobre o valor de aquisição de todos os ativos adquiridos.

Os investimentos necessários para o projeto foram dimensionados de acordo com as recomendações da *TeleResearch Labs* (2012) e com base na planta existente de cada operadora para a disponibilização dos serviços GSM e 3G. O principal direcionador dos investimentos é a quantidade de ERB (Estação de Radio Base) necessária para suportar a quantidade de clientes prevista com a qualidade exigida para o serviço 4G. O Gráfico 4 apresenta a projeção dos principais investimentos anuais durante os primeiros 8 anos para todas as empresas.

⁴⁵ Estação Rádio Base.

⁴⁶ Unidade de consumo de energia elétrica equivalente a 1.000 Watts durante uma hora.

⁴⁷ Agência Nacional de Energia Elétrica.

⁴⁸ Do inglês *Total Cost Ownership*.

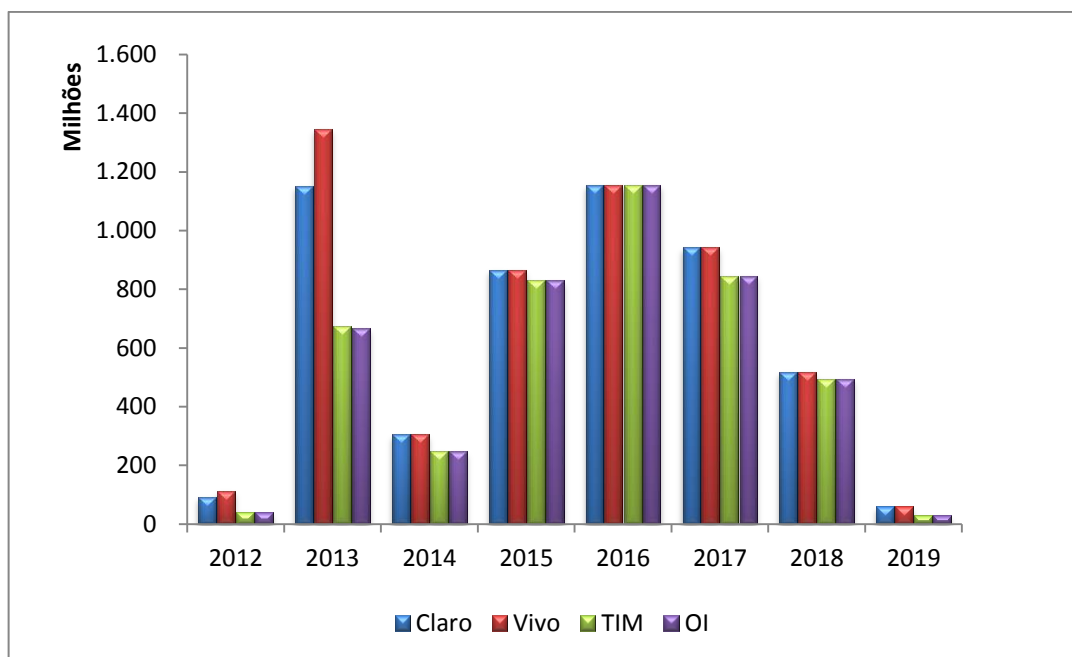


Gráfico 4: Projeção dos investimentos anuais

Fonte: Resultados da pesquisa

Os investimentos serão distribuídos ao longo dos primeiros 8 anos do projeto com a aquisição e implantação da rede móvel 4G em todo o Brasil. A partir do 9º ano de operação serão investidos valores suficientes para promover a renovação tecnológica de 10% da base instalada de ERBs. De acordo com a *TeleResearch Labs* (2012) as principais linhas de investimentos são *eNodeB* (ou ERB), *Network* (rede de acesso), *Core* (Núcleo de controle da rede) e o valor pago pelas licenças das faixas de frequência adquiridas.

5.4 Fluxos de caixa

A projeção dos fluxos de caixa foi elaborada considerando dois cenários para cada projeto ou empresa, refletido na pesquisa através de dois fluxos de caixa distintos, sendo o primeiro o fluxo de caixa base considerando a implantação do projeto na frequência adquirida de 2.500 MHz nos prazos estabelecidos pela Anatel (2012). Um segundo fluxo de caixa expandido foi elaborado considerando a implantação do projeto com a aquisição da faixa de frequência de 700 MHz no quarto ano do projeto sem a devolução da faixa de frequência de 2.500 MHz. Este fluxo de caixa será usado para identificar o valor da flexibilidade de expandir o projeto no quarto ano, sendo a diferença entre ele e o fluxo de caixa base a melhoria no resultado do projeto.

O Quadro 14 apresenta um resumo das ações necessárias para produzir os fluxos de caixa do projeto.

Ação	Objetivo
Definir o horizonte de projeções	Estabelecer o tempo de vida do projeto em anos limitando a quantidade de projeções
Projetar a receita líquida	Identificar a capacidade do projeto em gerar benefícios para a empresa
Calcular o resultado operacional	Identificar a geração líquida de caixa do projeto que será usada para pagar os investimentos
Definir os investimentos necessários	Apresentar os investimentos necessários para disponibilizar os serviços de telefonia móvel 4G
Elaborar o FCL do Projeto Base	Estabelecer a referência para cálculo do VPL do projeto sem flexibilidades
Elaborar o FCL do Projeto Expandido	Identificar as principais linhas de redução de custos e redução de investimentos
Definir a taxa de desconto	Calcular o custo médio ponderado de capital de cada empresa para descontar os fluxos de caixa

Quadro 14: Resumo das ações para produzir os fluxos de caixa

Fonte: Elaborado pelo autor

5.4.1 Horizonte de projeções e perpetuidade

O horizonte de projeções é o número de períodos usados para estimar os fluxos de caixa, e a perpetuidade é a definição de como os fluxos de caixa se comportarão após o final do período de projeção e, por consequência, o valor agregado pelo projeto ao negócio após esse período.

Em função de o projeto objeto desta pesquisa usar tecnologia de ponta para a prestação dos serviços propostos, e portanto, de ter uma vida útil relativamente curta, esta pesquisa definiu que o horizonte de projeções será exatamente igual ao período de validade da licença da faixa de frequência de 2.500 MHz adquirida junto à Anatel. Nessas condições o efeito da perpetuidade nos resultados do projeto foi considerado nulo, pois para continuar gerando receita e resultados após o final da concessão, os investimentos em renovação do parque tecnológico seriam praticamente os mesmos do projeto original, tornando essa renovação da concessão um outro projeto com características semelhantes.

5.4.2 Receita líquida

A projeção de receita líquida para cada empresa foi elaborada com base nas premissas mercadológicas e tributárias. Esta pesquisa definiu que todas as empresas comercializarão os mesmos produtos praticando o mesmo preço de venda por produto.

A evolução da base de clientes por produto é o primeiro passo para se chegar à receita bruta de uma empresa, e pode ser encontrada percorrendo os seguintes passos: 1) identificar o mercado potencial (potenciais consumidores) para cada um dos produtos definidos para o projeto; 2) identificar a penetração esperada para o mercado potencial, ou seja, a quantidade de consumidores que efetivamente vão adquirir cada um dos produtos definidos para o projeto; 3) definir o *Market Share* (fatia de mercado) previsto para cada um dos produtos definidos para o projeto e 4) calcular a base de clientes para cada produto e para cada ano usando a Equação 36.

$$\text{Base de clientes} = \text{Mercado Potencial} \times \text{Penetração} \times \text{Market Share} \quad [36]$$

O próximo passo é definir o preço de venda para cada produto e calcular a receita bruta para cada produto, conforme a Equação 37.

$$\text{Receita Bruta} = \text{Base de clientes} \times \text{Preço de Venda} \times 12 \quad [37]$$

Esta pesquisa definiu que a base de clientes dos produtos 4G móvel será uma evolução natural da própria base de clientes 3G, uma vez que os serviços usando a tecnologia 4G é uma evolução dos serviços que usam tecnologia 3G, enquanto a base de clientes dos produtos banda larga 4G e telefonia fixa rural 4G serão totalmente compostas por clientes novos. Assim, faz-se necessário encontrar a receita duplicada desse produto usando a Equação 38.

$$\text{Receita Duplicada} = \text{Base de clientes} \times \text{ARPU} \times 12 \quad [38]$$

O *ARPU* ⁴⁹ é a receita média por usuário e reflete o quanto cada cliente da empresa contribui para a formação da receita bruta da empresa, incluindo todos os serviços prestados. Portanto, produtos com preços maiores contribuem para aumentar esse valor e produtos com preços menores levam esse valor para patamares mais baixos. Definiu-se também que o *ARPU* das empresas será o valor registrado em junho de 2012 e projetado com valor constante durante todo o horizonte de projeções, valor justificado pela média histórica do *ARPU* das quatro empresas. Então, usando as premissas tributárias que definem os tributos e a forma de

⁴⁹ Do inglês *Average Revenue Per User*.

tributação sobre a receita bruta calcula-se a receita líquida por produto, conforme as Equações 39 e 40.

$$\text{Tributos Diretos} = (1 - \text{ICMS} - \text{Pis_Cofins})(1 - \text{Fust_Funtel}) \quad [39]$$

$$\text{Receita Líquida} = (\text{Receita Bruta} - \text{Receita Duplicada}) \times \text{Tributos Diretos} \quad [40]$$

A receita líquida apresenta uma evolução positiva em função do índice crescente de penetração dos produtos 4G no mercado, embora o preço médio por produto decresça com o tempo.

5.4.3 Resultado operacional

Assaf Neto (2012) argumenta que pela teoria da administração financeira os fluxos de caixa para as decisões de investimentos são apurados em termos de valores líquidos (após a dedução do Imposto de Renda) e admitindo que o projeto em avaliação seja integralmente financiado por capital próprio. Estabelece, então, que o fluxo de caixa operacional pode ser definido a partir da Equação 41.

$$\Delta FCO = \Delta LOP_B - (IR \times \Delta LOP_B) + \Delta DND \quad [41]$$

Onde ΔFCO é fluxo de caixa operacional incremental, ΔLOP_B é o lucro operacional bruto incremental, IR é a alíquota do Imposto de Renda e ΔDND são as despesas não desembolsáveis incrementais.

Uma vez definida a receita líquida das vendas, o próximo passo na construção dos fluxos de caixa é obter o resultado das operações, baseado na Equação 41 seguindo os seguintes passos: 1) considerar a margem *EBITDA* como referência para deduzir custos e despesas da receita líquida; 2) aplicar a margem sobre a receita líquida e obter o *EBITDA* incremental e 3) subtrair do *EBITDA* incremental os tributos sobre o lucro, ou seja, o Imposto de Renda Pessoa Jurídica e a Contribuição Social sobre o Lucro Líquido.

Os tributos sobre o lucro são calculados usando as premissas tributárias sobre o lucro bruto, entretanto, partindo do *EBITDA*, é necessário deduzir desse o valor referente às despesas não desembolsáveis como depreciação, amortização e exaustão. Para esse projeto foi considerado que as despesas não desembolsáveis são a depreciação dos investimentos em ativos, calculada em 10 anos para este tipo de tecnologia, e a amortização das licenças, definida em 15 anos pela Anatel (2012).

5.4.4 Investimentos

Os valores dos investimentos foram definidos com base em opiniões de especialistas do setor que afirmam que para a maioria das cidades com população acima de 200 mil habitantes no Brasil as operadoras de telefonia móvel já construíram uma rede com cobertura (número de ERBs instaladas) próxima da ideal para a exploração das tecnologias 2G usando a frequência de 1.800 MHz e 3G usando as frequências de 2.100 MHz. Conforme exposto nas premissas técnicas (item 5.3.5), a definição dos investimentos necessários para a realização do projeto foi direcionada pela quantidade de ERBs.

Para esses mesmos especialistas a quantidade de ERBs é função da população da cidade, da área em que essa população vive ou transita, da topologia do relevo (montanhoso ou plano) e da densidade de edificações verticais (prédios). Usando técnicas estatísticas de regressão linear concluiu-se que apenas a variável número de habitantes por cidade é suficiente para estimar uma cobertura ideal de rede ($R^2 = 96\%$), definida seguindo os seguintes passos: 1) com base nas determinações estabelecidas no edital número 004/2012/PVCP/SPV da Anatel foram elencadas as cidades a serem atendidas em cada ano; 2) usando os dados populacionais disponíveis em IBGE (2013) e as informações disponibilizadas pela Anatel (2013) sobre telefonia móvel para redes 2G (segunda geração) e 3G (terceira geração) por cidade do Brasil foi estabelecida a melhor cobertura de rede 2G/3G para as cidades com população acima de 200 mil habitantes e 3) fazendo uma regressão linear entre a melhor cobertura 2G/3G (número de ERBs) para as 135 maiores cidades brasileiras com relação população de cada uma dessas cidades foi encontrado o resultado estabelecido na Equação 42.

$$ERB = \frac{População}{10.085} \quad [42]$$

Onde ERB é a variável dependente da população e representa a melhor cobertura para uma rede 2G/3G.

A Tabela 4 apresenta o resultado detalhado da regressão linear usada para encontrar a melhor cobertura de rede 2G/3G para qualquer cidade do Brasil. Observa-se que a variável população explica em grande parte dos casos a variável ERB com um R^2 e R^2 ajustado acima de 95%, pois apresenta uma estatística-T muito alta e um valor-P muito próximo de zero, tornando a variável população estatisticamente significativa para explicar a variável ERB.

Tabela 4: Resultado da regressão ERB x População

<i>Regressão</i>	<i>Coefficiente</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Estat. T</i>	<i>Valor-P</i>	<i>R²</i>	<i>R² Ajustado</i>
População	0,000099154	0,0000017	57,41692	0,00000	96,07%	95,33%

Fonte: Resultado da pesquisa

Usando a Equação 42 obteve-se a quantidade de ERBs para a melhor cobertura de rede 2G/3G para as cidades com população inferior a 200 mil habitantes. Baseado nos dados de implantação de redes 4G apresentados pela *TeleResearch Labs* (2012), a cobertura ideal para uma rede 4G em frequência de 2.500 MHz em relação a uma cobertura de rede 2G/3G em frequência de 1.800 MHz é 50% maior, ou seja, a cobertura ideal de uma rede 4G para uma cidade de 100 mil habitantes demanda aproximadamente a instalação de 15 ERBs, enquanto para estabelecer a melhor cobertura em rede 2G/3G são necessárias 10 ERBs.

O Gráfico 5 apresenta um comparativo entre a quantidade de ERBs para um projeto de rede 4G com cobertura nacional conforme cronograma estabelecido pela Anatel em frequência de 2.500 Mhz em contraste com um projeto em frequência de 700 MHz, mostrando a redução significativa na quantidade de ERBs a partir de 2016, que reflete no volume de investimentos necessários para a implantação do projeto em 700 MHz.

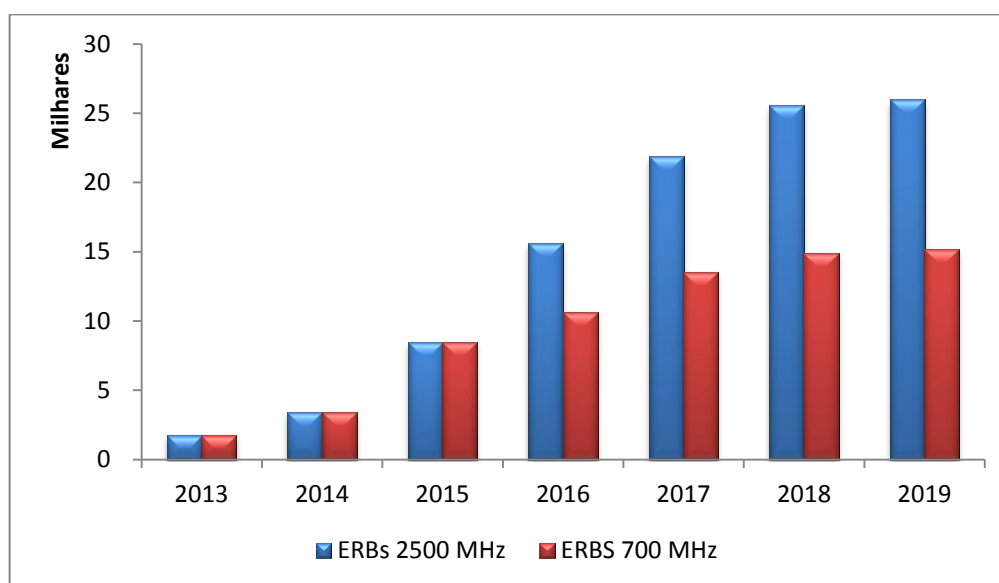


Gráfico 5: Quantidades de ERB para 4G em 700 MHz e 2.500 MHz

Fonte: Resultados da pesquisa

De acordo com a Teleresearch Labs (2012) a quantidade de ERBs necessárias para se obter uma cobertura ideal para uma rede 4G em frequência de 700 MHz em relação a uma cobertura de rede 2G/3G em frequência de 1.800 MHz é aproximadamente 50% menor. Assim, a cobertura ideal de uma rede 4G em 700 MHz para uma cidade de 100 mil habitantes demanda a instalação de aproximadamente 5 ERBs, enquanto para estabelecer a mesma

cobertura em 2G/3G são necessárias aproximadamente 10 ERBs. Uma vez calculada a quantidade de ERBs para atender cada etapa do cronograma estabelecido pela Anatel e considerando a estrutura para comportar a base de clientes projetada para cada ano, foram estimados todos os investimentos necessários.

5.4.5 Fluxo de caixa livre do projeto base

O fluxo de caixa livre é obtido subtraindo das projeções do resultado operacional o valor dos investimentos em ativos (CAPEX) e a variação no capital circulante líquido (Capital de Giro).

O valor dos investimentos em capital de giro foi definido como um percentual da receita líquida tendo como base os últimos balanços patrimoniais de cada empresa (2010 a 2012). A Tabela 5 apresenta o fluxo de caixa livre para a empresa Claro no período de 2012 a 2018, uma amostra dos fluxos de caixa elaborados para as quatro empresas durante todo o horizonte de projeção (2012 a 2027).

Tabela 5: FCL da empresa Claro entre 2012 e 2018

Fluxo de Caixa	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Receita Líquida		26,98	110,85	206,97	490,95	1.559,20	2.707,72
EBITDA Incremental		6,76	27,78	51,88	123,05	390,80	678,67
Projeção de IRPJ+CSLL		-0,22	22,65	24,79	29,95	-21,86	-87,67
Resultado Operacional		6,55	50,44	76,66	153,01	368,94	591,00
Investimentos (CAPEX)	-91,91	-1.151,30	-305,62	-865,16	-1.154,29	-943,27	-517,33
Variação CCL		-0,65	-2,03	-2,33	-6,87	-25,85	-27,79
Fluxo de Caixa Livre	-91,91	-1.145,41	-257,21	-790,82	-1.008,16	-600,18	45,88

Fonte: Resultado da pesquisa (valores em R\$ milhões)

Apenas a variação no montante de capital de giro é relevante para o fluxo de caixa, obtida considerando a diferença entre o montante de recursos destinado ao capital de giro do ano corrente subtraído do montante destinado ao ano anterior, conforme mostra a Equação 43.

$$\Delta CCL_t = CCL_t - CCL_{t-1} \quad [43]$$

Onde ΔCCL_t é a variação no capital circulante líquido no ano t, CCL_t e CCL_{t-1} são, respectivamente, os montantes em capital de giro nos anos t e t-1.

5.4.6 Fluxo de caixa livre do projeto expandido

O projeto expandindo considera a aquisição da faixa de frequência de 700 MHz em 2015 por todas as empresas. As projeções dos fluxos de caixa iniciam-se com a identificação dos principais custos que apresentam variação entre o projeto base e o projeto expandido, tendo sido identificadas três linhas de custos diretamente dependentes do número de ERBs: energia elétrica, manutenção e suporte técnico de equipamentos, e aluguel de torre e espaço físico.

O custo com energia elétrica foi baseado no custo médio do KWh praticado no Brasil pelas 7 maiores concessionárias em operação no Brasil, de acordo com ranking de distribuição de energia elétrica divulgado mensalmente pela ANEEL para junho de 2012, além da divulgação das tarifas de fornecimento de energia elétrica vigentes a cada período por empresa. Assim, as tarifas vigentes das empresas CPFL, Eletropaulo, Elektro, Light, CEMIG, COELBA e COPEL foram somadas aos tributos. A Tabela 6 apresenta a estrutura do cálculo elaborado para se estimar o valor do KWh de energia elétrica para o projeto.

Tabela 6: Estrutura do cálculo do valor médio das tarifas de energia elétrica

Empresa	KWh s/ Impostos	Alíquota	KWh Final
CEMIG	0,35	34,83%	0,53
CPFL	0,27	29,83%	0,39
Eletropaulo	0,24	29,83%	0,34
Light	0,31	29,83%	0,45
Elektro	0,31	29,83%	0,44
COELBA	0,29	29,83%	0,42
COPEL	0,26	29,83%	0,38
Média	0,29	30,54%	0,42

Fonte: Adaptado de ANEEL (2013)

A projeção dos custos com manutenção e suporte técnico de equipamentos foi baseada em *TeleResearch Labs* (2012) e estimada em 5% sobre o valor dos investimentos em equipamentos e instalações. Já os custos com aluguéis de torre e espaço físico foram projetados com base nos contratos vigentes no mercado de telecomunicações nacional considerando um valor inicial para 2013 de R\$3.000,00 por mês com correção anual desse valor pela taxa de inflação medida pelo IPCA.

A Tabela 7 apresenta o fluxo de caixa livre do projeto expandido para a empresa Claro no período de 2012 a 2018.

Tabela 7: FCL expandido da Claro entre 2012 e 2018

Fluxo de Caixa	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Receita Líquida		26,98	110,85	206,97	490,95	1.559,20	2.707,72
EBITDA Incremental		6,76	27,78	51,88	123,05	390,80	678,67
Redução de Custos		0,00	0,00	0,00	30,98	105,68	162,80
Projeção de IRPJ+CSLL		-0,22	22,65	24,79	19,42	-83,50	-172,27
Resultado Operacional		6,55	50,44	76,66	173,45	412,98	669,20
Investimentos (CAPEX)	-91,91	-1.151,30	-305,62	-865,16	-421,24	-1.041,72	-196,89
Variação CCL		-0,65	-2,03	-2,33	-6,87	-25,85	-27,79
Fluxo de Caixa Livre	-91,91	-1.145,41	-257,21	-790,82	-254,66	-654,59	444,52

Fonte: Resultado da Pesquisa (valores em R\$ milhões)

O fluxo de caixa livre do projeto expandido é obtido somando as reduções de custos obtidas com a diminuição da quantidade de ERBs necessárias para estabelecer a mesma cobertura originalmente projetada. Então, subtrai-se das projeções do resultado operacional o valor dos investimentos em ativos (CAPEX) usando a frequência de 700 MHz e a variação no capital circulante líquido (Capital de Giro).

5.4.7 Taxa de desconto⁵⁰

A taxa de desconto representa o custo de oportunidade para o investidor. Para esta pesquisa definiu-se que este custo seria representado pelo WACC de cada empresa calculado pelo CAPM. Primeiramente divide-se o custo do capital entre próprio (K_e) e de terceiros (K_d), em seguida calcula-se o custo do capital de terceiros pela média ponderada das taxas de captação com o montante tomado emprestado. A estimativa do custo do capital próprio é encontrada usando a metodologia do CAPM ajustada ao Brasil com a inserção do Risco País, projeções de inflação brasileira e americana, de acordo com a Equação 44.

$$K_e = [R_f + \beta_L(R_m - R_f)] + Risco_{BR} + Inf_{BR} - Inf_{USA} \quad [44]$$

Onde, β_L é o beta alavancado, obtido da Equação 45, sendo que o β_U é encontrado através de consulta ao benchmark do setor de telecomunicações publicado por Damodaran (2012), T é a soma dos tributos sobre o lucro (IRPJ + CSLL) e D/E o resultado da relação Dívida sobre Patrimônio Líquido disponível nos relatórios contábeis do segundo trimestre de 2012 de cada empresa.

⁵⁰ Baseado em Assaf Neto (2012).

$$\beta_L = \beta_U \left[1 + (1 - T) \frac{D}{E} \right] \quad [45]$$

A taxa de juros livre de risco R_f foi a taxa de juros paga pelo governo dos Estados Unidos para os títulos T-Bonds com vencimento em 10 anos no mês de junho de 2012. O prêmio pelo risco de mercado ($R_m - R_f$) foi calculado pela diferença entre o retorno de mercado e a taxa livre de risco, que nesta pesquisa foi considerado como sendo o resultado da diferença entre a média aritmética do índice S&P500 e a média aritmética do retorno dos títulos T-Bonds, ambos no período de 1928 e 2011.

A Tabela 8 apresenta as variáveis e informações usadas por esta pesquisa para calcular o custo médio ponderado de capital para as empresas em análise.

Tabela 8: Custo médio ponderado de capital para todas as empresas

Custo de Capital	Ident.	Claro	Vivo	TIM	Oi
Capital de Terceiros	K_d	7,68%	5,98%	6,54%	5,72%
Custo Médio da Dívida (rd)	r _d	11,63%	9,06%	9,91%	8,67%
Taxa marginal de impostos (T)	T	34,0%	34,0%	34,0%	34,0%
Capital Próprio	K_e	13,20%	12,22%	12,72%	17,10%
Beta Alavancado	β _L	1,15	0,99	1,07	1,83
Beta Desalavancado	β _u	0,91	0,91	0,91	0,91
Taxa de Juros com Risco Zero	r _f	1,63%	1,63%	1,63%	1,63%
Prêmio pelo Risco de Mercado	(r _m -r _f)	5,79%	5,79%	5,79%	5,79%
Prêmio pelo risco-país	r _c	2,13%	2,13%	2,13%	2,13%
Dívida/Capital Próprio	D/E	40,70%	12,65%	26,79%	152,99%
Inflação USA (projeção)	i _{usa}	1,88%	1,88%	1,88%	1,88%
Inflação Brasil (projeção)	i _{br}	4,64%	4,64%	4,64%	4,64%
Estrutura de Capital	%	100%	100%	100%	100%
Divida Total (R\$ bilhões)	D	4,11	5,49	3,58	31,74
Patrimônio Líquido (R\$ bilhões)	E	10,10	43,40	13,35	20,74
Proporção Dívida	D/(E+D)	28,9%	11,2%	21,1%	60,5%
Proporção PL	E/(E+D)	71,1%	88,8%	78,9%	39,5%
Custo Médio Ponderado de Capital	WACC	11,60%	11,52%	11,41%	10,22%
Participação do capital de terceiros	Part. K _d	2,22%	0,67%	1,38%	3,46%
Participação do capital próprio	Part. K _e	9,38%	10,85%	10,03%	6,76%

Fonte: Resultados da pesquisa

Os fatores adicionais em relação à fórmula básica são o Risco_{BR}, prêmio pelo risco país registrado no final do mês de junho de 2012. Os valores informados para o risco Brasil são publicados em pontos e o respectivo percentual é obtido pela divisão por 100, Inf_{BR} e Inf_{USA} são, respectivamente a inflação brasileira e a inflação americana projetadas pelo Fundo

Monetário Internacional (FMI) para os próximos 10 anos considerando o cenário econômico de junho de 2012.

5.5 Volatilidade do projeto ⁵¹

A volatilidade do projeto de cada empresa é encontrada calculando o desvio padrão da distribuição dos retornos do projeto representado pela variável **z**, conforme estabelecido na Equação 28 e implementado usando as Equações 29 e 30. Esta distribuição dos valores da variável **z** foi obtida usando a simulação de Monte Carlo seguindo os passos: 1) definição das variáveis de entrada, bem como suas premissas, que promovem variações nas variáveis de saída; 2) escolha das variáveis que compõem o modelo e serão simuladas através de uma análise de sensibilidade; 3) análise da autocorrelação entre as variáveis do modelo definidas no passo anterior para serem simuladas; 4) definição do número de eventos que serão simulados e 5) execução da simulação.

5.5.1 Variáveis do modelo

De acordo com Copeland e Antikarov (2003) as variáveis do modelo podem ser divididas entre dois grupos: as variáveis de entrada, que representam as incertezas que estão sendo simuladas e as variáveis de saída, que representam os resultados da simulação, pois as distribuições de seus resultados revelam o comportamento esperado para essas variáveis, as que se resumem a apenas uma por empresa, ou seja, apenas o logaritmo natural dos retornos de cada projeto.

As variáveis de entrada foram definidas no item 5.3 Fluxo de Caixa, em relação ao efeito produzido no resultado operacional do projeto (VP_0), são as seguintes: taxa de câmbio - R\$ / US\$, inflação anual – IPCA, *Market Share* do produto 4G móvel, *Market Share* do produto banda larga 4G, *Market Share* do produto telefonia fixa rural, margem *EBITDA*, preço do produto 4G móvel, preço do produto 4G Banda Larga, capital de giro e a projeção da receita média por usuário sem o projeto 4G - *ARPU 2G/3G*.

⁵¹ Baseado em Copeland e Antikarov (2003)

O Gráfico 6 apresenta uma análise de sensibilidade do valor presente do projeto (VP_0) da empresa TIM usando um diagrama de Tornado⁵².

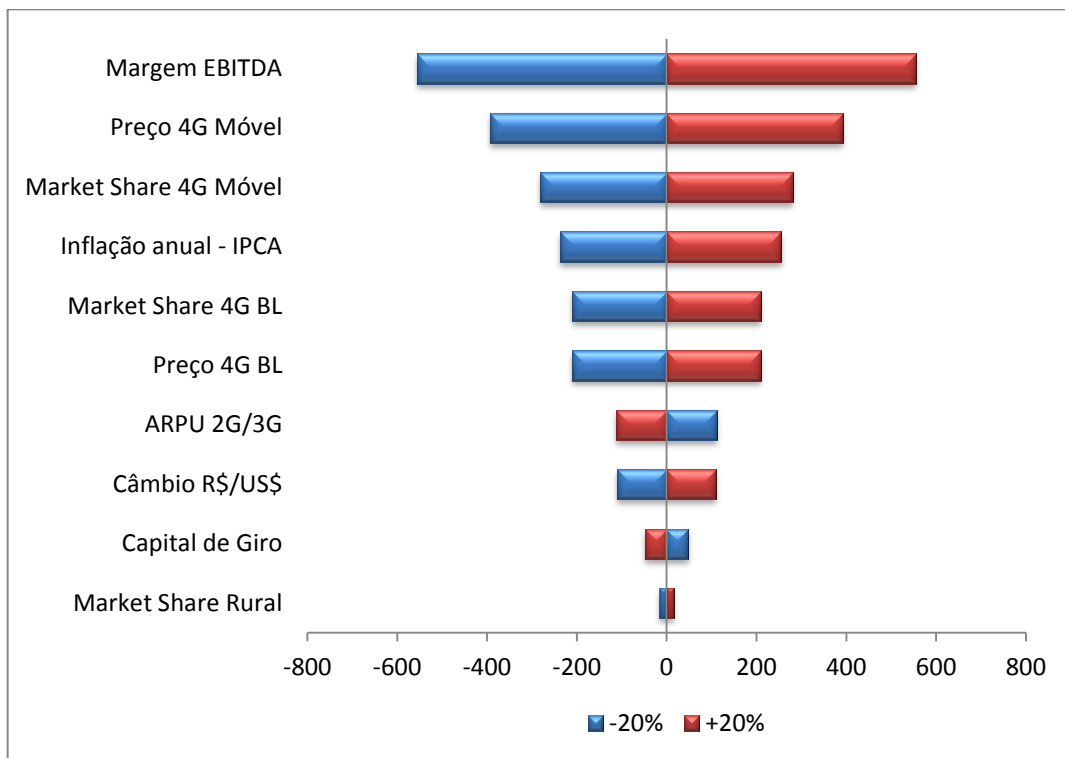


Gráfico 6: Análise de sensibilidade do VP_0 da empresa TIM (valores em R\$ milhões)
Fonte: Resultados da pesquisa

Para estabelecer uma ordem de prioridade entre estas variáveis, ou seja, simular apenas aquelas que produzem uma variação significativa no valor presente do projeto, representado pela variável VP_0 , foi elaborado uma análise de sensibilidade variando isoladamente os valores das variáveis de entrada do projeto em +20% e -20% do seu valor projetado e registrando o resultado.

5.5.2 Definições pré-simulação

A simulação dos fluxos de caixa necessária para se chegar ao valor da volatilidade do projeto demanda que todas as estimativas (projeções) das variáveis tenham sido elaboradas para todo o horizonte de projeções seguindo os critérios estabelecidos nas premissas do item 5.2. Foi necessário definir o número de simulações a serem executadas, ou a quantidade de conjuntos de números aleatórios representando as incertezas do projeto. De acordo com

⁵² Gráfico de barras que possibilita, simples e intuitivamente, visualizar o efeito de variações em determinado fator/pressuposto (ex: custo dos produtos vendidos) em determinada variável de interesse (ex: VPL), sendo uma representação clara do nível de incerteza associado a uma determinada previsão.

Copeland e Antikarov (2003) são necessárias pelo menos 1.000 simulações para se obter uma estimativa da volatilidade do projeto, Brandão *et. al* (2005) sugerem 10.000 iterações e Mun (2007) defende o uso de no mínimo 1.000 iterações, porém afirma que quanto maior esse número maior será a precisão do resultado. Esta pesquisa assumiu que seriam realizados 10.000 ciclos de simulação.

Copeland e Antikarov (2003) usam o intervalo de confiança para ilustrar como as projeções de uma variável poderão assumir valores cada vez mais díspares de acordo com o aumento do tempo entre o momento da projeção e a data efetiva da ocorrência do evento. Mun (2007) usa o conceito de cone de incerteza para mostrar que o risco pode ou não ser incrementado ao longo do tempo ao passo que a incerteza aumenta à medida que o tempo se torna cada vez mais longe. Para Hull (2009) os caminhos percorridos pelo processo de simulação são gerados usando o MGB com volatilidade fixa, podendo a Equação 7 ser representada em um processo discreto conforme a Equação 46.

$$\frac{\Delta S}{S} = \mu \Delta t + \sigma \epsilon \sqrt{\Delta t} \quad [46]$$

Onde uma mudança percentual na variável S (expressa como $\Delta S/S$) é uma combinação de uma parte determinística ($\mu \Delta t$) e uma parte estocástica ($\sigma \epsilon \sqrt{\Delta t}$). μ é o parâmetro de crescimento, σ é a volatilidade, Δt é o tempo decorrido entre o momento inicial e o momento relativo da projeção e ϵ é a variável simulada. Embora a volatilidade σ se mantenha constante ao longo do tempo, o nível de incerteza aumenta na proporção de $\sigma \sqrt{\Delta t}$, ou seja, o futuro se torna incerto e de difícil predição na proporção da raiz quadrada do tempo decorrido entre o momento da projeção e a ocorrência do evento.

Copeland e Antikarov (2003) sugerem que todas as variáveis que representam as incertezas do projeto devem ser consideradas com distribuição Lognormal porque há uma crença de que as variáveis que contribuem para a formação dos preços não assumem valores negativos e porque a combinação de distribuições Lognormal é também Lognormal. Sugerem também a necessidade de definição da autocorrelação entre as sucessivas projeções de uma variável, pois esta define o quanto o valor projetado para um período interfere em outros períodos. Para Gujarati e Porter (2008), a autocorrelação é definida como sendo a correlação entre integrantes de séries de observações ordenadas no tempo, como as séries temporais, ou no espaço, como os dados em corte transversal. Neste sentido é essencial definir a

autocorrelação entre as sucessivas projeções de uma variável, que pode ser obtida a partir de dados históricos conforme a Equação 47.

$$r^2 = \frac{COV(x_t, x_{t+1})}{VAR(x_t)} \quad [47]$$

Onde *COV* é a covariância entre os sucessivos valores registrados em dados históricos e *VAR* é a variância desses valores.

Para definir as regras para a simulação de cada variável são necessárias para cada período: o tipo de distribuição, nesta pesquisa todas as variáveis simuladas foram consideradas como possuindo distribuição Lognormal; o valor esperado (média) para a variável, definido por premissa ou calculado usando dados históricos; o desvio padrão, definido por premissa ou calculado usando dados históricos, e o grau de autocorrelação entre os valores de um período em relação aos outros, também definido por premissa ou calculado usando dados históricos. A tabela 9 apresenta um resumo das predefinições adotadas por variável para a simulação de Monte Carlo considerando as particularidades da empresa Vivo.

Tabela 9: Predefinições por variável para simulação - Vivo

Variável	Projeção Inicial	Desvio Padrão	Autocorrelação (r2)
R\$/US\$	2,07	0,20	80,00%
IPCA	5,02%	0,50%	80,00%
Market Share 4G	29,08%	2,91%	80,00%
Preço Produtos 4G	100,00	20,00	90,00%
Market Share Rural	65,23%	6,52%	80,00%
Margem EBITDA	35,87%	3,58%	90,00%
ARPU 2G/3G	21,90	4,38	90,00%
Capital de Giro	9,50%	1,90%	90,00%

Fonte: Resultados da pesquisa

5.5.3 Execução da simulação

Uma vez definidas todas as características das variáveis objetos da simulação, o processo de sucessivas iterações é iniciado. Uma informação de grande valor para o resultado desta pesquisa é o valor da volatilidade do projeto, representada pelo desvio padrão da distribuição dos logaritmos naturais dos retornos esperados para o projeto, conforme consta na Equação 28.

A Tabela 10 apresenta a estatística descritiva dos resultados da simulação do projeto para cada empresa, sendo o desvio padrão da distribuição dos retornos do projeto a variável

que representa a volatilidade do projeto, essencial para a Análise por Opções Reais. Para executar a simulação de Monte Carlo foi usado o software Crystal Ball ® com a geração de 10.000 eventos.

Tabela 10: Estatística descritiva dos resultados da simulação do projeto

Variável	Claro	Vivo	TIM	Oi
Média	0,0758	0,0670	0,0681	0,0639
Mediana	0,0614	0,0559	0,0586	0,0570
Desvio Padrão	0,2657	0,2958	0,2838	0,2733
Variância	0,0706	0,0875	0,0805	0,0747
Assimetria	0,2564	0,2158	0,1755	0,2081
Curtose	3,06	3,06	2,99	3,03
Mínimo	-0,8102	-0,8400	-0,8539	-0,8537
Máximo	1,1698	1,3361	1,1967	1,1485

Fonte: Resultados da pesquisa

Smith (2005) e Brandão et al. (2005b) argumentam que o modelo proposto por CA para encontrar a volatilidade do projeto produz um viés de superdimensionamento da mesma. No intuito de estabelecer um parâmetro de comparação foram inseridas no modelo as modificações proposta pela Equações 29 no modelo de simulação de Monte Carlo. A Tabela 11 apresenta a estatística descritiva do resultado dessa simulação proposta por Smith (2005).

Tabela 11: Estatística descritiva da simulação do projeto – Smith (2005)

Variável	Claro	Vivo	TIM	Oi
Média	0,0948	0,0914	0,0919	0,0800
Mediana	0,897	0,0905	0,0915	0,0778
Desvio Padrão	0,1670	0,1940	0,1815	0,1751
Variância	0,0279	0,0376	0,0329	0,0307
Assimetria	0,0864	0,0371	-0,0021	0,0417
Curtose	3,04	3,12	3,00	3,11
Mínimo	-0,5472	-0,8715	-0,5665	-0,8008
Máximo	0,8835	0,9246	0,8133	0,8662

Fonte: Resultados da pesquisa

5.6 Modelagem das opções reais

De acordo com o método desenvolvido por Copeland e Antikarov (2003) para modelagem de um projeto por Opções Reais são necessários quatro passos. O primeiro passo é a avaliação do projeto usando o método do Fluxo de Caixa Descontado com taxa de desconto igual ao custo médio ponderado de capital (WACC). O Gráfico 7 apresenta o resultado por empresa da avaliação do projeto usando métodos tradicionais de análise de investimentos, onde o VPL do projeto é dado pela diferença entre o VP_0 (valor presente dos

fluxos de caixa operacionais) e $VP_{Inv.}$ (valor presente dos investimentos). Considerando esta análise, apenas o projeto da empresa Vivo deve ser executados, pois apresenta VPL positivo, enquanto os projetos das empresas Claro, TIM e Oi devem ser abandonados por apresentarem VPL negativo.

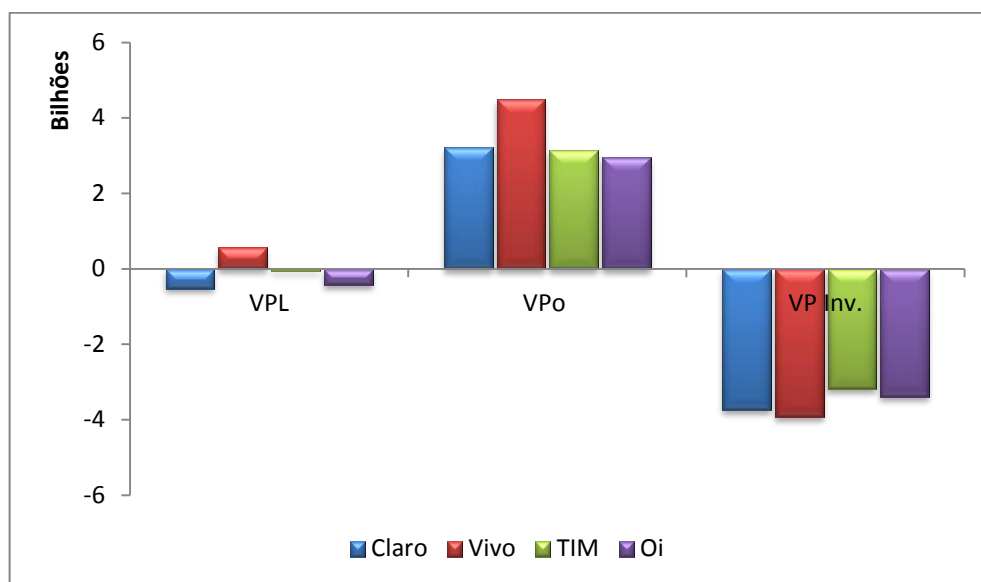


Gráfico 7: Resultados dos projetos por empresa usando métodos tradicionais
Fonte: Resultados da pesquisa

O próximo passo é a construção de uma árvore de eventos baseada na volatilidade do projeto, ou seja, através da modelagem das fontes de incertezas sobre a análise original pelo método do VPL em uma simulação de Monte Carlo. Nesta etapa, assumindo que o projeto segue um MGB, Stille et al. (2010) sugere que seja feito um teste de consistência da modelagem verificando se o resultado da modelagem binomial do ativo base, ainda sem considerar a influência das opções reais, apresenta o mesmo valor da análise pelos métodos tradicionais. O terceiro passo trata-se da identificação das opções reais que podem ser exercidas, o preço de exercício, o tempo máximo até o exercício e o efeito dessas opções no valor presente do projeto. Em seguida estas flexibilidades são inseridas na árvore de eventos transformando a em uma árvore de decisões. O quarto e último passo é calcular o valor dessas flexibilidades pela árvore binomial usando a Teoria das Opções Reais.

A Figura 5 apresenta a árvore de eventos construída para as análises por opções reais do projeto da empresa TIM, baseada na volatilidade anual encontrada pela simulação de Monte Carlo no valor de 28,38%, uma taxa livre de riscos de 8,39% representada pela taxa SELIC⁵³ vigente em junho de 2012 e considerando todos os passos com duração de um ano.

⁵³ Sistema Especial de Liquidação e Custódia que representa a taxa básica de juros da economia brasileira.

mercado precifica os ativos usados considerando uma qualidade média a preços também médios, portanto, tornando o negócio pouco vantajoso para os possíveis vendedores.

A primeira flexibilidade identificada foi a opção de abandono do projeto, podendo ser encontrada em todo o período de projeções, porém com preço de exercício diferente para cada período, pois de acordo com as normas estabelecidas pela Anatel (2012) e também relatado por Stille et al. (2010) a empresa que decidir abandonar as operações do projeto objeto da frequência de 2.500 MHz terá dois caminhos a seguir: 1) revender no mercado, com autorização expressa da Anatel, o direito de exploração da frequência adquirida em leilão repassando para o novo proprietário os ativos, a base de clientes e todas as obrigações assumidas perante a agência reguladora e 2) comunicar à Anatel a desistência de explorar a frequência adquirida em leilão, ficando a cargo da Anatel a definição de possíveis indenizações à empresa, bem como multas pelo descumprimento de obrigações assumidas em contratos. O Gráfico 8 apresenta a evolução do preço de exercício da opção de abandono para os projetos de cada uma das empresas a valor presente (descontados pelo custo de oportunidade de cada empresa).

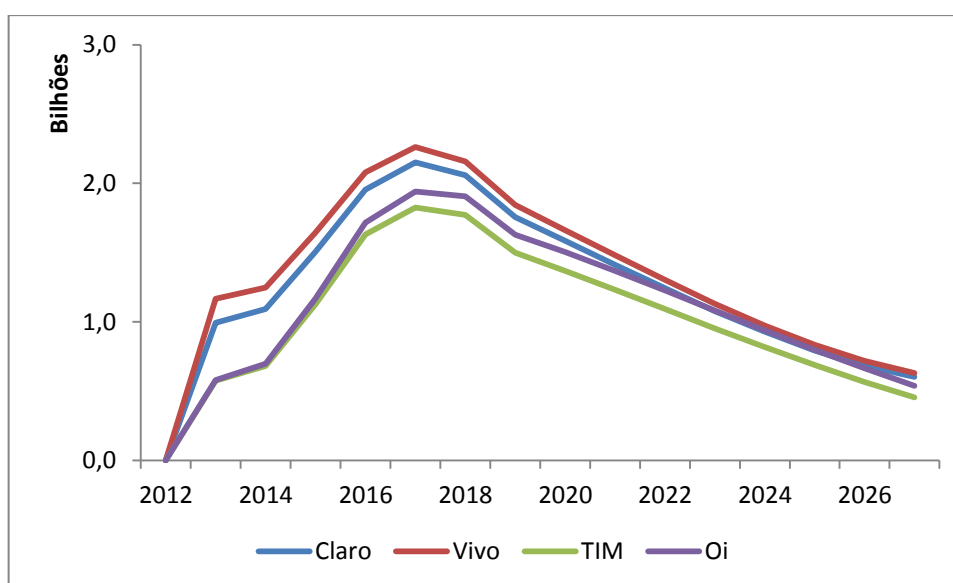


Gráfico 8: Evolução do preço de exercício da opção de abandono por empresa
Fonte: Resultados da pesquisa

Esta pesquisa considerou que em qualquer hipótese, para efetivar a condição de abandono do projeto, a empresa será ressarcida pelos seguintes valores que configuram o preço de exercício da opção: 1) valor residual da licença adquirida junto à Anatel para explorar os serviços de telefonia móvel nesta faixa de frequência, sendo calculado dividindo o valor efetivamente pago no leilão, atualizado pela taxa de inflação medida pelo IPCA, por 15 anos (período de validade da licença) e multiplicando esse valor pelo número de anos que

restam para expirar a licença e 2) valor residual dos ativos adquiridos para compor a rede de comunicação móvel 4G, sendo calculado pela soma total dos valores de aquisição, atualizado pela taxa de inflação medida pelo IPCA, subtraído da depreciação acumulada até a data do abandono.

De acordo com Trigeorgis (1996) a flexibilidade de abandonar o projeto é caracterizada como uma opção de venda do tipo americana, porém com a particularidade de apresentar diferentes preços de exercício ao longo dos anos.

5.6.2 A Opção de expandir

Outra flexibilidade identificada foi a opção de expansão do projeto caracterizada pelo anúncio por parte da Anatel da provável hipótese de realização até 2016 do leilão da faixa de frequência de 700 MHz destinada à exploração de serviços de comunicação móvel 4G. As empresas poderiam, então, adquirir essa faixa de frequência complementar com o propósito de atender as obrigações do projeto atual (leilão da faixa de 2.500 MHz) com uma redução significativa de investimentos e custos operacionais.

De acordo com a Anatel (2013) o leilão da frequência de 700 MHz para exploração dos serviços 4G deverá ocorrer entre os anos 2014 e 2016, porém a obrigatoriedade da desocupação dessa faixa de frequência pelas empresas de TV aberta ocorre somente em 2016. Esta pesquisa considerou que o leilão dessa nova frequência (700 MHz) ocorrerá no ano de 2016 quando o espectro já estará disponível para exploração, pois mesmo que esse leilão ocorra em 2014 ou 2015 não haverá nenhum reflexo nos resultados da expansão do projeto.

A modelagem dessa opção foi desenvolvida pela construção de novos fluxos de caixa projetados considerando a nova realidade de investimentos e custos usando a nova frequência adquirida de 700 MHz, sendo que o preço de exercício da opção de expansão é o valor projetado para ser pago pela licença da frequência de 700 MHz, calculado com base no histórico de outros leilões; e o valor presente em 2016 da expansão é preço do ativo, calculado ano a ano como sendo a diferença entre os novos fluxos de caixa e aqueles do projeto original, conforme a Equação 48.

$$VP_{2016} = \sum_{i=2016}^{2027} \frac{(FCL_{novo_i} - FCL_{original_i})}{(1 + WACC)^{i-2015}} \quad [48]$$

Onde VP_{2016} é o valor presente da expansão do projeto representada pela aquisição da nova faixa de frequência de 700 MHz, FCL_{novo_i} é o fluxo de caixa do ano i para o novo projeto (faixa de 700 MHz) e $FCL_{original_i}$ é o fluxo de caixa do ano i para o projeto original (faixa de 2.500 MHz).

A Tabela 12 apresenta a projeção de benefícios líquidos (melhora no VPL) no fluxo de caixa livre da empresa Oi no período de 2016 a 2024, em função da aquisição de uma opção de expansão do negócio representada pela compra da frequência de 700 MHz para cobertura nacional em 2016.

Tabela 12: Projeção de benefícios líquidos no FCL da Oi de 2015 a 2023

Fluxo de Caixa	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Resultado Operacional 700 MHz	145	356	570	674	739	852	974	1.073	1.131
Resultado Operacional 2.500 MHz	125	311	492	582	651	760	879	974	1.041
Diferença no resultado operacional	20	45	78	91	89	92	95	99	90
Investimentos 700 MHz	421	1.042	197	41	186	174	159	143	129
Investimentos 2500 MHz	1.154	845	494	29	319	297	272	245	220
Diferença nos investimentos	-733	196	-297	12	-133	-124	-113	-102	-92
Benefícios Líquidos no FCL	753	-152	375	79	221	216	208	200	182

Fonte: Resultados da pesquisa

O valor previsto da aquisição da faixa de frequência de 700 MHz no leilão a ser realizado pela Anatel em 2016, somado ao valor estimado das garantias exigidas pelo órgão regulador (Anatel), representa o valor a ser pago pela opção de expandir o negócio. A estimativa desse valor foi baseada nas informações disponibilizadas pela Anatel até junho de 2012, sendo considerado que as faixas serão leiloadas em blocos de 10 MHz. Por isso o valor considerado foi o valor mínimo estipulado pela Anatel (2012) para uma mesma banda de 10 MHz na frequência de 2.500 MHz com abrangência nacional acrescido do maior ágio obtido neste mesmo leilão e atualizada pela inflação do período. A Tabela 13 apresenta o cálculo do valor esperado para uma banda de 10 MHz no leilão da Anatel em 2015 para a faixa de 700 MHz.

Tabela 13: Valor projetado para a licença de 700 MHz em 2016

Evento	Valor
Valor mínimo de 10 MHz no leilão de 2500 MHz em 2012	315.096.000
Inflação acumulada até 2016 pelo IPCA	21,87%
Valor atualizado	384.011.753
Ágio esperado	67,00%
Valor esperado do leilão de 700 Mhz	641.299.628

Fonte: Resultados da pesquisa

A referência é o valor mínimo da banda de 10 MHz pago no leilão de 2.500 MHz realizado em 2012 atualizado pela inflação projetada pelo IPCA até 2016 e incrementado pelo percentual do maior ágio obtido nas ofertas vencedoras do leilão do 4G em 2012 para frequências de abrangência nacional. A opção de expansão do projeto no ano de 2016 pode ser classificada como uma opção de compra tipo europeia com preço de exercício igual ao valor projetado para ser pago pela frequência de 700 MHz. O valor presente em 2016 dos benefícios incrementais ao fluxo de caixa original representa o resultado da expansão.

5.6.3 A Árvore de decisão

Uma vez que as flexibilidades do projeto foram identificadas e modeladas usando TOR foi construída uma árvore de decisões para melhor visualização das opções do projeto. A Figura 6 apresenta a árvore de decisões do projeto para a empresa Claro abrangendo os 15 anos de duração do projeto.

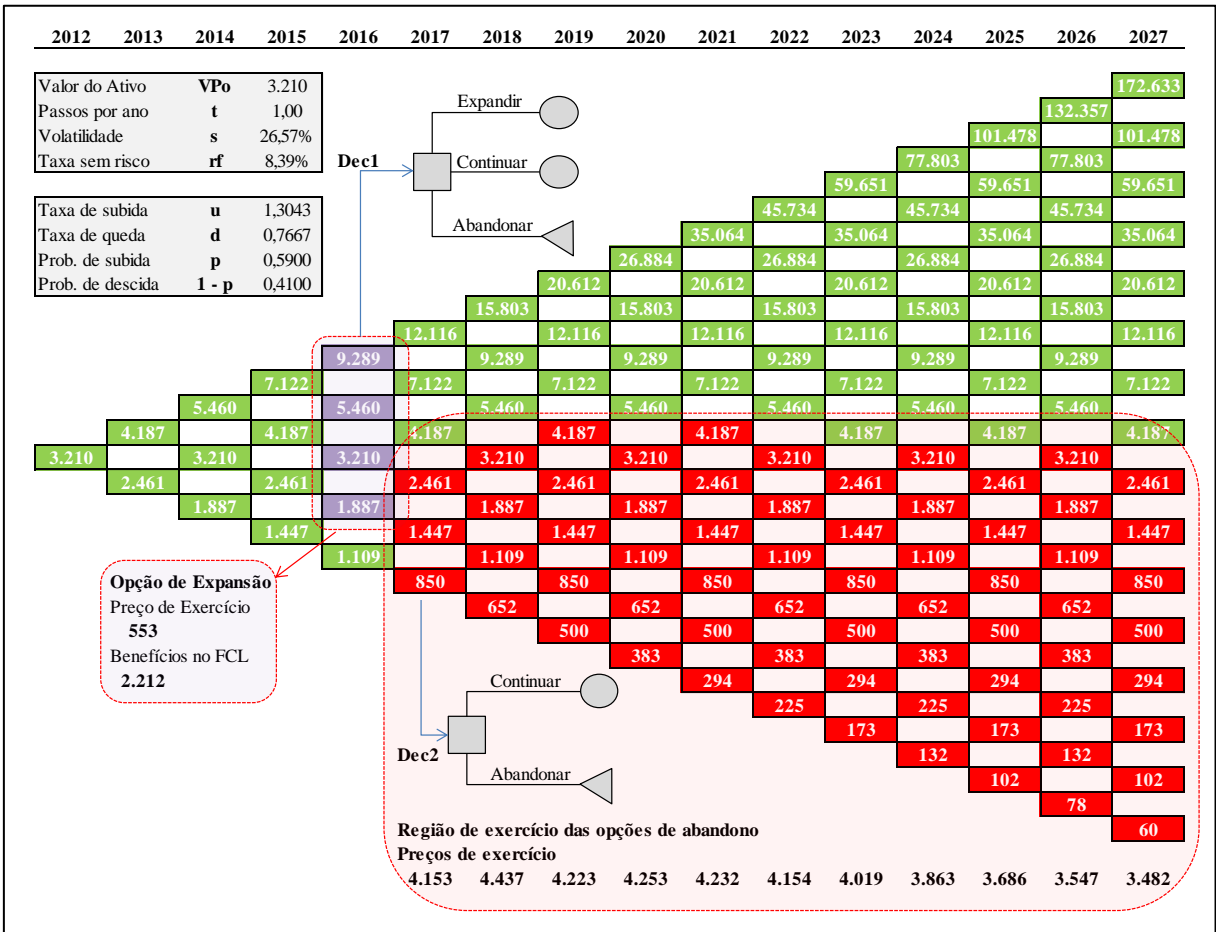


Figura 6: Árvore de decisões do projeto da Claro (em R\$ milhões)
Fonte: Resultados da pesquisa

De acordo com a árvore de decisões os nós podem assumir três cores: a cor verde significa que nenhuma opção é executada e o projeto continua no curso originalmente proposto, a cor violeta significa que a opção de expansão do projeto é executada e o projeto inicia um novo curso, e a cor vermelha significa que a opção de abandonar o projeto é executada e o projeto é interrompido.

Ainda na Figura 6 observa-se que existem duas decisões a serem tomadas durante o tempo de vida do projeto, Dec1 e Dec2. A primeira decisão, Dec1, acontece em 2016 quando o projeto base pode assumir valores que permitem decidir entre expandi-lo com a execução da opção de expandir, continuar com a estratégia originalmente planejada ou abandoná-lo com a execução da opção de expansão de abandono. A segunda decisão, Dec2, pode ocorrer entre os anos 2017 e 2027 quando o projeto pode assumir valores que permitem decidir entre manter a estratégia em curso ou abandonar o projeto com a execução da opção abandono. Entretanto, analisando a árvore de decisões é possível concluir que esta flexibilidade atribui valor ao projeto apenas no ano de 2017.

5.6.4 O Valor das flexibilidades

O quarto passo da análise por opções reais consiste em calcular o valor das flexibilidades ou opções identificadas no projeto usando a metodologia que melhor se adaptar à modelagem do problema. Em função de o projeto em questão apresentar múltiplas opções, ou seja, várias opções de venda (abandono) e uma opção de compra (expansão), será usado o modelo binomial. A taxa livre de risco adotada como *benchmark* foi a SELIC vigente no mês de junho de 2012, escolha que se deve em função de essa taxa ser a referência de juros para o mercado brasileiro e pelo fato de ser possível encontrar no mercado brasileiro títulos da dívida pública que pagam essa taxa como remuneração. O número de passos adotados na árvore binomial para a elaboração do referido cálculo foram 15. No entanto, de acordo com Hull (2009) somente a partir de 30 passos os resultados já são satisfatórios. Dessa forma, foram usados também 150 passos, ou seja, 10 passos para cada ano do projeto. O valor presente e a volatilidade de cada projeto foram calculados nos itens anteriores ao longo deste trabalho, enquanto u , d e p usaram as Equações 12 e 13.

Para obter o valor das flexibilidades (ROA) inicialmente foi elaborada a análise da melhor execução entre as opções disponíveis partindo do final da árvore de decisões para todos os nós do ano 2027, conforme a Equação 49.

$$ROA = MAX[Valor\ Presente; Valor\ da\ Expansão; Valor\ do\ Abandono] \quad [49]$$

A Tabela 14 apresenta o conjunto de variáveis usadas para o cálculo do valor das opções pelo modelo binomial, sendo r_f a taxa de juros livre de risco representada pela SELIC vigente no mês de junho/2012 e σ a volatilidade do projeto, representada pelo desvio padrão obtida da simulação de Monte Carlo.

Tabela 14: Variáveis usadas no cálculo do modelo binomial

Empresa	VPo	σ	r_f	u	d	p
Claro	3.210	26,57%	8,39%	1,304297	0,766696	0,590036
Vivo	4.477	29,58%	8,39%	1,344148	0,743966	0,566385
TIM	3.135	28,38%	8,39%	1,328181	0,752909	0,575364
Oi	2.956	27,33%	8,39%	1,314269	0,760879	0,583713

Fonte: Resultados da pesquisa (valores de VP_0 em R\$ milhões)

Copeland e Antikarov (2003) defendem o uso da técnica do portfólio replicante, enquanto Brandão et al. (2005a) defendem o uso probabilidade neutra a risco. Então, usando a técnica da probabilidade neutra a risco, escolhida em função da simplicidade computacional oferecida pelo método, move-se do final para o início da árvore de decisão (da direita para a esquerda) identificando em todos os nós a ótima execução das opções disponíveis em cada nó, até que ao atingir o primeiro nó da árvore, chega-se ao valor presente do projeto com as flexibilidades ou opções. O ROA equivale à soma do valor presente do projeto (VP_0) com o valor das flexibilidades (VP_{Flex}). Importante ressaltar que o valor das flexibilidades é calculado de forma conjunta considerando as interferências de uma opção sobre a outra, o que implica ser esse valor não necessariamente igual à soma dos valores de cada opção calculada individualmente.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados desta pesquisa, abrangendo as quatro maiores empresas brasileiras de telefonia móvel do Brasil e usando a análise tradicional de investimentos, mostraram que, com exceção da empresa Vivo, todos os demais projetos para implantação das redes de telefonia móvel 4G são inviáveis sob a ótica econômico-financeira. Já usando a Análise por Opções Reais os resultados mostraram ser bem mais promissores para os investidores. A Tabela 15 apresenta os resultados financeiros por empresa usando os métodos tradicionais de avaliação de investimentos.

Tabela 15: Resultados financeiros do projeto

Indicadores	Claro	Vivo	TIM	Oi
VPL	-516.488.198	562.501.385	-54.046.818	-421.509.960
TIR	11,15%	14,32%	12,44%	9,83%
Payback Simples	12,43	10,98	12,02	13,06

Fonte: Resultados da pesquisa

No capítulo introdutório deste trabalho seu objetivo geral foi definido como sendo o de avaliar a viabilidade dos investimentos no projeto de telefonia móvel 4G no Brasil desenvolvido a partir do edital de licitação número 004/2012/PVCP/SPV da ANATEL usando os métodos tradicionais de avaliação de investimentos e a Teoria das Opções Reais em conjunto com as técnicas de simulação de Monte Carlo. Cabe, portanto, a esta seção apresentar os resultados da pesquisa que confirmam ou refutam este objetivo.

6.1 Análise por opções reais

Copeland e Antikarov (2003) evidenciam no terceiro passo do modelo CA a importância da árvore de decisões na análise por opções reais, uma vez que apresenta o potencial de mostrar quais seriam as melhores escolhas dos gestores de cada uma das quatro empresas em análise para os diferentes caminhos que o valor presente de cada projeto venha a tomar ao longo dos anos de projeção.

Retomando a árvore de decisões ilustrada na Figura 6, com a representação de todas as decisões consideradas ótimas para a empresa Claro, verifica-se que até o ano 2015 o projeto segue o ciclo normal independente das opções de abandono disponíveis. No ano seguinte a empresa analisa a opção de expansão das suas operações adquirindo a faixa de frequência de

700 MHz, que oferece a possibilidade de redução dos custos operacionais e de diminuição no volume de investimentos no projeto. A partir de 2017 a empresa ainda possui à sua disposição as opções de abandono do projeto, o que atribui ao investimento uma garantia adicional caso se configure um cenário pessimista. Ainda é possível constatar que, embora diversas opções de abandono sejam executadas nos anos posteriores a 2017, apenas as opções presentes até este ano produzem efeito sobre o valor presente do projeto com as flexibilidades (ROA). Reduzindo, assim, as opções reais disponíveis no investimento a apenas duas, a opção de expansão das operações em 2016 e a opção de abandono em 2017.

O conceito de VPL expandido ou eVPL oferece a dimensão do quanto o potencial do projeto foi melhorado com a inserção de flexibilidades em sua análise, atribuindo valores às opções identificadas. A Tabela 16 apresenta os resultados da análise por opções reais dos projetos de cada uma das quatro empresas. A variável ROA representa o resultado do projeto considerando as flexibilidades encontradas em cada um deles. Ao ser excluído o valor presente do projeto (VP_0) encontra-se o valor presente das flexibilidades (VP_{Flex}), e este, somado ao VPL, encontra-se o VPL expandido (eVPL).

Tabela 16: Resultados da análise por opções reais por empresa

Empresa	ROA	VP_0	VP_{Flex}	VPL	eVPL
Claro	4.454	3.210	1.244	-516	728
Vivo	5.708	4.477	1.232	563	1.794
TIM	4.241	3.135	1.107	-54	1.052
Oi	4.103	2.956	1.147	-422	725

Fonte: Resultados da pesquisa (valores em R\$ milhões)

Ao comparar os resultados entre os projetos, observa-se que o melhor resultado pertence à empresa Vivo, com o melhor VPL e, também, o único positivo, portanto, seria o único projeto com potencial de ser executado se a análise fosse elaborada apenas pelos métodos tradicionais. Por outro lado, ao considerar o valor das flexibilidades e comparar o eVPL dos projetos, é possível afirmar que todos os projetos passaram a ter potencial para serem executados.

O Gráfico 9 apresenta uma comparação entre os resultados dos projetos usando o VPL tradicional e o VPL expandido, que considera a influência das opções reais e mostra graficamente o quanto os resultados dos projetos das quatro empresas melhoraram com a introdução das flexibilidades identificadas.

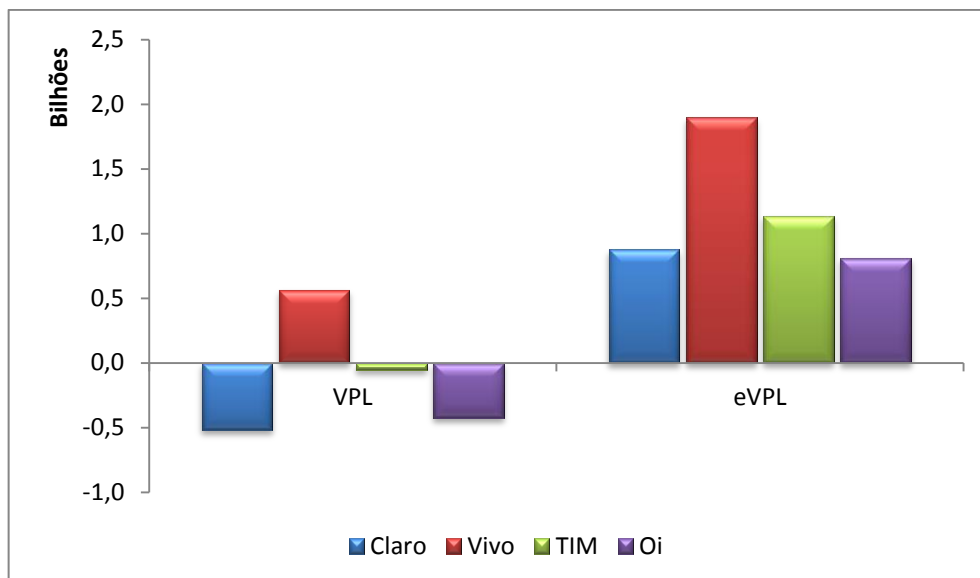


Gráfico 9: Comparativo VPL x VPL expandido (eVPL) por empresa

Fonte: Resultados da pesquisa

Em uma análise das opções de forma isolada, ou seja, identificando o impacto que cada flexibilidade produz no resultado do projeto, observa-se que a opção de abandono exerce influência no valor presente do projeto somente a partir de 2017. Porém, diferentemente da análise conjunta de todas as flexibilidades, a partir desse ano até o final do projeto esta opção contribui para o aumento do eVPL. A opção de expansão, disponível para execução em 2016, atribui a maior parcela de valor ao resultado do projeto, pois, em média, representa 95% do valor total das flexibilidades para todas as empresas. A Tabela 17 apresenta o impacto isolado de cada opção no resultado do projeto por empresa.

Tabela 17: Impacto isolado das flexibilidades do projeto por empresa

Empresa	VP _{Abandono}	eVPL _{Abandono}	VP _{Expansão}	eVPL _{Expansão}
Claro	589	73	1.188	672
Vivo	481	1.043	1.189	1.751
TIM	449	395	1.078	1.024
Oi	457	35	1.124	702

Fonte: Resultados da pesquisa

De acordo com os resultados isolados para cada flexibilidade, conforme consta na Tabela 17, qualquer uma das opções que estivesse disponível para os gestores dessas empresas tornaria o resultado do projeto mais atraente para os investidores, pois em todos os casos a presença de qualquer uma das duas opções atribui valor ao projeto suficiente para tornar o eVPL positivo.

6.1.1 Análise do risco e retorno do projeto

Embora os resultados da análise dos projetos considerando o valor das opções reais de cada um deles tenha mostrado um efeito muito positivo no valor do VPL, inclusive o de viabilizar projetos que seriam naturalmente descartados, Mun (2007) sugere que seja elaborada uma análise de riscos usando simulação de Monte Carlo para estimar a probabilidade de os resultados atingirem valores esperados pelos investidores.

A Tabela 18 apresenta uma análise de risco dos projetos medidos em uma simulação de Monte Carlo dos resultados do projeto após 10.000 iterações. O enfoque é dado à análise da probabilidade de as variáveis VPL, eVPL, TIR e Payback apresentarem resultados satisfatórios para o investidor, ou seja, considerando que são eventos independentes, a probabilidade do VPL e eVPL serem maior que zero, a probabilidade da TIR ser maior que a taxa livre de risco (SELIC) e a probabilidade do período de *payback* ser inferior a 10, 12 e 15 anos.

Tabela 18: Análise de riscos dos resultados do projeto por empresa

Empresa	VPL > 0	eVPL > 0	TIR > Rf	Payback < 10	Payback < 12	Payback < 15
Claro	26,16%	63,59%	77,35%	3,95%	35,44%	85,35%
Vivo	61,30%	81,70%	94,82%	20,06%	69,26%	97,58%
TIM	42,79%	72,13%	86,06%	7,45%	45,09%	89,89%
Oi	28,75%	62,24%	62,67%	2,30%	25,18%	77,25%

Fonte: Resultados da pesquisa

Nesta análise fica evidenciado que os projetos das empresas Vivo e TIM apresentam o maior potencial de resultados positivos para o investidor enquanto Claro e Oi assumem uma posição de maior risco para o mesmo. A Oi apresentou uma das piores avaliações de risco dentre todas as empresas com probabilidade de 28,75% de o VPL do projeto se tornar positivo e de 62,67% de a TIR ser superior à taxa livre de risco. A empresa que apresentou o melhor resultado foi a Vivo com probabilidade de 97,58% de o período de *payback* ser inferior aos 15 anos de avaliação do projeto e de 61,30% de o VPL ser positivo.

O projeto da Oi apresentou o período de *payback* mais longo dentre as quatro empresas e numa análise de risco dessa variável, os valores encontrados corroboram com essa afirmação, pois o projeto apresenta probabilidade nula de retornar em até 8 anos, 2,30% em até 10 anos, de 25,18% em até 12 anos e de 77,25% em até 15 anos, contra valores bem mais expressivos da empresa TIM, que apresenta 89,89% de probabilidade de retornar em até 15 anos e 7,45% em até 10 anos.

Embora apenas o projeto da Vivo tenha apresentado VPL positivo para o cenário básico, a análise de riscos mostrou que a probabilidade de esse valor ser positivo é de 61,30%. Dentre os projetos que apresentaram VPL negativo a TIM apresentou o resultado mais expressivo com probabilidade de 42,79% de o VPL ser positivo. Também foi simulada a comparação da TIR com a taxa de juros livre de risco, representada pela SELIC vigente em junho de 2012 no valor de 8,39%. Os resultados mostraram que a empresa TIM apresenta probabilidade de 86,06% para essa variável assumir um valor superior à taxa de juros livre de risco, enquanto a empresa Oi tem probabilidade de 62,67% de cumprir esse indicador.

O resultado mais expressivo desta análise se deve à contribuição do VPL Expandido (eVPL) na redução do grau de risco que os investidores deverão assumir para a realização dos projetos de telefonia móvel 4G para cada uma dessas quatro empresas. Para Brandão e Saraiva (2007) diminuir o risco de um projeto significa reduzir a sua taxa de desconto, o que aumenta o seu valor presente. Assim a distribuição de probabilidade do eVPL pode ser obtida executando-se a simulação do projeto usando uma taxa de desconto que aproxime a média do VPL ao valor do eVPL.

Conforme mostra a Tabela 18, o eVPL desloca positivamente a probabilidade de VPL positivo de todas as empresas em pelo menos 20 pontos percentuais. A empresa Vivo teve a probabilidade de apresentar VPL positivo deslocada de 61,30% para 81,70%, enquanto a empresa Claro apresentou um deslocamento da probabilidade de VPL positivo de 26,16% para uma probabilidade de eVPL positivo de 63,59%, o que representa uma redução significativa no nível de risco do projeto tornando o mesmo bastante atraente do ponto de vista do investidor. Esse deslocamento no nível de risco do projeto se deve à presença das flexibilidades ou opções reais reforçando a contribuição positiva desta análise.

A Tabela 19 apresenta uma análise do retorno em relação ao risco do projeto por empresa, cujas variáveis são sempre comparadas com um determinado parâmetro. A relação VPL por VP_0 representa a parcela do fluxo de caixa, desconsiderando a influência dos investimentos em CAPEX, que converge para o VPL. Quando negativo significa que o projeto não apresentou retorno quando descontado pelo custo de capital da empresa. Já a relação entre VPL com seu respectivo risco representa o retorno obtido para cada unidade de risco assumido. Quando negativo significa o quanto o projeto destrói o valor da empresa para cada unidade de risco assumida. O risco é mensurado pelo desvio padrão, ou volatilidade, da distribuição obtida na simulação de Monte Carlo para cada variável. Essa mesma análise é aplicável ao eVPL com relação ao VP_0 e com relação à volatilidade. Apenas a empresa Vivo

apresentou as relações VPL por VP_0 e VPL por volatilidade positivas. No entanto é possível diagnosticar o efeito positivo gerado pela TOR ao apresentar todos os cenários positivos para as relações eVPL por VP_0 e eVPL por sua respectiva volatilidade.

Tabela 19: Retorno em relação ao risco dos projetos por empresa

Categoria	Claro	Vivo	TIM	Oi
VPL / VP_0	-15,91%	12,80%	-1,67%	-13,85%
eVPL / VP_0	23,60%	40,04%	51,81%	23,48%
VPL/Volatilidade	-51,74%	39,43%	-5,23%	-44,27%
eVPL/Volatilidade	43,94%	86,51%	63,87%	41,90%

Fonte: Resultados da pesquisa

O Gráfico 10 apresenta em valores monetários o risco e retorno dos projetos para todas as empresas, sendo o retorno representado pelo VPL e pelo eVPL (VPL expandido) e o risco representado pelo desvio padrão, ou volatilidade, da distribuição dessas variáveis submetidas à simulação de Monte Carlo.

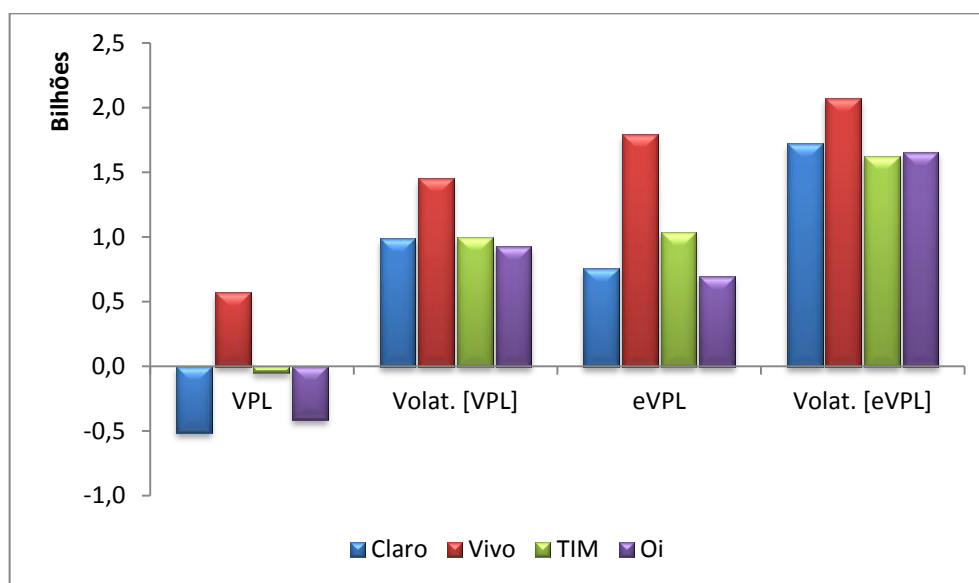


Gráfico 10: Risco e retorno dos projetos para todas as empresas

Fonte: Resultados da pesquisa

Ao confrontar o Gráfico 10 com os valores apresentados na Tabela 18 conclui-se que o projeto da empresa Claro apresenta o maior risco ao investidor em contraponto ao projeto da empresa Vivo, que apresenta o menor risco e o melhor retorno em ambas as análises do VPL e do eVPL. O projeto da empresa TIM, apesar de um VPL negativo, apresenta uma relação retorno sobre o risco razoável, principalmente ao considerar os efeitos das flexibilidades na formação do eVPL. Para o caso do projeto da empresa Oi essa relação é melhor que o projeto da Claro e inferior ao projeto da TIM, portanto, colocando esse projeto em terceiro lugar tanto nos critérios de risco e retorno como também no retorno sobre risco.

6.1.2 Análise da volatilidade

Alguns projetos apresentam grande sensibilidade à variação da volatilidade apresentando um impacto considerável no valor das flexibilidades, daí a importância de seu cálculo constituir objeto constante de estudos. Esta pesquisa adotou o modelo CA proposto por Copeland e Antikarov (2003), questionado quanto à sua eficácia para se encontrar o valor dessa variável. A Tabela 20 apresenta uma análise de sensibilidade do eVPL dos projetos a uma variação de 10% a 40% no valor da volatilidade, definida em função do fato de que grande parte dos trabalhos acadêmicos envolvendo o setor de telecomunicações apresentam volatilidade contida nesta faixa de variação.

Tabela 20: Sensibilidade do eVPL à volatilidade do projeto

Empresa	eVPL_(vol=10%)/eVPL₀	eVPL_(vol=40%)/eVPL₀	Variação
Claro	-7,71%	20,47%	28,18%
Vivo	-2,40%	5,67%	8,07%
TIM	-2,68%	7,90%	10,58%
Oi	-3,22%	11,68%	14,90%

Fonte: Resultados da pesquisa

Pelos resultados obtidos a empresa Claro apresentou maior sensibilidade à variação da volatilidade, sendo que para no cenário inferior com a volatilidade em 10%, o eVPL apresentou uma redução de 7,71% em relação ao eVPL₀⁵⁴. Por outro lado, no cenário superior a sensibilidade se mostrou maior ao apresentar um aumento no eVPL de 20,47% em relação ao eVPL₀. A empresa Vivo apresentou a menor sensibilidade dentre todas as empresas com uma variação de 8,07% entre o cenário inferior e o cenário superior.

O Gráfico 11 mostra a evolução do valor do eVPL do projeto quando submetido a diferentes volatilidades. Pode-se observar que todas as empresas apresentaram menor sensibilidade à variação da volatilidade para o cenário inferior, abaixo de 25%. Como todas as empresas apresentaram volatilidades calculadas pelo método CA entre 26,57% a 29,58%, é perceptível que no cenário superior, acima de 25%, o valor do eVPL é bem mais sensível às variações da volatilidade.

Dixit e Pindyck (1994), bem como Mun (2007), sugerem como alternativa para se estimar a volatilidade de um projeto a adoção de uma *proxy* de mercado usando os retornos de títulos negociados no mercado de ações da própria empresa ou empresas comparáveis.

⁵⁴ Valor do eVPL calculado usando a volatilidade do projeto encontrada pelo método de CA (2003).

Arantes (2010) usou a volatilidade do índice ITEL⁵⁵ como *proxy* para o desenvolvimento de avaliação usando TOR de uma empresa hipotética do setor de telecomunicações. Por outro lado, Smith (2005) sugere que sejam inseridas modificações no modelo de simulação a fim de evitar superestimação do valor da volatilidade do projeto.

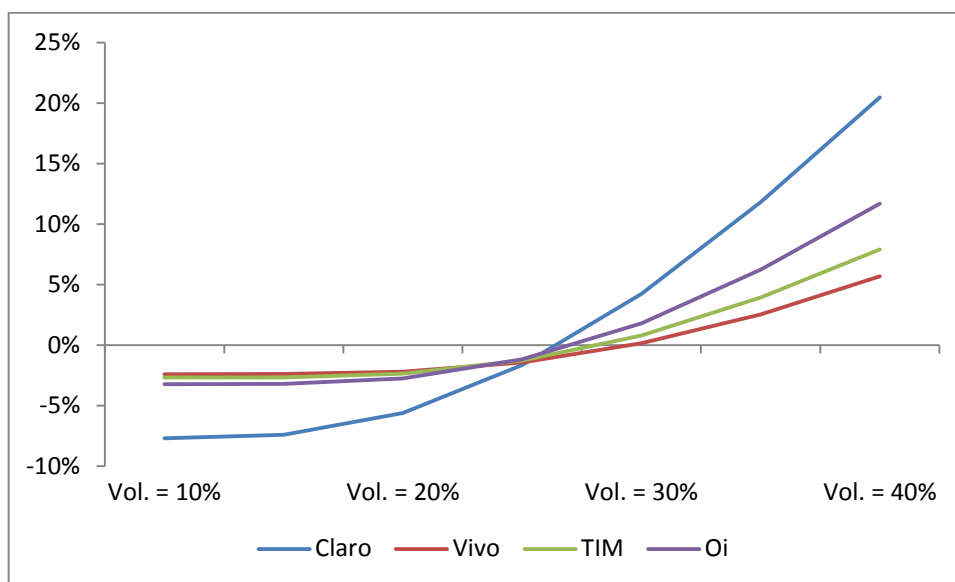


Gráfico 11: Sensibilidade do eVPL à variação da volatilidade por empresa
Fonte: Resultados da pesquisa

A Tabela 21 apresenta os valores encontrados para a volatilidade dos projetos usando o método CA, que representa a volatilidade do projeto, a volatilidade encontrada considerando as possíveis *proxy* de mercado representada pelas ações negociadas na BM&F Bovespa das respectivas empresas. Neste caso foram usadas cotações históricas do primeiro semestre de 2012 e a volatilidade encontrada no processo de simulação de Monte Carlo inserindo as modificações propostas por Smith (2005).

Tabela 21: Volatilidades do projeto por empresa

Método (Volatilidade)	Claro	Vivo	TIM	Oi
CA (2003)	26,57%	29,58%	28,38%	27,33%
<i>Proxy</i>	30,11%	25,26%	30,46%	41,71%
Smith (2005)	16,70%	19,40%	18,15%	17,51%
Diferença (CA – <i>Proxy</i>)	-3,54 p.p.	4,32 p.p.	-2,08 p.p.	-14,38 p.p.
Diferença (CA – Smith)	9,87 p.p.	10,18 p.p.	10,23 p.p.	9,82 p.p.

Fonte: Adaptado de BM&F Bovespa (2013) e resultados da pesquisa

A volatilidade do projeto da Claro ficou 3,54 p.p. abaixo da *proxy* de mercado representada pelas ações da Embratel (EBTP4), por se tratar de uma empresa do mesmo grupo

⁵⁵ Índice de Telecomunicações divulgado pela BM&F Bovespa (Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros de São Paulo) até maio de 2012.

econômico que atua no mesmo mercado, e 9,87 p.p. acima da volatilidade encontrada pelo método de Smith (2005). Por outro lado, o projeto da Vivo apresentou volatilidade acima de ambos os ensaios. Em relação à *proxy* oferecida pelas ações da Telefonica Vivo (VIVT3) ficou 4,32 p.p. a maior e, com relação ao método de Smith (2005), ficou 10,18 p.p. acima. A TIM apresentou volatilidade 2,08 pontos percentuais abaixo da *proxy* (TIMP3) e 10,23 p.p. acima daquela encontrada pelo modelo de Smith (2005). A Oi apresentou a maior disparidade em relação à *proxy* com 14,38 p.p. abaixo da volatilidade do retorno das ações da própria empresa (OIBR3), e com relação a Smith (2005), ficou 9,92 p.p. acima.

6.2 Análise por empresa

Ao avaliar os quatro projetos das empresas que adquiriram as faixas de frequência em 2.500 MHz com abrangência nacional foi possível tecer uma análise crítica de cada empresa. Assim, partindo de uma visão geral sobre os resultados dos projetos, será elaborada uma análise sobre cada empresa individualmente.

O Gráfico 12 apresenta a evolução da base real de clientes 4G por empresa desde o início das operações até setembro de 2013, em que se pode observar que todas as empresas apresentam um crescimento constante ao longo dos meses na base de clientes, mostrando que o mercado está em crescimento e com boa aceitação dos produtos 4G.

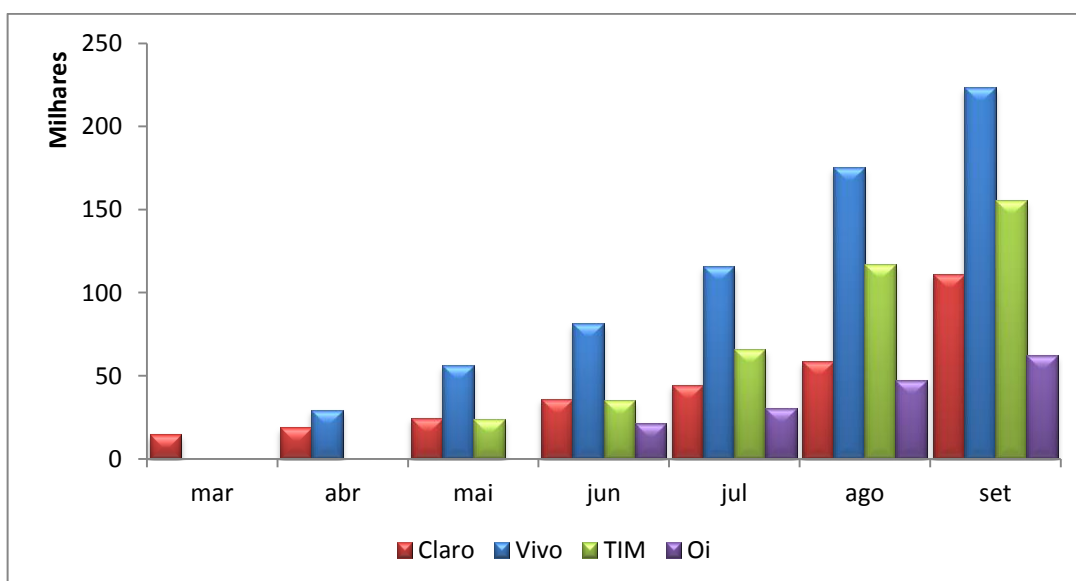


Gráfico 12: Evolução da base de clientes 4G por empresa

Fonte: Adaptado de Anatel (2013)

6.2.1 Claro

As análises anteriores mostraram que o projeto da empresa Claro não apresenta uma boa atratividade para o investidor quando avaliado sem considerar o efeito das flexibilidades gerenciais, pois nesse contexto a probabilidade de o projeto apresentar, no período de 15 anos um VPL maior que zero é da ordem de 26%. A mesma análise para uma TIR superior à taxa de juros livre de risco resultou em uma probabilidade de 77,35%, e a probabilidade de o projeto retornar dentro do período de projeções ficou abaixo dos 90%. Numa análise mais aprofundada dos riscos envolvendo o projeto constatou-se que a volatilidade do VPL, medida pelo desvio padrão da sua distribuição pela simulação de Monte Carlo, é 91% superior ao valor do próprio VPL em módulo, o que resulta em uma perda de R\$ 0,52 sobre cada unidade de risco.

A introdução das flexibilidades na análise conduziu o projeto a outro patamar de resultados, pois as opções de expansão do projeto em 2016 e de abandono em qualquer ano do horizonte de projeções ampliaram a perspectiva de resultados e adicionaram um consistente valor ao VPL, resultando num VPL expandido de R\$ 728 milhões. Na análise do retorno por unidade de risco esse novo cenário apresentou um retorno de R\$ 0,44 para cada unidade de risco contra um prejuízo de R\$ 0,52 por unidade de risco no cenário anterior (sem flexibilidades).

Analizando os resultados do primeiro ano de operação do projeto da empresa Claro, constata-se pelo portal Teleco (2013) que a Claro foi a primeira empresa a lançar os produtos 4G no mercado brasileiro, conta com uma participação de mercado na ordem de 17% contra uma previsão no final do ano de 25,1%, em um mercado que já conta com mais de meio milhões de usuários. A base total de clientes 4G no final de 2013 estava em 222.162 acessos contra uma previsão de 82.837 acessos. Quanto aos valores dos serviços praticados no mercado (2013) os pacotes de serviço 4G estão variando entre R\$ 89,00 para acesso limitado a 500 MB até R\$ 159,00 para acesso limitado a 5 GB, contra um valor médio inicial projetado para R\$ 100,00.

6.2.2 Vivo

O projeto da Vivo é o mais atrativo para o investidor dentre os quatro, porém justificado pela empresa mais eficiente do setor ao apresentar a melhor margem *EBITDA* dentre as quatro empresas. Desconsiderando os efeitos das flexibilidades gerenciais, o resultado da análise do projeto da Vivo apresentou probabilidade de 61,30% para VPL positivo e 94,82% e a TIR ser superior à SELIC de junho de 2012 (taxa de juros livre de risco). De acordo com os resultados das simulações a probabilidade de o projeto apresentar *payback* retorno dentro dos 15 anos de projeção é de 97,58%. A análise dos riscos envolvendo o projeto constatou que a volatilidade do VPL da Vivo é aproximadamente 2,5 vezes o valor do próprio VPL e, no entanto, o projeto apresenta um retorno de R\$ 0,39 sobre cada unidade de risco.

A abordagem por Opções Reais elevou significativamente a atratividade do projeto, pois as opções de expansão do projeto em 2016 e de abandono em qualquer ano do horizonte de projeções adicionaram mais de R\$ 1,23 bilhões ao VPL, resultando em um VPL expandido de R\$ 1,8 bilhões. Na análise do retorno por unidade de risco esse novo cenário apresentou um retorno de R\$ 0,87 para cada unidade de risco contra um retorno de R\$ 0,39 por unidade de risco no cenário anterior (sem flexibilidades).

Um estudo comparativo entre os dados reais e as projeções estabelecidas por esta pesquisa destaca o fato de que a Vivo foi a segunda empresa a lançar os produtos 4G no mercado brasileiro, ocorrido em abril de 2013 e desde então a empresa assumiu a liderança na participação desse mercado de produtos 4G fechando 2013 com 41,1% contra uma previsão para o final do ano de 28,7%. A base total de clientes 4G no final de 2013 fechou em 538.058 acessos contra uma previsão de 96.665 acessos para o final de 2013. Os preços dos pacotes de serviço 4G estão variando entre R\$ 149,00 para acesso limitado a 2 GB até R\$ 269,00 para acesso limitado a 6 GB, contra um valor médio inicial projetado para R\$ 100,00.

6.2.3 TIM

A TIM apresenta resultados bastante animadores do ponto de vista do investidor, pois ainda que tenha apresentado VPL negativo usando as técnicas tradicionais de análise de investimentos, o projeto da TIM apresentou probabilidade de 42,79% de o VPL ficar acima de zero, de 86,06% para a TIR assumir um valor acima da SELIC de junho de 2012 e de 89,89% de o *payback* retorno ocorrer dentro dos 15 anos de projeção do projeto. A análise dos riscos envolvendo o projeto constatou que a volatilidade do VPL da TIM é aproximadamente 18 vezes o valor do próprio VPL em módulo e, nesse sentido, o projeto apresenta um prejuízo de R\$ 0,05 sobre cada unidade de risco.

Ao considerar os efeitos das flexibilidades gerenciais o projeto melhorou significativamente os resultados, pois as opções de expansão do projeto em 2016 e de abandono em qualquer ano do horizonte de projeções adicionaram R\$ 1,19 bilhões ao VPL, resultando em um VPL expandido de R\$ 1,14 bilhões. Na análise do retorno por unidade de risco esse novo cenário apresentou um retorno de R\$ 0,64 para cada unidade de risco contra um prejuízo de R\$ 0,05 por unidade de risco no cenário anterior (sem flexibilidades).

Analisando os resultados dos primeiros meses de operação do projeto pode-se destacar, conforme consta no portal Teleco (2013), que a TIM foi a terceira empresa a lançar os produtos 4G no mercado brasileiro, em maio de 2013, alcançando ainda no mês do lançamento a participação de mercado da Claro, fechando novembro de 2013 com um *Market Share* de 30,4% contra uma previsão para o final do ano de 27,1%. Conforme divulgado pela Anatel (2013) a base de clientes 4G em novembro de 2013 foi registrada em 280.486 acessos contra uma previsão de 89.352 acessos para o final de 2013. O portal TIM (2013) anuncia que a empresa tomou a decisão de manter o mesmo preço dos pacotes de serviço 3G para os serviços 4G pelo período de um ano com objetivo de aprimorar a experiência do usuário. Atualmente um pacote de acesso à Internet tem o preço de R\$ 101,00 para acesso limitado a 10 GB contra um valor médio inicial projetado para R\$ 100,00.

6.2.4 Oi

As análises anteriores mostraram que o projeto da empresa Oi, de forma semelhante ao projeto da Claro, também apresenta baixa atratividade para o investidor quando avaliado sem considerar o efeito das opções reais, pois nesse contexto a probabilidade de o projeto apresentar no período de 15 anos um VPL maior que zero é inferior a 30%. A mesma análise para uma TIR superior à taxa de juros livre de risco resultou em uma probabilidade de 62,67% e a probabilidade de o projeto retornar dentro do período de projeções ficou abaixo dos 80%. Em uma análise mais aprofundada dos riscos envolvendo o projeto constatou-se que a volatilidade do VPL, medida pelo desvio padrão da sua distribuição pela simulação de Monte Carlo, é superior a duas vezes o valor do próprio VPL em módulo, o que resulta em uma perda de R\$ 0,44 sobre cada unidade de risco.

Ao considerar os efeitos das flexibilidades gerenciais, a atratividade do projeto foi significativamente elevada, pois as opções de expansão do projeto em 2016 e de abandono em qualquer ano do horizonte de projeções adicionaram mais de R\$ 1,23 bilhões ao VPL, resultando em um VPL expandido de R\$ 810 milhões. Na análise do retorno por unidade de risco esse novo cenário apresentou um retorno de R\$ 0,42 para cada unidade de risco contra um prejuízo de R\$ 0,44 por unidade de risco no cenário anterior (sem flexibilidades).

Uma análise comparativa entre os dados reais e as projeções estabelecidas por esta pesquisa mostra que conforme consta no portal Teleco (2013), a Oi foi a última empresa a lançar os produtos 4G no mercado brasileiro, junho de 2013, atingindo o prazo limite para cumprir a obrigação de prover o serviço para todas as cidades sedes da copa das confederações da FIFA. Conforme dados da Anatel (2013) a base total de clientes 4G da Oi no final de 2013 registrou 144.619 acessos contra uma previsão de 62.527 acessos e, no entanto, a participação no mercado de produtos 4G fechou o ano em 11% contra uma previsão para o final do ano de 18,7%. O portal Oi (2013) anuncia que a empresa lançou os serviços 4G com preço de referência em R\$ 98,00 para um pacote de acesso à Internet limitado a 5 GB contra um valor médio inicial projetado para R\$ 100,00.

6.3 Discussão dos resultados

Na análise dos investimentos por métodos tradicionais apenas um dentre os quatro projetos foi viável. Ainda assim, em uma análise de riscos todos os projetos apresentaram baixa probabilidade de apresentar VPL positivo. Então, para Dixit e Pindyck (1994, 1995), Trigeorgis (1996), Copeland e Antikarov (2001, 2003) e Brandão et al. (2002, 2005 e 2012) a análise por opções reais atribui valor às flexibilidades encontradas nos projetos, diminui o paradigma do VPL que enxerga o projeto como um conjunto de fluxos de caixa rígidos e invariantes ao longo do tempo e possibilita ao investidor tomar decisões ao longo do tempo de vida projeto, de acordo com os resultados apresentados. Nesse sentido, os resultados encontrados nesta pesquisa concordam com esses autores, pois a análise por opções reais aumentou significativamente a probabilidade de retorno dentro do esperado pelo investidor, uma vez que os projetos apresentaram inicialmente VPL negativo ou relativamente baixo.

Sobre a volatilidade de cada projeto calculada usando o modelo proposto por Copeland e Antikarov (2003) é possível argumentar que os valores encontrados estão dentro de expectativas estabelecidas em outros trabalhos semelhantes conduzidos por outros autores. Arantes (2010), ao avaliar um projeto de rede móvel 3G definiu a volatilidade em 29,7% e afirma que outros estudos apresentam média de volatilidade na ordem de 33%, sendo que Brandão et al. (2010) encontraram a volatilidade para um projeto de rede de WiMAX⁵⁶ na ordem de 35%, Trigeorgis et al. (2006), ao avaliarem um projeto de rede de acesso Wi-Fi, estabeleceram a volatilidade em 28%, Benzoni, Gresse e Vuong (2008) encontraram volatilidade de 40% avaliando um projeto de banda larga no mercado francês, e Stille et al. (2010) estimou a volatilidade de um projeto de telefonia móvel 3G no Brasil em 17%.

Os resultados encontrados na análise de sensibilidade do VPL expandido para variações da volatilidade reforçam estudos de Trigeorgis (1996) e Hull (2009) sobre os impactos da volatilidade no valor das opções, mostrando a importância dessa variável para o resultado do projeto. Embora Brandão et al. (2012) tenham advertido que o método CA superestima o valor da volatilidade, esta pesquisa optou por mantê-lo, porém estabeleceu um ensaio considerando as modificações propostas por Smith (2005) no modelo de simulação para encontrar a volatilidade do projeto, evidenciando que o método CA produziu um dimensionamento médio para as quatro empresas na ordem de 36% acima do modelo

⁵⁶ Rede de comunicação móvel para tráfego de Internet semelhante ao 4G.

proposto por Smith (2005). O ensaio da volatilidade ainda contou com a definição de uma *proxy* de mercado para cada empresa, representadas pelas ações negociadas por essas empresas em bolsa de valores, o que contribuiu como *benchmark* para o valor dessa importante variável.

De uma forma geral os resultados foram bastante relevantes e coerentes com a maioria dos autores evidenciando a superioridade do método de análise de investimentos por opções reais para análise de projetos que apresentam flexibilidades. Isso pode ser confirmado pelo fato de que todas essas empresas que compraram em 2012 a licença da faixa de frequência de 2.500 MHz para exploração dos serviços de telefonia móvel 4G pagando um ágio médio de 33% não exerceram a opção de abandonar o projeto até o presente momento, continuam com o programa de investimentos nesta tecnologia, e já manifestaram explicitamente o interesse em adquirir a faixa de frequência de 700 MHz para expansão do projeto, inclusive.

6.4 Limitações do estudo

A modelagem do projeto de telefonia móvel 4G para as quatro empresas seguiram as mesmas premissas, o que já representa uma limitação do estudo. Assim, é possível que pelo menos uma das quatro empresas possua pelo menos uma flexibilidade diferente das demais empresas, o que poderia tornar a avaliação deste projeto mais atrativa para o investidor.

Este trabalho foi baseado no modelo CA de análise por opções reais desenvolvido por Copeland e Antikarov (2003), que assume a premissa *MAD*, onde o projeto sem flexibilidades com valor calculado pelo FCD é considerado o ativo que representa a melhor estimativa de mercado do projeto, levando a possíveis erros significativos, posto que o projeto não está disponível no mercado para ser negociado. Este modelo também assume as premissas de que o processo estocástico segue o movimento geométrico Browniano (MGB) e que a distribuição do retorno do projeto é lognormal. Tais premissas podem ser inadequadas para alguns tipos de projetos. Também foram excluídos da análise os riscos considerados particulares, ou privados, sendo mantidos apenas os riscos associados ao mercado.

As regras para a licitação da frequência de 700 MHz, que deve ocorrer entre 2014 e 2016, ainda não foram estabelecidas pela Anatel. No entanto, esta pesquisa considerou algumas premissas para incluir esta opção como uma possibilidade de expansão: 1) a faixa de frequência será dividida em blocos ou espectro de 10 MHz cada um, ou seja, permitindo que

todas as grandes empresas possam comprar esta expansão; 2) esses blocos de frequência terão abrangência nacional, tal como ocorreu no leilão da frequência de 2.500 MHz e 3) Os valores a serem oferecidos neste leilão foram baseados no último leilão e atualizados pela inflação esperada para o período.

Esta pesquisa se baseou apenas em dados secundários disponibilizados ao público pelas empresas, portanto, não tendo acesso a informações estratégicas de mercado, promoções de vendas, cronograma de ativação das redes ou até mesmo da estratégia de uso da tecnologia. Outra limitação refere-se a informações sobre os investimentos no projeto, para os quais foram usados levantamentos com especialistas, empresas fabricantes e revendedores, porém todos eles apresentam uma referência de valores para uma aquisição teórica e que, como é do conhecimento de todos, aquisições que envolvem larga escala apresentam condições de negociações exclusivas.

O *deployment* ⁵⁷ da rede e dos produtos 4G foi baseado em uma documentação desenvolvida pela *TeleResearch Labs* (2012) em conjunto com as maiores operadoras de telefonia móvel do mundo e os principais fabricantes e distribuidores de equipamentos. Este, por sua vez, forneceu todo o arcabouço teórico para construir um projeto hipotético para cada uma dessas quatro empresas, o que também constitui uma limitação do projeto, pois não foi possível obter informações da estratégia adotada pelas empresas.

⁵⁷ Conjunto de ações envolvendo o planejamento, execução da implantação, estratégia de marketing e lançamento de um produto no mercado baseado numa nova tecnologia.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A decisão de avaliar o projeto das quatro empresas que adquiriram a licença da frequência de 2.500 MHz para explorar os serviços de Internet móvel 4G em todo o território nacional, e que também fazem parte do grupo das principais empresas do segmento de telefonia móvel do Brasil e do mundo, foi tomada levando-se em conta que cada uma destas empresas apresenta características específicas. A escolha de apenas uma delas seria tendenciosa para se tecer conclusões acerca da viabilidade dos investimentos nesse projeto, pois a mesma seria usada para representar todo o universo da telefonia móvel no Brasil e para, a partir dela, tomar a decisão de investimento no projeto da rede móvel 4G.

O objetivo geral desta pesquisa foi mostrar a viabilidade econômico-financeira dos investimentos no projeto de telefonia móvel 4G no Brasil, sendo necessário usar a Teoria das Opções Reais em conjunto com as técnicas de simulação de Monte Carlo, sobretudo porque os projetos não apresentaram boa atratividade quando avaliados apenas com as técnicas tradicionais. Os resultados foram satisfatórios ao produzir informações que dão sustentação à decisão de realizar um investimento que seria desconsiderado em uma análise preliminar. Neste sentido, todos os quatro projetos apresentaram viabilidade econômico-financeira em função da valoração das opções que contribuíram para que os projetos melhorassem quanto ao retorno e ao risco.

Para encontrar essa resposta foi necessário inicialmente elaborar a avaliação do projeto através do Fluxo de Caixa Descontado, resultando na inviabilidade de três dentre os quatro projetos em estudo incluindo o incômodo detalhe de que a maioria dos projetos apresentou probabilidade abaixo de 50% de oferecer um VPL positivo ao investidor. Em seguida a pesquisa mergulhou na etapa de calcular a volatilidade do projeto usando técnicas de simulação de Monte Carlo, o que constituiu um importante passo na direção de avaliar as flexibilidades dos projetos, uma vez que, conforme a literatura, esse é um item que deve ser avaliado com muita cautela, podendo enviesar os resultados.

Dando continuidade o próximo passo foi identificar as flexibilidades gerenciais do projeto através de uma análise detalhada do edital de licitação da frequência de 2.500 MHz resultando na identificação de duas opções, o abandono e a expansão do projeto, as quais foram avaliadas pela TOR em conjunto com as técnicas de simulação Monte Carlo usando o *framework* definido por CA. A última etapa foi comparar os resultados obtidos no processo de

avaliação pelos métodos tradicionais com o método da TOR introduzindo uma análise dos riscos obtida pela simulação das principais variáveis envolvidas no projeto, o que contribuiu para se ter uma melhor compreensão do impacto das flexibilidades na avaliação dos projetos e do risco assumido pelo investidor ao decidir por realizar um investimento dessa magnitude.

Este trabalho contribui para a consolidação da Teoria das Opções Reais como um método avançado de análise de investimentos ao mostrar sua eficácia na avaliação do projeto de maior relevância da atualidade para o segmento de telecomunicações no Brasil. Apresenta um caminho alternativo ao incorporar as técnicas de análise de riscos em projetos de investimentos em todas as etapas do processo, mostrando os resultados em conjunto com a probabilidade de atingir um determinado alvo estabelecido pelas melhores práticas ou pelo investidor. O trabalho também contribui para a TOR mostrando o impacto da volatilidade no resultado do projeto, conforme explicitado na seção de Análise da volatilidade, voltando as atenções ao suposto superdimensionamento que o método CA atribui à volatilidade do projeto e, por conseguinte ao valor das opções. Nos aspectos práticos a aplicação da metodologia na avaliação destes projetos mostrou que é possível, sem influenciar no resultado, simplificar o uso, de forma a torná-la atrativa e aplicável para qualquer empresa e negócio.

Para pesquisas futuras recomenda-se a replicação deste estudo usando a abordagem alternativa proposta por Brandão et al. (2005a, 2005b) e as modificações na definição da volatilidade proposta por Brandão et al. (2012), modelo de cálculo do valor das opções reais proposto com o objetivo de eliminar ou minimizar o viés de superdimensionamento da volatilidade do projeto que o método CA atribui ao resultado da análise, elaborando uma comparação detalhada dos resultados obtidos em ambos os métodos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). *Cobertura de ERB no Brasil*. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/Portal/exibirPortalInternet.do>>. Acesso em julho de 2013.
- _____. *Consulta Pública-Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências na Faixa de 698 MHz a 806 MHz*. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br>>. Acesso em agosto de 2013.
- _____. *Edital da licitação número 004/2012/PVCP/SPV*. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br>>. Acesso em dezembro de 2012.
- _____. *Relatório Anual Grupo de Dados da SPV 2012*. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br>>. Acesso em julho de 2013.
- _____. *Relatório Consolidado de Tecnologia*. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/SMP/Administracao/Consulta/ConsolidadoDadosMesaMes/tela.asp?SISQSm modulo=18940>>. Acesso em dezembro de 2013.
- ARANTES, E. N. *Opções reais aplicadas a projeto de investimento em telecomunicações com o uso do modelo binomial e simulação de Monte Carlo*. 2010. 134 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis) - PUC-SP, São Paulo, 2010.
- ASSAF NETO, A. *Finanças corporativas e valor*. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. *Focus Relatório de Mercado*. Brasília, 29 de junho de 2012. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?FOCUSRELMERC>>. Acesso em julho de 2013.
- _____. *Histórico de Metas para a Inflação no Brasil*. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br>>. Acesso em outubro de 2013.
- _____. *Relatório de Inflação*. Brasília, v. 14, n. 2, junho de 2012. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?id=RI&ano=2012>>. Acesso em julho de 2013.
- _____. *Relatório de Inflação*. Brasília, v. 14, n. 3, setembro de 2012. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?id=RI&ano=2012>>. Acesso em julho de 2013.
- BERRÊDO, M. C. H. *Abordagem por opções reais na privatização do setor de telecomunicações: o caso da Embratel*. 2001. 173 p. Dissertação (Mestrado em Finanças) – PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2001.
- BLACK, F.; SCHOLES, M. *The pricing of options and corporate liabilities*. The Journal of Political Economy, p. 637-654, 1973.
- BRANDÃO, L. E. T. *An Instructor's Manual for the Dixit & Pindyck's Investment under Uncertainty textbook*. 2000. Disponível em <http://marcoagd.usuarios.rdc.puc-rio.br/contrib1.html#dp_manual>. Acesso em maio de 2013.

BRANDÃO, L. E. T. *Uma aplicação da Teoria das Opções Reais em tempo discreto para avaliação de uma concessão rodoviária no Brasil*. 2002. 132 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia Industrial, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2002.

BRANDÃO, L. E. T.; BASTIAN-PINTO, C.; GOMES, L. L.; SALGADO, M. S. *Incentivos governamentais em PPP: uma análise por opções reais*. RAE: Revista de Administração de Empresas, v. 52, n. 1, p. 10-23, 2012.

BRANDÃO, L. E. T.; DYER, J. S.; HAHN, W. J. *Using binomial decision trees to solve real-option valuation problems*. Decision Analysis, v. 2, n. 2, p. 69-88, 2005a.

_____. *Response to comments on Brandão et al. (2005)*. Decision Analysis, v. 2, n. 2, p. 103-109, 2005b.

_____. *Volatility estimation for stochastic project value models*. European Journal of Operational Research, v. 220, n. 3, p. 642-648, 2012.

BRANDÃO, L. E. T.; GOMES, L. L.; TEIXEIRA, D. M. S. *A decisão do preço de oferta em leilões de telecomunicação: uma análise por opções reais*. RAM - Revista de Administração Mackenzie, v. 11, n. 6, p. 131-154, 2010.

BRANDÃO, L. E. T.; SARAIVA, E. C. G. *Risco privado em infraestrutura pública: uma análise quantitativa de risco como ferramenta de modelagem de contratos*. RAP–Revista de Administração Pública. Rio de Janeiro, v. 41, n. 6, p. 1035-67, 2007.

BREALEY, R. A.; MYERS, S. C.; MARCUS, A. J. *Fundamentals of Corporate Finance*. 5th ed. McGraw-Hill. 2007.

BRENNAN, M. J.; SCHWARTZ, E. S. *Evaluating natural resource investments*. Journal of Business, p. 135-157, 1985.

COPELAND, T. E.; ANTIKAROV, V. *Real options: A practitioner's guide*. New York: Cengage Learning, 2003.

COPELAND, T. E.; KOLLER, T.; MURRIN, J. *Valuation: Measuring and Managing the Value of Companies*. New York. Wiley, 2000.

COPELAND, T. E.; TUFANO, P. *A real-world way to manage real options*. Harvard Business Review, v. 82, n. 3, p. 90-99, 2004.

COPELAND, T. E.; WEINER, J. *Proactive management of uncertainty*. The McKinsey Quarterly, v. 10, n. 4, p. 133-152, 1990.

COX, J. C.; ROSS, S. A.; RUBINSTEIN, M. *Option pricing: A simplified approach*. Journal of Financial Economics, v. 7, n. 3, p. 229-263, 1979.

D'HALLUIN, Y.; FORSYTH, P.; VETZAL, K. *Wireless Network Capacity Investment*. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON REAL OPTIONS, 7., 2003, Washington. Proceedings of the 7 th Annual Real Options Conference: Real Options Group, 2003.

DAMODARAN, A. *Investment valuation: Tools and techniques for determining the value of any asset*. John Wiley & Sons, 2012.

_____. *Betas by sector*. Disponível em:

<http://pages.stern.nyu.edu/~ADAMODAR/New_Home_Page/datafile/Betas.html>. Acesso em junho de 2013.

DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. *Investment under uncertainty*. Princeton University Press, Princeton, 1994.

DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. *The options approach to capital investment*. Harvard Business Review, May-June 1995, p. 107-119. 1995.

GONÇALVES, F.; MEDEIROS, P. *Opções reais e regulação: o caso das telecomunicações no Brasil*. In: SBE CONFERENCE. 2002.

GRAHAM, J. R.; HARVEY, C. R. *The theory and practice of corporate finance: Evidence from the field*. Journal of financial economics, v. 60, n. 2, p. 187-243, 2001.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. *Econometria Básica*. Rio de Janeiro: 5ª ed. AMGH Editora Ltda, 2011.

HARMANTZIS, F. C.; TANGUTURI, V. P. *Investment decisions in the wireless industry applying real options*. Telecommunications Policy, v. 31, n. 2, p. 107-123, 2007.

HARMANTZIS, F. C.; TRIGEORGIS, L.; TANGUTURI, V. P. *Flexible investment decisions in the telecommunications industry: case applications using real options*. NET Institute Working Paper, n. 06-06, set. 2006.

HULL, J. C. *Options, futures and other derivatives*. 7ª ed. Pearson Prentice Hall, 2009.

IBGE. *Sinopse dos resultados do Censo 2010*. Disponível em:

<<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/webservice/default.php?cod1=0&cod2=&cod3=0&frm=piramide>>. Acesso em julho de 2013.

IMF. *International Monetary Fund*. Disponível em:

<<http://www.imf.org/external/datamapper/index.php>>. Acesso em junho de 2013.

LIMA, G. A. C.; SUSLICK, S. B. *Quantificação do momento de investir em ativos minerais por meio da teoria das opções reais*. Revista Escola de Minas, v. 54, n. 2, p. 149-154, 2001.

LOPES, W. P. *Uma abordagem para aplicação integrada de cenários de estratégia com avaliação de opções reais em telecomunicações*. 2004.

MACEDO, M. A. S., NARDELLI, P. M. *Teoria de Opções Reais e viabilidade econômico-financeira de projetos agroindustriais: o caso da opção de abandono*. Organizações Rurais & Agroindustriais, v. 13, n. 1, 2011.

MARKOWITZ, H. *Portfolio selection*. The journal of finance, v. 7, n. 1, p. 77-91, 1952.

MASON, S., MERTON, R. C. *The role of contingente claims analysis in corporate finance*. Harvard Business School Working Paper. 1984.

MCDONALD, R.; SIEGEL, D. *The value of waiting to invest*. The Quarterly Journal of Economics, v. 101, n. 4, p. 707-727, 1986.

MERTON, R. C. *Theory of rational option pricing*. The Bell Journal of Economics and Management Science, p. 141-183, 1973.

MINARDI, A. M. A. F. *Teoria de opções aplicada a projetos de investimento*. Revista de Administração de Empresas, v. 40, n. 2, p. 74-79, 2000.

NAU, R. F.; MCCARDLE, K. F. *Arbitrage, rationality, and equilibrium*. Theory and Decision, v. 31, n. 2-3, p. 199-240, 1991.

MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES. *Telecomunicações - Ações e Programas*. Disponível em <<http://www.mc.gov.br/telecomunicacoes/acoes-e-programas>>. Acesso em agosto de 2013.

MUN, J. *Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions*. Wiley Finance Series, 2006.

OZORIO, L. M.; BASTIAN-PINTO, C. L.; BRANDAO, L. E. T. *The choice of stochastic process in real option valuation*. In: Proceedings of the 14th Annual International Conference on Real Options: Theory Meets Practice. 2012. p. 28-30.

PADDOCK, J. L.; SIEGEL, D. R.; SMITH, J. L. *Option valuation of claims on real assets: the case of offshore petroleum leases*. The Quarterly Journal of Economics, v. 103, n. 3, p. 479-508, 1988.

PINDYCK, R. S. *Pricing capital under mandatory unbundling and facilities sharing*. National Bureau of Economic Research, 2005.

PORTAL BRASIL. *Portal Brasil –risco país*. Disponível em: <http://www.portalbrasil.net/2012/economia/dolar_riscopais_junho.htm>. Acesso em junho de 2013.

PORTAL CLARO. *Ofertas de produtos 4G Claro*. Disponível em: <<http://www.claro.com.br/internet/4g-max/regiao/ddd34/MG/tv-2/?gclid=CMDx76HIybsCFfj7AodVh8A1w>>. Acesso em dezembro de 2013.

PORTAL CLARO. *Relatórios Trimestrais Claro*. Disponível em: <http://www.claro.com.br/sites/files/conheca-claro/balanco_patrimoniais.pdf>. Acesso em setembro de 2013.

PORTAL OI. *Ofertas de produtos 4G Oi*. Disponível em: <<http://www.oi.com.br/oi/oi-pra-voce/planos-servicos/internet/internet-movel/oi-4g>>. Acesso em dezembro de 2013.

PORTAL OI. *Relatórios Trimestrais Oi*. Disponível em: <http://ri.oi.com.br/oi2012/web/conteudo_pt.asp?tipo=43586&id=0&idioma=0&conta=28&s ubmenu=0&img=0&ano=2012>. Acesso em setembro de 2013.

PORTAL TIM. *Ofertas de produtos 4G TIM*. Disponível em:
<<http://www.tim.com.br/sp/para-voce/cobertura-e-roaming/4g?gclid=COKLi-DQybsCFWRk7AodiTMAKA>>. Acesso em dezembro de 2013.

PORTAL TIM. *Relatórios Trimestrais TIM*. Disponível em:
<<http://ri.tim.com.br/listresultados.aspx?idCanal=usPUDXX4etyeFNairm36PA==&resultados=all>>. Acesso em setembro de 2013.

PORTAL VIVO. *Ofertas de produtos 4G VIVO*. Disponível em:
<http://www.vivo.com.br/portalweb/appmanager/env/web?_nfls=false&_nfpb=true&_pageLabel=vcPPHomePlanosPosPage&WT.ac=portal.movel.planosepacotes.planospos#>. Acesso em dezembro de 2013.

PORTAL VIVO. *Relatórios Trimestrais VIVO*. Disponível em:
<http://telefonica.mediagroup.com.br/pt/Info_Mercado/Relatorios_Trimestrais.aspx>. Acesso em setembro de 2013.

RAMIREZ, W.; HARMANTZIS, F. C.; TANGUTURI, V. P. *Valuing wireless data services solutions for corporate clients using real options*. International Journal of Mobile Communications, v. 5, n. 3, p. 259-280, 2007.

ROCHA, K. M. C. *Três Ensaios sobre a Metodologia de Apreçamento de Ativos utilizando Opções Reais*. 2006. 109 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Industrial) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2006.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J. F. *Administração Financeira*. Tradução Antonio Zoratto Sanvicente.–2.ed.–6. Reimpressão–São Paulo: Atlas, 2007.

SALGADO, M. S. *Avaliação do projeto de construção da Linha 4 do Metrô de São Paulo pela metodologia de Opções Reais*. 2009. 77 p. Dissertação (Mestrado em Administração) - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2009.

SECURATO, J. R. *Decisões financeiras em condições de risco*. São Paulo: Atlas, 1996.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. 3ª ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SMITH, J. E. *Alternative approaches for solving real-options problems (comment on Brandão et al. 2005)*. Decision Analysis, v. 2, n. 2, p. 89-102, 2005.

SMITH, J. E.; NAU, R. F. *Valuing risky projects: option pricing theory and decision analysis*. Management Science, v. 41, n. 5, p. 795-816, 1995.

STILLE, R.; LEMME, C. F.; BRANDÃO, L. E. T. *Uma Aplicação de Opções Reais na Avaliação de Licença de Prestação de Serviços de Telefonia Móvel 3G no Brasil*. Revista Brasileira de Finanças, v. 8, n. 3, 2010.

TELECO, Inteligência em Telecomunicações. *4G: Frequências 4G no Brasil*. Disponível em:
<http://www.teleco.com.br/4g_freq.asp>. Acesso em junho de 2013.

_____. *4G: Frequências 4G no mundo*. Disponível em:
<http://www.teleco.com.br/freq4G_mundo.asp>. Acesso em junho de 2013.

_____. *4G: Licitação de frequências de 4G da Anatel*. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/4g_brasil_lic.asp>. Acesso em junho de 2013.

_____. *Operadoras de Celular no Brasil*. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/opcelular.asp>>. Acesso em junho de 2013.

_____. *4G: Tecnologias de Celular*. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/4g_tecnologia.asp>. Acesso em junho de 2013.

_____. *4G: Acessos 4G no Brasil*. Disponível em: <http://www.teleco.com.br/4g_brasil.asp>. Acesso em dezembro de 2013.

TELERESEARCH LABS. *LTE Profit Mantras*. USA, TeleResearch Labs, Inc. 196 p. Setembro de 2012. Disponível em: <www.teleresearchlabs.com>. Acesso em julho de 2013.

TOURINHO, O. A. F. *The valuation of reserves of natural resources: an option pricing approach*. 1979. Tese de Doutorado. University of California, Berkeley, 1979.

TRIGEORGIS, L. *Real Options: Managerial flexibility and Strategy Inresource Allocation*. The MIT Press, 1996.