



PROJETO DE GRADUAÇÃO

**ANÁLISE DE OPÇÕES REAIS EM
EMPREENDIMENTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

YAN LOPES TEIXEIRA BUSTAMANTE BARRETO
11/0144287

Brasília, 24 de outubro de 2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia de Produção

ANÁLISE DE OPÇÕES REAIS EM EMPREENHIMENTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

YAN LOPES TEIXEIRA BUSTAMANTE BARRETO

11/0144287

Relatório submetido como requisito parcial para
obtenção do grau de Engenheiro de Produção.
Orientador: professor João Carlos Felix Souza,
Ph.D. - UnB/ EPR

Brasília, 24 de outubro de 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro momento, a toda a minha família. Por mais que a caminhada até a finalização da graduação tenha sido mais longa que o previsto, nunca deixaram de me apoiar e encorajar a buscar meu maior objetivo, que é o diploma da Engenharia de Produção da Universidade de Brasília.

Sou grato também à Universidade de Brasília pelas inúmeras oportunidades que são disponibilizadas aos alunos nas mais variadas áreas. Tentei extrair o máximo possível do que a Universidade poderia me oferecer, e essas oportunidades me moldaram como profissional, como aluno e como ser humano.

Agradeço a todos os excelentíssimos profissionais de ensino do Departamento de Engenharia de Produção com quem tive contato durante meu trajeto na graduação, em especial ao Professor Dr. João Carlos Felix Souza que me orientou no decorrer deste projeto e ao Professor Nelson Albuquerque, que me auxiliou na modelagem do problema.

Por fim, tenho um agradecimento especial aos meus colegas de profissão e amigos do curso de Engenharia de Produção que contribuíram direta ou indiretamente para a construção deste trabalho. A excelência do conhecimento de vocês foi o que me instigou a nunca estar contente com o mínimo.

RESUMO

Nos últimos anos, a eficiência dos métodos tradicionais de avaliação econômica de investimentos, como o valor presente líquido (VPL), vem sendo fortemente contestada por acadêmicos e gestores de empresas. Os argumentos versam sobre o VPL não considerar os fatores de incertezas e a flexibilidade gerencial existente nos projetos. Somado a isso, há o fato de que atualmente é esperado que empresas tomem decisões rápidas e que se adaptem a novas realidades. A recente crise sanitária causada pelo Covid-19 em meados de 2020 mostrou ao mundo corporativo que não só as empresas precisam se adaptar a novos modos de consumo, como precisam se preocupar com altas variações de preços de matérias-primas, taxas de câmbio e taxas de juros. Nesse novo cenário, as decisões gerenciais precisam de alternativas que ofereçam maiores oportunidades. A Análise de Opções Reais, em analogia com as opções financeiras, se constitui como modelo alternativo de avaliação de investimentos em ativos reais e, por sua vez, os empreendimentos do setor da construção civil podem ser caracterizados como tais, pois normalmente apresentam longo prazo de maturação, são ricos em contingências, possuem irreversibilidade nos seus investimentos e estão sujeitos a condições de incerteza, tais como a volatilidade da economia. O projeto propõe então a aplicação da Análise de Opções Reais para caso real de empreendimento imobiliário. São analisados casos clássicos, como a opção de abandono e de expansão, e seus resultados são confrontados com o método tradicional do VPL. Verifica-se que a inclusão da flexibilidade gerencial foi benéfica para o aumento do valor do ativo em todos os cenários analisados.

Palavras-chave: engenharia econômica, flexibilidade gerencial, viabilidade, opções reais, incerteza.

ABSTRACT

In recent years, the efficiency of traditional methods of economic valuation of investments, such as net present value (NPV), have been strongly contested by academics and company managers. The arguments are about the NPV not considering the uncertainty factors and the managerial flexibility existing in the projects. Added to this is the fact that companies are currently expected to make quick decisions and adapt to new realities. The recent crisis caused by Covid-19 in early-2020 showed the business world that not only do companies need to adapt to new ways of consumption, but they also need to worry about high variations in material prices, exchange rates and taxes interest rate. In this new scenario, management decisions need alternatives that offer greater opportunities. The Real Options Analysis, in analogy to financial options, is an alternative model for evaluating investments in real assets. In this case, projects in the civil construction sector can be characterized as such, as they usually have a long term of maturation, are rich in contingencies, have irreversibility in their investments, and are subject to conditions of uncertainty, such as economic volatility. The project then proposes the application of Real Options Analysis to a real case of civil construction project. Classic cases are analyzed, such as the option of abandonment and expansion, and their results confronted with the traditional NPV method. It appears that the inclusion of managerial flexibility was beneficial in increasing the asset value in all analyzed scenarios.

Key Words: Real Options, managerial flexibility, uncertainty, economic engineering, viability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
	1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	9
	1.2 OBJETIVOS	12
	1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
	2.1 AVALIAÇÃO PELO MÉTODO TRADICIONAL	13
	2.2 TAXA DE DESCONTO	15
	2.3 OPÇÕES FINANCEIRAS.....	16
	2.4 OPÇÕES REAIS	19
	2.5 ÁRVORE BINOMIAL.....	21
	2.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	23
	2.7 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO	24
3	METODOLOGIA.....	25
	3.1 TIPO DE PESQUISA.....	25
	3.2 OBJETO DE ESTUDO.....	26
	3.3 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO	28
4	DESENVOLVIMENTO.....	29
	4.1 CÁLCULO DO VALOR PRESENTE SEM FLEXIBILIDADE.....	29
	4.2 MODELAGEM DA INCERTEZA	29

4.3 MODELO DE PRECIFICAÇÃO BINOMIAL E CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE DE DECISÃO	33
4.4 ANÁLISE DE OPÇÕES REAIS	37
5 CONCLUSÃO.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comparativo de variações percentuais do PIB brasileiro, do PIB da Indústria e do PIB da Construção Civil.....	10
Figura 2: Relação entre as variáveis	19
Figura 3: Flexibilidades Gerenciais.....	20
Figura 5: Exemplo de árvore binomial de três períodos.....	22
Figura 6: Exemplo de gráfico tornado.....	24
Figura 7: Fluxo de Caixa Projetado do Empreendimento	26
Figura 8: Fluxo com Investimento Inicial	27
Figura 9: Cálculo da taxa de desconto.....	27
Figura 10: Resultado do VPL	29
Figura 11: Gráfico tornado	30
Figura 12: Células escolhidas	31
Figura 13: Modelagem da variável preço	32
Figura 14: Modelagem da variável quantidade, no ano 2.....	32
Figura 15: Modelagem da variável quantidade, no ano 3.....	32
Figura 16: Modelagem da variável custo variável	32
Figura 17: Modelagem da variável investimento inicial	33
Figura 18: Resumo das estatísticas da simulação.....	33
Figura 19: Cálculo da árvore para a opção de abandono.....	35
Figura 20: Cálculo da árvore para opção de expansão	36
Figura 21: Cálculo da árvore de abandono e expansão	37
Figura 22: Resultado das opções	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplos de opções	11
Tabela 2: Cálculo do Fluxo de Caixa Livre (FCF)	14
Tabela 3: Classificação das Opções.....	18
Tabela 4: Tipos de Opções Reais	20
Tabela 5: Resultado das opções.....	37

1 INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo, de caráter introdutório, aborda a contextualização do problema, os objetivos que serão alcançados e a estrutura do trabalho como um todo.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

De forma geral, a globalização, o crescimento econômico e as recentes crises promoveram o aumento da competitividade no ambiente empresarial, assim como o aumento das incertezas mercadológicas. Cada vez mais as empresas estão procurando se prevenir de eventos não planejados, adicionando, então, flexibilidade às decisões. Um exemplo de evento imprevisível é a crise recente, causada pelo Covid-19 no início de 2020, que paralisou quase todos os mercados, incluindo o de construção civil. Para esse setor, segundo as projeções pré-pandemia do Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo, era esperada uma alta de 3%, em 2020, para o PIB da construção civil. Entretanto, as interrupções fizeram com que, não somente os empreendimentos imobiliários parassem, mas também que as fábricas de produtos da cadeia de suprimentos, como tijolos, argamassa, cimento e outros deixassem de serem produzidos. Fora isso, a redução da carga horária dos funcionários, as dificuldades de importação de matéria-prima (commodities) e a desvalorização do real em relação ao dólar impactaram a alta do preço de materiais e máquinas em geral.

Apesar das dificuldades enfrentadas pelo setor no primeiro semestre de 2020 por conta da pandemia, o segundo já apresentou uma retomada positiva. Em agosto, a indústria da construção apresentou aumento do desempenho, superando o patamar pré-pandemia. Entretanto, as mudanças e as incerteza são constantes, e o setor em si é complexo. São vários os aspectos econômicos, sociais, tecnológicos e governamentais que se inter-relacionam na dinâmica do segmento, envolvendo interesses do governo, das empresas e do cidadão. Sua importância, sob o ponto de vista econômico, é facilmente evidenciada pelo peso dos indicadores em relação à participação no PIB, na produção e no emprego (KURESKI et al., 2008). Segundo dados do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) a construção civil representou 34% da indústria brasileira em 2017 e 6,2% do PIB brasileiro em 2019. Tal representatividade faz com que o crescimento desse setor se comporte de maneira semelhante ao PIB da Indústria e, conseqüentemente, do Brasil.

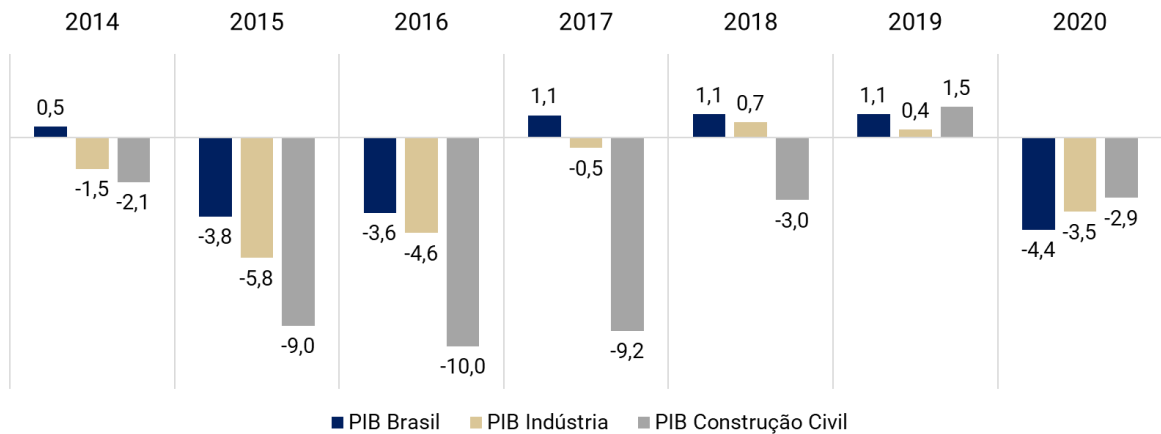


Figura 1: Comparativo de variações percentuais do PIB brasileiro, do PIB da Indústria e do PIB da Construção Civil.

Fonte: CBIC, FGV, Banco Central. 2020. Elaboração própria.

A realidade turbulenta da economia atual impõe às empresas a adoção de estratégias visando administrar o valor para sustentar o crescimento, a rentabilidade e a sustentabilidade do negócio. Fica evidenciado que é vital gerenciar de uma maneira flexível, através de ferramentas e metodologias, e rever sempre que possível estratégias e planos antes concebidos.

Existem diversos métodos de avaliação de investimento. Os mais difundidos, tanto empiricamente como na literatura, são os que se baseiam nos valores projetados de fluxos de caixa descontados a valor presente, utilizando-se como taxa de desconto aquela que reflita o risco inerente do ativo. A atual metodologia, conhecida por Valor Presente Líquido (VPL), é usada em 80% das empresas (NETO et al., 2008).

O problema com o método do Valor Presente Líquido com base no Fluxo de Caixa Descontado é que se adota uma única estratégia, que será mantida até o final do projeto, não capturando a flexibilidade gerencial, que será da maior importância para adaptar e revisar decisões posteriores, em resposta ao imprevisto do desenvolvimento do mercado. As flexibilidades minimizam as perdas em situações negativas de mercado e maximizam os ganhos em situações favoráveis, ou seja, mudam os planos de acordo com desdobramentos de eventos futuros (MINARDI, 2004).

É necessário um método mais sofisticado onde a incerteza cria oportunidades e os projetos submetem várias opções, que podem ou não ser exercidas. “Uma opção é o direito, mas não a obrigação, de tomar uma ação (ex. adiar, expandir, contratar ou abandonar) a um custo predeterminado chamado preço de exercício, durante um determinado período de

tempo” (COPELAND, 2003, pag. 5). A Análise das Opções Reais estabelece diretrizes sobre qual o melhor momento de agir para otimizar as decisões, maximizando, portanto, o valor do projeto de investimento.

Tabela 1: Exemplos de opções

Opções Reais	Atividade
Postergar	Aguardar novas informações que diminuam a incerteza
Expandir	Demanda maior que a prevista, investir numa ampliação adicional
Contraír	Demanda menor que a prevista, diminuir escala de produção para
Abandonar	Fechar temporariamente ou fechar definitivamente devido à incertezas

Fonte: MINARDI, 2004. Adaptado.

A Análise de Opções Reais pode se mostrar uma promissora ferramenta de auxílio à tomada de decisão em empreendimentos de construção civil, já que se caracterizam pelo longo prazo de maturação, pela existência de contingências (flexibilidade gerencial), pela irreversibilidade e por estarem sujeito às condições de incertezas mercadológicas, como custos da construção e compra de terrenos para implantação do empreendimento, demanda, preços dos imóveis e sua velocidade de vendas, além das evolução da economia em si (YOSHIMURA; GRANJA, 2006)

Segundo Dias (1996) a moderna teoria das opções reais não só é superior do ponto de vista teórico ao Fluxo de Caixa Descontado, como também já é uma técnica suficientemente consolidada para a adoção nas empresas.

Este trabalho se propõe a aplicar a Análise de Opções Reais em um exemplo real de empreendimento imobiliário, onde o VPL deste será confrontado com os resultados das opções de abandono e de expansão.

Os dados financeiros de entradas e saídas para a construção do empreendimento foram fornecidos por uma empresa bem estabelecida do setor, que neste trabalho será chamada de TERRA LTDA.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é aplicar a Teoria das Opções Reais (TOR) na análise de investimento em um empreendimento da construção civil. Têm-se como objetivos específicos:

- i) Calcular as opções de abandono e expansão; e
- ii) Aplicar a Teoria das Opções Reais no estudo de viabilidade econômica do projeto, comparando com as técnicas tradicionais de avaliação de investimento.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é dividido em 6 capítulos, que, em conjunto, traduzem todo o esforço realizado na compilação desse projeto. O primeiro capítulo consiste na introdução, cuja função principal é apresentar um breve contexto, argumentos de relevância e os objetivos propostos; o segundo capítulo é uma análise de fundamentação teórica, que se inicia na definição da abordagem tradicional do VPL e suas principais limitações. São tratados os conceitos básicos da teoria das opções financeiras, da teoria das opções reais, das diferenças entre opções reais e árvore de decisão.

No terceiro capítulo, apresenta-se a metodologia utilizada e seu desdobramento, seguida pela descrição das características do empreendimento que fizeram parte deste trabalho. Os dados desse capítulo são a base do capítulo 4, que trata das simulações dos dados financeiros. Esses resultados são analisados com base no conceito da literatura de opções reais.

O quinto capítulo consiste nas conclusões finais do trabalho, e o último capítulo traz as referências bibliográficas mencionadas ao longo de todo o trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os principais temas de pesquisa relacionados à teoria das opções reais.

2.1 AVALIAÇÃO PELO MÉTODO TRADICIONAL

Quando se trata de análise de investimentos, atualmente o método mais usado entre as empresas é o Valor Presente Líquido. Seu objetivo é conhecer o valor do fluxo de caixa projetado do investimento na data presente. O valor do VPL é uma função de quatro variáveis principais: (i) magnitude do fluxo de caixa, (ii) grau de incerteza dos fluxos de caixa futuros, (iii) horizonte de tempo no qual será analisado o investimento, e (iv) taxa de desconto, mais conhecida como WACC (*Weighted Average Cost of Capital*), que é um custo médio ponderado de Capital. Nesse método, o risco é uma variável constante (NETO et al., 2008).

A magnitude se refere aos recebimentos menos o desembolso, ou seja, há uma relação direta de que quanto maior a magnitude, maior o fluxo de caixa líquido. É importante levar em consideração o valor do dinheiro no tempo; então, quando se coloca em perspectiva o horizonte de tempo de análise do projeto, há uma incerteza que afeta o fluxo de caixa futuro. Essa incerteza, junto com a magnitude e o tempo de recebimento, determinará quanto é justo pagar, hoje, pelo investimento.

Em geral, nos investimentos, quanto mais distante for o horizonte de tempo, mais imprecisas serão as projeções do fluxo de caixa, uma vez que o fluxo de entradas e saídas está diretamente relacionado a vendas futuras (apartamentos e casa dentro de um condomínio, no exemplo da construção civil), custos (mão-de-obra, materiais para construção etc.), taxas de juros, mudanças econômicas, políticas governamentais, distribuição pelos fornecedores e assim por diante.

Para um projeto convencional, o VPL é obtido subtraindo-se o investimento inicial (I) do fluxo de caixa esperado nos períodos compreendidos entre $t = 1$ até $t = n$, descontado a uma taxa igual ao custo de oportunidade (k), que reflita o risco do investimento. Na equação, n representa o horizonte de tempo em que será analisado o investimento e FC_n , o fluxo de caixa esperado para os próximos n anos.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{FC_n}{(1+k)^n} \quad (1)$$

Existe uma relação inversa entre a taxa k e o valor final do VPL, ou seja, quanto maior a taxa adotada, menor é o valor final do VPL. O investimento é considerado atrativo caso o VPL seja maior que zero.

Para Mun (2002), as vantagens da abordagem do VPL são:

- tratar-se de um critério de decisão claro e consistente;
- quantitativo, razoável acurácia e economicamente racional;
- relativamente simples e amplamente disseminado e aceito por empresas e investidores;
- lógica intuitiva para a gestão: se caso os benefícios excedem os custos, é aprovado o investimento.

A projeção do fluxo de caixa é calculada com base no modelo do fluxo de caixa livre (*free cash flow*), que é o montante disponível para investidores (credores e acionistas) gerado pelas atividades operacionais da empresa, após serem descontados todos os custos, despesas, pagamento de juros e empréstimos, dividendos, e cobertos os investimentos em ativos fixos e em ativo circulante líquido (GITMAN, 2010). O cálculo do fluxo de caixa livre é feito da seguinte forma:

Tabela 2: Cálculo do Fluxo de Caixa Livre (FCF)

(+)	Receita Operacional Bruta
(-)	Impostos Indiretos
(=)	Receita Operacional Líquida
(-)	Custo da Mercadoria Vendida
(=)	Lucro Bruto
(-)	Despesas Gerais, Adm, Pessoal
(-)	Depreciação
(=)	Lucro Operacional
(+/-)	Variação do Capital de Giro
(-)	CAPEX
(-)	IR/CSLL
(=)	Fluxo de Caixa Disponível
(-)	Pagamento de Juros
(-)	Amortização de Empréstimos
(+)	Efeito Fiscal
(=)	Fluxo de Caixa Livre

Fonte: NETO et al. (2008)

Há anos o método do Valor Presente Líquido vem sendo discutido entre acadêmicos e gestores de empresas, e a ideia geral é de que seja um método limitado. Mellis (1999)

argumenta que existe subjetividade na estimativa da taxa de desconto, enquanto Minardi (2004) não só corrobora com esse ponto de vista de que os parâmetros do WACC são de difícil estimação, como explica que a suposição do VPL de que a empresa terá uma gerência passiva que não irá rever suas decisões estratégicas durante a vida do projeto é um ponto que enfraquece o método.

2.2 TAXA DE DESCONTO

Uma das metodologias para se calcular o custo do capital (k) é o CAPM (do inglês, *Capital Asset Pricing Model*). Partindo do pressuposto de que os retornos de uma empresa devem ser suficientes para remunerar os sócios pelos riscos tomados, o CAPM sugere uma taxa mínima de retorno a ser exigida pelos sócios (detentores do capital próprio), levando em consideração os riscos sistêmicos (de mercado, sobre os quais qualquer empresa está sujeita e não tem capacidade de influenciar) e os riscos operacionais (referentes à empresa, mais especificamente ao setor em que determinada empresa está inserida) a que determinada empresa está exposta.

O custo do capital próprio pode ser calculado da seguinte maneira:

$$K_e = \frac{(1 + R_f + \beta * (E[R_m] - R_f + R_b + T))}{(1 + I_a) * (1 + I_b)} - 1 \quad (2)$$

Onde:

- R_f = Taxa Livre de Risco;
- β = Beta realavancado (coeficiente de risco de mercado da empresa);
- $E[R_m]$ = Retorno médio de longo prazo obtido no mercado acionário;
- $E[R_m] - R_f$ = Prêmio pelo risco de mercado;
- R_b = Risco associado ao Brasil;
- T = Prêmio pelo tamanho da empresa;
- I_a = Taxa médio de inflação dos Estados Unidos (estimada);
- I_b = Taxa de inflação do Brasil de longo prazo (estimada).

2.3 OPÇÕES FINANCEIRAS

Com o intuito de facilitar o entendimento de opções reais, se faz necessário introduzir a explanação da Teoria das Opções Financeiras, que favoreceu o surgimento da teoria de precificação de Opções Reais.

Conforme Hull (2015) e Minardi (2004), uma opção pode ser caracterizada por um contrato assumido entre duas partes, que dá ao comprador o direito, mas não a obrigação, de comprar (*call*) ou vender (*put*) o ativo a um preço estabelecido em, ou antes de, determinada data.

As opções financeiras fazem parte de um grupo que surgiu para diminuir a incerteza, denominado “derivativo”. Esse grupo não tem um valor próprio; seu valor deriva de algum outro ativo, chamado subjacente. De acordo com Hull (2015), os tipos de derivativos mais comuns são os contratos a termos futuros, os *swaps* e as opções financeiras.

São seis os determinantes do valor de uma opção:

- S é o preço da ação no momento presente;
- X é o preço de exercício, ou *strike*;
- σ é a volatilidade do ativo;
- r é a taxa de retorno livre de risco;
- T é a maturidade (tempo de duração da opção);
- t é o tempo presente.

Existem dois tipos básicos de opções (MINARDI, 2004; MONTEIRO, 2003):

- Opção de Compra (*Call Option*): dá ao seu detentor o direito, mas não a obrigação, de comprar determinado ativo em uma determinada data a um preço estabelecido;
- Opção de Venda (*Put Option*): dá ao seu detentor o direito, mas não a obrigação, de vender um determinado ativo em uma determinada data, por um preço estabelecido.

A data de vencimento determinada no contrato é conhecida como *strike date*, e o preço é chamado de preço do exercício, ou *strike price*.

As opções podem ser classificadas como: (i) americanas, que são aquelas que podem ser exercidas em qualquer momento até sua data de vencimento; (ii) europeias, que só podem ser exercidas na data de vencimento; (iii) bermudas, que são uma mistura dos dois tipos descritos anteriormente; e (iv) asiáticas, que são opções cujas condições de exercício dependem de eventos vinculados entre o momento de lançamento e a data de exercício. A

opção bermudas se caracteriza como uma janela onde é possível o exercício antes da expiração, com a introdução de períodos de impedimento de exercício, como uma espécie de carência ou tempo proibido. Grande parte das opções negociadas são americanas.

Para cada tipo de opção (compra e venda) existem duas posições: a posição comprada (*long*) e a posição vendida (*short*) (MINARDI, 2004).

Se X for o preço do exercício e S_t o preço da ação no exercício, o fluxo de caixa no vencimento para cada posição é:

- Compra de opção de compra (*long in a call*):

$$\max(S_t - X, 0) \quad (3)$$

- Compra de opção de venda (*long in a put*):

$$\max(X - S_t, 0) \quad (4)$$

- Venda de opção de compra (*short in a call*):

$$\max(S_t - X, 0) = \min(X - S_t, 0) \quad (5)$$

- Venda de opção de venda (*short in a put*):

$$\max(X - S_t, 0) = \min(S_t - X, 0) \quad (6)$$

Segundo Hull (2015), o valor intrínseco de uma opção pode ser definido como o valor que teria se não houvesse tempo até o vencimento, de modo que a decisão de exercício tivesse que ser tomada imediatamente.

Analisando as posições, o Comprador da opção só irá exercer o seu direito se o fluxo de caixa no vencimento for positivo; caso contrário, não exercerá. Monteiro (2003) classifica as opções conforme a Tabela 3.

Classificação	Opção de Compra	Opção de Venda
In-the-money (dentro do dinheiro)	Preço do objeto é maior que o preço do exercício	Preço do objeto é menor que o preço do exercício
At-the-money (no dinheiro)	Preço do objeto é igual ao preço do exercício	Preço do objeto é igual ao preço do exercício
Out-of-the-money (fora do dinheiro)	Preço do objeto é menor que o preço do exercício	Preço do objeto é maior que o preço do exercício

Fonte: MONTEIRO (2003)

Basicamente, se o resultado for “dentro do dinheiro”, a opção é exercida com alto lucro. Se “no dinheiro”, não gera lucro, nem prejuízo. Se “fora do dinheiro”, a opção não é exercida, ou seja, é abandonada.

Existem similaridades e diferenças entre opções financeiras e opções reais. Mun (2002) explica que opções financeiras têm um curto prazo de vencimento, se comparado com o longo prazo do vencimento de opções financeiras. Nas opções financeiras, os valores são geralmente pequenos, e os ativos são negociados com base em informações de mercado, enquanto, nas opções reais, cada opção normalmente é negociada em milhões ou bilhões, e o ativo não tem mercado comparável. Outra grande diferença é o fato de que as opções financeiras não levam em conta premissas da administração, enquanto o gerenciamento direciona o valor de uma opção real.

Analogamente às opções financeiras, o valor das opções reais depende de algumas variáveis básicas:

- S é o preço do ativo subjacente, ou seja, o empreendimento, investimento ou aquisição de ativos reais;
- X é o preço de exercício, que é o montante investido para exercer a opção real;
- σ é a volatilidade do ativo, que pode ser descrito como o movimento que o ativo subjacente sofre com o passar do tempo;
- r é a taxa de juros que influi na determinação do preço da opção;
- t é o tempo até o vencimento.

A figura 2 mostra a visão geral das variáveis de entrada para uma opção de compra de um projeto de investimento em comparação com opção de compra de uma ação.

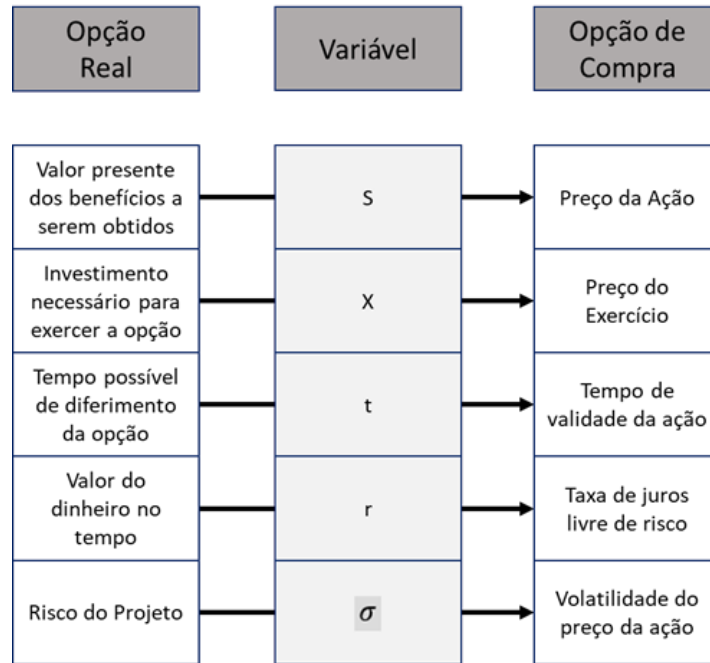


Figura 2: Relação entre as variáveis

Fonte: LUEHRMAN (1998)

2.4 OPÇÕES REAIS

Opções Reais é um modelo de precificação de projetos que pode ser utilizado para analisar decisões de investimento. O termo “real” distingue essas opções sobre ativos tangíveis ou intangíveis das opções sobre ativos financeiros.

Esse modelo permite valorar a flexibilidade para reagir a eventos incertos, preenchendo a lacuna deixada pelo método do Valor Presente Líquido. O grande diferencial é a possibilidade de rever a estratégia inicial e alterar o plano de investimentos de acordo com as novas condições impostas ao empreendimento, o que traz um ganho gerencial. Basicamente, a flexibilidade gerencial proporciona à empresa verificar o melhor momento para investir.

Segundo Minardi (2004), a flexibilidade expande o valor da oportunidade do investimento pela melhoria do potencial de ganhos, enquanto limita as perdas às expectativas iniciais da administração sob uma gerência passiva. Nesse modelo, o VPL é considerado como ponto de partida. Entretanto, é necessária sua reformulação para que seja possível capturar o valor das flexibilidades.

$$VPL_{\text{Expandido}} = VPL_{\text{Tradicional}} + Valor_{\text{Flexibilidade Gerencial}} \quad (7)$$

Essa flexibilidade gerencial foi demonstrada por Copeland e Antikarov (2002), de forma concisa, como mostra a Figura 3.

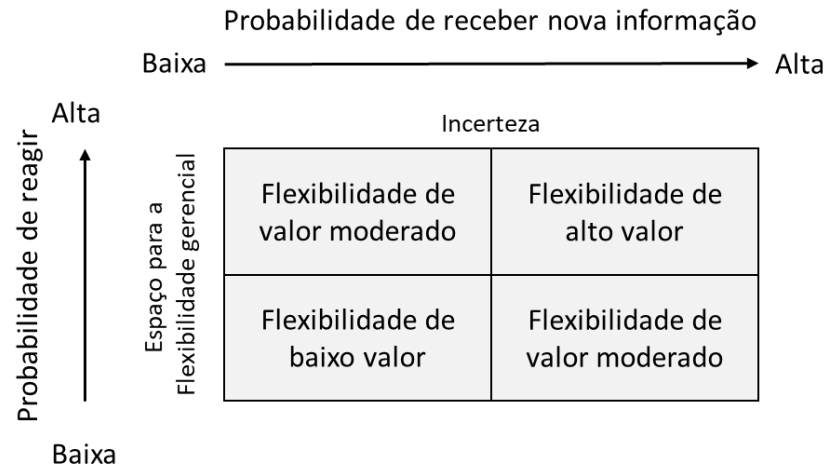


Figura 3: Flexibilidades Gerenciais.

Fonte: COPELAND e ANTIKAROV (2002)

As opções reais podem ser aplicadas em diversos setores, contextos diferentes e diversos cenários de investimento de capital. As opções, em sua maioria, podem ocorrer naturalmente (por exemplo, adiar, contratar, desligar ou abandonar); outras podem ser estrategicamente planejadas ou implementadas mediante um custo adicional (expandir a capacidade ou postergar). A tabela 4 descreve as categorias de opções mais encontradas.

Tabela 4: Tipos de Opções Reais

Tipo de Opção	Descrição
Diferir/Esperar	Permite esperar por melhores condições de mercado ou novas informações antes de executar o projeto. Considera-se que, com o passar do tempo, é possível adicionar mais informações a respeito de um dado empreendimento, reduzindo as incertezas.
Abandono	Os investimentos podem ser abandonados segundo informações desfavoráveis do mercado, e o investidor pode vender o projeto ou seus ativos por um valor residual.
Contração	Uma opção de contração disponibiliza ao tomador de decisão o direito e a habilidade de contrair a atual operação, sob certas considerações,

	resultando em redução de custos ou despesas.
Expansão	O valor desses projetos deriva de oportunidades de crescimento para os fluxos de caixa esperados. Assim, um projeto em estágio inicial é necessário para desencadear a possibilidade de criação de valor com a ampliação do escopo, disponibilizando ao gestor o direito ou a habilidade de expandir para diferentes mercados, produtos e estratégias.
Informação	A existência de novas informações pode diminuir as incertezas. Os investimentos sequenciais em informação podem revelar condicionantes capazes de reduzir a variância do risco, bem como indicar o momento adequado para a realização do projeto.
Suspensão	Refere-se a uma flexibilidade que possibilita uma planta ser ativada ou desativada dinamicamente diante da mudança das condições de mercado.
Contratual	São opções incorporadas em contratos (ex.: fixação de preços e prazos de entrega). Opções de contração e comutação também podem aparecer na forma contratual. Nesses tipos de opções, a flexibilidade é negociada por meio de opções em contratos.

Fonte: COSTA (2014)

2.5 ÁRVORE BINOMIAL

A árvore representa um processo de decisão e está diretamente ligada à flexibilidade gerencial, pois esse método de análise permite rever a estratégia inicial e alterar planos de acordo com novas condições estabelecidas para o empreendimento (MINARDI, 2004).

O método da árvore de estratégias envolve o modelo binomial, pois é possível descrever diversas alternativas numa escolha de opção otimizada. Introduzindo o modelo binomial, Cox, Ross e Rubinstein publicaram, em 1979, o artigo *Option Pricing: Simplified Approach*, no qual desenvolveram um modelo para precificação de opções com base na abordagem binomial, tornando o processo didático e acessível a um público maior (MINARDI, 2004). Embora tenha sido concebido para precificação de opções financeiras, o modelo é aplicável também às opções reais. A vantagem desse modelo é a sua capacidade de

precificar a opção ao longo de toda sua vida útil, sendo possível usá-lo em opções europeias e americanas. Na proposta dos três autores, eles utilizam uma árvore de decisão em tempo discreto, e cada passo apresenta o caminho que segue o preço da ação de referência.

Segundo Hull (2015), o modelo envolve a ideia de construir uma árvore binomial, que consiste em um diagrama de representação dos diferentes caminhos que podem ser seguidos pelo preço de um ativo durante a vida útil da opção. O pressuposto desse método é que o preço do ativo segue uma trajetória aleatória e, em cada período (t), há uma probabilidade (p) de alta no preço e uma probabilidade (1-p) de queda.

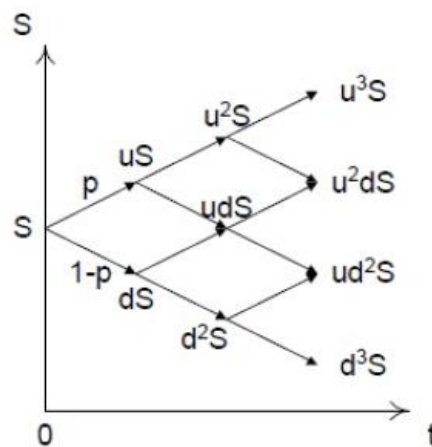


Figura 4: Exemplo de árvore binomial de três períodos

Fonte: BAIDYA e CASTRO (2001)

O processo do método binomial segue a equação:

$$C = \frac{p * C_u + (1 - p) * C_d}{r} \quad (8)$$

Onde:

- C = valor atual da opção;
- C_u = valor da opção no vencimento se o preço da ação for $u \times S$;
- C_d = valor da opção no vencimento se o preço da ação for $d \times S$;
- u = fator quando S sobe;
- d = fator quando S desce.

A probabilidade neutra ao risco (p) derivada de Cox, Ross e Rubinstein (1979), é:

$$p = \frac{r - d}{u - d} \quad (9)$$

$$1 - p = \frac{d - r}{u - d} \quad (10)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = \frac{1}{u} \quad (11)$$

Na equação, σ é a volatilidade do logaritmo natural de retorno do fluxo de caixa livre do ativo subjacente em porcentagem, e a probabilidade neutra ao risco é destinada a ajustar os fluxos de caixa, de modo que possam ser descontados a uma taxa livre de risco.

2.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade pode ser utilizada para: (i) tomar melhores decisões; (ii) decidir quais dados estimados devem ser refinados antes de tomar uma decisão; e (iii) concentrar-se nos elementos críticos durante a implementação (ESCHENBACH, 1992).

O gráfico tornado é uma ferramenta que permite fazer a análise de sensibilidade de maneira gráfica e, assim, facilitar a compreensão. Esse gráfico tem a capacidade de sumarizar o impacto total de variáveis independentes, pois permite fazer a análise de sensibilidade de cada variável. O resultado é uma ordenação de variáveis de acordo com sua importância para o resultado final (SILVA; BELDERRAIN, 2004).

Para o gestor de uma empresa ou tomador de decisão, essa ferramenta se mostra bastante útil, pois permite focar os esforços nas variáveis que realmente são vitais.

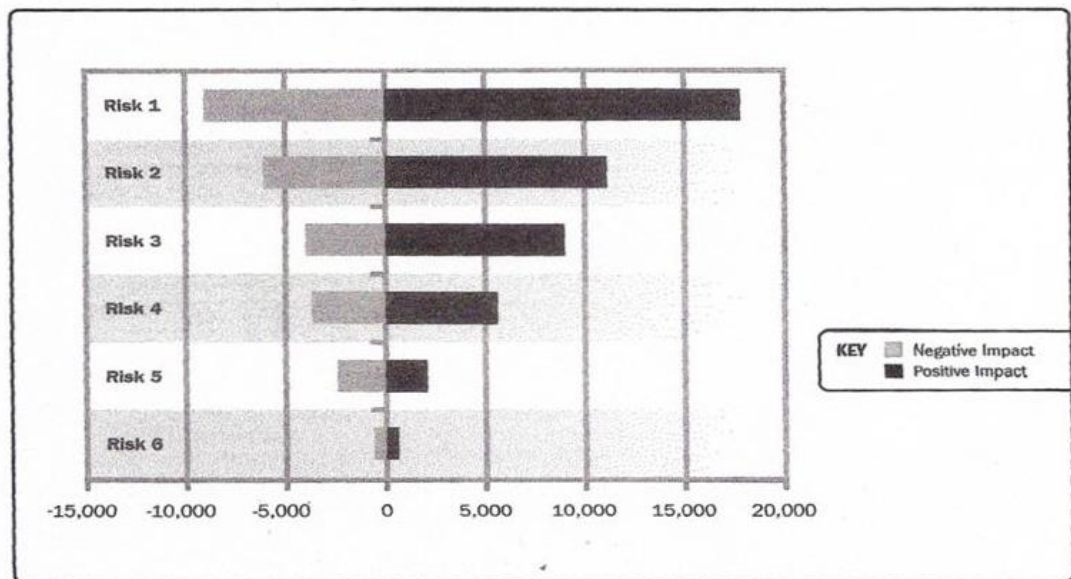


Figura 5: Exemplo de gráfico tornado.

Fonte: PMBOK 5ª Edição (2017)

2.7 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

A simulação de Monte Carlo, segundo Costa Lima (2004), é um método estocástico que permite incorporar incertezas econômicas, financeiras e técnicas à estimativa de volatilidade de retorno de um empreendimento. O método em si utiliza amostras de números aleatórios de acordo com parâmetros definidos para as variáveis que compõem o modelo a ser utilizado. O modelo, então, é simulado repetidas vezes.

Citando Jorion (1998), “o método de Monte Carlo aproxima o comportamento dos preços de ativos financeiros, por meio de simulações de computador, que geram trajetórias aleatórias”. A ideia geral do modelo é ter como entrada uma ou mais variáveis que têm certo padrão de distribuição de probabilidade (normal, triangular etc.), e então são gerados número aleatórios para essas variáveis. A cada iteração, o resultado é armazenado. Ao final de todas as iterações, a sequência de resultados é transformada em uma distribuição, e seus parâmetros, como, por exemplo, média e desvio padrão, podem ser calculados (YOSHIMURA; GRANJA, 2006).

A simulação de Monte Carlo pode assim ser montada (TRIGEORGIS, 1993 e BREALEY; MYERS, 1998):

- Construção do modelo do projeto: definição do problema e das características do projeto, modelando em uma planilha eletrônica todas as variáveis do modelo e suas relações de interdependência, considerados os períodos de tempo;
- Identificação de incerteza/riscos: identificar as variáveis mais significantes para o resultado do modelo. Essas serão consideradas as variáveis de entrada do modelo de simulação;
- Definição da distribuição: para cada variável mais significativa identificada, será definida a distribuição de probabilidade que melhor se ajuste à série de dados;
- Identificação das variáveis de análise (variáveis de saída do modelo): aquelas que terão seu desempenho analisados, como fluxos de caixa e/ou VPL;
- Geração da simulação: executar o modelo N vezes, gerando a série de valores para a variável de análise; e
- Análise do modelo simulado: análise dos parâmetros gerados.

3 METODOLOGIA

A construção de todo esse Projeto de Graduação se baseia na aplicação da Análise de Opções Reais para empreendimentos da construção civil. Este capítulo discorre sobre a metodologia utilizada a partir dessa temática e o estudo de caso.

3.1 TIPO DE PESQUISA

Para Silveira e Córdova (2009), as pesquisas podem ser classificadas por abordagem, natureza, objetivos e estratégia. Quanto à abordagem, a pesquisa pode ser classificada como (i) qualitativa, que se preocupa com aspectos da realidade que não podem ser quantificados, ou (ii) quantitativa, que se centra na objetividade e na quantificação dos dados. Quanto à natureza, a pesquisa pode ser classificada como (i) base, que objetiva gerar conhecimentos novos, ou (ii) aplicada, que gera conhecimentos para aplicação prática. Quanto aos objetivos, pode ser do tipo (i) exploratória, que busca proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito; (ii) descritiva, que pretende descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade; ou (iii) explicativa, que tem como propósito identificar os fatores que contribuem para a ocorrência de fenômenos.

Nesses termos, esta pesquisa se classifica como quantitativa, já que se deseja quantificar numericamente o valor da flexibilidade gerencial para certos tipos de opções reais, de objetivo aplicado, natureza descritiva e estratégia de experimentação, uma vez que será feita a aplicação de um modelo, definido a partir da revisão bibliográfica, em um empreendimento. A forma de coleta de dados pode ser caracterizada como dados de arquivo, já que estavam disponíveis na organização.

3.2 OBJETO DE ESTUDO

O empreendimento de construção civil que será aplicado no modelo é um prédio da TERRA LTDA a ser construído, que colocará 32 unidades à venda, totalizando um Valor Geral de Vendas (VGV) de R\$ 10.316.563. Os dados financeiros enviados pela empresa se referem a um fluxo de caixa para a construção do edifício, projetado de 2021 a 2030. Esses dados foram estimados pela própria empresa, que costuma fazer esse tipo específico de prédio há cinco anos.

A construção se estende do mês 1 até o mês 30 (nov/2023). Após esse período, o prédio se encontrará concluído, e haverá um desembolso anual de R\$ 23.000 referente ao pós-obra. Já as vendas se iniciam antes da conclusão do edifício, no mês 9, e terminam no mês 31 (dez/2023).

<i>em R\$ 000</i>	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Média	Total
Receitas	0	3.721	6.595	0	0	0	0	1.474	10.317
Custos Variáveis	288	2.799	2.847	23	23	23	23	861	6.026
(=) Lucro Bruto	-288	922	3.749	-23	-23	-23	-23	613	4.291
<i>% Lucro Bruto</i>		24,8%	56,8%					41,6%	41,6%
Custos Fixos	44	123	38	0	0	0	0	29	205
(=) EBITDA	-333	799	3.711	-23	-23	-23	-23	584	4.085
<i>% EBITDA</i>		21,5%	56,3%					39,6%	39,6%
Impostos	0	141	273	0	0	0	0	59	414
(=) Resultado Operacional	-333	659	3.438	-23	-23	-23	-23	525	3.672
<i>% Resultado Operacional</i>		17,7%	52,1%					35,6%	35,6%
Despesas Financeiras	0	4	7	0	0	0	0	1	10
(=) Lucro Líquido	-333	655	3.431	-23	-23	-23	-23	523	3.662
<i>% Lucro Líquido</i>		17,6%	52,0%					35,5%	35,5%
Lucro Líquido Acumulado	-333	322	3.754	3.731	3.708	3.685	3.662		

Figura 6: Fluxo de Caixa Projetado do Empreendimento

Fonte: TERRA LTDA

Para a construção do prédio, é necessário um desembolso inicial de R\$ 2.245.034. Esse investimento inicial, identificado no mês 0 do modelo, refere-se à compra do terreno, assim como à documentação necessária para os trâmites de aquisição.

Fluxo Operacional

	Investimento	mês 1	mês 2	mês 30	mês 31
Investimento Inicial	R\$ 2.245.034				
Receita Operacional Bruta		R\$ -	R\$ -	R\$ 91.948	R\$ 517.000
Custos Variáveis		R\$ 3.720	R\$ 9.571	R\$ 152.000	R\$ 115.000
Lucro Bruto		R\$ (3.720)	R\$ (9.571)	R\$ (60.052)	R\$ 402.000
Custos Fixos		R\$ -	R\$ -	R\$ 3.422	R\$ -
EBITDA		R\$ (3.720)	R\$ (9.571)	R\$ (63.474)	R\$ 402.000
Impostos		R\$ -	R\$ -	R\$ 2.391	R\$ 43.850
Despesas Financeiras		R\$ -	R\$ -	R\$ 60	R\$ 1.096
Lucro Líquido	R\$ (2.245.034)	R\$ (3.720)	R\$ (9.571)	R\$ (65.924)	R\$ 357.054
Lucro Líquido Acumulado	R\$ (2.245.034)	R\$ (2.248.754)	R\$ (2.258.325)	R\$ 1.036.454	R\$ 1.393.508

Figura 7: Fluxo com Investimento Inicial

Fonte: TERRA LTDA

A taxa de desconto que será usada nos fluxos de caixa foi fornecida pela TERRA LTDA.

WACC - Weighted Average Cost of Capital

Segmento	Engineering/Construction
Risk Free (Rf)	2,39%
Retorno Mercado (Rm)	14,80%
Prêmio (Rm - Rf)	12,41%
β Desalavancado	0,88
Crescimento Perpétuo	3,00%
Risco Brasil (Rb)	2,65%
Prêmio Tamanho (T)	9,15%
Inflação USA (Ia)	1,76%
Inflação Brasil (Ib)	4,14%
D/E Ratio	28,24%
β realavancado	1,04
Cost of Equity (Ke)	19,93%
WACC (a.a)	17,54%
Múltiplo EBITDA	10,85

Figura 8: Cálculo da taxa de desconto

Fonte: TERRA LTDA

De acordo com contrato firmado pelas partes, a TERRA LTDA tem a possibilidade de vender o empreendimento para outra construtora, a partir do ano 1, por um valor residual de R\$ 320.000.

3.3 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO

As etapas utilizadas nesta metodologia foram baseadas em Copeland & Antikarov (2002).

- Passo 1: Cálculo do valor presente sem flexibilidade;
- Passo 2: Modelagem da incerteza por meio da simulação de Monte Carlo;
- Passo 3: Aplicação do Modelo de Precificação Binomial e Construção da Árvore Binomial;
- Passo 4: Fazer a Análise de Opções Reais.

O primeiro passo consiste no cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) do empreendimento, sem flexibilidade, por meio da metodologia tradicional do fluxo de caixa. O objetivo principal dessa etapa é calcular o valor presente sem flexibilidade em $t = 0$. Esse resultado será usado como o valor do ativo subjacente sujeito ao risco (ASSR).

No segundo passo serão identificadas as variáveis mais sensíveis em relação ao VPL por meio do gráfico tornado. Para cada variável escolhida, será determinada uma distribuição de probabilidade e, então, será realizada a simulação de Monte Carlo no modelo, utilizando a extensão *Risk Simulator*. É usada a simulação de Monte Carlo com o objetivo de simplificar, pois é um método que resume as múltiplas incertezas do empreendimento em uma única. O resultado dessa simulação é a volatilidade do ativo.

No terceiro passo será utilizado o Modelo Binomial proposto por Cox, Ross e Rubinstein (1979), que avaliaram a volatilidade do valor presente do investimento. Sendo o valor do projeto determinado através dos movimentos ascendentes e descendentes, representados por u e d , e pelas suas probabilidades (p) e $(1-p)$. Dessa forma, serão utilizadas as equações do modelo binomial. Os parâmetros necessários para essa etapa são: o valor do ASSR (calculado no passo 1), o desvio padrão dos retornos do empreendimento (calculado no passo 2), a vida da opção em anos, o número de passos por ano e a taxa anual livre de risco.

No quarto e último passo, após calcular o VPL do projeto considerando as incertezas e flexibilidades, teremos o valor das opções reais. A diferença entre o valor presente expandido

e o valor presente tradicional será o próprio valor das opções. É nessa etapa que será possível visualizar o impacto que as incertezas e as flexibilidades exercem sobre o valor do projeto.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 CÁLCULO DO VALOR PRESENTE SEM FLEXIBILIDADE

Nesta etapa calcula-se de maneira padrão o VPL do fluxo de caixa apresentado no capítulo 3 deste trabalho. Pressupõem-se que 37,5% das unidades do empreendimento sejam vendidas no ano 2, e 62,5%, no ano 3.

Ano Base	2021
Ano Final	2030
Taxa de Desconto	17,54%
Invest. Inicial	(\$2.577.836,67)
VP FCF 1	(\$332.802,67)
VP FCF 2	\$682.717,73
VP FCF 3	\$2.376.926,10
VP FCF 4	(\$14.163,51)
VP FCF 5	(\$12.049,95)
VP FCF 6	(\$10.251,78)
VP FCF 7	(\$8.721,95)
VP FCF 8	(\$7.420,41)
VP FCF 9	(\$6.313,10)
VP FCF 10	(\$5.371,02)
VPL	\$417.515,45

Figura 9: Resultado do VPL

Fonte: Elaboração própria

VPL sem flexibilidade calculado em R\$ 417.515,45, e o logaritmo de retorno do empreendimento em 0,2794.

4.2 MODELAGEM DA INCERTEZA

Para realizar a simulação, é necessário primeiro identificar quais são as variáveis mais sensíveis ao VPL do empreendimento. através do gráfico tornado. Nesta etapa, será utilizada a ferramenta Risk Simulator.

Ao gerar o gráfico tornado, o Risk Simulator elenca, por ordem prioridade, todas as células do fluxo de caixa que são mais sensíveis ao VPL, conforme figura abaixo.

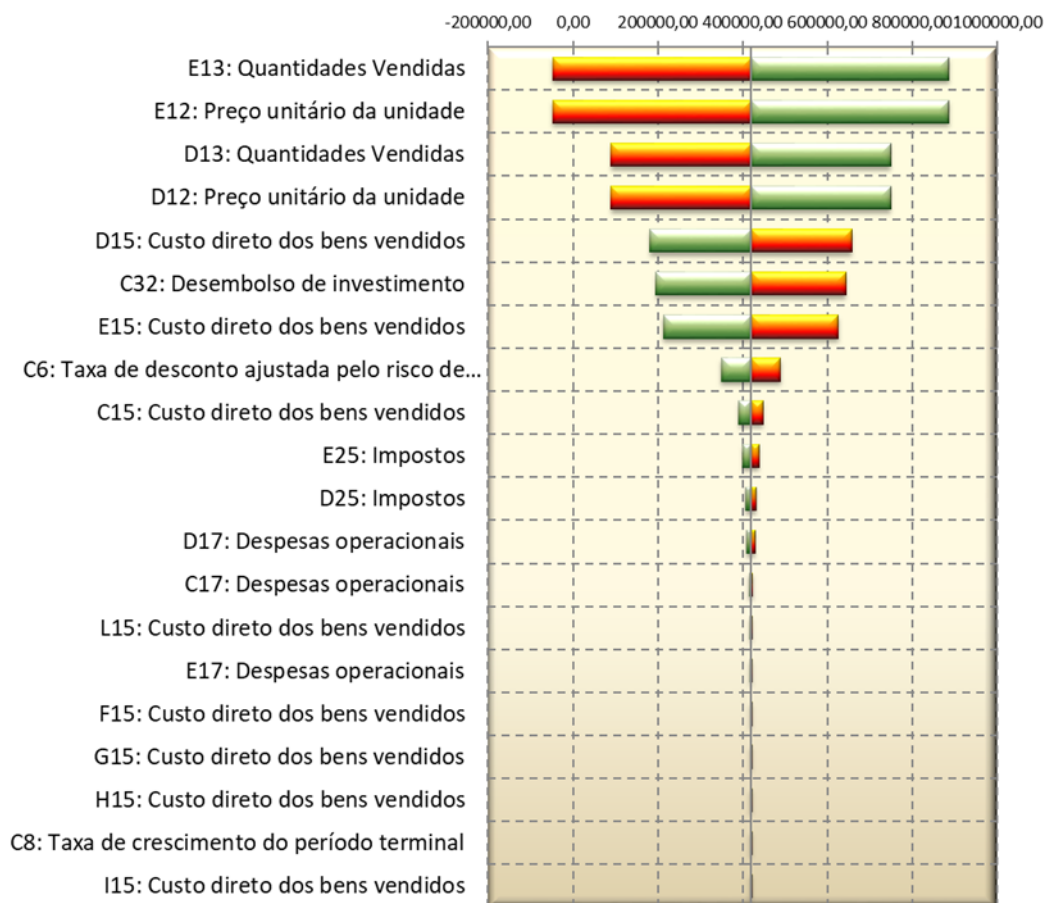


Figura 10: Gráfico tornado

Fonte: Risk Simulator

Verifica-se que a célula E13 é a mais sensível e que ela se refere à quantidade vendida de unidades no ano 3. Esse resultado é esperado, pois é no ano 3 que é vendida a maioria das unidades do empreendimento. Logo, uma alteração nesse valor acarretaria uma variação imediata do VPL.

Para este trabalho, serão desconsideradas as células cuja sensibilidade ao VPL é abaixo de 10%, ou seja, serão consideradas somente as sete primeiras células: de E13 a E15.

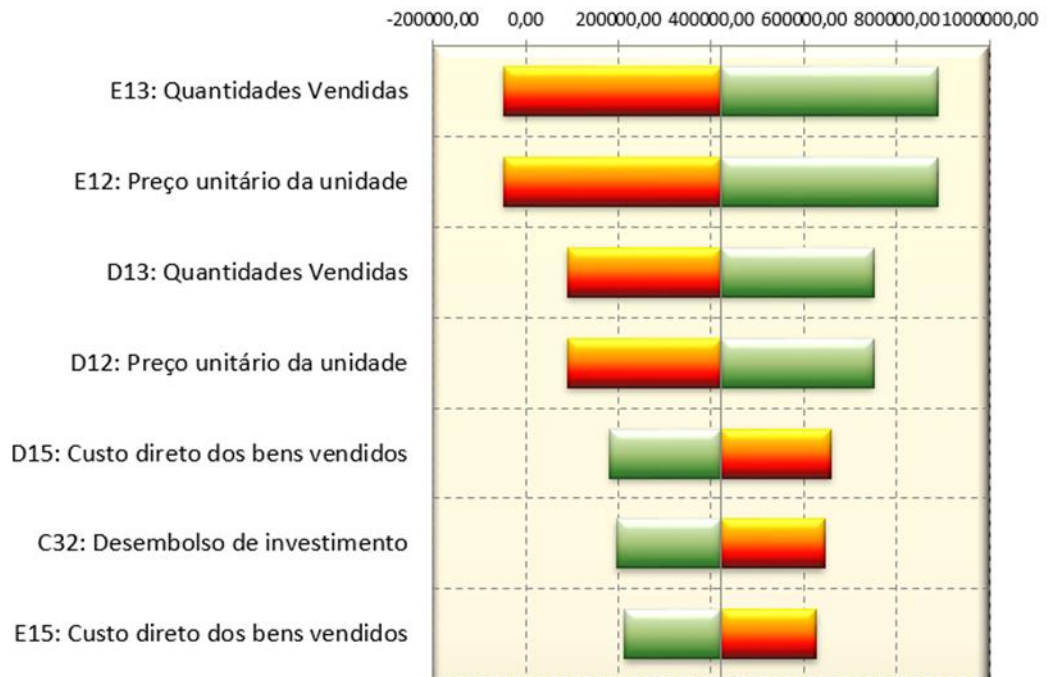


Figura 11: Células escolhidas

Fonte: Risk Simulator

As sete variáveis escolhidas como parâmetros de entrada são referentes a: (i) Preço unitário da unidade, (ii) quantidade vendida, (iii) custo variável, e (iv) investimento inicial. Cada parâmetro deve ser relacionado a um tipo de distribuição de probabilidade. Como não há dados históricos do fluxo de caixa, será considerada uma distribuição triangular para cada variável.

Seguindo orientações da empresa do que é aceitável ou não para cada variável, foi direcionado que:

- o preço varia de -10% a +15%;

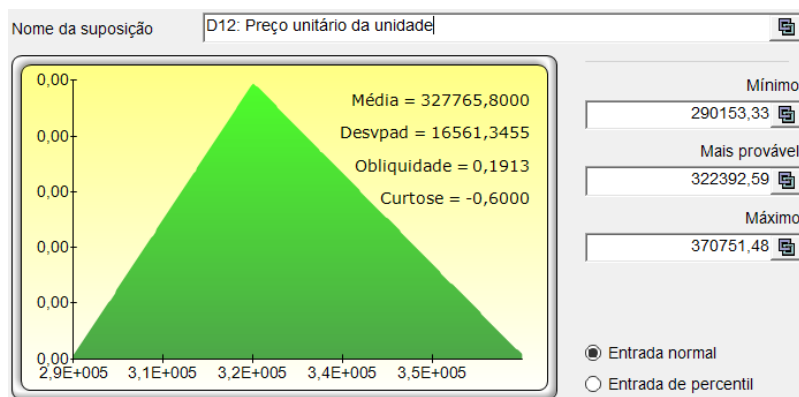


Figura 12: Modelagem da variável preço

Fonte: Risk Simulator

- a quantidade vendida no ano 2 varia de mínimo 6 a máximo 18;

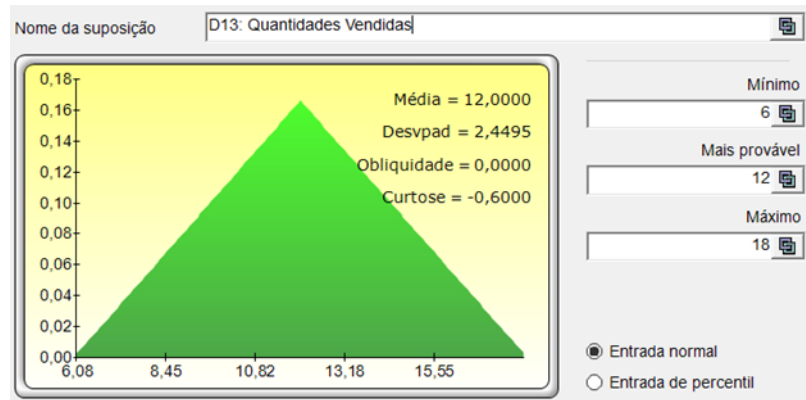


Figura 13: Modelagem da variável quantidade, no ano 2

Fonte: Risk Simulator

- a quantidade vendida no ano 3 varia de mínimo 10 e máximo 30;

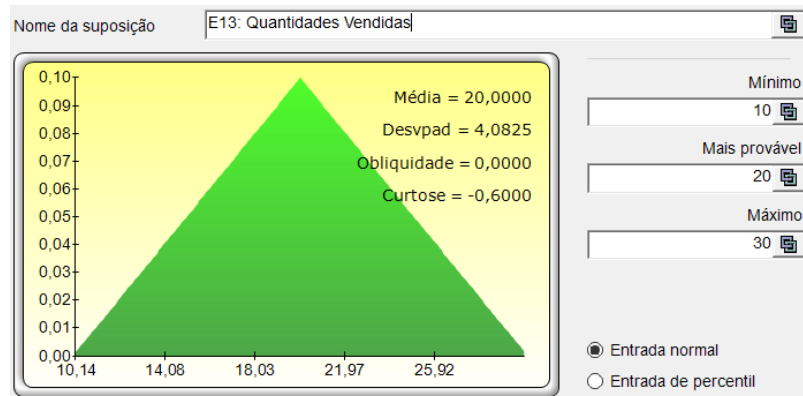


Figura 14: Modelagem da variável quantidade, no ano 3

Fonte: Risk Simulator

- o custo variável varia de -30% a +15%;

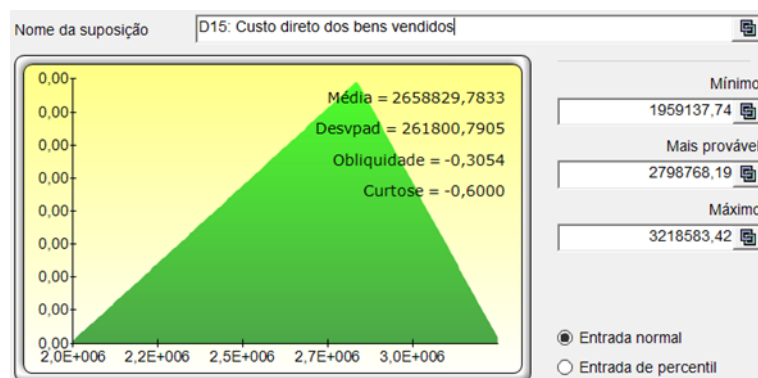


Figura 15: Modelagem da variável custo variável

Fonte: Risk Simulator

- o investimento inicial varia de -15% a +15%.

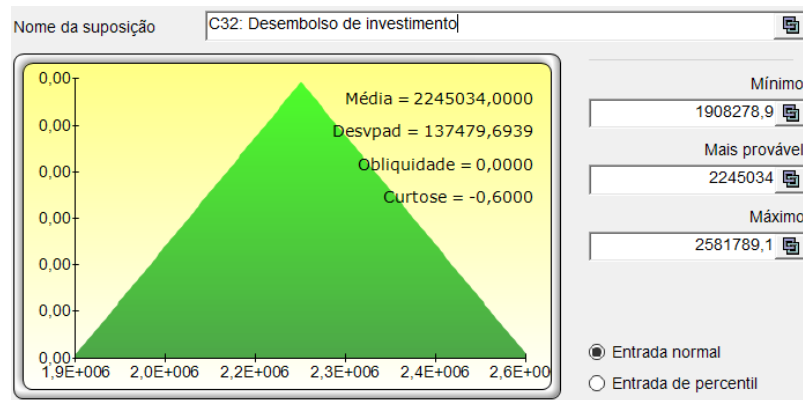


Figura 16: Modelagem da variável investimento inicial

Fonte: Risk Simulator

Por fim, foi feita a simulação de Monte Carlo, obtendo um desvio padrão (volatilidade) de 47%. A figura abaixo, extraída do Risk Simulator, resume as estatísticas da simulação.

Estadísticas	Resultado
Número de tentativas	999
Média	0,3399
Mediana	0,4326
Desvio padrão	0,4725
Variância	0,2232
Coefficiente de variação	1,3902
Máximo	1,1457
Mínimo	-2,6092
Faixa	3,7549
Obliquidade	-1,7288
Curtose	5,3281
25% percentil	0,1360
75% percentil	0,6703
Percentual de precisão de erro a 95% de confiança	8,6205%

Figura 17: Resumo das estatísticas da simulação

Fonte: Risk Simulator

4.3 MODELO DE PRECIFICAÇÃO BINOMIAL E CONSTRUÇÃO DA ÁRVORE DE DECISÃO

- Opção de Abandono

Esse tipo de opção observa o valor da flexibilidade do empreendimento, que pode ser abandonado ao longo da maturidade. Os valores de entrada para o modelo são os seguintes:

- VP ativo subjacente: R\$ 417.515,45;
- Volatilidade: 47%;
- Taxa livre de risco: 2,39%;
- Maturidade: 10 anos;
- Passos da Árvore: 20.

De acordo com contrato em vigor entre as partes, a TERRA LTDA tem a possibilidade de vender o empreendimento para outra construtora por um valor residual (ou salvado) pré-estabelecido de R\$ 320.000, opção que só poderá ser exercida depois do ano 1.

Nessa situação, a árvore de decisão pode ser desenhada a partir das seguintes alternativas:

- Cenário em que o valor do ativo cresce: continuar investindo ou vender a um preço justo;
- Cenário em que o valor do ativo diminui para valores abaixo do residual: pode exercer a opção de abandono, vendendo então o ativo para outra construtora.

Para a construção da árvore de decisão será utilizado o software Real Options SLS. Nos nós intermediários da árvore, utilizaremos a equação $Max(Salvage, OptionOpen)$, que determina que, antes da maturidade, a decisão é executar mais cedo a opção de abandono e receber o valor residual, ou manter o empreendimento ativo e conservar a opção para a possibilidade de ser utilizada em momento oportuno. Em outras palavras, a partir do desdobramento do VP ativo subjacente pela árvore de decisão, toda vez que o valor do ativo for menor do que o valor residual, a opção de abandono será exercida, e aquele caminho, “finalizado”. Se o valor do ativo for maior, ele continuará a ser desdobrado pela árvore.

No nó terminal da árvore será utilizada a equação $Max(Asset, Salvage)$, que significa que a decisão na maturidade do ativo deve ser executada, vendendo o empreendimento e recebendo o valor residual, ou não exercendo a venda e mantendo a opção, o que for maior.

Por fim, é necessário indicar para a árvore que existe um período de impedimento no contrato (*vesting* ou *black-out period*), que é quando a opção não poderá ser exercida. Nesse

caso, será inserido no software que os passos 0 a 2 (pois são 10 anos de maturidade e 20 passos de árvore) estarão em impedimento, e que os nós intermediários, nesse período, ficarão com a equação *OptionOpen* (opção aberta).

Executando a árvore, chega-se a um valor de ativo final de R\$ 536.729,98.

											11.587.965		
										8.311.561	Fim	5.961.596	
									4.279.408	5.962.370	4.277.500	Fim	3.069.714
								3.075.934	2.213.245	3.072.536	2.208.625	Fim	1.591.534
					2.218.127		1.609.760	1.603.770	1.167.858	1.597.638	1.160.430	Fim	852.647
				882.432	1.181.329	876.054	869.024	869.024	861.255	861.255	648.854	Fim	505.494
		676.437		670.696	670.696	526.594	664.275	520.505	657.051	513.549	648.854	Fim	363.237
	536.730		440.409	531.966	436.296	436.296	431.620	426.277	426.277	420.129	420.129	Fim	321.630
				379.173	379.173	375.943	375.943	372.257	372.257	368.044	368.044	Fim	320.000
					343.190	343.190	341.007	341.007	338.521	338.521	335.711	Fim	320.000
						325.237	325.237	324.167	324.167	322.958	322.958	Fim	320.000
							320.000	320.000	320.000	320.000	320.000	Fim	320.000
								320.000	320.000	320.000	320.000	Abandono	320.000
									320.000	320.000	320.000	Abandono	320.000
										320.000	320.000	Abandono	320.000
											320.000	Abandono	320.000
												320.000	Abandono

Figura 18: Cálculo da árvore para a opção de abandono
 Fonte: Real Options SLS

b) Opção de Expansão

Esse tipo de opção está relacionado com o aumento da capacidade de produção para aproveitar a dinâmica do mercado (SETIAWAN, 2016). Os valores de entrada para o modelo são os mesmos utilizados na opção de abandono, com o adicional do custo de expansão, referente a área de lazer e outros espaços dentro do empreendimento, assim como compra adicional de terreno avaliado em R\$ 3.000.000.

Nesse cenário, só faz sentido para a construtora a opção de expandir nos anos em que o empreendimento está em obra, ou seja, nos anos 2 e 3.

Na construção dessa árvore, será utilizada a equação $Max(Asset*Expansion-Cost, OptionOpen)$ para os nós intermediários, que indica que, antes da maturidade, a decisão é exercer a expansão, ou não exercer e guardar a opção, o que for de maior valor. Para o nó terminal, será utilizada a equação $Max(Asset, Asset*Expansion-Cost)$, que indica se a opção será exercida ou não.

Executando os cálculos, chega-se a um valor de ativo final de R\$ 486.740,60.

										20.681.801
									14.324.481	
								9.868.526		9.726.375
							6.770.262		6.641.976	
						4.632.021		4.524.869		4.404.545
					3.165.492		3.081.520		2.988.385	
				2.164.236		2.101.827		2.033.944		1.959.796
			1.482.454		1.438.094		1.390.988		1.341.135	
		1.018.548		988.192		956.808		924.722		892.546
	702.551		682.445		662.243		642.318		623.251	
486.741		473.796		461.168		449.160		438.190		428.827
	330.660		322.963		315.907		309.749		304.791	
		227.306		223.249		219.862		217.283		215.617
			158.369		156.539		155.218		154.420	
				111.703		111.034		110.655		110.508
					79.501		79.322		79.257	
						56.873		56.845		56.842
							40.771		40.770	
								29.242		29.242
									20.973	
										15.043

Figura 19: Cálculo da árvore para opção de expansão

Fonte: Real Options SLS

c) Opção de Abandonar e Opção de Expansão

Nesse cenário será avaliado o comportamento do ativo quando sobrepostas as opções de abandono e de expansão. As duas opções podem ser exercidas em qualquer momento da maturidade do empreendimento.

Para a construção da árvore só será necessária a equação no nó terminal $Max(Asset, Asset * Expansion - Cost, Salvage)$, que indica três decisões: (i) não exercer nenhuma opção, (ii) exercer a opção de expansão, ou (iii) exercer a opção de abandono.

Executando os cálculos, chega-se a um valor de ativo final de R\$ 601.965,70.

601.966	889.902	1.409.691	2.333.385	3.954.485	6.765.880	11.577.073	19.672.747	33.003.251	54.451.800	88.809.187
Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Expandir
	427.004	565.998	827.063	1.305.103	2.167.408	3.707.561	6.438.793	11.236.918	19.485.446	32.863.224
	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Expandir
		348.134	408.193	529.529	760.750	1.188.444	1.965.946	3.376.137	5.978.737	11.009.174
		Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Expandir
			320.755	340.793	390.920	495.403	698.105	1.068.831	1.710.123	2.736.187
			Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Fim
				320.000	320.000	334.496	375.167	469.687	668.022	1.068.831
				Abandonar	Abandonar	Continuar	Continuar	Continuar	Continuar	Fim
					320.000	320.000	320.000	325.005	351.425	417.515
					Abandonar	Abandonar	Abandonar	Continuar	Continuar	Fim
						320.000	320.000	320.000	320.000	320.000
						Abandonar	Abandonar	Abandonar	Abandonar	Abandonar
							320.000	320.000	320.000	320.000
							Abandonar	Abandonar	Abandonar	Abandonar
								320.000	320.000	320.000
								Abandonar	Abandonar	Abandonar
									320.000	320.000
									Abandonar	Abandonar
										320.000
										Abandonar

Figura 20: Cálculo da árvore de abandono e expansão

Fonte: Real Options SLS

4.4 ANÁLISE DE OPÇÕES REAIS

Apresentam-se os seguintes resultados de VPL expandido e valor das opções:

Tabela 5: Resultado das opções

Tipo	VPL Expandido	Valor da Opção
Abandono	R\$ 536.729,98	R\$ 122.214,53
Expansão	R\$ 486.740,60	R\$ 72.225,15
Abandono + Expansão	R\$ 601.965,70	R\$ 187.450,25

Fonte: Elaboração própria

Os valores indicam que a inclusão de opções no empreendimento acarretou o aumento de seu valor em relação ao VPL tradicional, avaliado em R\$ 417.515,45.

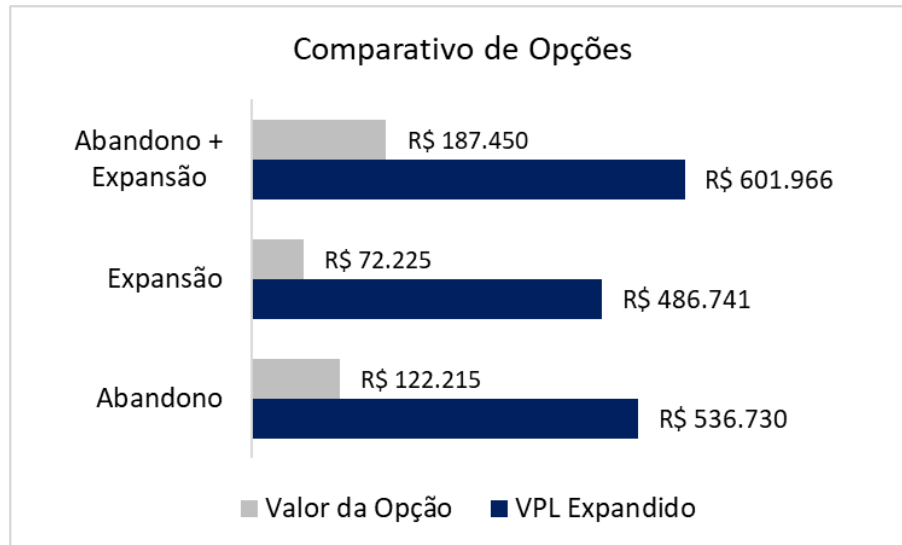


Figura 21: Resultado das opções

Fonte: Elaboração própria

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal a utilização da Teoria de Opções Reais para empreendimentos da construção civil. Para isso, foi necessário comparar o método de opções financeiras com o de opções reais, assim como foi necessário apresentar o VPL, que é o método tradicional de avaliação de investimentos.

Foram demonstradas, categoricamente, cada etapa necessária para o cálculo das opções e cada fórmula utilizada, seja matemática ou computacional, para a resolução dos cenários propostos.

Foram analisados dois casos clássicos de Opções Reais: o de abandonar e o de expandir um empreendimento em dado momento de sua maturidade. A partir de três cenários diferentes, foi verificado que a inclusão da flexibilidade gerencial se mostrou benéfica para o aumento do valor do ativo em comparação ao seu VPL original. Esses dados corroboram os registros verificados na literatura sobre o tema, de que análises de investimento pelo VPL ou pelo fluxo de caixa descontado têm subestimado as flexibilidades gerenciais à disposição do tomador de decisão presentes nos empreendimentos caracterizados por situações de incerteza.

Ao fim do trabalho, verificou-se que a Teoria das Opções Reais é uma importante ferramenta para o tomador de decisão. Entretanto, ela não é isenta de falhas e deve ser vista

como um importante complemento no processo de tomada de decisão e valoração de investimentos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAIDYA, Tara Keshar Nanda; CASTRO, Alessandro de Lima. **Convergência dos modelos de Árvore Binomiais para avaliação de opções**. Pesquisa Operacional, 2001.
- BREALEY, R. A. e MYERS, S. C. **Principles of corporate finance**. New York: McGraw-Hill, 1998.
- CASAROTTO FILHO, N., & KOPITTKKE, B. H. **Análise de Investimentos**. 11ª edição. São Paulo: Atlas, 2010.
- COPELAND, T.; ANTIKAROV, A. **Real Options: A Practitioner's Guide**. New York: Texere, 2003.
- COPELAND, T.; ANTIKAROV, A. **Opções Reais: Um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimento**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2002.
- COSTA, B. E. **Estudo bibliométrico sobre opções no Brasil**. Programa de Pós-Graduação em Administração da Faculdade de Gestão e Negócios, Universidade de Uberlândia, 2014. XV, 35, 38. Dissertação de mestrado.
- COSTA LIMA, G.A.; SUSLICK, S.B. **Estimating the volatility of selected oil projects**. Journal of Petroleum Science & Engineering, v. 54, p. 129-139, 2006.
- DIAS, M.A.G. **Investimento sob incerteza em exploração e produção do petróleo**. 470 folhas. Departamento de Engenharia Industrial, PUC Rio, 1996. Dissertação de Mestrado.
- ESCHENBACH, T G. **Spiderplots versus Tornado diagrams for Sensitivity Analysis**. Interfaces, v.6, p.40 – 44, 1992.
- GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 12ª ed. São Paulo: Pearson, 2010.
- HULL, J. C. **Options, Futures, and Other Derivatives**., New Jersey: Pearson, 2015.
- JORION, P. **Value at Risk: The New Benchmark for Controlling Market Risk**. São Paulo: BM & F, 1998.
- KURESKI, R.; RODRIGUES, R. L.; MORETTO, A. C.; SESSO FILHO, U. A.; HARDT, L. P. A. **O macrossetor da construção civil na economia brasileira em 2004**. Ambiente Construído, 2008.
- LUEHRMAN, T.A. **investment opportunities as real options: getting started on the numbers**. Harvard Business Review, p. 51-67, jul/aug 1998.
- MELLIS. **“Avaliação de Projetos Segundo a Teoria de Opções: Aplicação em Casos Práticos”**. FGV, São Paulo, Master's Dissertation, 1999.

MINARDI, A.M.A.F. **Teoria de Opções Reais aplicada a Projetos de Investimento**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2004

MONTEIRO, R.G. **Contribuição da abordagem de avaliação de opções reais em ambientes econômicos de grande volatilidade** - Uma ênfase no cenário latino-americano São Paulo, 2003. 193 f. Dissertação de Mestrado - FEA, USP.

MUN, Johnathan. **Real Options Analysis: Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions**. Wiley Finance, 2002.

SOUSA NETO, José Antônio de; OLIVEIRA, Virgínia Izabel de; BERGAMINI JUNIOR, Luiz Carlos. **Opções Reais: Introdução à teoria e à prática**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2008.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE – PMI. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projeto**. Guia PMBOK 6ª Ed. EUA: Project Management Institute, 2017.

SETIAWAN, Kusdhianto. **Mainstreaming disaster risk management for finance: application of real options method for disaster risk sensitive project**. Medellín, Colombia, Universidad EAFIT, AD-minister n. 28, 2016, pp. 223-242

TRIGEORGIS, L. **The nature of option interactions and the valuations of investment with multiple real option**. Cambridge University Press, Journal of Financial and Quantitative Analysis, Volume 28, Issue 1, March 1993, pp. 1 – 20.

YOSHIMURA, Eduardo Koiti; GRANJA, A. D. **Opções reais: uma opção para avaliação de empreendimentos na construção civil**. In: XXII Congresso Panamericano de valuación e XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, 2006, Fortaleza. Anais, 2006. p. 1-10.