O Boletim de Conjuntura (BOCA) publica ensaios, artigos de revisão, artigos teóricos e empíricos, resenhas e vídeos relacionados às temáticas de políticas públicas.

O periódico tem como escopo a publicação de trabalhos inéditos e originais, nacionais ou internacionais que versem sobre Políticas Públicas, resultantes de pesquisas científicas e reflexões teóricas e empíricas.

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratizacão mundial do conhecimento.



BOLETIM DE CONJUNTURA

BOCA

Ano VII | Volume 21 | Nº 62 | Boa Vista | 2025

http://www.ioles.com.br/boca

ISSN: 2675-1488

https://doi.org/10.5281/zenodo.14942245

BOLETIM DE CONJUNTURA

www.ioles.com.br/boca

OPÇÕES REAIS: ANÁLISE DE INVESTIMENTOS SEQUENCIAIS EM UM PROJETO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

Rodrigo Rafael de Medeiros Martins[1]

Vanessa Ishikawa Rasoto[2]

Resumo

Este estudo tem por objetivo apresentar a análise de um investimento sequencial em um projeto de inovação tecnológica, por meio da Teoria das Opções Reais (TOR) em conjunto com o seu nível de prontidão tecnológica, ou *Technology Readiness Level* (TRL). Tal abordagem se justifica em função da necessidade de se considerar fatores como a incerteza, a volatilidade e a flexibilidade gerencial, na avaliação de investimentos em projetos tecnológicos. Sendo assim, o estudo expõe as vantagens e limitações do uso da TOR para o tipo de investimento em questão, em comparação com o método tradicional, ou seja, o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL). Como metodologia o estudo apresenta inicialmente uma breve revisão bibliográfica e em seguida, aplica diferentes abordagens de avaliação de investimentos, sobre os dados de um estudo de caso prévio, em uma empresa de engenharia. Para a análise do investimento, o estudo utiliza as abordagens do VPL e da TOR, sendo esta, por meio do método binomial. Ao estudo de caso original foi acrescida uma livre adaptação para uma simulação da distribuição dos recursos financeiros no tempo, de forma a ilustrar um investimento realizado em etapas. Ao final, o estudo apresenta uma análise dos resultados e uma comparação entre as duas abordagens, concluindo que, apesar da complexidade de uso, a integração entre a TOR e a TRL permite avaliar projetos tecnológicos ao longo de suas fases de maturidade, considerando a flexibilidade gerencial, a volatilidade, a incerteza e os riscos associados a cada etapa do projeto de inovação tecnológica.

Palavras-chave: Análise de Investimentos; Flexibilidade Gerencial; Inovação Tecnológica; Investimentos Sequenciais; Nível de Prontidão Tecnológica; Teoria das Opções Reais.

Abstract

This study aims to present the analysis of a sequential investment in a technological innovation project, through the Real Options Theory (TOR), associated with its level of technological readiness, or Technology Readiness Level (TRL). Such an approach is justified due to the need to consider uncertainty and volatility, as well as managerial flexibility, when evaluating investments in technological projects. Therefore, the study explains the advantages and limitations of using TOR for the type of investment in question, compared to the traditional method, that is, the calculation of the Net Present Value (NPV). As a methodology, the study initially presents a brief literature review and then applies different approaches to investment evaluation, on the data of a case study of an engineering company. For the investment analysis, the study presents and uses the NPV and TOR approaches, the latter being through the binomial method. To the original case study, a free adaptation was added to a simulation of the distribution of financial resources over time, in order to illustrate an investment made in stages. In the end, the study presents an analysis of the results and a comparison between those two approaches, concluding that, despite the complexity of use, the integration between TOR and TRL allows the evaluation of technological projects throughout their maturity phases, considering the managerial flexibility, volatility, uncertainty and risks associated with each stage of the technological innovation project.

Keywords: Investment Analysis; Managerial Flexibility; Real Options Theory; Sequential Investments; Technological Innovation; Technology Readiness Level.

[1] Mestrando em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação pela Universidade do Centro Oeste do Paraná (UNICENTRO). E-mail: rodrigormmartins@gmail.com

[2] Professora na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail: vrasoto@gmail.com

INTRODUÇÃO

A análise de investimentos é fundamental para a gestão financeira das organizações, influenciando decisões que afetam seu desempenho a longo prazo. Investimentos em inovação, mais especificamente em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), podem resultar em retornos expressivos, porém, com riscos elevados. Em resumo, como ocorre em todos os investimentos, a decisão pela inovação como estratégia de competição está cercada de incertezas e riscos. No ambiente empresarial, muitas dessas incertezas estão relacionadas à dificuldade de se identificar e se mensurar os riscos, assim como, de se mensurar a capacidade de retorno dos investimentos realizados. Em se tratando de inovação tecnológica, não é diferente. As dúvidas sobre a aceitação de um novo produto pelo mercado, sobre seu valor e precificação, assim como a eficiência de um novo processo na empresa, recaem sempre em expectativas de retornos econômicos e financeiros, ou de forma mais específica, do retorno sobre o investimento a ser realizado. Uma forma de se reduzirem os riscos e incertezas é a divisão dos investimentos em várias etapas, onde as etapas subsequentes dependem do sucesso da etapa anterior e assim, sucessivamente. Desta forma, trata-se cada etapa como um novo investimento isolado, necessitando assim de uma nova avaliação.

Para esta determinação de valor ou precificação de investimentos são utilizados diferentes métodos, normalmente quantitativos, como por exemplo o VPL (Valor Presente Líquido). Este é um método eficaz e amplamente utilizado, que se baseia no fluxo de caixa descontado do investimento (FCD). Contudo, os métodos puramente quantitativos de precificação de investimentos, não conseguem captar a flexibilidade e a adaptabilidade da gestão, nem as diferentes opções que ocorrem ao longo do tempo (períodos distintos) em um projeto ou em uma empresa, necessitando, assim, de um método complementar que possa captar tais opções, justificando, desta maneira, a realização deste estudo. Neste contexto, a Teoria das Opções Reais surge como uma abordagem avançada que incorpora essas dimensões, permitindo uma avaliação mais abrangente e estratégica dos investimentos. Ou seja, em relação aos métodos tradicionais, como o Valor Presente Líquido (VPL), a TOR também fornece uma base sólida para a avaliação de projetos, contudo, sem negligenciar a flexibilidade gerencial e a incerteza inerente ao ambiente de negócios. Assim sendo, este estudo recorre à abordagem da Teoria das Opções Reais, para a precificação e análise de investimentos, em especial, para projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Diante do exposto, a questão a que este artigo se propõe a responder é: como seria possível capturar a flexibilidade gerencial e as opções reais na análise de um investimento sequencial em inovação tecnológica? Para responder a esta questão, o objetivo deste estudo é analisar por meio da

teoria das opções reais (TOR), associada ao conceito de nível de maturidade tecnológica (TRL), o investimento em inovação tecnológica apresentado em um estudo de caso previamente realizado, dando continuidade e ampliando a análise proposta naquele estudo. Para ocorrer tal análise é necessário acrescentar ao estudo de caso algumas condições, simulando a realização dos investimentos em diferentes etapas e em diferentes níveis de prontidão tecnológico, possibilitando a nova análise.

Este artigo está estruturado em cinco partes, sendo a primeira, esta introdução. A segunda parte apresenta uma revisão de literatura, com a fundamentação teórica e as referências utilizadas para embasar o estudo, tais como os métodos de análise de investimentos e abstrações, como a flexibilidade gerencial, um diferencial estratégico para a tomada de decisões. Além disso, detalha o uso de ferramentas analíticas e discorre sobre conceitos fundamentais como volatilidade e árvore binomiais. Na terceira parte, expõe a metodologia a ser utilizada, principalmente no tocante aos cálculos e a análise dos dados oriundos do estudo de caso anteriormente realizado. A quarta parte insere a contextualização do estudo de caso com seus dados originais e os dados simulados, demonstrando os passos da análise, de acordo com a metodologia proposta, o relatório com os cálculos e as análises utilizadas para, em seguida, na quinta parte serem apresentadas as discussões e considerações finais, assim como a verificação de atingimento do objetivo proposto.

INVESTIMENTOS EM INOVAÇÃO

Em 1936, Joseph Schumpeter publica “A Teoria do Desenvolvimento Econômico” (SCHUMPETER, 1936). Um texto seminal, no qual o autor apresenta o conceito de ciclos econômicos, onde a instabilidade é demonstrada como parte do processo de desenvolvimento. No mesmo texto, a inovação tecnológica é apresentada como instrumento anticíclico, com o qual o empreendedor é capaz de superar as crises por meio do diferencial competitivo. De 1936 aos dias de hoje, a tecnologia sofreu mudanças incríveis, porém, esta percepção apresentada por Schumpeter permanece atual. Isto demonstra que, de fato, as crises podem ser superadas com investimentos em inovação tecnológica, cujos resultados podem estimular o desenvolvimento social e econômico das nações. De acordo com Ross, Westerfield e Jaffe (2015), investimento envolve o compromisso de recursos no presente para benefícios esperados no futuro, observando a relação entre risco e retorno. Paralelamente, o risco a ser tomado pelo investidor varia conforme o seu perfil e os seus recursos disponíveis para investir, associados à expectativa de retorno do investimento e à incerteza a ele relacionada (YOE, 2019, p. 196).

Segundo Avinash Dixit e Robert Pindyck (DIXIT; PINDYCK, 1994), a maioria das decisões sobre investimentos apresenta três características: *i*. Irreversibilidade (os investimentos são parcialmente

ou totalmente irreversíveis); *ii*. Incerteza (apesar do estudos sobre a probabilidade de retorno e expectativas quanto a isso, na verdade, tal retorno é de fato desconhecido); e *iii*. Tempo (ou *timming*, relacionado ao melhor momento para o investimento), sendo que, tais características, de acordo com os autores, interagem para determinar as melhores decisões dos investidores.

No tocante à inovação tecnológica, conforme definido no Manual de Oslo (OSLO, 2018), "Uma inovação é um produto ou processo novo ou melhorado (ou uma combinação dos dois) que difere significativamente dos produtos ou processos anteriores da unidade e que foi introduzido no mercado ou implementado pela primeira vez.". Tal definição é importante, para que se entenda que um investimento em inovação sugere um maior risco e uma maior incerteza, em função do ineditismo desta inovação para o mercado. Em tempo, diferentemente de Miethy Zaman e George Tanewski (ZAMAN; TANEWSKI, 2024) que separam o conceito de "inovação" e "Pesquisa e Desenvolvimento (R&D)" para efeito de pesquisa econométrica, neste estudo entende-se P&D como parte do processo de inovação.

Outro conceito importante a ser considerado é o da volatilidade. Trata-se de uma medida estatística que expressa a intensidade e frequência das variações no preço de um ativo ou em uma variável econômica ao longo do tempo. Ela representa a variação percentual do valor de um ativo em determinado período e é um indicador fundamental de risco (HULL, 2008). A volatilidade é importante na Teoria das Opções Reais, pois atribui uma estrutura quantitativa de valoração para a flexibilidade de gestão e a adaptabilidade dos projetos de investimento.

Sendo assim, estes ativos devem ser analisados em analogia às opções de ações, as quais, possuem um preço de exercício, o qual é previamente determinado, no caso das ações. Este preço de exercício, no estudo de caso em análise, pode ser considerado como o valor do investimento sequencial em produção e comercialização do produto, após a realização bem-sucedida do projeto de P&D.

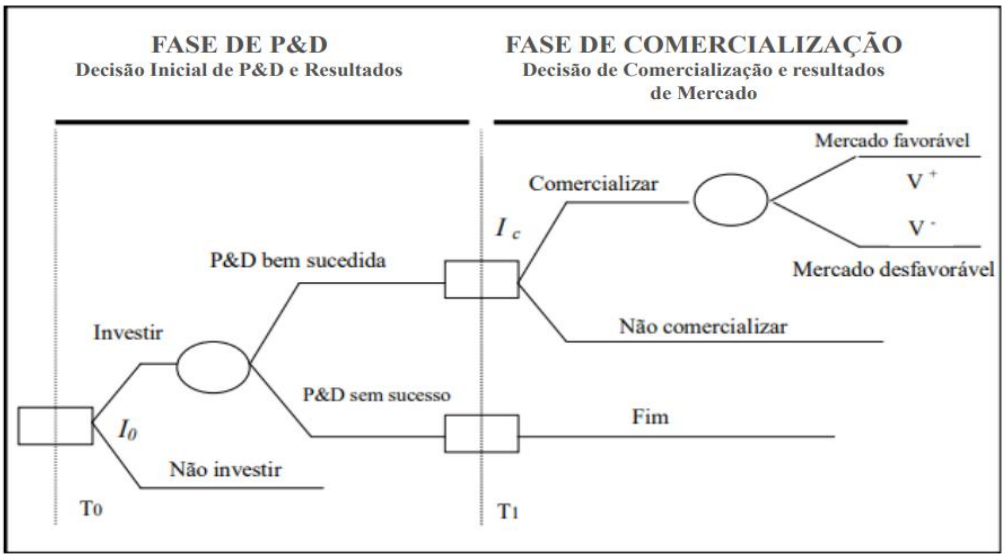
A precificação das opções corresponde a encontrar o VPL Expandido do projeto (TRIGEORGIS, 1993), ou seja: VPL Expandido = VPL Estático + Valor das opções resultantes de uma gestão ativa. De acordo com o autor, desta forma é possível quantificar o valor das opções, o qual se manifesta como um conjunto de opções Reais, presentes nas oportunidades de investimentos.

Conforme descreve Cohen (2005), investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) muitas vezes são considerados como sendo ativos intangíveis, devido ao seu resultado estar associado à criação de propriedade intelectual. No caso de um projeto de inovação, de acordo com Herath e Park (1999), um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) pode ser interpretado como uma opção de ação que pode ser executada após o investimento inicial. Neste caso, o custo inicial do P&D representa o preço de uma opção real, onde o projeto só avança para a comercialização se o P&D for bem-sucedido (Figura 1). Assim, o investimento necessário para produção e comercialização equivale ao preço de exercício da

opção, enquanto o valor presente dos fluxos de caixa futuros gerados pela comercialização representa o valor do ativo subjacente. Além disso, a data de comercialização do produto no mercado será entendida como a data de exercício da opção T1 (HERATH; PARK, 1999), conforme a Figura 1. Neste caso, uma opção seria esperar o momento mais favorável à comercialização, não exercendo a opção até este momento, ou simplesmente decidindo por não exercer a opção de "comercializar" (HERATH; PARK, 1999).

Em suma, investimentos sequenciais referem-se a projetos estruturados em etapas, onde cada decisão de continuar investindo depende do sucesso das fases anteriores. No contexto tecnológico, essas fases podem ser associadas aos *Technology Readiness Levels (TRLs)*, que medem o grau de maturidade de uma tecnologia, variando de estudos iniciais (TRL 1-3) até a implementação comercial (TRL 9). A integração entre TRL e Teoria das Opções Reais permite modelar a incerteza e a flexibilidade de projetos tecnológicos, facilitando a tomada de decisões em cenários de alta complexidade.

Figura 1 – Árvore de decisão típica para processos de investimentos sequenciais em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)



Fonte: Elaboração própria. Adaptada de Herath e Park (1999).

NIVEL DE PRONTIDÃO (OU MATURIDADE) TECNOLÓGICA

Considerando que um investimento em inovação tecnológica depende da pesquisa e principalmente do desenvolvimento de uma nova tecnologia, é necessário que se conheça os níveis de desenvolvimento desta tecnologia em relação ao produto pronto para a sua comercialização, ou seja, o seu Nível de Maturidade Tecnológica (em inglês *Technology Readiness Level* – TRL). O TRL é uma escala de avaliação criada no início da década de 1970 pela Agência Espacial Norte Americana

(NASA), que mede o nível de maturidade tecnológica de um produto ou tecnologia, onde, quanto maior o TRL, menor é o risco tecnológico e maior é a probabilidade de sucesso do projeto.

Segundo Mankins (1995), uma tecnologia é associada a uma escala de 1 a 9, conforme o seu nível de desenvolvimento, sendo 1 o nível mais baixo e 9 o nível mais alto. De acordo com Ribeiro (2019), há outras escalas, inclusive com variações, como, por exemplo, na Indústria de petróleo e gás, onde a API 17N utiliza apenas 8 níveis de TRL. Projetos com um TRL baixo têm um risco mais elevado associado à maior probabilidade de falhas técnicas ou dificuldades de implementação. Para consolidar o entendimento sobre a aplicação dos níveis de maturidade tecnológica, principalmente no tocante à verificação de entregas em cada estágio, Mankins (2009) apresenta definições para cada nível, de forma a padronizar o entendimento sobre a escala e facilitar a determinação do final de cada etapa. Ao longo dos anos, tal escala foi adotada, principalmente no setor de pesquisa aeroespacial, transformando-se em norma técnica para sistemas espaciais. Em 2010 o TRL foi referenciado pela Comissão Europeia para sua adoção em projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I). Em 2013 foi elaborada, pela *Technical Committee Aircraft and Space Vehicles*, a norma ISO 16290:2013, relativa à definição dos níveis de maturidade da tecnologia (TRL) e seus critérios de avaliação. Em 2015 teve sua versão brasileira publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2015), como NBR ISO16290:2015, resumida no Quadro 1 deste estudo.

Conhecer o TRL é fundamental para o planejamento do desenvolvimento da tecnologia e do produto, pois isto afetará diretamente o seu momento de entrada no mercado, ou seja, o seu tempo de colocação no mercado (*Time to Market*). De acordo com Ulrich e Steven (2015), o *Time to Market* é o tempo necessário para que o produto seja desenvolvido e chegue ao mercado, onde, quanto mais longo for esse tempo, maior será a incerteza e o risco de perderem-se oportunidades de mercado.

Quadro 1 – Nível de Maturidade Tecnológica - NBR ISO16290:2015

Nível de Maturidade	Escala de avaliação	Ambiente
TLR 1: Princípios básicos observados e reportados	Conceitual (Ideação e Projeto)	Teórico / Laboratório
TLR 2: Formulação dos conceitos tecnológicos / aplicação	Conceitual (Ideação e Projeto)	Teórico / Laboratório
TRL 3: Prova do conceito de forma analítica ou experimental	Experimentação e ajustes / Validação	Controlado e Monitorado / Laboratório
TRL 4: Validação funcional da tecnologia em laboratório	Experimentação e ajustes / Validação	Controlado e Monitorado / Laboratório
TRL 5: Validação funcional da tecnologia em ambientes relevantes	Experimentação e ajustes / Validação	Relevante / Laboratório
TRL 6: Demonstração das funções críticas da tecnologia em ambiente relevante	Experimentação e ajustes / Validação	Relevante / Laboratório
TRL 7: Demonstração do desempenho do protótipo em ambiente operacional	Completa / Sistema pronto e qualificado / Certificado	Operacional / Industrial
TRL 8: Qualificação e certificação do protótipo em ambiente operacional	Completa / Sistema pronto e qualificado / Certificado	Operacional / Industria
TRL 9: Tecnologia aprovada e qualificada, em pleno funcionamento em ambiente operacional	Completa / Sistema pronto e qualificado / Certificado	Operacional / Industrial / Colocação no Mercado

Fonte: Elaboração própria. Adaptada de ABNT (2015).

RISCO E INCERTEZA

Risco e incerteza são dois elementos presentes em qualquer tipo de investimento, atuando de forma contrária ao seu retorno econômico e financeiro. São barreiras, que podem ou não ser mensuradas, porém, devem ser consideradas em toda análise. Conforme Razgaitis (2009), risco e incerteza se relacionam, porém, são coisas diferentes. O risco é caracterizado por possíveis consequências de adversidade, que não podem ser previstas. Já a incerteza é a possível variação de valores previsíveis, porém, para os quais não é possível prever com exatidão essa variabilidade. O risco refere-se à possibilidade de divergência entre os resultados reais de um investimento em relação aos resultados esperados. Risco pode ser medido e quantificado. Segundo Fraser e Simkins (2016), o risco é inerente a todas as atividades empresariais e pode ser gerenciado por meio de técnicas de gestão de riscos. A incerteza envolve a imprevisibilidade de situações nas quais não se pode prever com precisão os resultados futuros em função da aleatoriedade e da falta de informações disponíveis. De acordo com Brigham e Ehrhardt (2020), a incerteza é mais desafiadora de se gerenciar, pois não permite a atribuição de probabilidades. Isto significa que não é um processo estocástico pois, como o nome diz, é incerto.

Quanto maior for a incerteza, maior será o risco a ser tomado pelo investidor. Desta forma, a flexibilidade sobre a realização e gestão dos projetos é o que permite aproximar a expectativa da realidade, gerando a necessidade de outras decisões além de “seguir em frente” ou “abortar” um projeto.

VALUATION

Valuation é o processo de estimar o valor presente de um ativo ou projeto, considerando os fluxos de caixa futuros esperados e ajustando-os pelo risco associado. Conforme Damodaran (2012), envolve técnicas que vão desde modelos de fluxo de caixa descontado até a aplicação de opções reais. Algumas abordagens de *Valuation* são: o Fluxo de Caixa Descontado (DCF); os Múltiplos de Mercado; os Modelos Baseados em Opções Reais; a Estimativa Precisa de Fluxos de Caixa Futuros; a Determinação da Taxa de Desconto Apropriada; e a Análise de Sensibilidade e Cenários.

Fluxo de Caixa Descontado

Conforme define Gitman (2010 p.369) o VPL (Valor Presente Líquido) é “uma técnica sofisticada de orçamento de capital”. É calculado subtraindo-se o investimento inicial do valor presente das entradas de caixa do projeto, sendo estas descontadas à taxa de custo de capital da empresa. Assim,

os fluxos de caixa futuros são trazidos a Valor Presente (VP), permitindo a comparação direta com o investimento inicial.

Para se calcular o VP, utiliza-se a equação a seguir:

$$Valor\ Presente\ (VP) = \sum_{t=0}^{n} \frac{FCLt}{(1+r)^t} - \textbf{\textit{Investimento Inicial}}$$

Onde:

$FCLt$: Fluxo de Caixa Livre no período t.

r: taxa de desconto (taxa mínima de atratividade ou custo de capital).

n: número total de períodos.

Retorno sobre o investimento (ROI)

O Retorno sobre o Investimento (ROI) mede a rentabilidade de um investimento em relação ao seu custo e é expresso como uma porcentagem (taxa). De acordo com Gitman (2010, p. 60), o ROI ou ROA (*Return on total assets*), é um indicador de lucratividade que demonstra os retornos de uma empresa em relação às suas vendas, ou seja, "mede a eficácia geral da administração na geração de lucros a partir dos ativos disponíveis. Quanto mais elevado o retorno sobre o ativo total de uma empresa, melhor". O ROI pode ser calculado como um percentual do custo inicial do investimento, ajudando a determinar a viabilidade financeira do projeto, podendo ser associado ao cálculo do VPL.

Para exemplificar, o ROI pode ser calculado da seguinte forma:

$$ROI = \frac{Lucro\ Líquido}{Ativo\ Total} \qquad \text{(I)}$$

$$ROI = \frac{Receita-(Custo+Despesa)}{Investimento\ no\ produto} \qquad \text{(II)}$$

Onde,

-Lucro líquido = receita das vendas restantes após a dedução de todos os custos e despesas, incluindo juros, impostos e dividendos de ações preferenciais.

-Ativo = investimento, considerando o potencial de geração de benefícios econômicos futuros.

-Se ROI > taxa média da empresa, então aceita-se o projeto.

-Se ROI < taxa média da empresa, então rejeita-se o projeto.

Taxa interna de retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto que torna o VPL de um projeto igual a zero. Ela representa a taxa de retorno esperada de um projeto e é útil para comparar alternativas de investimento. De acordo com Ross (2013, p.294), a TIR está "intimamente relacionada ao VPL", pois deve ser encontrada dependendo apenas dos fluxos de caixa de determinado investimento e não de outras taxas.

O cálculo da TIR pode ser feito a partir da seguinte equação:

$$VPL = \sum_{t=0}^{n} \frac{FCLt}{(1+TIR)^t} - investimento\ inicial$$

Onde:

VPL: Valor Presente Líquido (igual a zero na determinação da TIR).
$FCLt$: Fluxo de Caixa no período *t*.
TIR: Taxa Interna de Retorno.
n: Número total de períodos.
t: Período (variando de 0 a n).

MÉTODO BINOMIAL

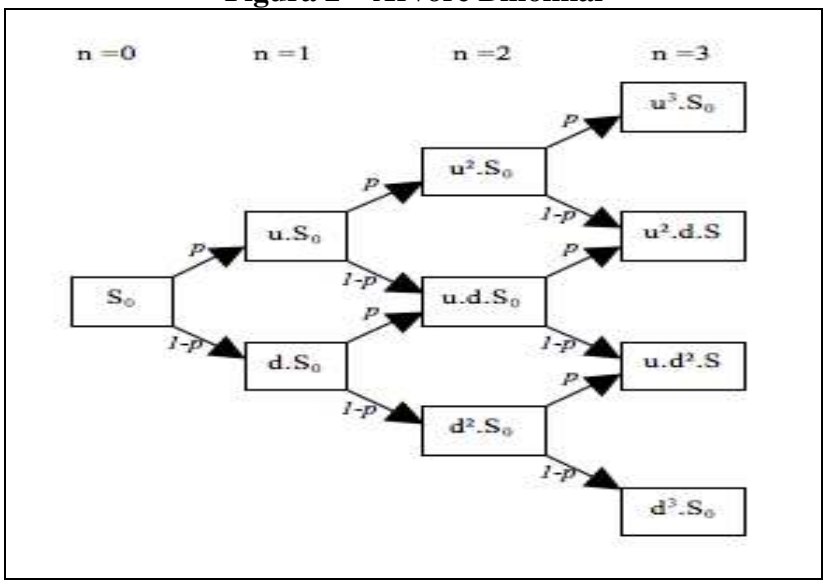
De forma a simplificar a matemática envolvida nas análises de opções, Cox, Ross e Rubinstein (1979) deduziram um método binomial, que permite o uso de aproximações de processos estocásticos em tempo discreto. Comumente utilizado na avaliação de opções financeiras, o método teve seu uso disseminado na avaliação de opções reais, em função da facilidade e simplicidade. Trata-se de uma abordagem para modelar a evolução do preço de um ativo ao longo do tempo usando uma árvore binomial.

A árvore binomial é uma técnica de modelagem que representa os possíveis caminhos que o valor de um projeto pode seguir ao longo do tempo, assim como as incertezas a eles relacionadas.

Conforme Brandão, Dyer e Hahn (2005), o modelo binomial é adaptado para avaliar opções reais em projetos de investimento. Suas características são: -Estrutura Temporal Discreta, onde o tempo é dividido em intervalos e em cada nó há dois possíveis resultados (aumento ou diminuição do valor); e Probabilidades Neutras ao Risco, onde as probabilidades de aumento e diminuição são ajustadas para refletir a neutralidade ao risco.

De forma a simplificar a matemática envolvida nas análises de opções, Cox, Ross e Rubinstein (1979) deduziram um método binomial, que permite o uso de aproximações de processos estocásticos em tempo discreto. Trata-se de uma abordagem simplificada para modelar a evolução do preço de um ativo ao longo do tempo com o uso de árvore binomial (Figura 2).

Figura 2 – Árvore Binomial



Fonte: Cox, Ross e Rubinstein (1979).

A ideia principal é dividir o tempo em pequenos intervalos e modelar o preço do ativo em cada intervalo, ou "passos". A cada passo, o preço do ativo pode subir ou descer. Para calcular esses movimentos, usa-se a volatilidade do ativo. Abaixo é apresentada a principal equação do modelo:

$$Su, d = S0.ud.d(n-d)$$

Onde:

Su, *d* é o preço do ativo após *n* passos, onde *u* é o fator de aumento (quanto o preço sobe) e *d* é o fator de redução (quanto o preço desce).
*S*0 é o preço inicial do ativo.
n é o número total de passos.

Os fatores ***u*** e ***d*** estão relacionados à volatilidade do ativo e ao tamanho do passo no tempo. Eles são calculados da seguinte forma:

$$u = e^{\sigma \Delta t}$$

$$d = \frac{u}{1u}$$

Onde:

σ é a volatilidade do ativo.
Δt é o tamanho do passo no tempo.

Além disso, para garantir que a árvore seja neutra ao risco, é preciso calcular a probabilidade de subida p e a probabilidade de descida $(1 - p)$. A probabilidade de alta (p) é calculada pela seguinte equação:

$$\boldsymbol{p = \frac{(e^{r\Delta t} - d)}{u - d}}$$

A probabilidade de baixa $(1 - p)$ pode ser representada da seguinte forma:

$$\boldsymbol{1 - p = 1 - \frac{(e^{r\Delta t} - d)}{u - d}}$$

Onde:

r é a taxa de juros livre de risco contínua.
q é a taxa de dividendos contínua do ativo (se aplicável).

Para a precificação de opções reais, a valoração é realizada por indução reversa, ou seja, inicia-se pelos "nós" finais, retrocedendo até o valor presente (VP).

$$\boldsymbol{V = e^{-r\Delta t}[p.Vup + (1 - p).Vdown]}$$

Onde:

Vup é o valor da opção no nó de alta subsequente.
Vdown é o valor da opção no nó de baixa subsequente.

TEORIA DAS OPÇÕES REAIS

O método de Opções Reais, ou Teoria das Opções Reais (TOR), é uma abordagem financeira que leva em consideração a flexibilidade gerencial de um projeto de investimento e as oportunidades de decisão ao longo do tempo. Esta abordagem permite às empresas avaliarem o valor adicional das opções estratégicas, tais como adiar, expandir, abandonar ou licenciar um projeto, com base nas incertezas e riscos envolvidos, reduzindo a subjetividade ao considerar as possibilidades de variação nos cenários externos, assim como na gestão do projeto ou da empresa. Conforme Damodaran (2012, p. 813), "quando são utilizadas opções reais para justificar uma decisão, a justificação tem de ser em termos mais do que qualitativos". O autor ainda afirma que, quando do investimento em projetos com retornos ruins baseados em opções reais, os gestores devem obrigatoriamente demonstrar que os benefícios econômicos deste projeto superam os seus custos.

O método é baseado nas opções financeiras, as quais indicam um direito de compra de um ativo financeiro (mas não uma obrigação de compra) a partir de um derivativo denominado "opção de compra" (*call*) ou um direito de venda de um ativo financeiro (mas não uma obrigação de venda) a partir de uma "opção de venda" (*put*). Assim sendo, uma vez que é sabido o valor da ação pode-se optar pelo exercício do direito de compra ou de venda, conforme a opção adquirida.

Em 1973, Fischer Black e Myron Scholes publicaram o artigo "*The Pricing of Options and Corporate Liabilities*". Os autores partiram de alguns pressupostos, como, por exemplo, que os preços das ações seguiriam um Movimento Geométrico Browniano (MGB) e que seria possível a criação de portfólio livre de risco composto por ações e opções europeias (exercidas em data específica) de compra. O trabalho tornou-se fundamental na teoria financeira e desempenhou um papel crucial no desenvolvimento da precificação de opções.

As equações de Black-Scholes-Merton fornecem uma fórmula analítica para precificar opções de ações. Embora originalmente desenvolvidas para opções financeiras, podem ser adaptadas para avaliar opções reais em certos contextos. O trabalho de Black e Scholes (1973) tornou-se fundamental na teoria financeira e desempenhou um papel crucial no desenvolvimento da precificação de opções. A principal contribuição do artigo foi o modelo de determinação do preço de ações, conforme a seguinte equação:

$$\left(\frac{\partial V}{\partial t}\right) + \frac{1}{2}\sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} + \left(rS\frac{\partial V}{\partial S}\right) - rV = 0$$

Onde:

$V = V(S, t)$: Preço da opção como função do preço do ativo subjacente S e do tempo t.
$\left(\frac{\partial V}{\partial t}\right)$: Derivada parcial do preço da opção em relação ao tempo.
$\left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)$: Derivada parcial do preço da opção em relação ao preço do ativo subjacente.
$\left(\frac{\partial^2 V}{\partial S^2}\right)$: Segunda derivada parcial do preço da opção em relação ao preço do ativo subjacente.
σ: Volatilidade do ativo subjacente (desvio padrão dos retornos logarítmicos).
r: Taxa de juros livre de risco contínua
S: Preço atual do ativo subjacente
t: Tempo atual

Em seguida, juntamente com Merton (BLACK; SCHOLES, 1973), esses autores definiram a equação para precificar opções de compra (*Call*), sendo definida como "Equação Black-Scholes-Merton".

Fórmula para uma Opção de Compra (*Call*):

$$C = S0.N(d1) - E.e^{-rT}.N(d2)C$$

Fórmula para uma Opção de Venda (*Put*):

$$P = E.e^{-rT}.N(-d2) - S0.N(-d1)$$

Onde:

C: preço da opção de compra (*call*)
P: preço da opção de venda (*put*)
$S0$: preço atual do ativo subjacente
E: preço de exercício (*strike price*) da opção
r: taxa livre de risco contínua (expressa ao ano)
T: tempo até o vencimento da opção (em anos)
σ: volatilidade do retorno do ativo subjacente (desvio padrão)

$N(d)$: função de distribuição acumulada da distribuição normal padrão para o valor "d"
e: número/constante de Euler (2, 71828...)
ln = logaritmo natural

O modelo Black-Scholes revolucionou a precificação de opções e teve um impacto significativo no campo das finanças. No entanto, como já foi dito, é importante notar que o modelo pressupõe que os mercados são eficientes, que não há custos de transação e que os preços das ações seguem um movimento browniano geométrico, o que pode não ser totalmente realista em todas as situações.

Em 1977 Stuart C. Myers publicou um artigo na Revista da *Sloan School*, do *Massachussets Institute of Technology* (MIT), no qual considerou ativos de uma maneira geral como opções de compra (MYERS, 1977). Desta forma, entendeu-se que, se o ativo for tratado como uma opção de compra, será possível avaliá-lo de uma maneira que se considere as opções reais, livres de risco, além da opção de somente realizar ou não realizar o investimento.

Mais tarde, Trigeorgis (1993) apresentou um estudo que tem como foco a natureza das interações entre opções reais. Neste estudo o autor demonstra que "a presença de opções subsequentes pode aumentar o valor do ativo-objeto efetivo das opções anteriores, enquanto o exercício de opções reais anteriores (como as de expandir ou contrair) pode alterar o ativo-objeto em si e, portanto, o valor das opções subsequentes" (TRIGEORGIS, 1993, p. 207). Desta forma, o valor combinado de um conjunto de opções reais pode diferir da soma dos valores individuais de cada opção. Com o intuito de trabalhar melhor a relação entre as opções e a flexibilidade financeira, Trigeorgis (1993) considera que a flexibilidade gerencial de uma empresa, para adaptar-se às condições de mercado futuras, gera uma assimetria a qual exige uma regra de "VPL expandido", que reflita os dois componentes do valor, o VPL tradicional e o valor da adaptabilidade (*VPL Expandido (estratégico) = VPL Estático (passivo) dos fluxos de caixa esperados + valor das opções resultantes da gestão ativa*).

Outra contribuição importante para a utilização da Teoria das Opções Reais se deu por meio do trabalho do artigo "*Real Options: Meeting the Georgetown Challenge*" (COPELAND; ANTIKAROV, 2005), no qual os autores sugerem uma metodologia simplificada para a aplicação da teoria das opções reais nas análises, além de rebater possíveis objeções relacionadas ao seu uso.

A discussão sobre a aplicabilidade da TOR e o Desafio de *Georgetown*

Adam Borison apresentou um trabalho na Conferência de Opções Reais, intitulado "*Real Options Analysis: Where are the Emperor's Clothes?*" (BORISON, 2005). Neste trabalho, ele se mostrava bastante consternado pelo fato de que, em 25 anos, desde que Myers (1977) havia cunhado o

tema “Opções Reais”, ainda não havia uma pacificação sobre uma metodologia para a precificação das opções reais. Para ele, ainda havia muitas lacunas e inconsistências, além das dificuldades na matemática apresentada. Sendo isso, o autor desenvolveu uma crítica à maioria das propostas para a análise de opções reais até aquele momento, destacando três pontos em cada abordagem proposta:

-Aplicabilidade: O que representa a opção real calculada e onde é apropriado o seu uso?

-Pressupostos: quais são os pressupostos notáveis fundamentais à abordagem e quais são as evidências sobre a validade desses pressupostos?

-Mecânica: quais são as etapas envolvidas na aplicação da abordagem e quais são as dificuldades associadas?

Ao final, o autor define como “lamentável estado de confusão” a análise de opções reais, sendo várias abordagens diferentes, divergindo no que ele chama “caminhos fundamentais” fornecendo resultados “fundamentalmente diferentes”. O estudo de Borison (2005) foi publicado no Jornal de Finanças Corporativas Aplicadas, publicado pela Morgan Stanley. Na mesma edição foi publicado também o artigo de Copeland e Antikarov (2005), no qual os autores têm por objetivo apresentar uma solução ao chamado “*Georgetown Challenge*”. O estudo de Copeland e Antikarov (2005) tinha por objetivo propor uma “resposta” ao "*Georgetown Challenge*", apresentando o que viria a ser uma metodologia para o cálculo do valor das opções reais. Segundo os autores, o estudo demonstrou “como a maioria das objeções populares para opções reais (incluindo algumas de Borison, 2005) são baseadas em uma compreensão imperfeita dos insumos necessários para tornar real o trabalho com as opções, em vez de falhas dos modelos em si” (COPELAND; ANTIKAROV, 2005, p.32). O desafio era o seguinte: Para ganhar aceitação entre acadêmicos e praticantes, uma metodologia de opções reais deveria “dominar intuitivamente outros métodos de tomada de decisão”, mais especificamente o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL).

O Modelo Proposto por Copeland e Antikarov

Em resposta aos questionamentos de Borison (2005), no denominado *Georgetown Challenge*, os autores Copeland e Antikarov (2005) buscaram uma metodologia de consenso, que fosse reconhecida e utilizada pelos seus pares. Os autores partem da premissa de que a teoria das opções apresenta uma perspectiva diferente sobre o problema de precificação das opções. Numa situação de incertezas sobre preços de mercado, volatilidade, flutuação, o valor de um projeto pode ter diferentes valorações ao longo dos períodos, o que representaria os vários “nós”, em uma “árvore de opções reais”. Para ilustrar isso, utilizaram como exemplo uma empresa petroleira, a qual possuia o direito de extração de petróleo

offshore por até cinco anos. Neste caso, apresentaram vantagens para a precificação por meio das opções reais, sobre outros métodos, sem considerar os cálculos num primeiro momento. São elas: *i*. As opções reais produzem um único valor presente, que é o valor do projeto com flexibilidade e portanto, reflete o direito de adiar o desenvolvimento; *ii*. O valor do projeto com direito a adiamento seria maior do que qualquer uma das alternativas de VPL mutuamente exclusivas, porque nenhuma delas valoriza a exigibilidade nem consideram a flexibilidade gerencial; *iii*. A incerteza sobre o preço de um ativo (no exemplo, a volatilidade do preço do petróleo) é importante, independentemente de estar correlacionado com a economia; e *iv*. Opções reais especificam exatamente o gatilho ou ponto para o exercício da opção.

A contribuição dos autores Copeland e Antikarov (2005) é o método para a precificação das opções reais, realizado conforme a sequência de passos a seguir:

Passo 1. Calcular o Valor Presente: Definir a estimativa esperada; fluxo de caixa livre; estimar o custo de capital; Calcular VPL; **Passo 2**. Analisar a incerteza (volatilidade): Usar dados históricos ou visão subjetiva do futuro estimativas gerenciais; combinar os riscos que evoluem continuamente através de tempo usando métodos como a Simulação de Monte Carlo; manter separados esses riscos que evoluem discretamente; estimar a volatilidade do retorno baseado no valor; **Passo 3**. Construir a árvore de eventos (neste artigo será utilizado o modelo binomial); **Passo 4**. Criar a árvore de decisão: Entender o tipo de opção sendo modelada; pode haver várias decisões em um só nó. Por exemplo, para calcular o valor de uma opção de espera no vencimento (*Call*), utiliza-se a seguinte equação (*payoff)*:

$$\boldsymbol{Payoff = max\,(VT - I, 0)}$$

Onde:

VT é o valor do projeto no tempo T.
I é o investimento necessário para iniciar o projeto.

Finalmente, o **Passo 5**. Analisar os valores encontrados para a árvore e estimar o valor da opção real: Garantir que não haja arbitragem subjacente e ligações livres de risco. Ao final:

$$\boldsymbol{Valor\ Total\ do\ Projeto = VPL + Valor\ da\ Opção}$$

A intenção dos autores era que seu trabalho fosse uma solução para a "popularização" da avaliação de investimentos a partir do uso do método de opções reais, superando inclusive o uso do VPL

como forma de *valuation* de investimentos. Contudo, isto não ocorreu, mas, de fato, deixaram uma grande contribuição principalmente no tocante à simplificação dos cálculos, ou seja, da matemática utilizada.

Apesar de ser uma alternativa importante para a precificação das opções reais, segundo Jabur (2018, p.34), a teoria das opções reais tem desvantagens, como por exemplo, "a falta de um modelo padrão que seja aplicado em qualquer investimento a ser realizado" e "mais trabalhosa em relação às outras abordagens de valoração".

METODOLOGIA

O estudo aqui proposto trata-se de uma abordagem quantitativa descritiva, a qual visa a apresentação de um método de avaliação para um investimento sequencial em inovação tecnológica, realizado a partir de dados e cálculos levantados em um estudo de caso. Tal opção metodológica justifica-se pelo fato de tratar-se de um estudo organizacional e gerencial, o qual, parte de uma investigação empírica de um fenômeno contemporâneo, dentro do seu conceito da vida real, cujos limites entre estes não estão claramente definidos (YIN, 2001). Ainda, segundo Yin (2001), o estudo de caso responde às questões "por quê" e "como", facilitando a compreensão dos fenômenos sociais, por meio de uma análise peculiar do contexto situacional.

De início foi realizada uma análise bibliométrica, a partir de pesquisa à plataforma de Periódicos da CAPES, em função da sua abrangência, agregando inclusive a base de dados *Web of Science*. A pesquisa se deu no dia 28/11/2023 e foram buscadas referências utilizando-se filtros de tema, datas e análise de pares. Utilizando como expressões de busca nas palavras-chave os termos "*Real Options Theory"* + "*Innovation*", aplicados na opção "qualquer campo" do cadastramento da pesquisa, além de serem devidamente revisados por pares. Sendo estas condições, foram levantados inicialmente 83 estudos. Este resultado forneceu a base principal para o presente estudo, constituindo a maior parte das referências apresentadas neste texto. Tendo então como base a análise bibliométrica, realizou-se uma breve revisão de literatura, para o entendimento dos conceitos de inovação, análise de investimentos e teoria das opções reais, de forma a auxiliar no embasamento deste trabalho.

A análise bibliométrica permitiu a identificação das obras que constituíram o embasamento teórico desta pesquisa, apresentado nos itens: Investimentos em Inovação; Risco e Incerteza; Valoração; Análise de Investimentos (com Análise de Retorno sobre o Investimento e Cálculo da Taxa Interna de Retorno ou *Internal Rate Return*); Destacando-se a Teoria das Opções Reais, com Teoria das Opções e o

Modelo de *Black and Scholes; o* Método Binomial de Cox, Ross, Rubinstein (1979); e o Modelo Proposto por Copeland e Antikarov (COPELAND E ANTIKAROV, 2005).

Tendo a fundamentação teórica construída, foi apresentado o estudo de caso da empresa de engenharia de energia, para o qual foi analisado o nível de maturidade tecnológica do projeto e evidenciado o fluxo de caixa do projeto. Para este estudo foram utilizadas como fonte os dados de arquivo, informações financeiras do investimento, fornecidos pela empresa objeto do estudo e apresentados em Martins (2025). Em seguida, conforme as informações fornecidas pela empresa citada, foram definidas as premissas para as análises e foram aplicados ao referido estudo de caso, as seguintes técnicas de avaliação de investimentos: i. Valor Presente Líquido (VPL), baseado em fluxo de caixa esperado, ambos conforme apresentado por Lawrence J. Gitman (2010); e ii. Análise de opções reais, sendo utilizada para esta etapa a sequência de passos sugeridos por Thomas E. Copeland e Vladimir Antikarov (2005), dentre outros, conforme detalhado em seguida.

Como metodologia aplicada para a análise dos investimentos sequenciais, além da Teoria das Opções Reais, utilizou-se o método da Árvore Binomial, de Cox, Ross e Rubinstein (1979), sendo ambas aplicadas para cada etapa do investimento associadas aos seus níveis de maturidade tecnológica (MANKINS, 2009), as quais foram apresentadas detalhadamente na segunda parte deste trabalho. Conforme mencionado, este estudo tem como base a sugestão de continuidade de estudo, contida na dissertação de Martins (2025), cujos dados serão utilizados para a abordagem proposta neste artigo. Contudo, para que haja condições de análise, o estudo de caso original será adaptado, de forma a possibilitar simular a realização do investimento em P&D em várias etapas e seus níveis de prontidão tecnológica (TRL), extrapolando para os investimentos em produção e comercialização. Após a análise será apresentada a discussão acerca dos resultados e as considerações finais.

No estudo de caso previamente realizado (RODRIGO, 2025), houve dois momentos de valoração, sendo o primeiro de forma bem objetiva, baseado em critérios de preço dos recursos a serem utilizados (uma regra mais contábil e financeira), determinando o custo do capital a ser empregado (PRATT, 2002); e o segundo, qualitativo, capaz de captar a flexibilidade gerencial ao longo da execução do projeto e suas opções reais (TRIGEORGIS, 1993).

Sendo assim, dando continuidade ao estudo de caso, para que se cumpra o objetivo proposto neste artigo, serão utilizados os dados referentes ao projeto da empresa avaliada por Martins (2025). Porém, será acrescentado livremente mais um período, o qual, subdivide o processo de P&D. Isto ocorrerá apenas para ilustrar o estudo aqui proposto. Em seguida, serão aplicadas os passos da metodologia proposta, tendo os cálculos dos valores realizados para a opção de "Tempo de Construção", também definida como "Investimento Escalonado" (TRIGEORGIS, 1993). Para esta etapa foi utilizada

a sequência de passos sugeridos por Thomas E. Copeland e Vladimir Antikarov (2005 p. 32): Passo 1: Calcular o Valor Presente Líquido; Passo 2: Analisar a incerteza; Passo 3: Construir a árvore de eventos; Passo 4: Criar a árvore de decisão; e Passo 5: Estimar o valor da opção real. Após a aplicação dos métodos, realizou-se a análise dos resultados com a comparação do uso dos dois métodos, em um relatório técnico com a resposta à questão e objetivos de pesquisa e as considerações finais.

ANÁLISE E DISCUSSÃO

O estudo de caso e sua adaptação

Conforme já mencionado anteriormente, este artigo é uma continuidade do estudo apresentado em Martins (2025). No estudo de caso original, uma empresa paranaense de engenharia de energia pretendia investir em um projeto de pesquisa aplicada para o desenvolvimento de uma nova tecnologia, em parceria com um instituto de pesquisa privado do estado do Paraná. O resultado do processo de P&D deveria originar uma propriedade intelectual e possibilitar o prosseguimento do projeto com novos investimentos em estrutura fabril e sua operação.

Desde o início o objetivo da empresa não era apenas produzir e licenciar uma propriedade intelectual, ou seja, uma patente de produto para ser comercializada. Seu objetivo seria a produção do equipamento, oriundo desta tecnologia. Após uma avaliação, a empresa optou por não realizar o investimento. Em seu estudo, Martins (2025) propôs uma nova análise do investimento, por meio da abordagem da Teoria das Opções Reais, segundo a metodologia e os passos propostos por Copeland e Antikarov (2005). Neste estudo, foram consideradas dimensões de análise não avaliadas anteriormente pela empresa. Com isto, foi possível responder à questão de pesquisa positivamente, ou seja: demonstrou como seria possível avaliar a viabilidade de investimento em projetos de P&D utilizando o método da Teoria das Opções.

Ao final, foi apresentada uma sugestão para a continuidade do estudo, aplicando o método a investimentos sequenciais em inovação tecnológica, a qual dá origem a este novo estudo, sendo este desenvolvido a seguir, com as devidas adaptações necessárias para a realização da nova análise.

O projeto e as opções reais

Considerando o tipo de investimento, inicialmente em P&D e sequencialmente em estrutura de produção e operação (em caso de sucesso do processo de pesquisa e desenvolvimento), utilizando a

sequência proposta por Herath e Park (1999) apresentada (Figura 1), a opção a ser analisada neste estudo será a opção de "Tempo de Construção", também definida como "Investimento Escalonado".

A opção real de investimento escalonado, conforme definida em Trigeorgis (1993), refere-se a um projeto que pode ser implementado em etapas ou fases. Cada etapa é avaliada como uma opção que depende do sucesso da anterior, fornecendo flexibilidade para continuar ou abandonar o investimento em cada estágio. O valor dessa opção pode ser calculado com base no modelo de opções reais. Essa opção é valiosa em todos os setores de intensa P&D, como fármaco, em setores de capital intensivo que sejam altamente incertos e com longo prazo de desenvolvimento, como usinas geradora de energia, construção de grande escala e em *venture capital;*

A fórmula no modelo binomial, para calcular o valor de uma opção de investimento escalonado combina os conceitos de fluxos de caixa descontados e probabilidades de sucesso em cada fase do projeto, que podem ser definidas estatisticamente, por inferência ou mesmo pela volatilidade. O valor é calculado sequencialmente, começando pela última fase e retrocedendo para as fases anteriores. Isso reflete o princípio de recursividade, onde o valor de cada fase depende do valor esperado das fases subsequentes. O valor de cada fase (Vt) pode ser expresso como:

$$Vt = \frac{\textbf{Probabilidade de Sucesso } t \cdot (\textbf{Valor Futuro Esperado } t+1) - \textbf{Custo } t}{(1+r)^t}$$

Onde:

Vt: Valor esperado da fase t.
Probabilidade de Sucesso t: Probabilidade de a fase t ser concluída com sucesso.
Valor Futuro Esperado $t+1$: Valor esperado das fases subsequentes ($t+1$, $t+2$...), considerando os custos e receitas.
Custo t: Investimento necessário na fase t.
r: Taxa de desconto anual (ou o custo de capital).
t: Duração da fase t em anos.

A análise começa pela última fase ($t = n$) e segue para a primeira ($t = 1$), acumulando os valores de cada fase.

Cálculo é realizado da seguinte forma:

I. Última Fase (n): Calcule o valor presente líquido da última fase considerando o fluxo de caixa final ($FCFn$) e o custo dessa fase (Cn):

$$Vn = \frac{(Probabilidade\ de\ Sucesson \cdot FCFn) - Cn}{(1+r)^t}$$

II. Fases Intermediárias ($t = n - 1,\ t = n - 2,\ldots,\ t = 1$): Para cada fase intermediária, o valor esperado é o custo dessa fase subtraído do valor esperado das fases subsequentes, ponderado pela probabilidade de sucesso:

$$Vt = \frac{Probabilidade\ de\ Sucesso\ t \cdot (Valor\ Futuro\ Esperado\ t+1) - Ci}{(1+r)t}$$

III. Primeira Fase ($t = 1$): O valor do projeto inteiro é o valor da primeira fase, que considera o fluxo de caixa esperado de todas as fases subsequentes:

$$V1 = \frac{Probabilidade\ de\ Sucesso1 \cdot (Valor\ Futuro\ Esperado2) - C1}{(1+r)^t}$$

O valor total da opção real de investimento escalonado ($Vescalonado$) é dado pela soma do valor esperado das opções futuras em cada estágio, descontados ao valor presente:

$$\boldsymbol{Vescalonado} = \sum_{t=0}^{T} \max(\boldsymbol{Vt} - \boldsymbol{Ct}, 0) \cdot \boldsymbol{Pt}$$

Onde:

Vt: Valor esperado dos fluxos de caixa futuros no estágio t.
Ct: Custo do investimento associado à execução do estágio t.
Pt: Probabilidade de sucesso ou realização do estágio t, ajustada ao risco.
T: Número total de estágios ou fases do projeto.
$\max(Vt - Ct, 0)$:Representa o valor da opção em cada estágio. Se o valor esperado Vt for maior que o custo Ct, a etapa é executada; caso contrário, a etapa é descartada.

Considerando as opções reais de um investimento como se fossem ações de participação de empresas, tem-se um investimento em P&D como a compra de um direito para exercício futuro, porém, sem a obrigação de exercer este direito. Em outras palavras, é possível a exploração comercial da propriedade intelectual, quer seja pela comercialização da PI ou pela fabricação e comercialização do produto. Isto significa que há um preço de exercício, sendo este, o valor que deve ser encontrado utilizando-se a TOR. De acordo com Trigeorgis e Reues (2017), a análise das opções reais requer

inicialmente que o problema tenha uma abordagem qualitativa. Isto tende a facilitar a identificação das opções que se apresentam e suas interdependências, assim como as variáveis responsáveis pela incerteza e os fatores, cujo valor do projeto sofreria maior influência.

Nível de maturidade tecnológica do projeto

No caso apresentado por Martins (2025), a avaliação feita à época pela empresa de engenharia expôs que a tecnologia proposta se encontrava entre o nível TRL2 e TRL3, pois haviam sido validados os conceitos teóricos, mas ainda seria necessária a validação laboratorial, via experimentação. Ou seja, uma vez que algumas tecnologias (patentes) fossem utilizadas em parte do processo, tornava-se necessário uma integração de alguns produtos e o desenvolvimento de outros. Assim, seria possível chegar a uma primeira prova de conceito analítica ou experimental. Isso significa que parte do desenvolvimento já havia sido realizado por outras empresas (patentes em vigor), sendo necessário um processo de comercialização tecnológica para o licenciamento destas patentes. O custos de licenciamento seriam estimados à medida que a tecnologia fosse desenvolvida. Contudo, uma estimativa prévia foi considerada no investimento inicial. Para a decisão de fabricação do projeto seria necessário que ao final do processo de P&D existisse um protótipo funcional, devidamente validado no mercado, ou seja, TRL 7 e um produto mínimo viável (*MVP*).

Para este novo estudo proposto, a pesquisa e o desenvolvimento serão divididos em três etapas, a saber: Etapa1: Validação do conceito (TRL1, TRL2 e TRL3); Etapa 2: Desenvolvimento da Tecnologia, Prototipação e Incubação (TRL4, TRL5 e TRL6); e Etapa 3: Produção Piloto, Comissionamento do Sistema e Introdução inicial do Produto no Mercado (TRL7, TRL8 e TRL9). Ou seja, o investimento anterior até TRL6 será dividido em duas partes. Em caso de sucesso destas, será realizado o investimento até TRL9.

Figura 4 – Etapas de elaboração do Produto em P&D



Fonte: Martins (2025).

Distribuição dos investimentos de acordo com as etapas

Conforme afirmam He e Estébanez (2023), a estratégia de P&D da empresa é fundamental para garantir a sua sobrevivência e o seu crescimento a longo prazo. Ao passo em que as empresas desenvolvem suas estratégias, elas devem considerar como as operações de P&D afetam seu desempenho financeiro e o seu valor de mercado. No estudo de caso realizado por Martins (2025), o custo estimado apenas para as atividades de P&D, considerando das várias etapas necessárias à elaboração do protótipo funcional para o mercado em TRL 6 (Figura 4), foi de R$ 5,9 Milhões de Reais. Nesses valores, constavam apenas os custos relacionados ao desenvolvimento da tecnologia, ou seja, até o protótipo do produto. Não estavam inclusos custos referentes ao terceiro estágio, as TRLs 7, 8 e 9 (Figura 4), ou seja, relacionados à produção, marketing, comercialização, tributos e gestão.

O investimento direto da empresa até completar a segunda etapa de P&D seria de R$ 2,75 Milhões de Reais, tendo a diferença de R$ 3,15 Milhões de Reais a ser subvencionada por terceiros. Para efeito de análise neste estudo, será considerado como investimento inicial em P&D apenas a parcela efetivamente a cargo da empresa, ou seja, R$ 2,75 Milhões, pois foi o valor utilizado no estudo de caso. Este valor do investimento até a TRL6 será mantido, porém será arbitrariamente distribuído entre as etapas 1 e 2, de forma a possibilitar o exercício aqui proposto. O prazo de desenvolvimento até TRL6 a ser utilizado será de 24 (vinte e quatro) meses.

Premissas e dados do problema

A premissa inicial para a realização do investimento é o sucesso do projeto de pesquisa aplicada (opção inicial). No estudo original, o investimento total em P&D até TRL9 foi realizado em duas etapas ($t = 0$ e $t = 1$). Neste estudo adaptado, os mesmos valores de investimentos serão agora divididos em três etapas ($t = 0, t = 1$ e $t = 2$). Três rodadas de investimentos serão agora necessárias até a comercialização do produto, no lugar das duas rodadas do estudo original. Outro ajuste realizado neste estudo é com relação a uma nova rodada de investimento de R$ 1.800.000,00 que era prevista para o 5º ano (caso se concretizassem as expectativas de *valuation* e desempenho projetados). Agora, com a inserção de uma nova etapa no processo de pesquisa, esta previsão de investimento passará para o 6º ano. O valor de venda de R$ 10.000.000,00 foi definido, para a opção de venda dos ativos, assim como o valor de resgate de R$ 5.000.000,00 para a opção de abandono. Porém, as opções de abandono e venda não serão consideradas neste estudo, pois, conforme proposto, será avaliada apenas a *opção real*

de investimento escalonado. As adaptações sobre as informações fornecidas pela empresa e utilizadas no estudo de caso original podem ser vistas a seguir no Quadro 5.

Quadro 5 – Dados adaptados fornecidos para Análise do Investimento

Despesas de pesquisa Etapa 1 ($t = 0$)	**R$ 1 Mi**
Despesas de pesquisa Etapa 2 ($t = 1$)	R$ 1,75 Mi
Despesas de pesquisa Etapa 3 mais o Investimento subsequente em produção e comercialização ($t = 3$)	R$ 9,75 Mi
Taxa de Desconto	18% a.a.
Vida útil do projeto (período de análise)	11 anos
Volatilidade WEGE3 12 meses (B3, 2018)	29,645
Investimento subsequente no período 6	R$ 1,8 Mi
Quantidade de períodos projetados	12 períodos

Fonte: Elaboração própria. Adaptado de Martins (2025).

Valuation do projeto original e adaptação dos dados para investimentos sequenciais na fase de P&D

Conforme mencionado anteriormente, diferentemente do estudo original de Martins (2025), neste o processo de P&D será subdividido e realizado em três etapas. Estas etapas estarão associadas aos níveis de maturidade tecnológica previstos, ampliando a análise das opções de forma a ampliar o número de períodos anteriores à operação da empresa. Contudo, serão utilizados os mesmos valores levantados no estudo original de Martins (2025), os quais serão deslocados um período à frente, ou seja, o primeiro fluxo de caixa (FC) positivo, antes no período 2, será agora o FC do período 3, a fim de serem aproveitados os valores identificados originalmente para o novo fluxo de caixa projetado (FCP) e assim sucessivamente, até o ano 11, antes definido como ano 10. Para estes ajustes será arbitrado que o processo de P&D deve ocorrer em 24 meses, subdividido em três etapas, com igual número de períodos, onde $t = 0$ corresponde a TRL1 a TRL3, $t = 1$ corresponde a TRL4 a TRL6 e $t = 2$ estará associado às TRLs 7 a 9, na qual, em caso de sucesso das anteriores, será onde os investimentos de infraestrutura, fabricação e comercialização acontecerão.

Fluxo de Caixa Projetado (FCP) e Fluxo de Caixa Descontado (FCD)

No estudo de caso original, a empresa apresentou uma projeção de fluxo de caixa, baseada nos investimentos e expectativa de receitas e despesas da operação distribuídos em 11 períodos de um ano. A partir do seu fluxo de caixa projetado apresentado, com os valores substituídos na fórmula, o VP encontrado foi de R$ 14.841.478,14 e o VPL (VP – Investimento Inicial) foi de R$ 2.341.478,14. Partindo destes valores e inserindo uma nova etapa de pesquisa entre os anos 0 e 1, é possível calcular a

sequência de passos para se chegar ao valor do projeto, considerando os novos FCP, VPL e FCD, os quais terão os 12 períodos, em 11 anos, na nova configuração, conforme Tabela1.

É importante observar que, apenas com o aumento de um período de um ano, obtido pela divisão do tempo de P&D, há uma significativa diferença nos valores projetados para o VP e VPL. Isto ocorre em função da taxa de desconto aplicada de 18% a.a.

Apesar de simples utilização e cálculos, tradicional e com ampla difusão no uso para análise de investimentos, o VPL apresenta baixo nível de flexibilidade. É um método que trata a incerteza de forma determinística, ou seja, pressupondo projeções fixas ao longo do tempo.

Tabela 1 – Valor Presente Líquido (VPL) e Fluxo de Caixa Descontado (FCD) – Valores em R$ Milhões

Descrição	Ano0	Ano1	Ano2	Ano3	Ano4	Ano5	Ano6	Ano7	Ano8	Ano9	Ano10	Ano11
FCProj	-1,0	-1,75	-9,75	0,44	0,81	1,69	-0,77	3,72	5,46	7,03	9,53	11,53
FCDesc	-1,0	-1,48	-7,00	0,27	0,42	0,74	-0,28	1,17	1,45	1,58	1,82	2,20
Tx. Desc.	18%											
VP	9,375											
VPL	-0,11											

Fonte: Elaboração própria. Adaptada de Martins (2025).

Volatilidade e Incerteza

O uso dos fatores de incerteza se aproxima mais dos riscos de desenvolvimento de uma tecnologia (BOTELHO *et al*., 2024). A volatilidade é um dos principais elementos, necessários para o modelo de análise da Teoria das Opções, podendo esta ser obtida de algumas diferentes maneiras. Uma delas é utilizando ferramentas estocásticas como Simulação de Monte Carlo, para chegar-se a uma distribuição normal por meio de simulações de computador. Porém, no lugar de trabalhar com uma distribuição normal gerada aleatoriamente, é possível utilizar, por similaridade, a volatilidade real de empresas do mesmo setor. No caso, foi adotada, por analogia, a volatilidade histórica média das ações da empresa WEG listadas na B3 (Bolsa de Valores), ou seja, a ação WEGE3, com volatilidade histórica média de 29,645% (B3, 2018).

Árvore de Eventos

Partindo dos valores encontrados no Fluxo de Caixa e o Valor Presente Líquido, é possível montar a árvore de eventos, utilizando o método binomial de Cox, Ross e Rubinstein (1979) apresentado no item 3.4 deste trabalho. Para a construção da árvore serão necessários alguns dados. São eles: o Valor Presente VP (sem o investimento inicial) = R$ 9.375.886,86, assim como o Valor Presente Líquido

(VPL) = R$ -109.462,18. Este método considera uma volatilidade constante entra os períodos, então para isso será utilizada a volatilidade média da ação WEGE 3, conforme apresentada anteriormente, ou seja, a volatilidade será = 29,645%. A árvore de eventos será construída tendo o VPL multiplicado por estes fatores ("u" e "d") para a construção dos seus nós e ramos. Cada resultado deve ser multiplicado por estes fatores ("u" no ramo superior e "d" no ramo inferior) sucessivamente até o último período, conforme apresentado na Figura 2 deste trabalho. Realizando os cálculos de "u" e "d":

$$\text{-Fator de subida "u"} = e^{\text{volatilidade}} = e^{\,0,29645} = 1,3450$$

$$\text{-Fator de descida "d"} = 1/u = 1/1,3450 = 0,7435$$

O resultado é a projeção do VP, considerando a volatilidade ao longo do tempo e pode ser visto na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Árvore de Eventos – Valores em R$ Milhões

Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano10	Ano11
											244,32
										181,65	
									135,05		135,05
								100,41		100,41	
							74,65		74,65		74,65
						55,50		55,50		55,50	
					41,27		41,27		41,27		41,27
				30,68		30,68		30,68		30,68	
			22,81		22,81		22,81		22,81		22,80
		16,96		16,96		16,96		16,96		16,96	
	12,61		12,61		12,61		12,61		12,61		12,60
9,375		9,37		9,37		9,37		9,37		9,37	
	6,97		6,97		6,97		6,97		6,97		6,97
		5,18		5,18		5,18		5,18		5,18	
			3,85		3,85		3,85		3,85		3,85
				2,86		2,86		2,86		2,86	
					2,13		2,13		2,13		2,13
						1,58		1,58		1,58	
							1,18		1,18		1,18
								0,87		0,87	
									0,65		0,65
										0,48	
											0,36

Fonte: Elaboração própria.

Árvore de Decisão

A árvore de decisão é uma representação visual das opções disponíveis em diferentes cenários futuros, assim como as possíveis escolhas para estes cenários. As árvores permitem estruturar a tomada de decisão de maneira sequencial e condicional (COPELAND; ANTIKAROV, 2005).

Conforme definido na metodologia, neste estudo será realizado o cálculo para a opção real de investimento escalonado, conforme o método binomial de Copeland e Antikarov (2005), a ser realizado para as três etapas iniciais do investimento, considerando etapa 1 (TRL 1 a TRL3), com $t = 0$, etapa 2 (TRL 4 a TRL 6), com $t = 1$ e etapa 3 (TRL 7 a TRL 9), com $t = 2$. A árvore binomial é resolvida **de trás para frente**, começando pelos valores finais do projeto e retrocedendo até a decisão inicial, ou seja, o cálculo retroage até $t = 0$. Calcula-se o valor do projeto nas folhas finais da seguinte forma:

$$\boldsymbol{VT = max(ST - CT, 0)}$$

Onde ST é o valor esperado do projeto e CT é o custo da fase final. Nas fases intermediárias, o valor da opção em cada nó da árvore é calculado pela equação binomial:

$$\boldsymbol{Vt = e^{-r\Delta t}[p.Vu + (1 - p).Vd]}$$

Onde:

Vt: Valor da opção real no período t
r: Taxa de desconto anual = 18%
Δt: Intervalo de tempo entre nós da árvore = 1 ano
p: Probabilidade neutra ao risco (calculada a seguir)
u: Fator de subida "u" = $e^{volatilidade}$ = $e^{0,29645}$ = 1,3450
d: Fator de descida "d" = 1/u = 1/1,3450 = 0,7435
Volatilidade: 29,645%
Vu: Valor do projeto no estado de alta (quando há crescimento).
Vd: Valor do projeto no estado de baixa (quando há queda).

Cálculo da Probabilidade neutra ao risco p:

$$\boldsymbol{p = \frac{(e^{r\Delta t} - d)}{u - d}}$$

Substituindo os valores na fórmula:

$$\boldsymbol{p = \frac{(e^{0,18} - 0,7435)}{1,3450 - 0,7435} = 0,7546 \text{ ou } p=75,46\%}$$

A primeira fase da árvore fornece a decisão inicial. Se o valor for positivo, o investimento deve ser realizado, se for negativo, deve ser evitado.

A árvore de decisão é construída com base no valor esperado do projeto em cada nó:

$$\boldsymbol{Decisãot = "Continuar", se\ Vt > 0\ ou\ "Abandonar", se\ Vt \leq 0}$$

Isso significa que, se o valor esperado for positivo, a melhor decisão será continuar o investimento. Se o valor esperado for negativo, a melhor decisão será abandonar o projeto. Substituindo os valores de "u" e "d", assim como os valores esperados (St) dos nós no período $t = 3$ da árvore de eventos, na equação para o cálculo da árvore de decisão, tem-se que:

-Para a fase 3 (TRL 7 a TRL 9) $t = 2$: $\boldsymbol{V2 = max(S2 - C2, 0)}$

Nó 2,2: $S2 = R\$\ 9{,}37\ Mi \times u2 = R\$\ 9{,}37\ Mi \times 1.3452^2 = R\$\ 16{,}95\ Mi$

$Vt = \max\ (R\$\ 16{,}95\ Mi - R\$\ 9{,}75\ Mi, 0) = \boldsymbol{R\$\ 7{,}20\ Mi}$

Nó 2,1: $St = R\$\ 9{,}37\ Mi \times ud = R\$\ 9{,}37\ Mi \times 1.345 \times 0.7435 = R\$\ 9{,}37\ Mi$

$Vt = max(R\$\ 9{,}37\ Mi - R\$\ 9.75\ Mi, 0) = \boldsymbol{R\$\ 0{,}00}$

Nó 2,0: $ST = R\$\ 9{,}37\ Mi \times d2 = R\$\ 9{,}37\ Mi \times 0.7435^2 = R\$\ 5{,}18$

$Vt = max(R\$\ 0{,}00 - R\$\ 9{,}75\ Mi, 0) = \boldsymbol{R\$\ 0{,}00}$

-Para a fase 2 (TRL 4 a TRL 6) $t = 1$: $\boldsymbol{V1 = \max(e^{-r}[p \cdot Vu + (1-p) \cdot Vd] - C1, 0)}$

Nó 1,1: $V1 = \max(e^{-0.18}[(0.7547 \times R\$\ 7{,}20\ Mi) + (0.2453 \times R\$\ 0{,}00\ Mi)] - R\$\ 1{,}75\ Mi\ ,0)$

$\boldsymbol{V1 = R\$\ 2{,}79\ Mi}$

Nó 1,0: $V1 = \max(e^{-0.18}[(0.7547 \times R\$\ 0{,}00) + (0.2453 \times R\$\ 0{,}00)] - R\$\ 1{,}75\ Mi, 0)$

$\boldsymbol{V1 = R\$\ 0{,}00}$

-Para a fase 1 (TRL 1 a TRL 3) $t = 0$: $\boldsymbol{V0 = \max(e^{-r}[p \cdot Vu + (1-p) \cdot Vd] - C0, 0)}$

Nó 0,0: $V0 = \max(e^{-0.18}[(0.7547 \times R\$\ 2{,}79\ Mi) + (0.2453 \times R\$\ 0{,}00)] - R\$\ 1\ Mi, 0)$

$\boldsymbol{V0 = R\$\ 0{,}76\ Mi}$

Após os cálculos, a árvore de decisão final pode ser verificada na Tabela 3, a seguir:

Tabela 3 – Árvore de Decisão

Fase 1 ($t = 0$)	Fase 2 ($t = 1$)	Fase 3 ($t = 2$)
R$ 0,76 Mi (Seguir)	R$ 2,79 (Seguir)	R$ 7,20 (Seguir)
	R$ 0,00 (Abandonar)	R$ 0,00 (Abandonar)
		R$ 0,00 (Abandonar)

Fonte: Elaboração própria

Percebe-se a diferença na estrutura da árvore de decisão em relação às árvores encontradas no estudo original de Martins (2025). Isto ocorre em função do uso da equação de cálculo da "opção de investimento escalonado", diferentemente das opções de "Espera", "Expansão", "Abandono" e "Venda", utilizadas no estudo original. Além disso, da mesma forma que demonstrou o estudo de Lee *et al*. (2023), foi alcançado um valor presente mais elevado nos casos de implementação multiperíodos. Da mesma forma, o ganho relativo no valor do projeto dependeu principalmente da taxa de desconto, que representa o apetite ao risco por parte da empresa investidora.

Valoração do investimento pelo método das opções reais (TOR)

Uma vez calculados os valores da opção de investimento dos três períodos referentes ao processo de P&D, verifica-se que o investimento pode ser iniciado, pois o valor inicial da opção real é R$ 0,76 Mi, ou seja, um valor positivo. Da mesma forma como observa Hanne Lamberts-Van Assche et al. (2022), o melhor momento para se investir é definido pelo maior valor de opção precificado, identificado nas opções reais calculadas. Entretanto, existe o risco de abandono em alguns nós das fases intermediárias. Se em qualquer fase, o valor esperado for menor ou igual a zero, o investimento deverá ser abandonado para evitar-se perdas. Caso os custos sejam maiores ou a incerteza for alta, o projeto não valerá o risco.

Os cálculos do método binomial indicam que o valor esperado do projeto aumenta conforme o TRL avança, pois as incertezas são reduzidas. O ponto de maior valor incremental está nas fases 2 e 3 (TRL 4 a TRL 9), sugerindo a viabilidade de se consolidar o produto mínimo viável (*MVP*), até os investimentos em produção e comercialização. Outro ponto importante a se verificar no uso da TOR é o fato de que, diferentemente das opções financeiras, na mensuração das opções reais não existe uma série histórica que possa ser usada para estimar a incerteza do ativo subjacente. Novas informações que levam a ajustes no preço de projetos de P&D irão ocorrer somente em pontos discretos no tempo (MIRANDA, 2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os diferentes métodos apresentam resultados diferentes para a tomada de decisão. Então, qual está correto? Pode-se afirmar que os dois cumprem com os seus papéis, contudo, o espectro de análise é diferente, sendo o VPL mais restrito no que tange à flexibilidade gerencial, por exemplo. Mesmo assim, o VPL é fundamental para o uso das opções reais, uma vez que compõe a etapa inicial de cálculos do método da TOR, para a construção da árvore binomial.

Embora a análise tradicional do VPL (estático) resultasse em um valor negativo, a verificação das opções reais demonstra que o projeto de P&D tem capacidade de gerar valor para a empresa. Ou seja, responde à questão de pesquisa e aos seu objetivo, demonstrando como é possível capturar a flexibilidade gerencial ao utilizar a TOR para o cálculo de investimentos sequenciais em inovação.

Em uma rápida comparação, o VPL é uma métrica tradicional usada para avaliar investimentos ao calcular o valor presente dos fluxos de caixa futuros descontados a uma taxa de retorno mínima aceitável (custo de capital). Ele é amplamente aceito e utilizado, sendo útil quando os fluxos de caixa e os riscos da operação são bem definidos. Entretanto, possui limitações, como o fato de assumir que o investimento ocorre de forma irreversível, não permitindo ajustes ao longo do tempo. Além disso, como já mencionado, no tocante aos projetos de inovação, estes podem ter retornos incertos e não imediatos, resultando em um VPL negativo, o que de imediato inviabilizaria o investimento, como ocorreu neste estudo. No caso da TOR, ao incorporar a incerteza e considerar a flexibilidade gerencial, ela aprimora o métodos do VPL. Ao tratar os investimentos como opções financeiras, a empresa tem mais possibilidades (opções) como, por exemplo, adiar, expandir, reduzir ou abandonar um investimento, a medida que novas informações surjam ao longo do tempo. Porém, o uso da TOR não é tão difundido em função das dificuldades associadas aos cálculos necessários para executar o método e a sua análise. São utilizados modelos matemáticos complexos, assim como modelos estatísticos, tendo algumas variáveis, como por exemplo a volatilidade, sendo difíceis de serem determinadas, demandando, muitas vezes, especialistas para a realização de tais cálculos e análises.

A escolha do método adequado para avaliar investimentos em inovação tecnológica é essencial, pois esses projetos são frequentemente caracterizados por alta incerteza, irreversibilidade e flexibilidade gerencial. Para investimentos tradicionais e previsíveis, o VPL pode ser suficiente. No entanto, quando se trata de inovação tecnológica, onde há grande incerteza e oportunidades de ajuste, a Teoria das Opções Reais é superior. Ela permite que a empresa capture a flexibilidade gerencial e maximize retornos sob incerteza, tornando-se uma abordagem essencial para avaliar projetos disruptivos.

A combinação do uso dos níveis de prontidão tecnológica (TRL) com a TOR fornece uma alternativa de abordagem robusta para a avaliação de projetos tecnológicos sequenciais. Além das análises qualitativas tradicionais, o uso da TOR possibilita aos gestores a captura da flexibilidade gerencial ao longo da vida útil do projeto, equilibrando riscos e oportunidades. Em paralelo, possibilita a tomada de decisão individualmente em cada etapa. O exemplo adaptado do estudo de caso de Martins (2025) demonstra que a há diferenças na análise quando se divide em mais etapas o processo de P&D. Os valores mudam à medida que o processo aumenta ou reduz a sua incerteza ao longo do tempo, contudo, cria-se novas possibilidades, ou opções, para a identificação do melhor momento para a realização do investimento.

Como oportunidade de desdobramentos para outros estudos, seria importante aprofundar e relacionar a TOR com outros métodos utilizados para a tomada de decisões, principalmente quando estas forem de caráter estratégico.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 16290:2015**: Sistemas espaciais — Definição dos níveis de maturidade da tecnologia (TRL) e de seus critérios de avaliação. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

B3. "Índice de Sustentabilidade Empresarial – ISE". **BM&F Ibovespa** [2018]. Disponível em: <www.b3.com.br>. Acesso em: 20/12/2024.

BLACK, F.; SCHOLES, M. "The Pricing of Options and Corporate Liabilities". **Journal of Political Economy**, n. 81, 1973.

BORISON, A. "A Response to "Real Options: Meeting the Georgetown Challenge". **Journal of Applied Corporate Finance**, vol. 17, n. 2, 2005.

BORISON, A. "Real Options Analysis: Where Are the Emperor's Clothes?" **Journal of Applied Corporate Finance**, vol. 17, n. 2, 2005.

BOTELHO, F. J. E. *et al*. **Valoração de ativos tecnológicos, do tipo bioinsumos, de acordo com práticas de mercado e abordagens inovadoras relacionadas ao tema** (Trabalho de conclusão de curso de Especialização em Gestão da Inovação e Capacidade Tecnológica). Brasília: FGV, 2024.

BRANDÃO, L. E.; DYER, J. S.; HAHN, W. J. "Using Binomial Decision Trees to Solve Real-Option Valuation Problems". **Decision Analysis**, n. 2, 2005.

BRIGHAM, E. F.; EHRHARD, M. C. **Financial Management**: Theory and Practice. London: Cengage Learning. 2020.

COHEN, A. J. **Intangible Assets**: Valuation and Economic Benefit. New Jersey: John Wiley and Sons, 2005.

COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Real Options**: A Practitioner's Guide. New York: Texere. 2001.

COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. "Real Options: Meeting the Georgetown Challenge". **Journal of Applied Corporate Finance**, vol. 17, n. 2, 2005.

COX, J. C.; ROSS, S. A.; RUBINSTEIN, M. "Option Pricing: A Simplified Approach"**. Journal of Financial Economics**, vol. 7, 1979.

DAMODARAN, A. **Investment Valuation**: Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset. New Jersey: Wiley and Sons, 2012.

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

FRASER, J.; SIMKINS, B. **Enterprise Risk Management**: Today's Leading Research and Best Practices for Tomorrow's Executives. New Jersey: Wiley, 2016.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

HE, M.; ESTÉBANEZ, R. P. "Exploring the Relationship between R&D Investment and Business Performance—An Empirical Analysis of Chinese ICT SMEs". **Sustainability**, vol. 15, 2023.

HERATH, H. S. B.; PARK, C. S. "Economic Analysis of R&D Projects: An Options Approach". **The Engineering Economist**, vol. 44, n. 1, 1999.

HULL, J. C. **Options, Futures, and Other Derivatives**. New Jersey: Prentice Hall, 2008.

JABUR, D. M. **Abordagens de Valoração Econômica da Propriedade Intelectual e da Transferência de Tecnologia** (Dissertação de Mestrado em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação). Ilhéus: UESC, 2018.

LEE, J. S. *et al*. "Applying real options with reinforcement learning to assess commercial CCU deployment". **Journal of CO2 Utilization**, vol. 77, 2023.

LAMBERTS-VAN ASSCHE, H. *et al*. "Timing is everything: a real options approach for CCUS investment in the presence of market and technology uncertainty". **16th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies**. Lyon: GHGT, 2022.

MANKINS, J. C. "Technology Readiness Levels: A White Paper". **American Journal of Plant Sciences**, vol. 15, 1995.

MANKINS, J. C. "Technology readiness assessments: a retrospective". **Acta Astronautica**, n. 65, 2009.

MARTINS, R. **Métodos de Análise de Investimentos em Inovação Tecnológica**: Estudo de Caso Aplicando a Teoria das Opções Reais (Dissertação de Mestrado em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação). Guarapuava: Unicentro, 2025.

MIRANDA, J. A. **Valoração de ativos tecnológicos**: Metodologias, aplicações e desafios no âmbito da Embrapa e do setor público. Sete Lagoas: Embrapa, 2023.

MYERS, S. C. "Determinants of Corporate Borrowing". **Journal of Financial Economics**, vol. 5, 1977.

PRATT, S. **Cost of Capital**: Estimation and Applications. New Jersey: Wiley and Sons. 2002.

RAZGAITIS, R. **Valuation and Dealmaking of Technology-Based Intellectual Property**: Principles, Methods, and Tools. New Jersey: Wiley and Sons, 2009.

RIBEIRO, N. M. **Prospecção Tecnológica**. Salvador: Editora do IFBA, 2019.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J. F. **Corporate Finance**. London: McGraw-Hill Education, 2015.

SCHUMPETER, J. A. **A teoria do desenvolvimento econômico**: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juros e ciclos econômicos. Os Economistas. São Paulo: Nova Cultural, 1997.

TRIGEORGIS, L. "Real options and interactions with financial flexibility". **Financial Management**, vol. 22, n. 3, 1993.

TRIGEORGIS, L.; REUER, J. J. "Real options theory in strategic management". **Strategic Management Journal**, vol. 38, n. 1, 2017.

ULRICH, K. T.; STEVEN D. E. **Product Design and Development**. London: McGraw-Hill Education, 2015.

YOE, C. **Principles of Risk Analysis Decision Making Under Uncertainty**. London: CRC Press. 2019.



BOLETIM DE CONJUNTURA (BOCA)

Ano VII | Volume 21 | Nº 62 | Boa Vista |2025

http://www.ioles.com.br/boca

Editor chefe:

Elói Martins Senhoras

Conselho Editorial

Antonio Ozai da Silva, Universidade Estadual de Maringá

Vitor Stuart Gabriel de Pieri, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Charles Pennaforte, Universidade Federal de Pelotas

Elói Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima

Julio Burdman, Universidad de Buenos Aires, Argentina

Patrícia Nasser de Carvalho, Universidade Federal de Minas Gerais

Conselho Científico

Claudete de Castro Silva Vitte, Universidade Estadual de Campinas

Fabiano de Araújo Moreira, Universidade de São Paulo

Flávia Carolina de Resende Fagundes, Universidade Feevale

Hudson do Vale de Oliveira, Instituto Federal de Roraima

Laodicéia Amorim Weersma, Universidade de Fortaleza

Marcos Antônio Fávaro Martins, Universidade Paulista

Marcos Leandro Mondardo, Universidade Federal da Grande Dourados

Reinaldo Miranda de Sá Teles, Universidade de São Paulo

Rozane Pereira Ignácio. Universidade Estadual de