

# UTILIZAÇÃO DA ABORDAGEM DE OPÇÕES REAIS PARA MODELAGEM E VALORAÇÃO DE PROJETOS DE P&D: UM ESTUDO DE CASO NO SETOR DE COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS.

**Vinicius Chagas Brasil (USP)**

viniciuscbrasil@gmail.com

**Celma de Oliveira Ribeiro (USP)**

celma@usp.br

**Mario Sergio Salerno (USP)**

msalerno@usp.br



*A aplicação de modelos baseados na abordagem de opções reais para a valoração de projetos de P&D, patentes e tecnologias é tema frequente nas discussões referentes à gestão da inovação e, mais especificamente, gestão de portfólio de projetos. Este trabalho visa a aplicação dessa abordagem para a valoração de um projeto de desenvolvimento de um novo processo para produção de etanol de terceira geração e a comparação dos resultados obtidos com o cálculo feito pelo método tradicional de VPL. Para aumentar a robustez da análise utilizou-se de simulação de Monte Carlo para a montagem dos fluxos de caixa. Os resultados corroboram a literatura ao indicar de um maior valor com a utilização da abordagem de opções reais, representando o acréscimo da quantificação da flexibilidade gerencial presente no projeto de desenvolvimento. O trabalho contribui para a adaptação dos modelos relacionados à abordagem de opções reais utilizados em ambiente de inovação.*

*Palavras-chave: Gestão da Inovação, Opções Reais, Valoração de Projetos*

## 1. Introdução

A valoração de projetos de P&D, inseridos em ambiente de inovação e alta incerteza, é tema indispensável para a gestão de um portfólio de projetos ou mesmo para o correto dimensionamento de recursos necessários ao desenvolvimento, por exemplo, de uma nova tecnologia. O “problema da valoração”, apontado, por exemplo, por Goffin e Mitchell (2010) merece atenção especial por parte dos gestores e possui maior complexidade em relação às formas de valoração mais tradicionais (HUCHZERMEIER; LOCH, 2001).

As formas mais ortodoxas e tradicionais para a avaliação de projetos e investimentos são geralmente baseadas na lógica baseada nos métodos relacionados ao cálculo valor presente líquido (VPL) e seus desdobramentos - taxa interna de retorno, fluxo de caixa descontado, payback descontado, entre outros (DIXIT; PINDYCK, 1994, 1995; TRIGEORGIS, 1996; LINT; PENNING, 1998; PAULSON et al., 2007). Entretanto, a lógica por trás dos métodos tradicionais de valoração de projetos não é capaz de considerar o papel - e o valor - que a flexibilidade gerencial possui para a gestão de um projeto. Para suprir essa necessidade utiliza-se a abordagem de opções reais como forma a valorar a capacidade de reação que o gestor possui frente às incertezas que se apresentam durante o desenvolvimento de um projeto.

A importação dos conceitos de flexibilidade gerencial e os consequentes métodos derivados da teoria das opções e do mercado financeiro para a gestão de projetos, caracteriza o que se chama “opções reais” (TRIGEORGIS, 1996; MCGRATH, 1999; HUCHZERMEIER; LOCH, 2001; GUNTHER MCGRATH; NERKAR, 2004; SANTIAGO; VAKILI, 2005). Para Trigeorgis (1996), assim como ocorre com as opções de títulos financeiros, a flexibilidade possui valor que aumenta os ganhos potenciais do projeto (oportunidade) e limita as possíveis perdas imaginadas inicialmente. Em decorrência disso, por exemplo, o uso de métodos relacionados às opções reais apura um valor para o projeto superior àquele calculado pelos métodos financeiros tradicionais de valor presente líquido (KOGUT; KALATILAKA, 1994).

Setores intensivos em ciência e tecnologia, como são aqueles relacionados à biotecnologia e ao desenvolvimento de novas tecnologias para a produção de combustíveis renováveis, enfrentam desafios constantes para a valoração de seus projetos, devido à incerteza que carregam. Rodrigues et al. (2013) identificam, por exemplo, a presença das incertezas tecnológicas e de mercado, enquanto Huchzermeier e Loch (2001) são mais específicos e

relacionam incertezas como: retornos de mercado, orçamentos de projeto, desempenho do produto, requisitos de mercado, cronograma de projeto.

O desenvolvimento de um novo processo de produção do biocombustível etanol se apresenta como um caso com características similares às descritas acima. As incertezas relativas à superação dos obstáculos tecnológicos e científicos, assim como o atingimento de requisitos mínimos de produtividade futura à um preço compatível com o mercado, são alguns dos pontos relevantes para a análise.

Este trabalho tem como objetivo analisar o caso da empresa *Etanew* (nome fictício escolhido por motivos de confidencialidade), que tem em andamento o projeto de desenvolvimento de um novo processo de produção de etanol de terceira geração baseado na utilização de microorganismos para a decomposição do bagaço e palha de cana-de-açúcar, sub-produtos da produção de etanol de primeira geração (baseado no processo de fermentação). A abordagem de opções reais foi utilizada para identificar qual o valor deste projeto em desenvolvimento, assim como foi realizada uma valoração pelo método tradicional de VPL, para que se identifique quanto vale a flexibilidade gerencial frente às opções para a tomada de ações gerenciais que se apresentam no decorrer do projeto. Além disso, a valoração pode ser utilizada para balizar futuras negociações com investidores interessados em financiar próximas etapas da pesquisa ou mesmo para que a tecnologia seja cedida à outra empresa.

A análise do problema em questão mostra-se relevante quando, diferentemente de outros estudos (por exemplo: WILLIGERS; HANSEN, 2008; RODRIGUES et al., 2013) que desenvolveram análises com opções reais na indústria farmacêutica, a realidade de um projeto no qual o resultado será o desenvolvimento de um novo processo de produção de uma *commodity* (etanol), desloca o foco das incertezas de mercado para a análise das incertezas tecnológicas. Formas tradicionais de análise de comportamento de preços também são possíveis nesse cenário, por exemplo, com a modelagem da evolução de preços com comportando-se como um processo estocástico.

O artigo está organizado seguindo sequência já utilizada por Rodrigues et al. (2013), com a seção 2 dedicada à uma sucinta revisão de literatura; a seção 3 à descrição metodológica dos procedimentos de pesquisa utilizados; a seção 4 à descrição do caso em questão; a seção 5 à execução dos procedimentos e análise dos resultados.

## 2. Revisão de Literatura

Ao longo do tempo, modelos matemáticos capazes de quantificar e valorar opções e a flexibilidade gerencial foram desenvolvidos, e a utilização de cada um deles depende das características do que se quer avaliar. Um trabalho de grande impacto e que propôs uma modelagem capaz de capturar tal valor foi realizado por Black e Scholes (1973) e apresenta um conjunto de equações diferenciais que se utiliza de programação dinâmica para a valoração de opções financeiras (compra e venda). Os autores fundamentaram o modelo no conceito de portfólio equivalente - aquele que gera o mesmo retorno de uma opção em qualquer estado, para precificação de opções européias sobre um ativo que não distribui dividendos. Para tanto, o preço da ação segue um processo estocástico denominado movimento browniano geométrico (MBG).

Ainda nos anos de 1970, Cox et al. (1979), utilizando dos conceitos-base antes desenvolvidos, simplificaram o entendimento do modelo para torná-lo menos complexo do ponto de vista matemático. No modelo de Cox et al. (1979) o processo estocástico de tempo contínuo movimento browniano geométrico (MBG), é substituído por um de tempo discreto, chamado processo binomial multiplicativo ou caminho aleatório. Trata-se do modelo conhecido como árvore binomial.

Perlitz et al., (1999a) e Lint e Pennings (1998) indicam que o modelo de Black e Scholes (1973) e Cox et al. (1979) são aqueles predominantemente adaptados para utilização em projetos relacionados à P&D e inovação, apesar de ainda não contemplarem todos os tipos de incerteza que um projeto desse tipo possui. Perlitz et al., (1999a) entendem que o modelo de Black e Scholes (1973) é incapaz de lidar com as opções compostas presentes nos projetos de P&D e sugere a utilização do modelo de Geske e Shastri (1985) para o tratamento desses casos. Lint e Pennings (1998) identificam que, além de projetos de P&D necessitarem de abordagens mais complexas em relação à volatilidade e incerteza, os modelos tradicionais como o de Black e Scholes (1973) pressupõem uma chegada contínua de informações que modificam o valor das variáveis. Em projetos de P&D a informação é conseguida e analisada em pontos discretos ao longo da sua execução. Apesar de todas as limitações apontadas na aplicação dos modelos tradicionais de opções e opções reais, eles ainda são utilizados para avaliação de projetos de P&D (PERLITZ et al., 1999; CASSIMON et al., 2004). A aplicação da teoria de opções em projetos de P&D se assemelha mais com a lógica de árvore de decisão

e Copeland e Tufano (2004) argumentam que o modelo binomial é mais adequado para o uso em opções reais do que o seu antecessor Black-Scholes.

A tentativa de incluir nos modelos matemáticos de opções reais aspectos mais específicos do ambiente de inovação e P&D culminou no desenvolvimento de formas mais adequadas para tratar esse tipo de problema (SANTIAGO; BIFANO, 2005). O trabalho de Huchzermeier e Loch (2001) e o seu posterior aprimoramento por Santiago e Vakili (2005) representam propostas nesse sentido.

Schwartz (2004) propõe em seu trabalho, que projetos desse tipo estão envoltos em incertezas tecnológicas (endógenas) e de mercado (exógenas). O primeiro tipo envolve a superação dos desafios de pesquisa que serão encontrados, a possibilidade de encerramento do desenvolvimento devido ao não atingimento de requisitos e viabilidade técnica, ou aos custos envolvidos. Além disso, dentro do desenvolvimento de novos processos de produção, o custo com o qual o produto chegará ao mercado é também decisivo para o seu sucesso. Já o risco de mercado envolve incertezas quanto à aceitação do novo produto, os preços praticados e ou exigidos pelo mercado. *Commodities* sofrem menos influência desse tipo de risco, uma vez que o mercado é mais conhecido, existem séries históricas de preços e a modelagem de cenários se torna mais factível (diferentemente de um produto completamente inovador).

Rodrigues et al. (2013) descrevem a valoração de um projeto de desenvolvimento de um fármaco com a modelagem da fase de projeto como uma árvore de decisão e simulação das possíveis taxas de participação de mercado que o novo produto teria segundo o processo estocástico de movimento browniano geométrico (MGB). Já Brandão et al. (2005) desenvolveram modelo de árvore de decisão binomial com probabilidades de risco neutro para aproximação da incerteza associada com as mudanças no valor do projeto ao longo do tempo. Com utilização de métodos de programação dinâmica o modelo proposto é mais simples e intuitivo do que outros modelos baseados na lógica de árvore binomial.

### 3. Metodologia

Conforme Dixit e Pindyck (1994, 1995) argumentam, os modelos de árvore binomial, baseadas no modelo binomial discreto de Cox et al. (1979) constituem as ferramentas mais adequadas para a modelagem de projetos sob a lógica de opções reais. Modelos discretos são mais aderentes à realidade dos projetos de P&D quando são capazes de considerar a resolução

de incertezas em momentos específicos no tempo, a medida que as informações são consolidadas, além de serem capazes de fornecer dados mais contundentes para o entendimento dessas incertezas (COPELAND; TUFANO, 2004).

Antes de construir o modelo de opções reais, considerando o objetivo comparativo deste trabalho, o VPL estático tradicional foi construído para que, posteriormente, pudesse ser utilizado para o cálculo do valor da opção ou flexibilidade gerencial. Para tanto, junto aos empreendedores foram construídos cenários de acordo com o atendimento dos requisitos técnicos que o novo processo deveria ter, assim como definidas as bases de custo e lucratividade que a operação que se utilizasse do novo processo teria.

Após o cálculo do VPL estático tradicional, a modelagem de opções reais foi realizada de forma a fornecer valores representativos sobre a flexibilidade gerencial. Para tanto, modelou-se as incertezas tecnológicas (endógenas ao projeto) de forma probabilística, considerando a experiência e expertise dos empreendedores e outros especialistas na área. Já as incertezas de mercado (exógenas ao projeto) foram consideradas como sendo representadas pelo comportamento do lucro por litro de etanol produzido com a utilização do novo processo de produção para cada um de cinco cenários de desempenho tecnológico. Essas incertezas foram modeladas conforme um processo estocástico de movimento browniano geométrico (MBG), por meio de simulação de Monte Carlo. Lógica semelhante foi utilizada por Rodrigues et al. (2013).

A modelagem do lucro por litro de etanol produzido com utilização do novo processo de produção se deu pela percepção de que esta variável é aquela que carrega maior incerteza dentre aquelas que compõem o grupo de incertezas de mercado, considerando que uma *commodity* como o etanol não possui como incerteza crítica a aceitação do produto no mercado.

Luenberger (1998) define a equação de Simulação de Monte Carlo como:

$$S(t_{k+1}) - S(t_k) = \mu S(t_k) \delta t + \sigma S(t_k) \varepsilon(t_k) \sqrt{\delta t} \quad (1)$$

Onde, para este trabalho serão considerados:  $S(t_{k+1}) - S(t_k)$  como o valor do lucro por litro de etanol produzido com o novo processo para cada um dos cinco cenários projetados (simulados);  $\mu S(t_k)$  como o valor de lucro por litro de etanol (médio) projetado junto ao empreendedor;  $\sigma S(t_k)$  como a volatilidade definida para o lucro por litro de etanol produzido

com o novo processo de produção;  $\varepsilon(t_k)\sqrt{\Delta t}$  como representativo do incremento de Wiener padrão e  $\varepsilon \sim N(0,1)$ .

Para cada um dos cinco cenários de custo e desempenho tecnológico a simulação foi realizada com 10.000 iterações de forma que o VPL probabilístico de cada um desses cenários fosse desenvolvido. Com todos os dados calculados e estimados, foi elaborada a árvore de decisão com a incorporação das opções para maximização do projeto, que resulta em um VPL expandido. O valor primeiramente calculado do VPL estático é subtraído do novo valor do VPL expandido e o resultado caracteriza o apreçamento simplificado do valor da flexibilidade gerencial do projeto.

Para a montagem dos cenários e o recolhimento dos dados referentes aos custos e receitas, foram utilizadas informações dos empreendedores da empresa *Etanew*, possibilitando projeções para um horizonte de 20 anos após o início das operações da usina com a utilização do novo processo de produção. Além disso, outros especialistas foram consultados para que as informações possuíssem maior embasamento. O projeto de desenvolvimento em si também teve suas incertezas críticas e pontos de flexibilidade gerencial mapeadas junto aos empreendedores e especialistas. Para os cálculos foi utilizada a ferramenta do *software Excel* e para garantir a manutenção do sigilo dos dados, todos os resultados obtidos foram multiplicados por um fator escolhido aleatoriamente e aplicado sempre ao final dos cálculos.

#### 4. Descrição do caso

A empresa *Etanew* é uma *start-up* de pesquisa e desenvolvimento que se dedica à investigação de novas formas de produção relacionadas à biotecnologia, com objetivo de desenvolver novos processos e produtos baseados em matérias primas alternativas em diversas áreas. A pesquisa sobre novos processos de produção de etanol é apenas uma das várias frentes de atuação da empresa, que atua em parceria com fundos de venture capital para se financiar.

Na área de pesquisa em biocombustíveis a empresa se concentra no desenvolvimento de um processo baseado no chamado etanol de terceira geração. Nesse processo, o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, sub-produtos da produção do etanol de primeira geração e que tem o processo baseado em fermentação, são utilizados como matéria-prima para um processo

biológico onde microorganismos atuam em bioreatores e produzem mais uma batelada de combustível.

A empresa já vem conduzindo o processo de pesquisa há algum tempo e teve financiamento de um fundo de venture capital que se dedica ao investimento em projetos sustentáveis do ponto de vista social e ambiental. Após as primeiras fases de pesquisa laboratorial, os pesquisadores já têm evidências de que o processo está estável em nível de bancada. O próximo passo é garantir que o processo também seja escalável em nível industrial. Para tanto se faz necessária a construção de uma planta piloto que comprove a estabilização. Após a construção da planta piloto, há ainda a necessidade de operação da planta por algum tempo, fato que exige mais recursos.

A primeira fase de pesquisa laboratorial (Fase 1) teve financiamento de \$3.460.000,00, já consumidos. Para a próxima etapa de construção da planta piloto (Fase 2), serão necessários mais \$865.000,00 e tempo para instalação de 1 ano. Após a completa construção da planta piloto, a sua operação se estenderá por 1 ano e demandará \$8.650.000,00 (Fase 3). Após a constatação do escalonamento do processo, ele é capaz de ser conduzido em nível industrial constante.

Os critérios de avaliação sobre a comprovação do escalonamento do processo em nível industrial se dão pela medida de produtividade em relação a quantidade em toneladas de bagaço e palha utilizados para a produção do biocombustível. Dessa forma, o processo só é viável caso essa dada produtividade seja suficientemente satisfatória em relação aos custos de produção e, conseqüentemente, ao lucro por litro de etanol produzido.

Para a montagem de cenários, empreendedores e especialistas foram consultados e formularam planilhas de custo para cinco diferentes fatores de produtividade etanol / tonelada (palha/bagaço) alcançada após escalonamento do processo. Para cada um dos cinco cenários de produtividade. Para tanto foi considerada uma planta com capacidade de produção de 25.000 litros /dia e custo de adaptação para produção conjunta de etanol de primeira e terceira geração de \$23.334.795,33. As bases das estimativas de sobra de palha/bagaço por tonelada de cana-de-açúcar, custos de produção e outros valores foram suportados por análises históricas. Além disso, foram levantados os valores de investimento para construção da planta em nível industrial. Os fatores de produtividade para cada um dos cinco cenários estão sumarizados na Tabela 1.



Tabela 1 –Produtividade (litro de etanol por tonelada de palha/bagaço de cana-de-açúcar)

Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
346,00	435,96	549,31	692,13	872,08

Fonte: Autor

De posse do volume de produção, dos possíveis índices de produtividade alcançados, resta ainda a consideração do lucro por litro de etanol para que os cálculos do VPL possam ser realizados. Para tanto, valores estimados pelos empreendedores para cada cenário de produtividade foram compilados e estes valores representam o parâmetro  $\mu S(t_k)$  na Equação 1. A Tabela 2 indica os valores estimados de lucro por litro de etanol para cada um dos cinco cenários.

A volatilidade nos valores do lucro por litro de etanol,  $\sigma S(t_k)$ , foi considerada como sendo um número aleatório com distribuição normal. A média e o desvio padrão utilizados para a geração do número aleatório foram calculados com base nos valores estimados em cada um dos cenários. O parâmetro  $\delta t$  corresponde ao período de 1 mês. Como índice de WACC para cálculo dos VPL's, utilizou-se a taxa de 11%, conforme proposto por Rodrigues et al. (2013) para *start-ups* do setor de biotecnologia.

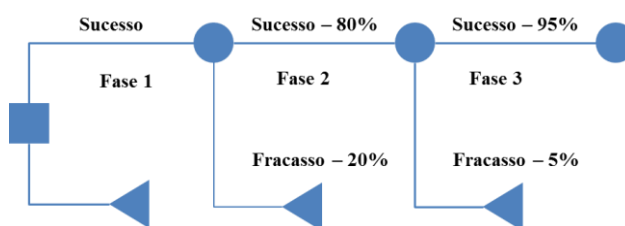
Tabela 2 – Lucro por litro de etanol (R\$)

Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5
0,67	0,95	1,23	1,51	1,75

Fonte: Autor

As incertezas tecnológicas, foram tratadas de forma probabilística e em conversas com os empreendedores e especialistas, definiu-se que a probabilidade de que o processo se mostre escalável na planta piloto é de 80%, assim como a probabilidade de que o processo se estabeleça em nível industrial não piloto (após a comprovação de escalonamento em planta piloto) é de 95%. A Fase 1 já teve seu sucesso comprovado. A árvore de decisão durante o desenvolvimento do projeto está representada na Figura 1.

Figura 1 – Árvore de Decisão do Projeto de Desenvolvimento.



Fonte: Autor

## 5. Análise dos resultados

Para o cálculo do VPL estático, foi considerado o período de 20 anos de operação e o valor do lucro por litro do etanol foi simulado conforme já descrito em momentos anteriores deste texto. Os 20 anos foram considerados a partir de 2016. Cada um dos cinco cenários foi simulado com 10.000 valores e a média de todos esses valores foi calculada (Tabela 3). A média dos cinco valores de VPL também foi calculada e ela foi utilizada para os cálculos seguintes. Feito isto, os valores foram trazidos a valor presente, com o acréscimo dos valores de investimento durante o projeto (também corrigidos). Essa lógica não considera as probabilidades descritas na árvore de decisão. O valor final do VPL, considerando o período de operação da planta e também com as correções do tempo de projeto, é de \$55.281.312,14.

Tabela 3 – Média dos VPL's simulados por cenário e média final

Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Média
41.903.520,88	46.252.214,87	51.510.585,94	58.065.450,93	65.832.406,79	52.712.835,88

Fonte: Autor

Os mesmos valores foram utilizados para o cálculo do valor do VPL com a consideração da árvore de decisão. O valor calculado ao final foi de \$70.739.906,94. A diferença entre o VPL estático e o VPL corrigido pela árvore de decisão representa o valor da flexibilidade gerencial. Este valor é de: \$15.458.594,02.

## 6. Considerações Finais

Este artigo teve o objetivo de analisar a possibilidade de aplicação da abordagem de opções reais para a valoração de um projeto de desenvolvimento de um novo processo de produção de etanol de terceira geração, assim como comparar os resultados obtidos com os valores

encontrados com a utilização de um dos métodos tradicionais utilizados neste tipo de avaliação, o VPL estático. O trabalho também contribuiu para a discussão sobre a utilização de simulação de Monte Carlo para estimar parâmetros de projeto que compõem o VPL e que possuem alto nível de incerteza. Os resultados finais corroboram a literatura quando demonstram que o valor calculado com a abordagem de opções reais apresenta valor superior àquele calculado com os métodos tradicionais.

Como sugestão de pesquisas futuras, indica-se a melhor modelagem da árvore decisão com maior número de opções e não apenas opções de sucesso e fracasso. Além disso, pode-se simular não o valor do lucro por litro de etanol, mas o preço do etanol, considerando valores históricos e modelos estocásticos como o de reversão à média, indicado para análise de preço de *commodities*. Pode-se ainda elaborar melhores formas de estimar os parâmetros utilizados para inserção no VPL e na árvore de decisão, como as probabilidades de sucesso e fracasso.

## REFERÊNCIAS

- BLACK, F.; SCHOLES, M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. **Journal of Political Economy**, v. 81, n. 3, p. 637–654, 1973.
- BRANDÃO, L. E.; DYER, J. S.; HAHN, W. J. Using Binomial Decision Trees to Solve Real-Option Valuation Problems. **Decision Analysis**, v. 2, n. 2, p. 69–88, 2005.
- CASSIMON, D.; ENGELEN, P. ; THOMASSEN, L.; WOUWE, M. VAN. The valuation of a NDA using a 6-fold compound option. **Research Policy**, v. 33, n. 1, p. 41–51, 2004.
- COPELAND, T.; TUFANO, P. A real-world way to manage real options. **Harvard business review**, v. 82, n. 3, p. 90–9, 128, 2004.
- COX, J. C.; ROSS, S. A.; RUBINSTEIN, M. Option Pricing : A Simplified Approach. **Journal of Financial Economics**, v. 7, p. 229–263, 1979.
- DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. **Investments under Uncertainty**. 1ed ed. Chichester, UK: Princeton University Press, 1994.
- DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. The Options Approach to Capital Investment. **Harvard Business Review**, v. 73, n. 3, p. 105–115, 1995.
- GESKE, R.; SHASTRI, K. Valuation by Approximation: A Comparison of Alternative Valuation Techniques. **Journal of Financial and Quantitative Analysis**, v. 20, n. 1, p. 45–71, 1985.
- GOFFIN, K.; MITCHELL, R. **Innovation management: strategy and implementation using the pentathlon framework**. 2ed ed. Nova Iorque: Basingstoke (UK): Palgrave Macmillan, 2010.
- GUNTHER MCGRATH, R.; NERKAR, A. Real options reasoning and a new look at the R&D investment strategies of pharmaceutical firms. **Strategic Management Journal**, v. 25, n. 1, p. 1–21, 2004.
- HUCHZERMEIER, A.; LOCH, C. H. Project Management Under Risk : Using the Real Options Approach to Evaluate Flexibility in R & D. **Management Science**, v. 47, n. 1, p. 85–101, 2001.
- KOGUT, B.; KALATILAKA, N. Options Thinking and Plataform Investments: Investing in Opportunity. **California Management Review**, v. 36, n. 2, p. 52–71, 1994.

- LINT, O.; PENNINGS, E. R&D as an option on market introduction. **R and D Management**, v. 28, n. 4, p. 279–287, 1998.
- LUENBERGER, D. G. **Investment Science**. 1ed. ed. Nova Iorque: Oxford University Press, 1998.
- MCGRATH, R. G. Falling Forward: Real Options Reasoning and Entrepreneurial Failure. **The Academy of Management Review**, v. 24, n. 1, p. 13, 1999.
- PAULSON, A. S.; CONNOR, G. C. O.; ROBESON, D. Evaluating radical innovation portfolios. **Research-Technology Management**, v. 50, n. 5, p. 17–29, 2007.
- PERLITZ, M.; PESKE, T.; SCHRANK, R. Real options valuation: the new frontier in R&D project evaluation? **R and D Management**, v. 29, n. 3, p. 255–270, 1999.
- RODRIGUES, P. H. DA F.; FERREIRA, V. A. DE C.; LEMME, C. F.; BRANDÃO, L. E. T. Avaliação de empresas start-up por Opções Reais : o caso do setor de biotecnologia. **Gestão&Produção**, v. 20, n. 3, p. 511–523, 2013.
- SANTIAGO, L. P.; BIFANO, T. G. Management of R&D Projects Under Uncertainty: A Multidimensional Approach to Managerial Flexibility. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 52, n. 2, p. 269–280, 2005.
- SANTIAGO, L. P.; VAKILI, P. On the Value of Flexibility in R&D Projects. **Management Science**, v. 51, n. 8, p. 1206–1218, 2005.
- SCHWARTZ, E. S. Patents and R & D as Real Options. **Economic Notes**, v. 33, n. 1, p. 23–54, 2004.
- TRIGEORGIS, L. **Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation**. 1ed ed. Cambridge, USA: MIT Press, 1996.
- WILLIGERS, B. J. A.; HANSEN, T. L. Project valuation in the pharmaceutical industry: a comparison of least-squares Monte Carlo real option valuation and conventional approaches. **R&D Management**, v. 38, n. 5, p. 520–537, 2008.