

TEORIA DAS OPÇÕES REAIS: APLICAÇÃO EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (P&D)

Eng. Elieber Mateus dos Santos - Mestre em Eng. de Produção

Departamento de Engenharia de Produção da Universidade federal de Itajubá

Av. BPS, 1030, Pinheirinho, CEP: 37500-903 - Itajubá-MG

Fone: (35) 3629-1117 ; Fax: (35) 3629-1118

eliebersantos@yahoo.com.br

Prof. Edson de Oliveira Pamplona, Dr.

Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá

Av. BPS, 1030, Pinheirinho, CEP: 37500-903 - Itajubá-MG

Fone: (35) 3629-1117 ; Fax: (35) 3629-1118

pamplona@unifei.edu.br

TEORIA DAS OPÇÕES REAIS: APLICAÇÃO EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO (P&D)

Resumo:

O presente trabalho tem por objetivo focar a Teoria das Opções Reais (TOR) aplicada à análise de investimentos em projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Procura-se prover uma evidência empírica através da aplicação da metodologia na avaliação de um projeto real de pesquisa e desenvolvimento, contribuindo, desta forma, para a redução da lacuna entre a teoria e a prática. Para tanto é utilizado o modelo de Geske (1979), adaptado para opções reais por Kemna (1993) e apontado por Perlitz, Peske e Schrank (1999) como uma ferramenta interessante para avaliar opções compostas. Por fim, conclui-se que a análise de um projeto de P&D através da TOR, embora pareça mais complexa, deve ser usada como mais uma importante e promissora ferramenta, auxiliando administradores a pensar mais clara e realisticamente em um processo de tomada de decisões.

Palavras-chave: Opções Reais, Flexibilidade Gerencial, Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), Decisão Estratégica, Tomada de Decisão.

Abstract:

The present work focuses on Real Options Theory applied to investment analysis in Research and Development (R&D) projects. The article also provides empirical evidence of the underlying power of the theory. This is accomplished by the application of the methodology to assess a real R&D project. This also will contribute in the reduction of the gap between theory and practice. The Geske (1979) model, adapted to real options by Kemna (1993) and pointed by Perlitz, Peske and Schrank (1999) as a good tool to assess compound option is applied. In conclusion, the Real Option Theory, although it seems more complex, it should be used as an important and promising tool, helping managers to think clearly and strategically in a decision making process.

Key-words: Real Options, Managerial Flexibility, Research and Development (R&D), Strategic Decision, Decision Making.

INTRODUÇÃO

Vivemos num período de grandes incertezas. Para Amran e Kulatilaka (2000), o ambiente de negócios está sendo modelado por uma tendência de larga escala e de longo prazo, tais como desregularização e crescente competição global, tanto como a recente chegada da internet. A convergência destes fatores, segundo os autores, tem lançado faíscas pela busca de estruturas estratégicas e ferramentas de orçamento de capital que possam auxiliar os administradores a avaliar e encarar oportunidades incertas.

Ao mesmo tempo, uma nova e promissora ferramenta conhecida como “opções reais” tem atraído a atenção de práticos e acadêmicos. Vista de perto, a abordagem das opções reais é a extensão de modelos de precificação de opções financeiras para a avaliação de opções reais de ativos não-financeiros. De forma mais ampla, destacam Amran e Kulatilaka (2000), a abordagem das opções reais é uma maneira de pensar que auxilia os administradores a formular suas opções estratégicas, as oportunidades futuras que são criadas pelos investimentos de hoje.

A flexibilidade da administração em adaptar suas futuras ações em resposta às futuras alterações do mercado expande o valor da oportunidade do investimento pela melhoria do potencial de ganhos, enquanto limita as perdas relativas às expectativas iniciais da administração sob uma administração passiva. Segundo Minardi (2000) e Trigeorgis (1993), a assimetria resultante criada pela adaptabilidade requer uma regra para um “VPL expandido” que reflita os dois valores componentes: o VPL tradicional (estático ou passivo) e o valor da opção de operação e adaptabilidade estratégica. Desta forma, tem-se:

$$\text{VPL}_{\text{expandido}} = \text{VPL}_{\text{estático (passivo)}} + \text{Valor da Opção de uma Administração Ativa}$$

A abordagem das opções para o orçamento de capital tem o potencial de conceitualizar e ainda quantificar o valor das opções de uma administração ativa. Este valor é manifesto como uma coleção de opções reais (*call* ou *put*) embutidas nas oportunidades de investimento de capital, tendo como ativo subjacente o valor do fluxo de caixa esperado pela operação do projeto. Muitas destas opções ocorrem naturalmente (exemplo: por contratos, paradas ou abandono), enquanto outras podem ser planejadas ou construídas a um custo extra (exemplo: expandir novas capacidades ou construir opções de crescimento, escolha entre alternativos *inputs* e *outputs*).

A Teoria das Opções Reais (TOR) é utilizada para a avaliação de *ativos reais*, ou seja, aqueles que não são negociados no mercado. Projetos de investimento de capital, avaliação de propriedades intelectuais, avaliação de terras, de fontes de recursos naturais (minas, poços de petróleo etc) e avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento são exemplos de ativos reais que podem ser avaliados utilizando esta teoria. Uma *opção real* é a flexibilidade que um gerente tem para tomar decisões a respeito de ativos reais. Ao passo que novas informações vão surgindo e as incertezas sobre o fluxo de caixa vão se revelando, os administradores podem tomar decisões que venham a influenciar positivamente no valor final de um projeto (Dixit e Pindyck, 1994). As decisões com as quais os administradores freqüentemente se deparam são: qual o momento certo de investir, de abandonar ou parar temporariamente um projeto, de modificar as características operacionais do projeto ou ainda trocar um ativo por outro? Desta forma, um projeto de investimento de capital pode ser considerado como um conjunto de opções reais sobre um ativo real, o projeto.

Segundo Amran e Kulatilaka (2000), “numa *era anterior*, a maioria das decisões de investimentos corporativos era feita usando a análise do fluxo de caixa descontado (FCD), a ferramenta correta para um problema em questão”. Para os autores “os analistas tinham um razoável grau de confiança em suas previsões para o futuro e, mais do que isto, eles podiam operar com um certo grau de segurança, pois, uma vez que o projeto fosse aceito, a empresa iria tentar fazer com que tudo ocorresse de acordo com o planejado”. Os autores continuam dizendo que “isto não significava que Santos, E. M.; Pamplona, E. O. *Teoria das Opções Reais: Aplicação em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)* 4o Encontro Brasileiro de Finanças, Ibmecc, Rio de Janeiro, RJ, julho de 2002.

o mundo estava sem incertezas, de outra forma, a maioria dos mercados era estável e previsível e havia rara necessidade para uma mudança repentina na estratégia da corporação. Quando os riscos em um projeto eram maiores do que aqueles incorridos no curso normal do negócio, a prática mais comum era elevar a taxa de desconto”.

Para aplicação da teoria é necessário, entretanto, o conhecimento de algumas das premissas básicas para sua utilização. Ela não pode ser aplicada na análise de todo e qualquer investimento. Segundo Vonnegut (2000), na ausência destas premissas, os resultados da TOR revertem-se àqueles da teoria do Valor Presente Líquido Esperado. São elas: a irreversibilidade do investimento; a opção de esperar ao invés de ser forçado a investir no momento ou jamais investir (*timing*); e a incerteza. As duas primeiras são os parâmetros principais da TOR. A incerteza é assumida existir no contexto de qualquer tomada de decisão de investimento real, mas quanto maior é a incerteza, os resultados da TOR serão mais acentuados.

Do exposto, o artigo se propõe a focar a Teoria das Opções Reais (TOR) aplicada à análise de investimentos em projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Discorre-se sobre a estruturação de um projeto de P&D, seus objetivos e o motivo pelo qual este poder ser encarado como uma opção. Também são apresentadas críticas à utilização das técnicas convencionais à avaliação de projetos de P&D, apontando-se a Teoria das Opções Reais como uma tendência para análise de projetos. Os problemas para aplicação desta teoria a P&D também são abordados. Por fim, procura-se prover uma evidência empírica através da aplicação da metodologia na avaliação de um projeto real de pesquisa e desenvolvimento, contribuindo, desta forma, para a redução da lacuna entre a teoria e a prática.

METODOLOGIA DE PESQUISA, CONTRIBUIÇÕES E LIMITAÇÕES

O *método de pesquisa* a ser utilizado é a *experimentação*, uma vez que será feita a aplicação de um modelo, definido a partir da revisão bibliográfica, em uma organização. Tal método de pesquisa tem as características apresentadas por Bryman (1995). A forma de coleta de dados pode ser caracterizada como *dados de arquivo*, uma vez que os dados a serem utilizados já estavam disponíveis na organização onde foi a aplicação.

Quanto às variáveis envolvidas no estudo, são elas:

Variável Dependente: O Valor do Projeto de Investimento,

Variáveis Independentes: Fluxo de Caixa do Projeto; O modelo utilizado para avaliar o projeto; As taxas de desconto (com e sem o risco); Tempo; A incerteza (técnica e econômica); A irreversibilidade; A flexibilidade (opções criadas).

As maiores *contribuições* do artigo são:

- Mostrar que o domínio desta técnica (TOR) não é uma tarefa tão inacessível como se supunha há alguns anos atrás, embora ainda esteja em estágio de desenvolvimento e consolidação;
- Abordar, de forma específica e metodológica, uma área de dentro das organizações para as quais geralmente se dedica grande parte do orçamento da empresa, o que será uma diretriz para uma melhor análise da viabilidade de investimentos em projetos de P&D;
- Fornecer uma evidência empírica através da aplicação da TOR a um caso real, ajudando, desta forma, a diminuir o *gap* entre a teoria e a prática da Teoria das Opções Reais.

Embora a teoria das opções reais tenha uma ampla gama de aplicações possíveis, o presente trabalho se limitará a abordar, de forma mais aprofundada e sistemática, a aplicação para o foco

“Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)”. Em alguns cálculos a serem realizados efetuou-se a adoção Santos, E. M.; Pamplona, E. O. *Teoria das Opções Reais: Aplicação em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)* 6^o Encontro Brasileiro de Finanças, Ibmecc, Rio de Janeiro, RJ, julho de 2002.

de certos valores para algumas variáveis, como por exemplo, a volatilidade. Tal fato ocorre porque um estudo mais aprofundado de tais valores fugiria ao escopo do trabalho. Tal adoção, entretanto, não compromete o desenvolvimento da metodologia. Essas características serão consideradas no decorrer do artigo.

AS CRÍTICAS ÀS TÉCNICAS CONVENCIONAIS APLICADAS À P&D

Apesar do primeiro trabalho a sugerir o uso da TOR aplicada a P&D ter surgido somente em 1984 (Myers, 1984), já no começo da década de oitenta surgiram vários artigos atacando o uso estático do fluxo de caixa descontado (FCD) e suas variantes, como veremos a seguir.

Mechlin e Berg (1980), por exemplo, observaram que algumas pessoas ligadas à pesquisa referiam-se ao ROI (*Return on Investment*) como significando na verdade “*Restraint On Innovation*”, ou seja, Restrição à Inovação. Os autores citam exemplos onde as análises do ROI/FCD não lidavam adequadamente com a incerteza e falhavam em captar o valor de reviravoltas inesperadas. Naj (*apud* Faulkner, 1996) chega a afirmar que foi esta a causa das empresas americanas estarem em desvantagem em relação às empresas japonesas.

Em 1980 Hayes e Abernathy documentaram um declínio nos gastos em P&D nos EUA, culpando as análises do ROI/FCD como o um fator contribuinte no que eles viam como uma falha da administração que ameaçava a saúde de longo-prazo da indústria dos EUA. Os argumentos de Hayes e Abernathy foram estendidos e reforçados por Hayes e Garvin (1982). Estes últimos observaram que a proporção de companhias que usava o FCD aumentara de 19% em 1959 para 94% em 1975 e que, no mesmo período, os gastos em P&D e investimento de capital diminuíram. Os autores sugerem que esta diminuição foi uma consequência do mau uso das técnicas do FCD. Exemplos deste mau uso incluem: altas taxas de vedação (*hurdle rates*), falhas ao tratar uma série de investimentos separadamente, o fato de assumirem que investimentos podem ser adiados sem outras penalidades além daquela embutida pela taxa de desconto.

A avaliação do risco onde uma única taxa de desconto é tipicamente aplicada para todo negócio, mas cujo real nível de risco pode variar significativamente nas diferentes fases (pesquisa, desenvolvimento, comercialização), foi focada por Hodder e Riggs (1985). Os autores usaram um exemplo para demonstrar como isto pode resultar numa tendência contra investimentos em P&D. Já Kaplan (1986) usou um exemplo de investimentos em CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) para observar que as técnicas do FCD tipicamente falham em captar o valor dos “benefícios intangíveis” como maior flexibilidade e aprendizagem mais rápida. Kaplan assinala que uma decisão de negligenciar os “intangíveis” é, realmente, uma decisão de avaliá-los com valor nulo. Mitchell e Hamilton, em 1988, afirmaram que o uso de critérios tais como o FCD e ROI está freqüentemente aborrecendo profundamente a comunidade de pesquisa, não porque seja difícil gerar “pesados” números para os retornos, mas porque o amplo senso da maioria das análises de investimento discrimina, sem razão, programas mais arriscados e de longo-prazo, muitos dos quais poderiam trazer os maiores benefícios para a corporação.

As críticas à utilização dos métodos tradicionais na avaliação de projetos de P&D não se restringiram somente à década de 80. No decênio seguinte outros trabalhos abordaram o assunto, como o de Lint e Pennings (1998), dizendo inclusive que “os métodos do fluxo de caixa descontado (FCD) para a tomada de decisões de investimentos em projetos de P&D não podem captar corretamente o valor da opção de P&D”. Segundo os autores, uma vez que as incertezas do mercado e tecnológicas mudam as expectativas com relação à viabilidade de muitos novos produtos, o valor dos projetos é freqüentemente ajustado durante os estágios de P&D. A captação dos ajustes das expectativas tem uma opção valorosa que pode diferir significativamente do Valor Presente Líquido para projetos de P&D.

Segundo Faulkner (1996), “a abordagem do pensamento das opções para projetos de P&D está conceitualmente muito mais próxima da abordagem usada por muitas companhias de sucesso japonesas do que o pensamento do FCD”. O *Wall Street Journal* observou que o uso de “equações Santos, E M.; Pamplona, E. O. *Teoria das Opções Reais: Aplicação em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)* 8o Encontro Brasileiro de Finanças, Ibmecc, Rio de Janeiro, RJ, julho de 2002.

rígidas e modelos”, que são características da abordagem do FCD, colocou os EUA em desvantagem em relação aos japoneses no início dos processos de inovação (Naj *apud* Faulkner, 1996). Segundo Faulkner (1996), as companhias japonesas são freqüentemente descritas como vendo crescimento e ganho de mercado como fatores mais importantes do que o retorno do investimento. Existe um senso comum dentro da comunidade de P&D de que quaisquer que sejam os méritos do ROI ou estruturas de orçamento de capital similares para outros negócios, sua aplicação para um grande número de importantes situações de P&D é aparentemente inexpugnável, apesar de não ser um critério de seleção adequado.

Métodos financeiros convencionais, usando estimativas de fluxo de caixa futuro, falham em dar um valor numérico a uma escolha, mantida aberta por programas de P&D, investir (ou não) mais tarde em novas áreas de tecnologia. Apesar da Administração estar atenta a esta falha de se dar um valor monetário à flexibilidade conseguida, poderia existir uma clara vantagem de uma nova abordagem financeira que pudesse adequadamente captar o valor das opções criadas pelos programas. Uma forte candidata para esta consideração é, segundo Newton e Pearson (1994), a Teoria de Precificação de Opções.

Trabalhos como os citados anteriormente despertaram ainda mais a curiosidade e o interesse por esta “nova visão”, levando acadêmicos e empresas a buscarem ou aperfeiçoarem modelos para avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento, vistos como opções. Este desenvolvimento teve passos mais largos na década de noventa, com a divulgação de trabalhos ressaltando o “poder” da TOR em relação à teoria tradicional. Alguns destes trabalhos chegaram a propor alguns métodos, muitos dos quais são, na realidade, variações e adaptações dos consolidados métodos de Black e Scholes (1973) e do método Binomial, proposto por Cox, Ross e Rubinstein (1979), enquanto outros apresentam aplicações discretas da teoria na avaliação de projetos reais. Fatores como os anteriormente citados levaram a uma maior demanda pelas “opções reais”, fazendo desta uma tendência para análise de investimentos.

OPÇÕES REAIS: UMA TENDÊNCIA

Da perspectiva financeira, análise de cenários e análise por árvore de decisão ainda são os métodos mais frequentemente utilizados para avaliação de projetos de P&D. Ambos os métodos permitem uma estimação do risco na avaliação de projetos pela simplificação do problema complexo de retornos de projetos arriscados, destacam Perlitz, Peske e Schrank (1999). Nos anos recentes, entretanto, o tão falado método das “Opções Reais” tem ganhado crescente atenção na teoria financeira e administração da inovação. Segundo os mesmos autores, a aplicação da abordagem das opções reais no campo da P&D tem frequentemente sido muito pragmática, o que tem permitido várias aplicações práticas da técnica em consultorias e negócios, como no caso da empresa internacional de consultoria administrativa, McKinsey Co, afirmando esta que tem usado modelos de precificação de opções em trabalhos para seus clientes, citando um exemplo de aplicação em P&D (Copeland *et al. apud* Newton e Pearson, 1994).

Os extraordinários prêmios que estão sendo pagos por ações de tecnologia têm, por exemplo, levado muitos a perguntarem se os métodos tradicionais de avaliação não estão obsoletos.

Coincidentemente, ao mesmo tempo pensadores de negócios estão dando muito mais atenção ao que tem sido chamado de “opções reais” (Amram e Kulatilaka, 2000; Boer, 2000). O método das opções reais é frequentemente referido como o método que irá revolucionar a análise de investimentos (Ekern, 1988) e existe evidência substancial de que P&D e administração da inovação são áreas-chave para a aplicação da abordagem (Perlitz, Peske e Schrank, 1999).

Investimentos estratégicos são descritos por Lint e Pennings (1998) como sendo um posicionamento da organização com respeito à incerteza futura de tal forma que a proveja com flexibilidade para responder apropriadamente às mudanças circunstanciais. Empiricamente os modelos baseados em opções provêm um primeiro passo em direção à integração entre finanças e estratégia, na medida

em que seus resultados coincidem com o pré-julgamento da experiência de uma administração sênior.

No ambiente atual existe uma grande necessidade de se entender como a estratégia da corporação e a execução interagem entre si e como isto afeta o valor das oportunidades do negócio. As decisões de investimento de hoje, segundo Amran e Kulatilaka (2000), freqüentemente requerem que os analistas aceitem que:

- Eles não podem, com confiança, entender um futuro muito distante;
- A empresa fará o primeiro investimento com a clara expectativa de que o investimento necessitará ser expandido ou modificado caso o projeto siga adiante, ou abandonado, caso a idéia não pareça promissora;
- A administração deve comunicar ao público novidades sobre o sucesso do projeto ou desapontamentos, mesmo que o projeto não tenha gerado fluxo de caixa positivo.

Em suma, o cerne da demanda atual pelas opções reais é a necessidade da administração posicionar a empresa para obter benefício da incerteza e comunicar, para o interior da firma e para o mercado financeiro, a flexibilidade estratégica da empresa, concluem Amran e Kulatilaka (2000).

Balasubramanian, Kulatilaka e Storck (2000) também sugerem o uso da metodologia das opções reais no projeto e administração de investimentos de forma a garantir a estratégia da corporação.

A avaliação de projetos de P&D é freqüentemente complexa devido às incertezas substanciais em diferentes fases do projeto, incluindo as fases de P&D e de comercialização. Segundo Herath e Park (1999), uma tendência emergente na avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) é o uso da abordagem de opções, a qual permite uma avaliação mais flexível de futuras oportunidades de crescimento em todo o processo. Para os autores, a abordagem das opções é mais apropriada num mundo de incerteza porque vê o projeto como um investimento inicial que cria oportunidades

comerciais futuras que serão empreendidas somente se a fase inicial do projeto de P&D obtiver sucesso.

Newton e Pearson, ainda no ano de 1994, disseram que “infelizmente não existem publicações com dados numéricos verificando a utilidade da OPT (*Option Pricing Theory*) aplicada a projetos de P&D”. Os mesmos autores apontam em seu artigo a superioridade da OPT em relação às técnicas convencionais de avaliação de P&D e demonstram a possibilidade de adotar a OPT como uma extensão das técnicas atuais, particularmente onde tentativas estejam sendo feitas para se determinar mais acuradamente os resultados possíveis de programas de P&D.

A falta de evidência empírica que mostre a aplicabilidade prática parece efetivamente inibir sua adoção na prática. A avaliação das opções reais tem sido testada empiricamente em poucos artigos publicados (Seppä e Laamanen, 2000). Para os autores, mais evidências empíricas são claramente necessárias para promover a validação da utilização da metodologia das opções financeiras para a análise das oportunidades de investimentos.

Segundo Herath e Park (1999), geralmente é difícil justificar projetos de P&D através do simples uso de métodos tradicionais, conseqüentemente, as empresas tendem a sub-investir em P&D. A abordagem das opções supre as falhas do critério do VPL quando aplicado a projetos que têm altos níveis de incerteza, dizem Herath e Park (1999). Os autores sugerem que pesquisas futuras deveriam ser dirigidas para a aplicação das idéias da abordagem das opções para avaliar projetos reais em P&D do tipo de engenharia, para auxiliar a preencher a lacuna que existe entre a teoria e a prática. Antes, porém, de aplicarmos a teoria na avaliação de um projeto real, faz-se necessário compreender como é estruturado o processo de pesquisa e desenvolvimento.

A ESTRUTURA DO PROCESSO DE P&D

Investimentos em P&D não são feitos na expectativa de resultados imediatos, mas sim, têm a

esperança de criar oportunidades de investimentos futuros que serão rentáveis. Desta forma, os Santos, E M.; Pamplona, E. O. *Teoria das Opções Reais: Aplicação em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)* 2o Encontro Brasileiro de Finanças, Ibmecc, Rio de Janeiro, RJ, julho de 2002.

projetos de P&D deveriam ser vistos como séries de decisões sequenciais envolvendo a fase de P&D e a fase de comercialização com diferentes riscos e incertezas (Morris, Teisberg e Kolbe, 1991), riscos e incertezas que venham a ser diminuídos na medida em que o projeto prossegue (ver figura 1).

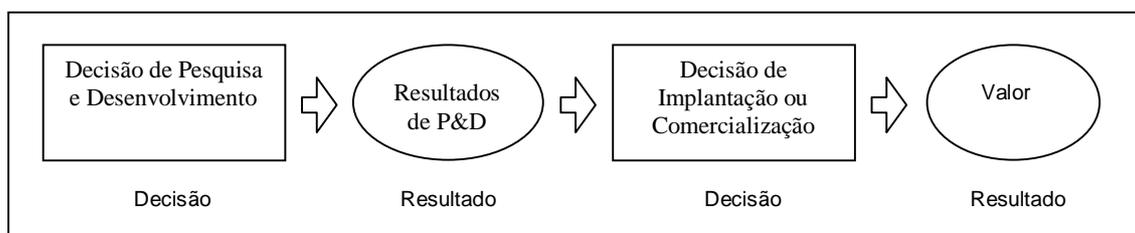


Fig. 1 – Projeto de P&D visto como uma seqüência de decisões e resultados (Fonte: Morris, Teisberg e Kolbe, 1991).

A partir da perspectiva das opções, a seqüência da avaliação tem uma estrutura muito específica (Amran e Kulatilaka, 2000). O primeiro estágio da exploração do investimento adquire a opção de continuar com o segundo estágio de desenvolvimento, e assim por diante. Isto é conhecido como uma estrutura de “opção composta”. Quando visto como parte de uma seqüência de opções, cada estágio pode ser visto como uma opção de compra no valor da continuação com a exploração, um valor que inclui o valor de todas as opções futuras.

Segundo Perlitz, Peske e Schrank (1999), se os resultados da fase de pesquisa não correspondem às expectativas, o projeto pode, por exemplo, simplesmente parar, evitando perdas que se realizariam pela continuação do investimento no projeto. Existe, entretanto, um número de outras possibilidades de reagir às mudanças circunstanciais. O projeto pode ser aprimorado até o ponto de preocupação de seu escopo (Kemna, 1993), parar e esperar pela chegada de novas informações (McDonald e Siegel, 1986; Kester, 1984) ou o escopo do projeto pode ser alterado (Trigeorgis, 1993).

Desta forma, a primeira questão a ser levantada na análise de um investimento é: quais são as opções relacionadas a um projeto de investimento? Um projeto de investimento pode incluir várias opções ao mesmo tempo, as quais podem ter efeito umas sobre as outras. Caberá à administração, portanto, estar atenta às opções presentes nos projetos, sabendo tirar proveito de cada uma delas da

melhor forma possível. É importante também que se saiba distinguir alternativas de investimentos de opções embutidas. As primeiras são, por exemplo, a escolha entre um produto A ou B, a segunda, são as opções presentes em cada alternativa.

O PROJETO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO COMO UMA OPÇÃO

A avaliação de um projeto através da teoria das opções reais vê o projeto como uma opção que pode ser exercida ou não, no futuro, dependendo das condições serem favoráveis ou não. Por exemplo, no caso de uma opção financeira paga-se um prêmio para se ter o direito, mas não a obrigação, de exercê-la até a data de vencimento (opção americana) ou na data de vencimento (opção européia). Já no caso de um projeto de pesquisa e desenvolvimento, por exemplo, este é visto como uma opção, para a qual foi pago um certo prêmio (o investimento em pesquisa) numa fase inicial. Caso o projeto pareça promissor ao final desta fase (data de vencimento), ele será exercido pagando-se o valor do investimento em produção e comercialização.

Baseado nesta analogia, segundo Herath e Park (1999), um investimento em P&D pode ser visto como um custo (I_0) de uma opção real na qual o projeto comercial prossegue somente se houver sucesso na fase de P&D. Mais especificamente, o custo de investimento em comercialização no novo projeto pode ser visto como o preço de exercício (I_c) e o valor presente do fluxo de caixa futuro (V) proveniente da comercialização pode ser visto como o valor do ativo subjacente. A data de introdução do novo produto no mercado pode ser vista como a data de exercício. Enquanto assume-se que a decisão de comercialização é provável que ocorra numa data T_1 , o tomador da decisão poderia considerar a opção de adiar a decisão de comercialização (ver figura 2). A opção de esperar em tal instância tem valor enquanto a opção de comercialização não é exercida.

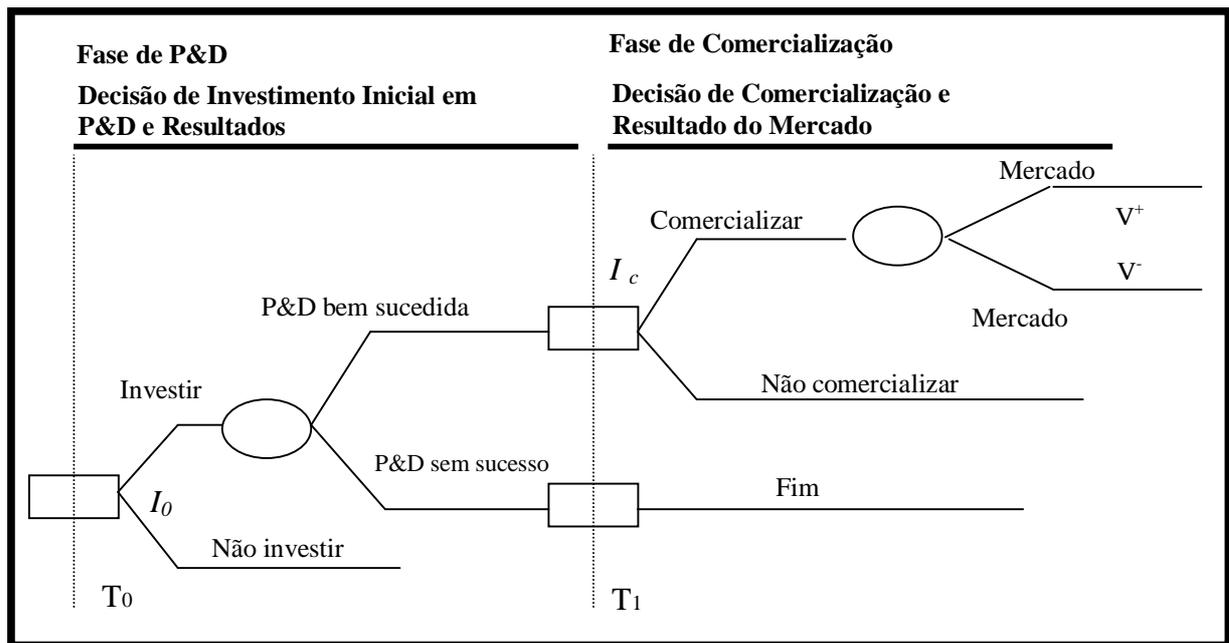


Fig. 2 – Árvore de decisão típica para processos de investimentos sequenciais em P&D (Fonte: Herath e Park, 1999)

Kester (1984) já argumentava que investimentos que criam possibilidades de crescimento para a empresa são análogos às opções de compra. Esta idéia também foi compartilhada por Morris, Teisberg e Kolbe (1991), Dixit e Pindyck (1995), entre outros, no sentido de que uma opção de compra cria oportunidades futuras (tais como desenvolvimento de novas linhas de produtos ou melhoria da eficiência) sem comprometer a empresa com o investimento total. É este ponto que causa as diferenças entre as abordagens tradicionais e a da teoria das opções reais, uma vez que a perda fica limitada ao montante investido, o potencial de ganho é ilimitado, e quanto maior for a incerteza comercial, maior será o valor do projeto.

O OBJETIVO DA P&D

Segundo Morris, Teisberg e Kolbe (1991), o propósito de projetos de P&D é aumentar as receitas futuras ou diminuir custos futuros. Desta forma, esforços de P&D deveriam ser considerados como parte da estratégia de longo-prazo da empresa, ao invés de projetos isolados. Os ganhos potenciais de projetos subsequentes que sejam possíveis pela pesquisa devem ser avaliados ao se determinar o

valor da pesquisa empreendida. Quando se decide investir certa quantia em P&D, o que realmente procura-se avaliar são as oportunidades (Luehrman, 1997). Para o autor, oportunidades são diferentes de *assets-in-place* porque quem toma a decisão age depois de estar resolvida a incerteza, ao invés de tomar a decisão e então entender o que acontece. Luehrman conclui que a abordagem das opções é mais adequada para avaliar oportunidades.

Opções de P&D têm uma vantagem muito importante sobre as opções de ativos. Segundo Mitchell e Hamilton (1988), a compra de uma opção de ativo não tem efeito direto no preço de exercício ou no preço futuro do ativo, enquanto “o maior propósito da opção de P&D é influenciar favoravelmente o investimento futuro, quer pela diminuição de custos ou pela elevação dos retornos”, desta forma, poderíamos dizer que uma opção de P&D é mais valiosa do que uma opção de ativos, uma vez que é possível atuar em seu valor futuro.

Vejamos o efeito da opção de P&D sobre o valor de um ativo. A figura 3 mostra a estrutura de uma opção de P&D similar àquela usada para a opção de ativo. Assume-se que a empresa espera fazer futuros investimentos a um custo C (análogo ao preço de exercício), o que produzirá um retorno R (análogo ao valor do ativo quando adquirido). O investimento será viável para $R > C$, e o valor do investimento para a empresa é mostrado como “B”. Entretanto, programas bem sucedidos de P&D podem resultar numa redução de custo do investimento potencial de C para $C1$. Programas de P&D também podem elevar o retorno, aumentando-o de R para $R1$. O resultado esperado é que os programas de P&D têm o potencial de produzir um benefício “A”, o que aumenta o valor total do investimento.

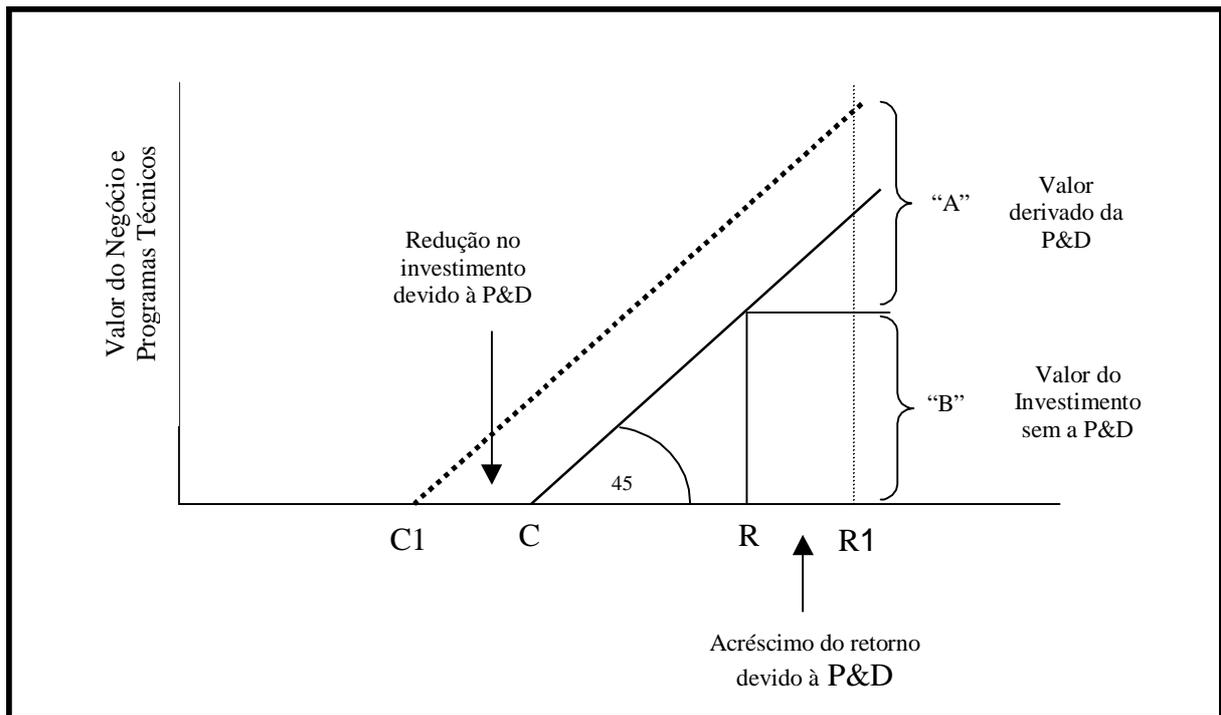


Fig. 3 – Impacto da opção de P&D em futuros investimentos (Fonte: Mitchell e Hamilton, 1988)

PROBLEMAS PARA APLICAÇÃO DA TOR A P&D

Quando tentam aplicar os modelos de opções financeiras para ativos reais, acadêmicos e práticos imediatamente se deparam com um problema: algumas das maiores fontes de incerteza que afetam o valor das opções estratégicas não são “precificadas” no mercado financeiro (Amran e Kulatilaka, 2000). Para muitos, dizem os autores, a confusão ligada a esta questão às vezes dá a aparência de que as opções reais são nada mais do que uma “janela adornada com conceitos já explorados em outros campos”.

Luehrman (1998) nota que, enquanto os especialistas têm feito um bom trabalho em apontar que a perspectiva das opções reais capta o que a análise do VPL não é capaz de captar, eles não têm trabalhado tão bem em prover ferramentas práticas para a implementação da abordagem das opções reais. Perdue *et al.* (1999) também dizem que os analistas de decisão diagnosticaram o problema bem antes que pesquisadores financeiros tivessem descoberto as opções reais e, mais importante, eles proviram uma solução prática na forma de árvore de decisão (Howard e Matheson *apud* Perdue Santos, E M.; Pamplona, E. O. *Teoria das Opções Reais: Aplicação em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)* 7^o Encontro Brasileiro de Finanças, Ibmecc, Rio de Janeiro, RJ, julho de 2002.

et al., 1999). Desta forma, conforme ressaltam Perdue *et al.* (1999), analistas de decisão poderiam questionar se a abordagem das opções reais aplicada a P&D não são apenas “vinhos antigos em novos frascos”. Para os mesmos autores, entretanto, os analistas de decisão encarregados de avaliar um portfólio de pesquisas podem obter vantagens conceituais e práticas pelo aumento de sua abordagem através das perspectivas e ferramentas das opções.

Um outro problema que surge da observação do ativo subjacente da opção real é a estimação da volatilidade de um ativo não comercializado. Em contraste com as opções financeiras, não existe uma série histórica que possa ser usada para estimar a incerteza do ativo subjacente. Entretanto, é um fato estabelecido que o valor da opção é sensível à incerteza do ativo subjacente. Desta forma, ficam requeridas estimativas razoáveis da volatilidade do ativo subjacente.

Qualquer abordagem usando a fórmula de Black e Scholes implica numa chegada contínua de informação que muda a variável subjacente. Na teoria financeira, entretanto, os ativos subjacentes são negociados e a chegada de novas informações é refletida diretamente no preço. Considerando as opções de P&D, a informação que leva a ajustes no preço do projeto irá chegar somente em pontos discretos no tempo. De entrevistas com a administração sênior, Lint e Pennings (1998) descobriram que o *status* financeiro de projetos de pesquisa, uma vez empreendidos, será revisado esporadicamente somente no caso de chegada de nova informação.

Segundo Perlitz, Peske e Schrank (1999), na teoria de precificação de opções e no princípio de duplicação, é importante que o ativo subjacente seja negociado para transmitir uma avaliação livre de arbitragem. Se o ativo não é negociado e se, além disto, não tem preço de mercado, é praticamente impossível determinar o valor da opção (Trigeorgis, 1993). Se um investimento em P&D é negociado (ex: um novo empreendimento é listado em uma troca), existirá um preço de mercado que serve como o *underlying*. O problema com que se depara quando se olha para opções relacionadas à P&D é que o investimento subjacente frequentemente não é negociado,

conseqüentemente, o valor de mercado não pode ser determinado. Uma solução para o problema é o método da *'spanning'*.

Pode-se aplicar a tão conhecida *'spanning'* para duplicar um ativo não negociado (Brennan e Schwartz, 1985; Pindyck, 1993; Trigeorgis, 1993). Na aplicação da *'spanning'* a um projeto de P&D deve-se duplicar o fluxo de caixa de um portfólio projetado de ativos comercializados (replicar o fluxo de caixa com um ativo similar – *twin security*). O último é chamado *'twin security'*. O valor deste portfólio iguala o valor do projeto e, conseqüentemente, serve como o *underlying*. O problema é que alguns projetos de P&D não estão relacionados a nenhum ativo negociado e assim, *spanning* é impossível (Pindyck, 1991). No caso da *'spanning'* não ser possível, o valor de um projeto de P&D tem que ser obtido usando outros métodos (Perlitz, Peske e Schrank, 1999).

Olhando para exemplos práticos e artigos teóricos, na maioria dos casos o fluxo de caixa futuro é admitido como sendo o *underlying*. O problema que surge desta linha de procedimentos é que o *underlying* pode se tornar negativo (Perlitz, Peske e Schrank, 1999; Trigeorgis, 1993). Nos modelos padrões de precificação de opções o *underlying* não pode se tornar negativo. Assim, o uso do valor presente líquido do fluxo de caixa futuro como *underlying* não funcionará para todo investimento.

AVALIAÇÃO DE UM PROJETO REAL DE P&D UTILIZANDO A TOR

Antes de passarmos à descrição do produto escolhido, é importante salientar que as premissas para a aplicação da teoria das opções reais são obedecidas neste caso. São elas:

- Irreversibilidade: uma vez que tenha sido investido um certo montante em pesquisa, ou seja, o “custo afundado” (*sunk cost*), não é possível recuperá-lo no caso de não prosseguimento do projeto;

- Incerteza: um projeto de pesquisa e desenvolvimento é realizado sob incertezas, sejam elas técnicas (não se sabe se o produto “funcionará”) ou econômicas (as condições do mercado, por exemplo). Estas incertezas só são desvendadas através do investimento em pesquisa e prosseguimento do projeto;
- *Timing*: uma vez iniciado o projeto a empresa tem a possibilidade de escolher o momento de introdução no mercado, após ter sido avaliado a viabilidade do mesmo. Depois de ter-se iniciado a pesquisa, várias opções são abertas, como por exemplo: abandono do projeto caso este não pareça promissor; parada temporária esperando-se pela resolução de incertezas e por um momento melhor de introdução do produto no mercado; desenvolvimento e comercialização por parte da empresa possuidora do projeto; venda dos direitos de comercialização a terceiros.

CÁLCULO DO VALOR DO PROJETO UTILIZANDO O MODELO DE GESKE

Geske (1979) desenvolveu uma solução para avaliar a *opção composta*. O modelo, ilustrado pela figura 4, na qual já constam os dados do projeto, apresenta duas oportunidades de crescimento seguidas ao investimento inicial. A primeira seria o investimento K^* na fase de testes, já a segunda, seria o investimento K em produção e comercialização para se obter o fluxo de caixa do projeto (previsto para nove anos). Os dados utilizados foram fornecidos pela empresa X e são resultados de um projeto de pesquisa e desenvolvimento de um sistema para controle de acesso dos assinantes de uma rede de TV a cabo aos serviços de dados em altas velocidades.

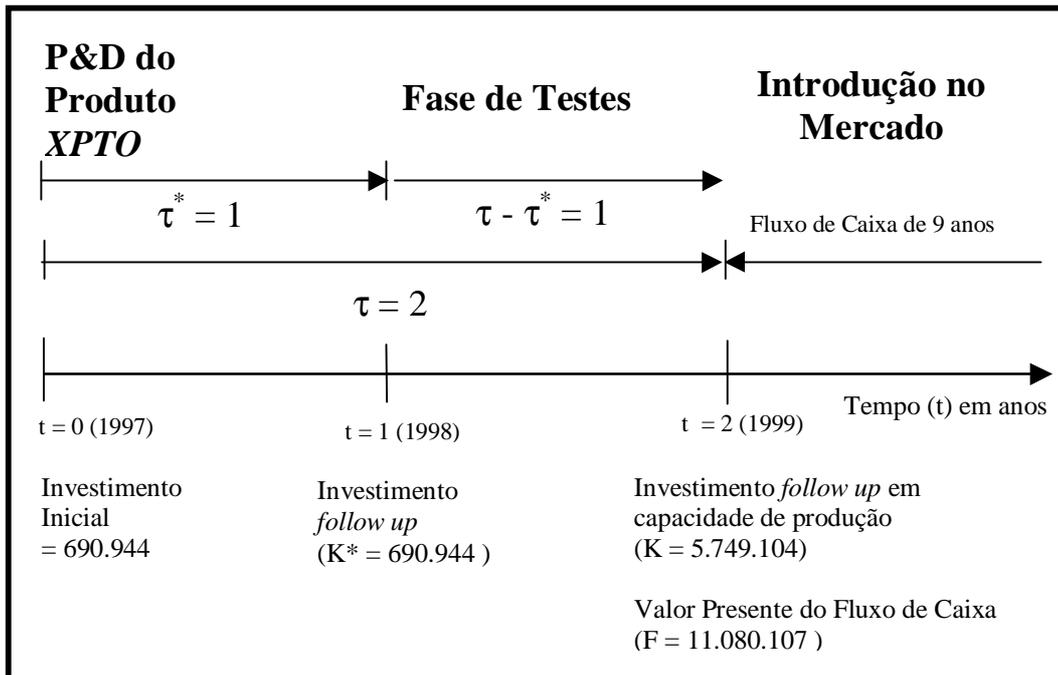


Fig. 4 – Ilustração Simplificada do Processo de P&D do XPTO (adaptado de Perlitz, Peske e Schrank, 1999).

Perlitz, Peske e Schrank (1999) aconselham que o modelo de Geske seja utilizado no cálculo de opções com as características do projeto anteriormente ilustrado. Segundo os autores, assumindo que o valor do projeto segue o processo do movimento geométrico Browniano, esta opção composta pode ser avaliada analiticamente em termos de integrais da distribuição normal bivariada. Uma opção composta pode ser analisada analiticamente pela abordagem de avaliação de Geske (1979) e ajustada para avaliação de opções reais por Kemna (1993), como o seguinte:

$$G = F e^{-r\tau} M(k, h; \rho) - K e^{-r\tau} M(k - \sigma\sqrt{\tau^*}, k - \sigma\sqrt{\tau}; \rho) - K^* e^{-r\tau} N(k - \sigma\sqrt{\tau^*})$$

Onde:

σ = volatilidade da taxa de câmbio da iniciativa de comercialização = 0,3 (adotada);

K = valor presente dos gastos da iniciativa de comercialização = R\$ 5.749.104;

K^* = valor presente dos gastos de capital na iniciativa pioneira = R\$ 690.944;

r = taxa de desconto livre de risco adotada pela empresa $X = 6,17\%$ a. a.;

τ = data de maturação da opção simples = 2;

τ^* = data de maturação da primeira opção (dentro da opção composta) = 1;

F = valor presente do fluxo de caixa da comercialização = R\$ 11.080.107;

F_c = valor crítico do projeto acima do qual a primeira opção será exercida (Obs.: Adotaremos $F_c = 8.500.000$, entretanto, segundo Kemna (1993), este valor pode ser obtido pelo procedimento de Newton-Raphson);

$M(k, h; \rho)$ = função distribuição normal acumulada bivariada com k e h como os limites superiores e inferiores e coeficiente de correlação ρ ; $M(1,03, 1,76; 0,707) \cong 1,00$;

$$\rho = \left(\frac{\tau^*}{\tau} \right)^{1/2} = (1/2)^{0,5} = 0,707;$$

$$M(k - \sigma\sqrt{\tau^*}, k - \sigma\sqrt{\tau}; \rho) = M(0,73, 0,61; 0,707) \cong 0,75 ;$$

Cálculos de h e de k :

$$h = \frac{\ln(F / K) + \frac{1}{2}\sigma^2\tau}{\sigma\sqrt{\tau}} = \frac{\ln(11.080.107/5.749.104) + \frac{1}{2}0,3^2 \cdot 2}{0,3\sqrt{2}} = 1,76$$

$$k = \frac{\ln(F / F_c) + \frac{1}{2}\sigma^2\tau^*}{\sigma\sqrt{\tau^*}} = \frac{\ln(11.080.107/8.500.000) + \frac{1}{2}0,3^2 \cdot 1}{0,3\sqrt{1}} = 1,03$$

$N(k - \sigma\sqrt{\tau^*})$ = função distribuição normal acumulada univariada = $N(1,03 - 0,3\sqrt{1}) =$

$$N(0,73) = 0,2673;$$

Utilizando-se, desta forma, a fórmula de precificação de opção composta de Kemna, resulta um valor da opção composta de:

$$G = \text{R\$ } 5.819.300$$

O valor do projeto consiste do valor presente dos *assets in place* e o valor presente das oportunidades de crescimento captado com a avaliação da abordagem baseada em opções.

- Valor do projeto = custo afundado + oportunidades de crescimento;
- Valor presente do investimento inicial (*sunk cost*) = R\$ -690.944;
- Valor presente das oportunidades de crescimento é igual ao valor da opção composta
 $G = \text{R\$ } 5.819.300$;
- O valor de se investir no projeto *XPTO* é, portanto, igual a:

$$\text{VPL (Geske)} = \text{R\$ } 5.819.300 - \text{R\$ } 690.944 = 5.128.356$$

Assim:

$$\text{VPL (Geske)} = \text{R\$ } 5.128.356$$

O valor presente líquido do projeto, calculado da maneira tradicional resultaria em um valor de:

$$\text{VPL} = - 690.944 - 690.944*(1,16)^{-1} - 5.749.104*(1,16)^{-2} + 11.080.107*(1,16)^{-2} = 2.675.218$$

$$\text{VPL}_{\text{Trad}_1} = \text{R\$ } 2.675.218$$

O valor obtido pelo modelo de Geske, feitas as ressalvas às aproximações, é cerca de 92% maior do que aquele obtido pelo modelo tradicional. Ao ver-se valores tão diferentes, logo nos vem à mente a

seguinte questão: Por que o valor é substancialmente maior do que o tradicional VPL? As razões apresentadas por Perlitz, Peske e Schrank (1999) são as seguintes:

- As técnicas do FCD são muito dependentes da taxa de desconto aplicada. No caso de projetos de P&D estas taxas são frequentemente ajustadas ao risco, isto é, conduzem a altos descontos. Na precificação por opções o uso da taxa ajustado ao risco é evitado;
- O efeito da taxa de desconto é, além disto, reforçado por longos horizontes de tempo aplicados às decisões de investimento em P&D;
- Longos horizontes de tempo permitem mais tempo para reagir às mudanças das condições. No caso do exemplo, existe a possibilidade de parar o investimento ou investir se o resultados das fases anteriores for conhecido. Este efeito é levado em consideração nas avaliações das opções reais, não no cálculo tradicional do VPL;
- A alta volatilidade do valor das 'saídas' da P&D influencia positivamente o valor da opção porque grandes retornos podem ser gerados, mas pequenos retornos podem ser evitados pela reação às mudanças das condições. No cálculo do VPL, altas volatilidades conduzem a um prêmio de risco na taxa de desconto e, então, a um menor VPL.

O artigo de Perlitz, Peske e Schrank (1999) conclui que deveria ficar obvio que a abordagem da TOR representa um caminho para avaliar P&D que irá ganhar mais importância no futuro, embora seja um caminho difícil para pessoas trabalhando na prática. Para eles o método das Opções Reais possui enorme potencial para aplicação em avaliação de projetos de P&D e ainda mais para a avaliação de aquisições relacionadas à tecnologia. Entretanto, um processo de padronização e trabalhos empíricos adicionais deve ser buscado para garantir sua aplicabilidade prática.

CONCLUSÕES

A avaliação financeira de alternativas estratégicas precisa de rápidas e profundas mudanças no sentido de se aproximar da realidade e mensurar a flexibilidade existente nos projetos. Neste sentido, o FCD não tem muito como atender às exigências que são feitas à teoria de finanças no sentido de apoiar as decisões estratégicas, devendo-se lançar mão de métodos alternativos como a Teoria das Opções Reais.

Embora a literatura tenha discorrido sobre a superioridade da aplicação da TOR em relação às técnicas convencionais de avaliação de P&D, esta deve ser vista como uma ferramenta *a mais* no processo de tomada de decisão, devendo ser encarada como uma extensão das técnicas atuais, particularmente onde tentativas estejam sendo feitas para se determinar mais acuradamente os resultados possíveis de programas de P&D.

A maior barreira à adoção da Teoria das Opções Reais parece ser a falta de um modelo mais global, uma vez que não há, diríamos, um método padronizado para se aplicar a toda e qualquer análise de investimento. Apesar da análise de um projeto de P&D através de a TOR parecer ser mais complexa, esta deve ser usada como mais uma importante e promissora ferramenta, auxiliando administradores a pensar mais clara e realisticamente em um processo de tomada de decisões.

Como mencionado por Perlitz, Peske e Schrank (1999), há, no contexto da teoria das opções reais, a necessidade de um processo de padronização de modelos já existentes e trabalhos empíricos adicionais devem ser buscados para garantir sua aplicabilidade prática. Para o desenvolvimento de futuros trabalhos recomenda-se que a volatilidade do projeto seja refletida através do uso da abordagem da *twin security*. No cálculo da opção composta através do modelo de Geske, sugere-se a aplicação do procedimento de Newton-Raphson para o cálculo de F_c .

Embora muito tenha sido dito a respeito do poder da teoria das opções reais aplicada à análise de investimentos, nosso país ainda carece de trabalhos que venham a comprovar sua validade. É Santos, E M.; Pamplona, E. O. *Teoria das Opções Reais: Aplicação em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)* 25 2o Encontro Brasileiro de Finanças, Ibmecc, Rio de Janeiro, RJ, julho de 2002.

necessário que esta teoria seja cada vez mais difundida, principalmente no meio corporativo, desenvolvendo-se novos trabalhos práticos que avaliem investimentos reais nos vários campos de aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMRAM, M., KULATILAKA, N. Strategy and Shareholder Value Creation: The Real Options Frontier, Bank of America, *Journal of Applied Corporate Finance*, vol. 13, n. 2, pp. 8-21, summer, 2000.

BALASUBRAMANIAN, P., KULATILAKA, N. , STORCK, J. Managing Information Technology Investments Using a Real-Options Approach, *Journal of Strategic Information Systems*, vol. 9, pp. 39-62, 2000.

BLACK, F., SCHOLES, M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities, *Journal of Political Economy*, v. 81, n. 3, May-June, p. 637-54, 1973.

BOER, F. P. Valuation of Techonology Using “Real Options”, *Research Technology Management*, July/August, pp. 26-30, 2000.

BRENNAN, M. J., SCHWARTZ, E. S. Evaluating Natural Resource Investments, *Journal of Business*, v. 58, n. 2, p. 135-57, 1985.

BRYMAN, A. Research Methods and Organization Studies, *Routledge*, London, pp. 71-103, 1995.

COX, J., ROSS, S., RUBINSTEIN, M. Option Pricing: a simplified approach, *Journal of Financial Economics*, p. 229-264, oct., 1979.

DIXIT, A. K., PINDYCK, R. S. *Investment Under Uncertainty*, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1994.

Santos, E M.; Pamplona, E. O. *Teoria das Opções Reais: Aplicação em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)* 26
2o Encontro Brasileiro de Finanças, Ibmecc, Rio de Janeiro, RJ, julho de 2002.

_____ The Options Approach to Capital Investment *Harvard Business Review*, v. 73, n. 1, May/June, p. 105-15, 1995.

FAULKNER, T. W. Applying 'Options Thinking To R&D Valuation, *Research Technology Management*, May./June, p. 50-56, 1996.

GESKE, R. The Valuation of Compound Option, *Journal of Financial Economics*, v. 7, n. 1, pp. 63-81, 1979.

HAYES, R. H., ABERNATHY, W. J. Managing Our Way to Economic Decline, *Harvard Business Review*, May-June, p. 67-77, 1980.

HAYES, R. H., GARVIN, D. Managing As If Tomorrow Mattered, *Harvard Business Review*, May-June, p. 70-80, 1982.

HERATH, H. S. B., PARK, C. S. Economic Analysis of R&D Projects: An Options Approach , *The Engineering Economist*, v.44, n. 1, p. 1-35, 1999.

HODDER, J. , RIGGS, H. Pitfalls in Evaluating Risky Projects, *Harvard Business Review*, January-February, pp. 128-135, 1985.

KAPLAN, R. Must CIM Be Justified by Faith Alone?, *Harvard Business Review*, March-April, p. 87-95, 1986.

KEMNA, A. G. Z. Case Studies on Real Options, *Financial Management*, autumn, p.259-70, 1993.

KESTER, W. C. Today's Options for Tomorrow's Growth , *Harvard Business Review*, vol. 62, n. 2, March/April, 1984.

LINT, O., PENNING, E. R&D as an Option on Market Introduction, *R&D Management* 28, 4, p. 279-287, 1998.

Santos, E M.; Pamplona, E. O. *Teoria das Opções Reais: Aplicação em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)* 7^o Encontro Brasileiro de Finanças, Ibmecc, Rio de Janeiro, RJ, julho de 2002.

LUEHRMAN, T. A. Investment Opportunities as Real Options: Getting Started on the Numbers, *Harvard Business Review*, July-August, v. 76, n. 4, pp. 51-67, 1998.

_____ What's Worth: A General Manager's Guide to Valuation, *Harvard Business Review*, May-June, 1997.

McDONALD, R. L. SIEGEL, D. R. *The Value of Waiting to Invest*, Quarterly Journal of Economics, Nov., p. 707-27, 1986.

MECHLIN, G., BERG, D. Evaluating Research, ROI Is Not Enough, *Harvard Business Review*, September-October, vol. 58, n. 5, pp. 93-99, 1980.

MINARDI, A. M. A. F. Teoria de Opções Reais Aplicada a Projetos de Investimentos, *RAE - Revista de Administração de Empresas /EAESP/FGV*, São Paulo, v. 40, n. 2, Abr./Jun., p.74-79, 2000.

MITCHELL, G. R., HAMILTON, W. F. Managing R&D as a Strategic Option, *Research Technology Management*, May/June, p. 15-22, 1988.

MORRIS, P. A., TEISBERG, E. O., KOLBE, A. L. When Choosing R&D Projects, Go With Long Shots, *Research Technology Management*, Jan./Feb, p. 35-40, 1991.

MYERS, S. C. Finance Theory and Financial Strategy, *Interfaces*, vol. 14, January-February, pp. 126-137, 1984.

NEWTON, D. P., PEARSON, A. W. Application of Option Pricing Theory to R&D, *R&D Management*, v. 24, n.1, p. 83-89, 1994.

PERDUE, R. K., McALLISTER, W. J., KING, P. V., BERKEY, B. G. Valuation of R and D Projects Using Options Pricing and Decision Analysis Models, *Interfaces*, 29:6, Nov./Dec., pp. 57-74, 1999.

Santos, E M.; Pamplona, E. O. *Teoria das Opções Reais: Aplicação em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)* 2o Encontro Brasileiro de Finanças, Ibmecc, Rio de Janeiro, RJ, julho de 2002.

PERLITZ, M., PESKE, T., SCHRANK, R. Real Option Valuation: The New Frontier in R&D Project Evaluation?, *R&D Management*, v. 29, n. 3, p. 255-269, 1999.

PINDYCK, R. S. Irreversibility, Uncertainty, and Investment, *Journal of Economic Literature*, vol. 29, pp. 1110-1148, September, 1991.

_____ Investment of Uncertain Cost, *Journal of Financial Economics*, v. 34, n. 4, pp. 53-76.

SEPPÄ, T. J. , LAAMANEN, T. Valuation of Venture Capital Investments: Empirical Evidence, *Paper presented at the 4rd Annual International Conference on Real Options*, June, 2000 .

TRIGEORGIS, L. The Nature of Options Interactions and the Valuation of Investments with Multiple Real Options, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, v. 28, n. 1, march, p. 1-21, 1993.

VONNEGUT, A. Real Option Theories and Investment in Emerging Economies, *Emerging Markets Review*, vol. 1, pp. 82-100, 2000.