

Opções reais aplicadas à gestão do processo de desenvolvimento de produtos em uma indústria de autopeças

Real options applied to the product development process management in an automotive parts manufacturer



Juliana Caminha Noronha¹
Carlos Henrique Pereira Mello²
Carlos Eduardo Sanches da Silva²
Julia Cristina Caminha Noronha³

Resumo: Este trabalho apresenta uma aplicação da Teoria de Opções Reais às análises de investimentos em desenvolvimento de produtos e tomada de decisão numa indústria de autopeças por meio do método da pesquisa-ação. Considerando que o desenvolvimento de produtos envolve investimentos em múltiplos estágios, ele pode ser tratado como uma opção sequencial composta, possibilitando uma gestão do desenvolvimento mais realista, uma vez que se avalia a tomada de decisão por períodos, valoriza-se a flexibilidade gerencial e proporciona-se uma visão detalhada do investimento. Ao longo do trabalho, o método binomial proposto é aplicado à análise do desenvolvimento de um conjunto de anéis de pistão em que se incorporam decisões de investimento em cada etapa, trazendo uma nova perspectiva do valor do projeto de desenvolvimento para a empresa e de decisões do composto de *marketing* associado ao produto. Conclui-se que a incorporação da teoria de opções ao desenvolvimento de um conjunto de produtos da empresa objeto de estudo levantou o real valor do investimento como havia sido proposto pela pesquisa, apresentando uma nova dinâmica para a tomada de decisão e a negociação com clientes.

Palavras-chave: Opções reais. Análise de investimentos. Desenvolvimento de produtos.

Abstract: *This work presents an application of the Real Option Theory on product development decision-making and investment analysis for an automotive component manufacturer by adopting the action research methodology. Considering that the development of products demands investments in multiple phases, this can be regarded as a sequential compound real option, enabling a more realistic management development, once it encourages gradual decision making, evaluates managerial flexibilities, and promotes a clear detailed vision of the investment and its uncertainties. Throughout this study, the binomial method is applied to the development analysis of a set of piston rings, in which investment decisions are incorporated for each stage, thus providing a new perspective to the project value and its marketing mix decisions. We concluded that the incorporation of the Real Option Theory to develop a group of products of the studied company raised the real value of investment, as it had been proposed by this research, representing a new dynamics to decision-making and negotiation with the client.*

Keywords: *Real options. Investment analysis. Product development.*

¹ Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Centro de Empreendedorismo da UNIFEI – CEU, Instituto de Engenharia de Produção e Gestão – IEPG, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Av. BPS, 1303, CP 50, CEP 37500-903, Itajubá, MG, Brasil, e-mail: juliana_cnoronha@yahoo.com.br

² Núcleo de Otimização da Manufatura e de Tecnologia da Inovação – NOMATI, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Instituto de Engenharia de Produção e Gestão – IEPG, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Av. BPS, 1303, CP 50, CEP 37500-903, Itajubá, MG, Brasil, e-mail: carlos.mello@unifei.edu.br; sanches@unifei.edu.br

³ Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Instituto de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Av. BPS, 1303, CP 50, CEP 37500-903, Itajubá, MG, Brasil, e-mail:juliaccn@yahoo.com.br

1 Introdução

Segundo Wright, Kroll e Parnell (2000), uma vantagem competitiva pode ser sustentada por diferenciação ou liderança de custos. Ambas as estratégias genéricas pressupõem a complexa atividade de desenvolver produtos.

Essa complexidade se dá em razão da interação do processo de desenvolvimento com diversas áreas da empresa e da quantidade de informações de natureza técnica e econômica manipuladas durante o processo. As frequentes mudanças nos requisitos dos clientes, nas tecnologias e nas regulamentações, entre outras, contribuem para intensificar esse caráter do processo.

Para gerir tais incertezas, a modelagem de desenvolvimento de produtos propõe a análise de viabilidade financeira por métodos tradicionais, como o fluxo de caixa descontado e *payback*, a cada fase do processo de desenvolvimento. Entretanto, por não permitirem avaliar as possibilidades ao longo da vida útil do investimento, tais métodos tornam-se limitados como instrumentos de tomada de decisão.

No cenário do setor automotivo, essas ineficiências se intensificam devido ao seu alto grau de suscetibilidade a incertezas políticas, econômicas, competitivas e de mercado, ao mesmo tempo em que são requeridas respostas rápidas aos clientes integrados por uma cadeia de suprimentos consolidada, caracterizada por produção puxada.

A partir dessa perspectiva é que este trabalho propõe a avaliação financeira do processo de desenvolvimento de produto de uma empresa do ramo de autopeças pela Teoria de Opções Reais (TOR), uma vez que essa abordagem é capaz de incorporar incertezas e precificar as oportunidades embutidas num projeto de desenvolvimento, proporcionando maior realismo e flexibilidade para as tomadas de decisão da empresa.

2 Fundamentação teórica

2.1 Gestão do desenvolvimento de produtos

O desenvolvimento de produtos é um processo pelo qual uma organização transforma as oportunidades de mercado e suas possibilidades técnicas em informações para a fabricação de um produto comercial (CLARK; FUJIMOTO, 1991).

Assim, o processo de desenvolvimento de produtos consiste no conjunto de atividades por meio das quais se busca chegar às especificações do projeto de produto e de seu processo de produção. Portanto, o processo de desenvolvimento de produto (PDP) situa-se na interface entre a empresa e o mercado, cabendo a ele identificar ou mesmo antecipar-se às necessidades do mercado, propondo soluções para atendê-las (ROZENFELD et al., 2006).

Na perspectiva de Anderson e Narus (2004), novas ofertas de mercado têm o potencial de prover três resultados para as empresas:

- Otimizar a utilização de recursos e *know-how* das empresas;
- Fortalecer sua participação de mercado; e
- Proporcionar a melhoria, crescimento e rejuvenescimento das organizações.

Nesse contexto, o objetivo de desenvolverem-se novas ofertas seria o preencher os requisitos dos clientes de maneira superior às ofertas já existentes. Partindo dessa orientação, a efetividade do processo de desenvolvimento de produto é definitiva.

Rozenfeld et al. (2006) acrescentam que o modo como a empresa desenvolve produtos é que determinará o desempenho do produto no mercado e a velocidade, eficiência e qualidade do processo de desenvolvimento. Isso significa que o processo depende diretamente de sua gestão, a qual inclui estratégias, organização e gerenciamento. A gestão em questão é mensurada por indicadores que refletem a qualidade do produto desenvolvido, os custos, a produtividade, o tempo total de desenvolvimento e quantificam a sua contribuição para a competitividade, rentabilidade, crescimento, fortalecimento e participação de mercado.

A atividade de desenvolvimento de novos produtos é um processo de tomada de decisão complexo e iterativo com vários estágios e filtros. Em uma visão complementar, Cooper, Edgett e Kleinschmidt (2002) caracterizam o PDP como uma série predeterminada de estágios, compostos por uma série de atividades prescritas, sendo essas cruzadas, multifuncionais e paralelas. A entrada em cada estágio é um ponto de decisão (*gate*), que controla o processo e atua como um controle de qualidade e ponto de checagem, compondo um modelo denominado *stage-gate* para o desenvolvimento de produtos.

De maneira geral, cada ponto de decisão envolve as seguintes atividades:

- Utilização de critérios para julgar o progresso do projeto;
- A equipe decide sobre o prosseguimento, congelamento ou cancelamento do projeto;
- Aprovação de investimentos para a próxima fase;
- Apresentação e aprovação dos procedimentos da próxima fase.

Nesse modelo, ao final de cada fase de desenvolvimento é executada uma revisão gerencial, na qual os resultados da fase são conferidos e confrontados com os objetivos estabelecidos. Logo, torna-se possível estimar periodicamente quais serão os resultados ao final do projeto, e se tais resultados trarão os retornos esperados pela organização (MUNIZ; BRITO, 1999). A Figura 1 apresenta o modelo *stage-gate* em sua forma tradicional.

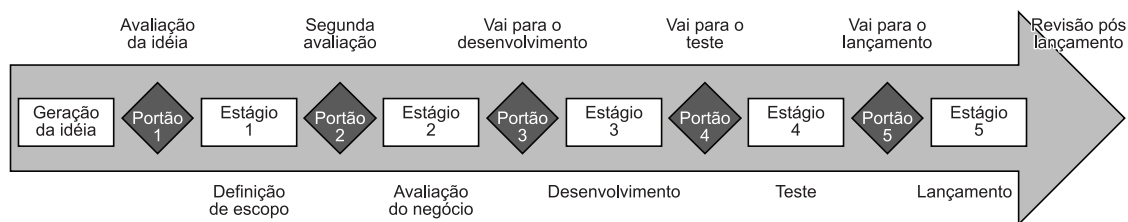


Figura 1. Modelo *stage-gate*. Fonte: Adaptado de Cooper, Edgett e Kleinschmidt (2002).

Conforme Ettl e Elsenbach (2007), os processos de *stage-gate* para o gerenciamento de novos produtos promovem aceleração do processo e melhoria na qualidade, agregando maior disciplina e melhor desempenho. Adicionalmente, as revisões gerenciais possibilitam à alta direção obter maior visibilidade e participação no PDP, facilitando o processo de controle e tomada de decisões sem a necessidade do conhecimento de todos os detalhes do projeto (SILVA; ALLIPRANDINI, 2001).

2.2 Opções reais

Por definição, uma opção real (OR) é o direito, mas não a obrigação, de empreender uma ação, a um custo predeterminado (preço de exercício), por um período preestabelecido: a vida da opção (COPELAND; TUFANO, 2004).

Segundo Mun (2002), a teoria de opções reais é uma solução integrada que se utiliza da teoria financeira, da análise econômica, da estatística e da modelagem econométrica para aplicar a teoria de opções na avaliação de ativos reais, num ambiente dinâmico e incerto onde decisões de negócio são flexíveis. Nesse contexto torna-se possível avaliar oportunidades de investimento de capital, assim como as decisões estratégicas envolvidas no processo de desenvolvimento de novos produtos, na seleção de portfólio de produtos ou investimentos, na avaliação de fusões e aquisições e em decisões de exploração de recursos naturais.

O valor das opções reais está diretamente relacionado às oportunidades embutidas no investimento avaliado. Partindo desse princípio, as opções reais podem ser classificadas como opções de investimento, abandono, contração, expansão, que podem ser avaliadas de forma combinada ou como opções compostas, onde cada fase pressupõe uma opção (COPELAND; ANTIKAROV, 2002). Assim, as decisões de investimento avaliadas por opções reais têm o potencial de quantificar o valor das opções de um gerenciamento ativo e suas interações estratégicas (TRIGEORGIS, 1996).

Mun (2002) observa que as análises de fluxo de caixa descontado (FDC) assumem decisões de investimento estáticas, desconsiderando a capacidade de a gerência responder às incertezas, enquanto

o método de opções reais incorpora um modelo de aprendizagem, levando os gerentes a tomarem melhores decisões estratégicas à medida que o nível de incerteza é resolvido com o tempo. Uma analogia proposta pelo autor é visualizar as opções reais como um mapa estratégico de tomada de decisões capaz de orientar decisores em ambientes desconhecidos, sinalizando o melhor caminho a seguir e apoiando decisões utilizando-se de mais informações.

Outro problema dos métodos de FDC são as taxas de retorno consideradas nos cálculos de viabilidade dos investimentos (DIXIT; PINDYCK, 1995), pois em muitos casos essas taxas incorporam a aversão ao risco dos tomadores de decisão, o que representa um critério subjetivo para a análise da decisão.

Adicionalmente, a TOR é percebida como o único método de avaliação de ativos que reconhece a interação entre os três fatores que caracterizam a natureza dos investimentos: a irreversibilidade, a incerteza e o *timing* (DIXIT; PINDYCK, 1994). Pois é fato que investimentos são total ou parcialmente irreversíveis, ou seja, em muitos casos o investimento inicial é parcialmente perdido, ou não pode ser recuperado caso se mude de ideia (TRIGEORGIS, 2005). Por exemplo, se o desenvolvimento de um produto deixa de ser interessante no meio do processo de desenvolvimento, a venda da tecnologia gerada provavelmente terá um valor muito abaixo dos custos já empreendidos.

A existência de incertezas acerca de qualquer investimento é inquestionável. Portanto, a melhor solução para uma análise realista é avaliar as incertezas e as probabilidades de diversos resultados, valorando inclusive a perda parcial ou total do investimento. Ressalta-se, que a TOR introduz uma nova visão sobre o impacto das incertezas nos investimentos, à medida que ambientes voláteis passam a incorporar maior valor para as opções, já que os pontos extremos das oportunidades podem ser administrados pela gerência, que passa a valorar a flexibilidade de expandir, continuar ou abandonar um projeto (TRIGEORGIS, 2005).

Por fim, na maioria das circunstâncias existe flexibilidade em relação ao *timing* do investimento. Dessa forma, a ação de investir pode ser adiada até que mais informações sobre o cenário atual sejam obtidas. Embora as informações nunca sejam

suficientes para eliminar as incertezas, os resultados da espera costumam ser positivos para as decisões da empresa. Entretanto, esse adiamento merece ser cuidadosamente analisado, já que incorre em custos referentes às perdas do fluxo de caixa que seria gerado caso o investimento fosse imediatamente executado, ou no risco de a concorrência lançar antes no mercado (DIXIT; PINDYCK, 1994).

A teoria das opções reais é fortemente enraizada nesses três aspectos da tomada decisão. O método considera, por exemplo, as perdas financeiras, quando um investimento pode ser abandonado ou contraído (irreversibilidade), mensura através de um coeficiente de volatilidade as incertezas que afetarão os resultados do investimento e ainda contempla o período certo dentro do fluxo de caixa para exercer ou não determinada opção (NORONHA et al., 2007).

3 Gestão do desenvolvimento de produto aliada à análise por opções reais

O caráter cada vez mais dinâmico do mercado torna as empresas mais suscetíveis às suas variações. Para uma maior interação, é fundamental pensar em longo prazo, planejar e, principalmente, antecipar-se. Ao mesmo tempo, é essencial estar atento ao ambiente interno e ao macroambiente, com suas mudanças quase instantâneas.

Nesse contexto competitivo, a diferenciação e a inovação tornam-se imprescindíveis, fazendo do investimento em novas ofertas uma das grandes fontes de vantagens competitivas. Para Kotler e Keller (2005), a implementação de novos produtos pelas empresas constitui parte da estratégia para aumentar sua participação de mercado e melhorar sua rentabilidade.

Nesse sentido, a gestão do processo de desenvolvimento de produtos (PDP) possui importância estratégica, à medida que busca analisar o mercado e seu contexto, traduzindo suas necessidades, identificar possibilidades tecnológicas, desenvolver o produto de acordo com as expectativas do cliente, em tempo hábil e a preço acessível, garantindo a facilidade de manufatura do produto (ROZENFELD et al., 2006).

Com relação ao tempo de desenvolvimento, pode-se dizer que esse aspecto é uma incerteza que se relaciona ao *timing* do processo como um todo. Esse tempo, por sua vez, pode ser flexibilizado ao longo do próprio processo de desenvolvimento, à medida que incertezas vão se revelando, levando a decisões de aceleração, congelamento, ou mesmo cancelamento do projeto.

A irreversibilidade no PDP responde por grande parte do montante investido em desenvolvimento, o que se intensifica à medida que ele demanda decisões importantes ainda no início do processo e que essas decisões são difíceis de serem alteradas ao longo do

processo. Ressalta-se que o lançamento de produto não aceito pelo mercado, por vários motivos, pode causar danos, às vezes irreversíveis, à empresa, tais como perda da sua imagem, baixo retorno sobre o capital investido, ciclo de vida declinante, prejuízos financeiros e outros (TONI; SCHULER, 2003).

Portanto, as características irreversibilidade, incerteza e *timing* inerentes ao processo de desenvolvimento de produto consolidam as justificativas que embasam a aplicação da TOR na sua avaliação econômico-financeira.

Numa análise mais aprofundada é possível apontar as seguintes razões para utilizar-se a avaliação por opções reais no desenvolvimento de produto:

- O desenvolvimento de produto necessita ser um processo eficiente e eficaz para cumprir sua missão de favorecer a competitividade na empresa. O desempenho desse processo depende do modelo geral utilizado para sua gestão. O modelo, por sua vez, engloba a gestão estratégica, operacional e os ciclos de resolução de problemas, além das melhorias no curso do desenvolvimento (ROZENFELD et al., 2006). Cada empresa possuirá seu modelo de desenvolvimento específico que se enquadra em suas atividades, englobando fases distribuídas entre pré-desenvolvimento, desenvolvimento e pós-desenvolvimento. A partir da delimitação de cada fase é possível estabelecer procedimentos de passagem de uma fase para outra (pontos de decisão), nos quais a análise econômico-financeira ocupa lugar de destaque na tomada de decisão de prosseguir ou não com o desenvolvimento. É nesse momento que a abordagem de opções se encaixa perfeitamente no modelo de desenvolvimento de produto, uma vez que já prevê uma metodologia capaz de ser repetida a cada período, visualizando os riscos de insucesso por período antes mesmo do investimento ser realizado;
- Essa flexibilidade de visualização por fases do método de opções dá abertura a uma outra vantagem: a capacidade de considerar decisões ao longo do tempo, ou seja, a cada ponto de decisão (*gate*) do desenvolvimento de produto, mediante a redução das incertezas, incorporando inclusive atividades de aprendizagem ao longo do processo de desenvolvimento (ANDERSON; NARUS; 2004; RUY; ALLIPRANDINI, 2000);
- A tomada de decisões ao longo do tempo, mediante a redução de incertezas, permite à administração captar o *timing* do desenvolvimento, lançamento, ou mesmo

abandono de um investimento em produto. De acordo com Kotler e Keller (2005), escolher a hora certa de colocar novos produtos no mercado potencializa o grau de vantagem competitiva proporcionada por uma inovação;

- A teoria das opções reais agrega valor ao investimento por sua capacidade de analisar os retornos ao longo dos diversos períodos do fluxo caixa, tornando possível a valoração de opções como deferimento, abandono, expansão e contração. Dessa forma, um VPL negativo, que a princípio indicaria a inviabilidade do investimento, pode se tornar uma opção de investir e abandonar o investimento a um preço de exercício determinado, caso a conjuntura não seja favorável;
- O desenvolvimento de produto depende do arranjo de inúmeras variáveis, tais como matéria-prima e seu custo, tecnologia, legislação vigente, cenário competitivo, realidade econômica, comportamento do mercado, tendências ambientais, entre outros. Como tais variáveis são carregadas de incertezas, é necessário desenvolver um estudo de viabilidade que projete da maneira mais eficiente o comportamento delas para quando o produto for lançado no mercado. Para isso, a abordagem de opções trabalha com um parâmetro de volatilidade capaz de representar as incertezas de cada período;
- A metodologia é comumente usada para comparar entre si a rentabilidade de diversas opções de investimento em produtos, permitindo uma análise de portfólio de produto mais acurada;
- Atualmente é possível desenvolver cálculos de opções através de álgebra elementar e da utilização de ferramentas computacionais de fácil acesso, como o Excel, enquanto o Crystal Ball e o @Risk[®] assessoram a modelagem das incertezas. Tal característica facilita as análises e proporciona rapidez de resposta, contribuindo para a aceitação do método pela alta direção das empresas.

4 Método de pesquisa

O método de pesquisa adotado é a pesquisa-ação, no qual o processo de desenvolvimento de um conjunto de anéis de pistão da Mahle e decisões inerentes são analisados dentro de seu contexto específico, num ambiente de pesquisa que, segundo Coughlan e Coughlan (2002), é orientado para a ação.

Por definição, a pesquisa-ação utiliza uma abordagem científica para estudar a resolução de importantes assuntos sociais ou organizacionais

em conjunto com aqueles que os experimentam diretamente, em outras palavras, trata-se da pesquisa em ação (COUGHLAN; COGHLAN, 2002). Dessa maneira, foi formulado um modelo de análise financeira e tomada de decisão adequado às interações das variáveis da empresa, refletindo seus resultados futuros e análises de *marketing* ao longo do PDP, envolvendo os atores apresentados no Quadro 1.

A implementação desse método seguiu os passos propostos por Coughlan e Coughlan (2002) (definição do contexto e proposta; coleta de dados; realimentação de dados; análise de dados; planejamento de ações; implementação; avaliação; monitoramento por parte da equipe de PDP) e demandou quatro ciclos de pesquisa-ação, como apresentado no Quadro 2.

O monitoramento, como consideram Coughlan e Coughlan (2002), é uma meta fase que acontece durante todas as fases do ciclo de pesquisa-ação, pela qual todos os atores envolvidos no projeto são responsáveis.

O problema de pesquisa em questão consiste na busca de métodos mais apurados para avaliar o real valor dos projetos de desenvolvimento da Mahle e das tomadas de decisão ao longo dele.

Ressalta-se, ainda, que a pesquisa-ação tem como objetivo a solução não só de um problema prático mas também gerar conhecimento (GUMMESSON, 2000) associado à integração científica da avaliação por opções reais dos pontos de decisão que compõem o PDP.

A escolha do objeto de estudo se justifica não só pela relevância da flexibilidade do PDP numa cadeia de produção automobilística, mas também pela liderança mundial da Mahle em componentes de motores, que pressupõe a gestão do DP como atividade estratégica.

O estudo do segmento de anéis de pistão se deve ao fato de o produto ser líder de vendas no Brasil, enquanto a delimitação do projeto S1GH para o objeto de estudo se deve ao fato de ele apresentar-se num estágio de desenvolvimento que permitiu a melhor visualização das incertezas e a incorporação de avaliação por fases.

Adicionalmente, a presente pesquisa utiliza como ferramenta a simulação computacional e a modelagem, a partir do desenvolvimento de um modelo binomial e da aplicação da simulação de Monte Carlo a um processo de desenvolvimento de produto real.

A aplicação do modelo binomial para análise do investimento por opções é justificada pelo fato de seus cálculos serem mais facilmente compreensíveis e visualizados pelos tomadores de decisão, proporcionando a transparência esperada pela alta gerência da empresa. O processo de avaliação de opções reais por modelo binomial é definido pelos quatro passos apresentados na Figura 2.

Quadro 1. Definição do grupo de pesquisa.

| Ator | Função no projeto | Formação | Experiência |
|--|---|---|---|
| Autor (pesquisador) | Redator do trabalho científico, líder da pesquisa e do projeto de melhoria. | Graduado em Propaganda & Marketing; Graduado em Administração; Mestrando em Engenharia de Produção. | Não aplicável. |
| Gerente de planejamento operacional/amostras | Contextualização da pesquisa em nível estratégico e patrocinador do projeto. | Graduado em Engenharia Mecânica; Mestre em Engenharia de Produção. | Trabalha na empresa objeto de estudo há 10 anos, atuando nesta função há dois anos. |
| Analista de planejamento operacional | Apoio no levantamento de dados a respeito de custos e atividades de controladoria. | Graduado em Administração de Empresas. | Trabalha na empresa objeto de estudo há sete anos, atuando nesta função há dois anos. |
| Analista de planejamento de produto | Apoio no levantamento de dados para o produto em análise, planejamento/reflexão/ <i>feedback</i> acerca dos projetos de melhoria. | Graduado em Administração de Empresas. | Trabalha na empresa objeto de estudo há seis anos, atuando nesta função há um ano. |
| Chefe de planejamento de produto | Apoio gerencial, levantamento de dados acerca do PDP da empresa, planejamento/reflexão/ <i>feedback</i> relativo aos projetos de melhoria e liderança na implementação do projeto de melhoria na organização. | Graduado em Engenharia Mecânica; Especialista em qualidade e produtividade. | Trabalha na empresa objeto de estudo há 5 anos, atuando nesta função há dois anos. |

5 Pesquisa-ação

5.1 Contextualização

O primeiro passo da pesquisa-ação consiste na contextualização e proposta de trabalho.

A contextualização envolveu as seguintes atividades:

5.1.1 Revisão de literatura

Levantamento bibliográfico e estudo da teoria de opções reais, caracterização do processo de desenvolvimento de produto e sua gestão, abordagens de desenvolvimento de produto, aplicações da TOR em DP visando identificar as lacunas dentro desse contexto científico.

Essa atividade auxiliou o pesquisador a responder como este projeto contribui para a pesquisa científica da área (COUGHLAN; COUGHLAN, 2002), preenchendo as lacunas de aplicações da TOR em projetos de DP do tipo plataforma numa cadeia de suprimentos onde a flexibilidade é um imperativo.

O delineamento das características da teoria de opções reais e do processo de tomada de decisão na gestão do PDP também colaborou para justificar o procedimento de pesquisa-ação, uma vez que a

aplicação da TOR à gestão do PDP requer a gestão ativa e a flexibilidade que um método de pesquisa “em ação” pode possibilitar. Além disso, acredita-se que dessa forma o aprendizado organizacional seja privilegiado.

5.1.2 Levantamento do ambiente de negócios e PDP da empresa

Abrange a fase exploratória da pesquisa-ação, proposta por Thiollent (2005), na qual o pesquisador investiga a situação atual, os principais problemas e possibilidades de melhoria. Essa atividade se subdivide em duas fases:

- Caracterização do PDP da empresa;
- Levantamento de aspectos relevantes de *marketing* estratégico e *mix* de *marketing* da empresa, através do modelo Dolan/Fowler (DOLAN 2000; FOWLER, 2002), como mostra a Figura 3.

O levantamento realizado nessa etapa mostrou a necessidade de investigar ferramentas mais acuradas para avaliar viabilidade e tomada de decisão no PDP que fossem adequadas à abordagem de *stage-gates* do PDP da Mahle.

Quadro 2. Ciclos de pesquisa-ação.

| | |
|-----------------|---|
| 1º Ciclo | <p>Coleta de dados: levantamento de dados de custos do desenvolvimento de produto, custos dos produtos, TMA e percentual de impostos para avaliação tradicional do projeto de conjunto de anéis S1GH.</p> <p>Realimentação de dados: inserção dos dados nas planilhas de cálculos, seguidos de refinamento dos dados de custos dos anéis que compõem o conjunto.</p> <p>Análise de dados: reflexão crítica sobre os dados referentes aos custos de desenvolvimento e TMA a ser adotada.</p> <p>Planejamento de ações: definição pela equipe dos métodos tradicionais a serem calculados. Nesse ciclo foram analisados todos os três anéis que compõem o conjunto.</p> <p>Implementação: desenvolvimento dos fluxos de caixa do projeto, seguido de cálculo de VPL e TIR para o projeto.</p> <p>Avaliação: verificação da viabilidade do projeto mediante esse tipo de método. A equipe aprova a nova perspectiva para avaliar a viabilidade de projeto, incorporando o valor do dinheiro no tempo e a taxa mínima de atratividade.</p> |
| 2º Ciclo | <p>Coleta de dados: levantamento de dados para cálculo da volatilidade da demanda.</p> <p>Realimentação de dados: inserção dos dados de média e desvio padrão da demanda para análise Monte Carlo.</p> <p>Análise de dados: discussão a respeito do desvio padrão adequado para compor as variações do retorno do projeto e cálculos de volatilidade.</p> <p>Planejamento de ações: equipe define o método binomial como sendo o mais compatível para cálculo das opções devido a sua transparência e utilização de cálculos elementares. Na sequência, é definido o passo a passo para aplicação do método binomial (árvore binomiais) para o cálculo de opções.</p> <p>Implementação: cálculo e reflexão da TOR aplicada ao desenvolvimento dos três anéis que compõem o conjunto, incorporando incertezas relativas à demanda dos produtos a partir da data do lançamento.</p> <p>Avaliação: conscientização do valor criado pelas opções. Comparação do método de opções reais em relação aos métodos tradicionais. Reconhecimento da possibilidade de avaliar opções de investimento, adiamento e troca.</p> |
| 3º Ciclo | <p>Coleta de dados: levantamento de dados para cálculo da incerteza do câmbio – Euro x Dólar.</p> <p>Realimentação de dados: inserção dos dados resultantes de avaliações da média e desvio padrão do câmbio para análise Monte Carlo.</p> <p>Análise de dados: discussão a respeito do desvio padrão atribuído para o dólar que irá, juntamente com a demanda, compor as variações do retorno do projeto e, conseqüente volatilidade do projeto.</p> <p>Planejamento de ações: nessa fase, optou-se por estudar somente os dois anéis produzidos na planta nacional.</p> <p>Implementação: cálculo e reflexão da TOR aplicada ao desenvolvimento dos anéis produzidos na planta do Brasil, incorporando incertezas relativas à demanda e câmbio a partir da data do lançamento.</p> <p>Avaliação: conscientização do valor criado pelas opções sob condições de maior incerteza.</p> <p>Levantamento da hipótese de avaliar incertezas técnicas relacionadas à probabilidade de sucesso ou insucesso dos testes do produto. Reflexão a respeito das distribuições de retorno resultantes da simulação de Monte Carlo com desvio de demanda definido pela equipe, levando a equipe a concluir que sem os dados históricos de demanda do cliente do projeto X não seria possível validar as distribuições.</p> |
| 4º Ciclo | <p>Coleta de dados: levantamento de dados históricos para cálculo da volatilidade do câmbio – Euro x Dólar.</p> <p>Realimentação de dados: inserção dos dados resultantes de avaliações históricas da média e desvio padrão do câmbio para análise Monte Carlo.</p> <p>Análise de dados: estudo a respeito do movimento adequado para modelar a volatilidade euro x dólar.</p> <p>Planejamento de ações: decisão pelo refinamento da volatilidade do projeto, demandando estudos aprofundados sobre o comportamento da incerteza de câmbio. Adoção do movimento geométrico browniano (MGB), em vez do movimento de reversão à média (MRM), em função da instabilidade econômica vigente (fim de 2008-início de 2009) que poderia distorcer a estimativa da média, caso a crise perdurasse ou se agravasse. Esta atitude foi coerente com a aversão a risco da Mahle.</p> <p>Implementação: cálculo e reflexão da TOR aplicada ao desenvolvimento dos anéis produzidos na planta do Brasil, consolidando os cálculos de incerteza, utilizando o MGB.</p> <p>Avaliação: conscientização do valor criado pelas opções sob condições de incerteza. Reflexão a respeito da tomada de decisão no PDP.</p> |

Ressalta-se que tal contextualização auxilia o levantamento de dados essencial à próxima fase da pesquisa-ação, além de identificar as forças econômicas, políticas, sociais e técnicas que irão orientar a ação, tal como proposto por Coughlan e Coughlan (2002).

5.2 Coleta e realimentação de dados

O método foi aplicado na análise da oportunidade de investimento no desenvolvimento e produção do conjunto de anéis S1GH, da Mahle, caracterizado como projeto de plataforma, com os dados apresentados pela Tabela 1.

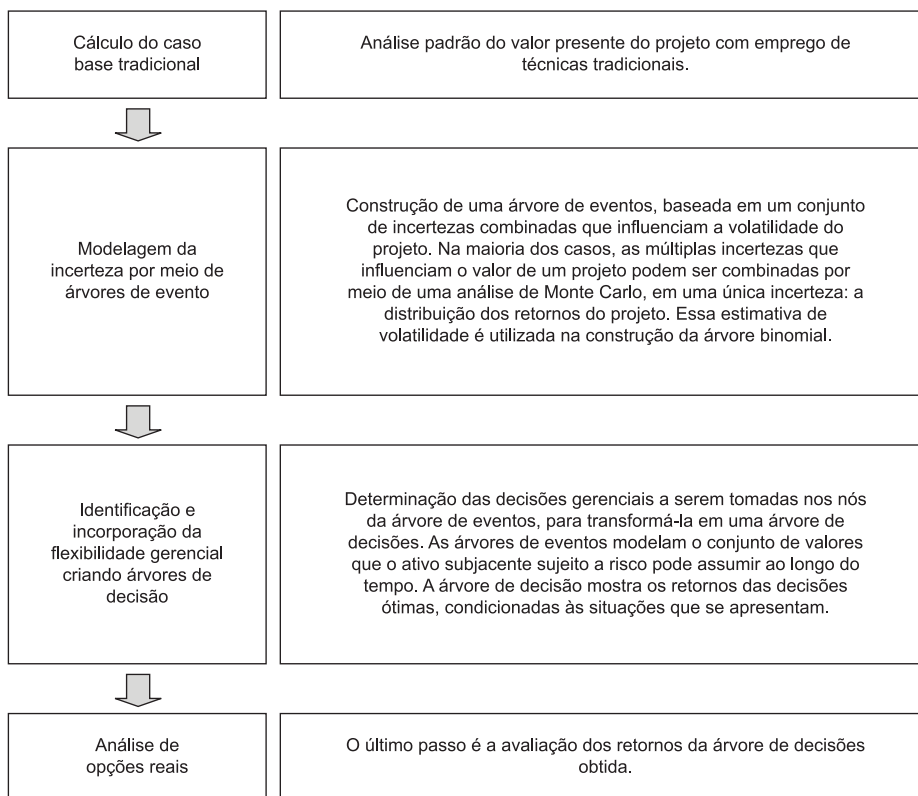


Figura 2. Passos do processo de avaliação das opções reais. Fonte: Adaptado de Miranda (2005).

Tabela 1. Dados do objeto de estudo analisado.

| Variáveis | Valores |
|--------------------------------------|---------|
| TMA (%) | 17 |
| Investimento total (€) | 255.000 |
| Investimento pré-desenvolvimento (€) | 5.000 |
| Investimento desenvolvimento (€) | 125.000 |
| Investimento produção (€) | 125.000 |
| Cotação \$/€ no ano 0 (X_0) | 0,7911 |
| Taxa de variação cambial anual (%) | -1,088 |
| Custos (% preço em \$) (%) | 81 |

| Ano | Quantidade | Preço unitário (€) |
|------|------------|--------------------|
| 2011 | 180.000 | 2,57 |
| 2012 | 900.000 | 2,45 |
| 2013 | 1.230.000 | 2,40 |

Nesse caso, a fase de pré-desenvolvimento do produto terá o custo imediato de 5.000€ para desenvolvimento de conceito, cotações e pré-testes de produto (simulações de produto), com a duração de um ano. Esse investimento será aprovado no Ponto de Decisão 0 (PD 0) do processo de desenvolvimento da Mahle (vide Figura 4). Ao final do primeiro ano, no Ponto de Decisão 1 (PD 1), a empresa tem a opção de investir 125.000€ para realizar a prototipagem do produto e testes adicionais. No ano seguinte, no

Ponto de Decisão 2 (PD 2), 125.000€ poderão ser empregados na fase de produção, com intuito de preparar a produção do produto.

Vale ressaltar que trata-se de uma abordagem do tipo *stage-gate*, cujo passo a passo é descrito no Quadro 3.

Como o desenvolvimento do produto envolve um investimento de múltiplos estágios, é possível tratá-lo como uma opção composta, como em Copeland e Antikarov (2002).

| | | |
|--|---|---|
| Clientes | | |
| Necessidade: desempenho, segurança, fácil manutenção. Desejo: produto de alto valor agregado, à preço justo, aliado a cooperação/parceira entre fornecedor e cliente. Demanda: 180.000 peças em 2011/ 900.000 peças em 2012 / 1.230.000 peças em 2013. | | |
| Cia | | |
| Produção: tecnologias de produção e qualidade bem desenvolvidas./Aproveitamento de benefícios resultantes da produção em série (curva de aprendizado). Marketing/vendas: posicionamento de empresa líder./Alto valor de marca./Instruções de vendas associadas ao PDP. Finanças: análise de viabilidade financeira por ROI e custo alvo./Ausência de análises por métodos tradicionais ou incorporando risco. Recursos humanos: equipe de trabalho qualificada e treinada./Alto nível de cooperação entre as áreas. | | |
| Cooperadores | | |
| Fornecedores: integrados ao PDP./Parceria resguardada por contratos de fornecimento que delimitam preços e demanda. | | |
| Contexto | | |
| Sócio-cultural: tendências de consumo de produtos que agridam menos o ambiente. Tecnologia: desenvolvimento de motores de baixa emissão e utilização de biocombustíveis. Econômico: incertezas associadas ao câmbio./Crise econômica mundial./Alta nas taxas de juros. Legal: legislação de certos países determinandos testes para auto-peças em desenvolvimento. | | |
| Posicionamento | | |
| Amplio: eficiência operacional. Específico: anéis de alto desempenho providos por uma empresa líder e parceira de seus clientes. Valor: mais valor por preço igual. | | |
| Produto | Praça | Preço |
| Variedade: 2 anéis e 1 anel back-up. Embalagem: interna e externa. Qualidade: garantida por certificação ISO 9001. | Canal: nível 10. Local: Itajubá Transporte: CIF - transporte pago. Entrega: na origem do pedido. | Técnica de precificação: mark-up. Estratégia de preço: mais por igual. |

Figura 3. Resumo do modelo de Dolan/Fowler aplicado à Mahle.

5.3 Análise dos dados

5.3.1 Análise tradicional do investimento

A Tabela 2 ilustra a aplicação do fluxo de caixa descontado tradicional para o projeto de investimento em análise. Nessa abordagem, o valor presente líquido de US\$213.789,21 indica que esse investimento viável foi resultante da soma do valor presente dos fluxos de caixa de produção equivalente a US\$478.337,66 e de investimento (US\$264.548,45). Esses parâmetros são utilizados no cálculo das opções reais.

5.3.2 Modelagem de incertezas e simulação de Monte Carlo

O modelo de tempo discreto para análise de opções reais proposto por Copeland e Antikarov (2002) é baseado na hipótese, conhecida como a negativa do Ativo Negociado (Marketed Asset Disclaimer – MAD), de que o valor presente do projeto sem opção é a melhor estimativa para o valor do mercado do projeto,

como se esse fosse um ativo negociável (BRANDÃO; DYER; HAHN, 2005a).

Outra suposição feita por esses autores é que a variação no valor do projeto no tempo, isso é, a variação no retorno do projeto, segue um caminho aleatório (*random walk*). Se o valor de um projeto sem pagamento de dividendos no tempo i for representado por V_i , o retorno do projeto $\ln(V_{i+1}/V_i)$ tem uma distribuição normal com média v e desvio padrão σ e esse modelo estocástico pode ser expresso por um processo com Movimento Aritmético Browniano (MAB) com caminho aleatório, representado na Equação 1 (BRANDÃO; DYER; HAHN, 2005b).

$$d \ln V = v dt + \sigma dz \quad (1)$$

onde:

$dz = \varepsilon \sqrt{dt}$ é o processo de Wiener padrão dado por $dz = \varepsilon dt$;

$\varepsilon \sim N(0, 1)$ tem distribuição de probabilidade normal padronizada (média zero, variância 1).

A suposição de que a distribuição do logaritmo do retorno do projeto em qualquer ponto é normal implica que a distribuição do valor do projeto em

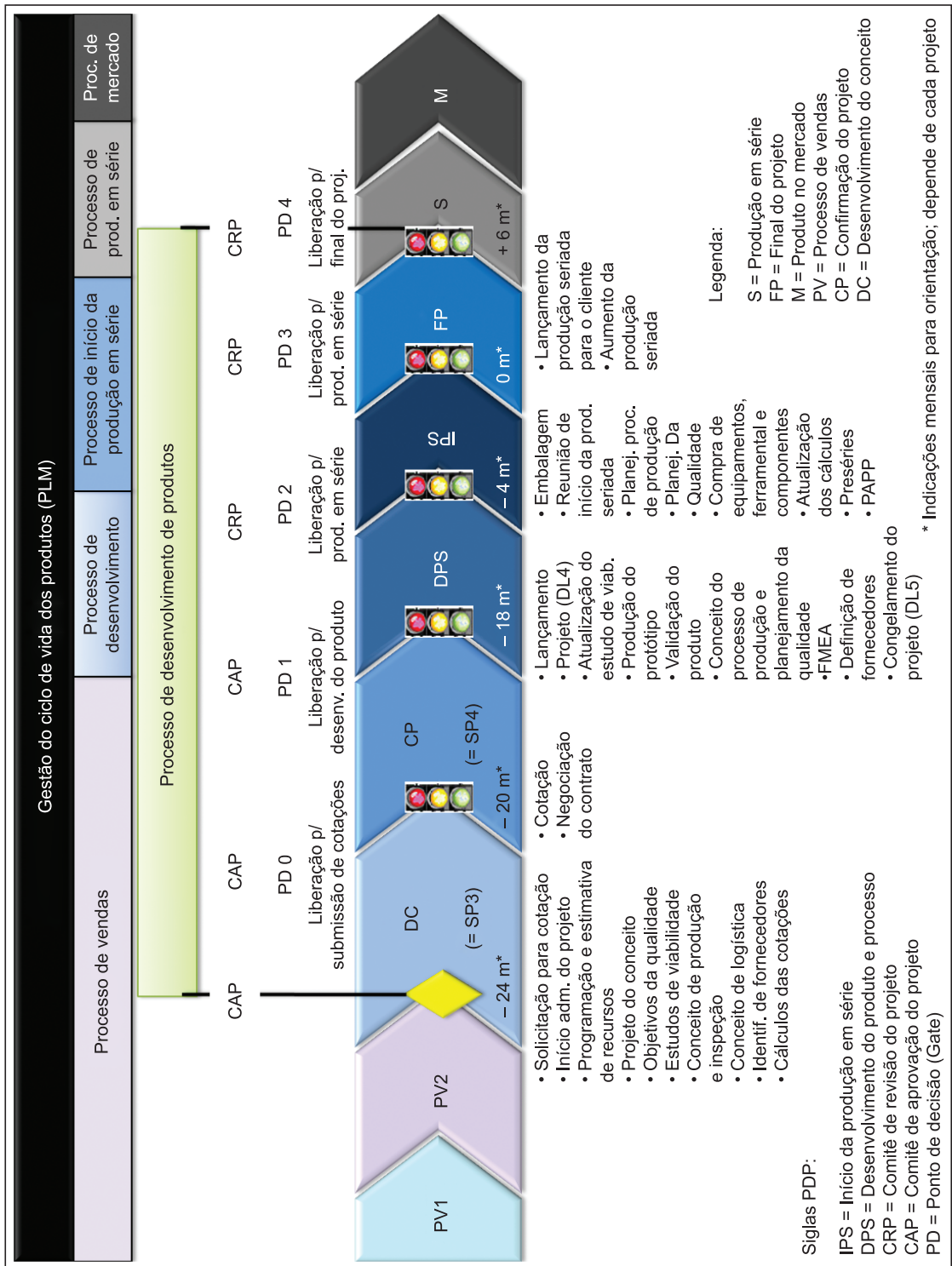


Figura 4. Processo de desenvolvimento de produto da Mahle.

qualquer ponto é log-normal, sendo definida pela média e o desvio padrão do retorno do projeto. Portanto, as alterações em V ao longo do tempo podem ser modeladas pelas Equações 2 e 3.

$$dV = \mu V dt + \sigma V dz \tag{2}$$

onde:

$$\mu = r + \frac{1}{2} \sigma^2 \tag{3}$$

A volatilidade do processo de desenvolvimento de produto em avaliação pode ser determinada

Quadro 3. Fases do PDP da Mahle.

| | |
|---------------------------------------|--|
| PV 1 | - Lista de requisitos dos clientes. |
| PV 2 | - Lista de requisitos da Mahle (função, processo e logística). - Protocolo para comitê de aprovação do projeto. - Ordem de <i>design</i> . |
| Conceito | - Desenvolvimento do conceito. - Submissão da cotação. - Estudo de viabilidade. - Matriz de custo do desenvolvimento. |
| Confirmação do projeto | - Envio de cotação/proposta para clientes. - Nomeação de fornecedores. - Liberação do DP. |
| Desenvolvimento do produto e processo | - Gerenciamento de tarefas do desenvolvimento: • Desenvolvimento de processo; • Prototipagem; • Planejamento logístico. - Controle do status do projeto. |
| <i>Start-up</i> da produção | - Preparação da produção em série. |
| Conclusão do projeto | - Consolidação dos processos de produção em série. |
| Produção em série | - Produção em série. |

Tabela 2. Fluxo de caixa tradicional (US\$).

| Ano | t | Preço unitário | Quantidade | Receita bruta | Custos | Fluxo antes I.R. |
|------|---|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| 2008 | 0 | | | 0 | 0 | -6.410 |
| 2009 | 1 | | | 0 | 0 | -162.020 |
| 2010 | 2 | | | 0 | 0 | -163.802 |
| 2011 | 3 | 3,40 | 180.000 | 612.336 | -495.021 | 117.315 |
| 2012 | 4 | 3,29 | 900.000 | 2.958.806 | -2.391.943 | 566.864 |
| 2013 | 5 | 3,25 | 1.230.000 | 3.993.851 | -3.228.688 | 765.163 |
| Ano | t | I.R. | FC depois I.R. | FC produção | FC investimento | |
| 2008 | 0 | 0 | -6.410 | 0 | -6.410 | |
| 2009 | 1 | 0 | -162.020 | 0 | -138.478 | |
| 2010 | 2 | 0 | -163.802 | 0 | -119.660 | |
| 2011 | 3 | (39.325) | 77.428 | 48.344 | 0 | |
| 2012 | 4 | (190.020) | 374.130 | 199.655 | 0 | |
| 2013 | 5 | (256.492) | 505.008 | 230.340 | 0 | |
| | | VP | 213.789,21 | 478.337,66 | (264.548,45) | |

numa simulação de Monte Carlo do fluxo de caixa analisado. Uma das variáveis estocásticas escolhidas foi a cotação dólar-euro, cuja evolução mensal no período de janeiro de 2004 a dezembro de 2008 é exibida no primeiro gráfico da Figura 5. O histórico mensal das cotações do dólar americano frente ao euro referentes ao primeiro dia do mês foi fornecido pelo Banco Central do Brasil. O segundo gráfico mostra trajetórias do Movimento Geométrico Browniano (MGB) projetado a partir de 2008, data de início da execução do projeto, assim como a evolução real das cotações até dezembro de 2010. A linha tracejada é a tendência determinística projetada.

A escolha da cotação dólar/euro como variável aleatória ocorreu em função de toda a estrutura de preços da multinacional ser calculada em dólar. Ademais, os custos mais significativos do produto em análise são relacionados às *commodities*. Já a proposta de cotação do conjunto de anéis em análise foi negociada em euro devido à nacionalidade do cliente. Os requisitos dessa negociação fazem das incertezas relacionadas ao câmbio um fator definitivo para a viabilidade do projeto, considerando que a margem aplicada ao custo do produto é modesta, fazendo com que variações cambiais causem um impacto significativo na rentabilidade do projeto.

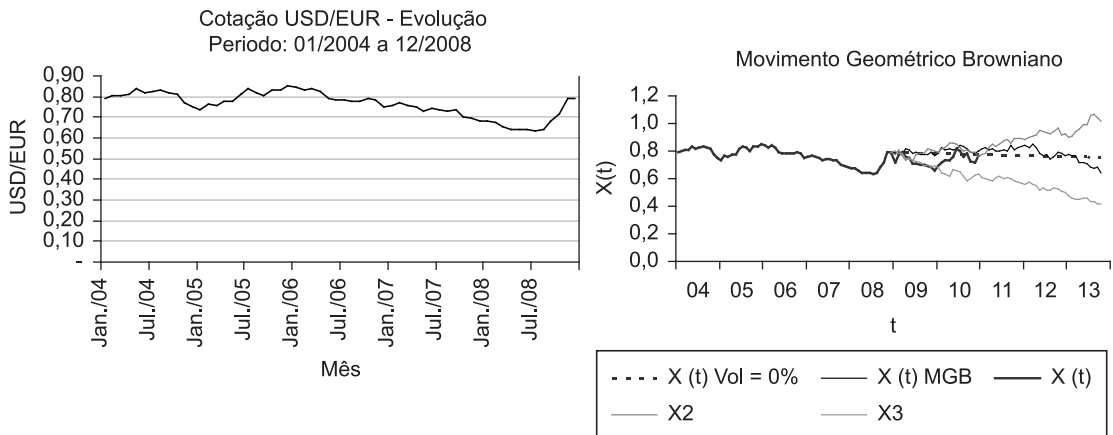


Figura 5. Evolução mensal do valor do dólar frente ao euro (jan./2004-dez./2008). Fonte: Portal Brasil (2009).

A variável aleatória X_t foi representada por um movimento geométrico browniano (Equação 4):

$$dx = \alpha \cdot x \cdot dt + \sigma \cdot x \cdot dz \tag{4}$$

onde α é a tendência ou *drift*, σ é a volatilidade e dz é o incremento de Wiener.

Em tempo discreto o MGB é dado pela Equação 5.

$$\ln(X_t) = a + \ln(X_{t-1}) + \varepsilon_t \tag{5}$$

Como a série é mensal, o desvio padrão anual é dado pela Equação 6.

$$\sigma = \sqrt{12} \cdot \text{DesvioPadrão}[\ln(X_t / X_{t-1})] \tag{6}$$

De acordo com Dias (2005), a taxa *drift* anual α é dada pela Equação 7.

$$\alpha = 12 \cdot \text{Média}[\ln(X_t / X_{t-1})] + 0,5 \frac{\sigma^2}{12} \tag{7}$$

A Tabela 3 mostra os parâmetros do MGB que representam a cotação dólar-euro. Eles são usados na Simulação de Monte Carlo.

Segundo Bastian, Brandão e Hahn (2006), embora o processo estocástico do Movimento Geométrico Browniano (MGB) seja frequentemente utilizado na avaliação de opções reais, o comportamento de variáveis estocásticas como taxas de câmbio e *commodities* é melhor modelado por movimentos de reversão à média (MRM), nos quais a variável tende a um valor de equilíbrio do mercado tipicamente assumido como preço médio de longo prazo. Essa reversão para um nível de valor fixo é demasiadamente previsível e pode se tornar uma opção de modelagem pior do que o MGB em momentos de grande oscilação como a crise de 2008.

Em contrapartida, o MGB pode induzir a um adiamento demasiado do investimento por negligenciar fenômenos de reversão à média. Dias (2005) discorre longamente sobre a modelagem do preço do petróleo e, juntamente com Bastian-Pinto e Brandão (2007), observa que seria mais realista combinar um processo

Tabela 3. Parâmetros da modelagem estocástica da cotação dólar-euro.

| | |
|--------------------------------------|--------|
| Taxa <i>drift</i> anual (α) | -1,06% |
| Volatilidade (σ) | 9,39% |

de MRM com um MGB para o nível de equilíbrio, ou então adicionar um processo de saltos.

No método binomial para avaliação de opções em tempo discreto desenvolvido por Cox, Ross e Rubinstein (1979), apoiados por sugestões de William Sharpe, o valor presente do projeto segue um MGB (NORONHA, 2009). Entretanto, adequar uma árvore binomial discreta a processos de reversão à média não é uma implementação trivial (BASTIAN; BRANDÃO; HAHN, 2008).

Adicionalmente, não é fácil rejeitar a modelagem por MGB, especialmente para séries curtas de preços. A Tabela 4 mostra o resultado dos testes de hipótese de raiz unitária de Dickey-Fuller (DFA) modificados que foram aplicados à série histórica X_t da cotação dólar-euro e em nenhum deles a hipótese de raiz unitária foi rejeitada. Todas as estatísticas de testes são significativas ao nível de 1%. Entretanto, os testes Dickey-Fuller têm baixa potência, tendendo a aceitar a hipótese de raiz unitária quando ela é falsa. Ou seja, a raiz unitária é encontrada mesmo quando a série temporal não a possui.

Para determinação da volatilidade do projeto foi utilizada a abordagem proposta por Brandão, Dyer e Hahn (2005a), na qual apenas o fluxo de caixa do primeiro ano do projeto é estocástico e na qual a especificação dos fluxos de caixa dos períodos subsequentes é considerada expectativa condicional. Esse método conduz a resultados de volatilidade mais conservadores do que no método proposto por Copeland e Antikarov (2002), onde todos os fluxos de caixa são estocásticos.

Segundo Brandão, Dyer e Hahn (2005b), ao capturar apenas a variabilidade no valor presente

Tabela 4. Aplicação de testes de hipótese de raiz unitária à série histórica de cotações USD/EUR.**Testes de Hipóteses de Raiz Unitária**

Software: Eviews

| | | Augmented Dickey-Fuller Test | | |
|-------------|---------------|------------------------------|-----------|-----------|
| | Significância | I | II | III |
| Valores | 1% | -2,606911 | -3,552666 | -4,130526 |
| críticos | 5% | -1,946764 | -2,914517 | -3,492149 |
| | 10% | -1,613062 | -2,595033 | -3,174802 |
| t-Statistic | τ | -0,35717 | -0,707709 | -1,64384 |
| Prob.* | p-value | 0,5517 | 0,8361 | 0,7626 |

H0 = Hipótese nula = Série tem uma raiz unitária que evolui como um:
 I - Passeio aleatório (*random walk*)
 II - Passeio aleatório com deslocamento
 III - Passeio aleatório com deslocamento em torno de tendência determinística (MGB)

Rejeitar a hipótese nula ($\tau <$ valor crítico) indica que a série é estacionária. *Mackinnon (1996) *one-side p-values*.

do período 1, que é devido a incerteza resolvida até esse ponto, é obtida uma melhor estimativa para a volatilidade do valor do projeto. Essa proposta para o cálculo da volatilidade é formalizada na Equação 8 e será implementada através das Equações 9 a 11.

$$\gamma = \ln \left(\frac{FC_1 + VP_1(E_1(FC_2, \dots, E_1(FC_n) / FC_1))}{VP_0} \right) \quad (8)$$

O processo estocástico para o fluxo de caixa no período 1 é inserido através da cotação dólar-euro, que no ano 1 é representada pela Equação 9.

$$X_1 = X_0 \cdot e^{NORMAL(\alpha, \sigma)} \quad (9)$$

Os fluxos de caixa dos demais períodos são calculados como valores esperados condicionais sobre os resultados do fluxo de caixa no período 1. Nos anos 2 a 5 do projeto, a cotação dólar-euro é calculada pela Equação 11.

$$X_{t+1} = X_t \cdot e^{\alpha_D} \quad \text{onde } \alpha_D = 12 \cdot \text{Média}[\ln(X_t / X_{t-1})] \quad (10)$$

A volatilidade do projeto é o desvio padrão do retorno do projeto:

$$z = \frac{VP_0 + FC_1}{VP_1} \quad \text{onde: } VP_0 = \sum_{i=1}^T \frac{FC_i}{(1+r)^i} \quad \text{e } VP_1 = \sum_{i=2}^T \frac{FC_i}{(1+r)^{i-1}} \quad (11)$$

A simulação de Monte Carlo foi processada pelo programa Crystal Ball®. Para processar NORMAL(α, σ), o valor de α foi inserido numa célula da planilha, que foi definida como Assumption no Crystal Ball® e segue uma distribuição normal, com média α e desvio padrão σ . A célula com o valor de z foi definida como Forecast.

Na simulação são calculados numerosos cenários do modelo, sorteando-se valores da distribuição de probabilidade das variáveis aleatórias consideradas. A distribuição de probabilidades dos valores esperados do retorno do projeto (z) é obtida mantendo-se VP_0

constante e deixando-se VP_1 e FC_1 variarem de acordo com as incertezas consideradas no problema.

Com 10 mil iterações na Simulação de Monte Carlo (vide Figura 6) obteve-se um desvio padrão de 9,40% para o retorno do projeto, que corresponde à volatilidade do projeto.

5.4 Planejamento das ações: árvore de eventos

Cox, Ross e Rubinstein (1979) derivaram uma fórmula de precificação de opções baseada na abordagem binomial, assumindo que a partir de um determinado ponto no tempo o preço do ativo objeto varia de forma discreta com saltos para cima (*up*) e para baixo (*down*). Se considerarmos todo o período de análise, teremos uma árvore de eventos.

As fórmulas do modelo binomial são dadas pelas Equações 12 a 15.

$$\Delta t = \frac{y}{N} \quad (12)$$

$$u = e^{\sigma \sqrt{\Delta t}} \quad (13)$$

$$d = e^{-\sigma \sqrt{\Delta t}} = 1/u \quad (14)$$

$$p = \frac{(e^{(rf-b)\Delta t} - d)}{(u-d)} \quad (15)$$

onde:

- y = prazo de expiração da opção em anos;
- N = quantidade de estágios da árvore;
- rf = taxa livre de risco anual (capitalização contínua);
- e = algarismo neperiano = 2,71828... ;
- σ = volatilidade anual do preço do ativo-objeto;
- b = taxa de dividendos;
- p = probabilidade do movimento ascendente;
- u = taxa de crescimento do movimento ascendente;

d = taxa de crescimento do movimento descendente.

A árvore de eventos de quatro estágios, mostrada na Figura 8, contempla uma análise semestral da evolução do valor presente dos fluxos de produção do projeto e envolve os parâmetros da Figura 7.

Essa árvore foi construída com um procedimento muito simples e prático. Inicialmente, o valor presente de produção do produto (V_0) obtido na avaliação tradicional do caso base foi introduzido no *step 0*. Os demais elementos da primeira linha são calculados

multiplicando-se o elemento anterior por u . Cada elemento restante é obtido multiplicando-se o elemento da coluna anterior e linha anterior por d .

5.5 Implementação da opção e árvore de decisão

Seguindo com a metodologia utilizada em Noronha (2006), para cada opção a ser analisada é construída uma árvore de avaliação da opção. A abordagem

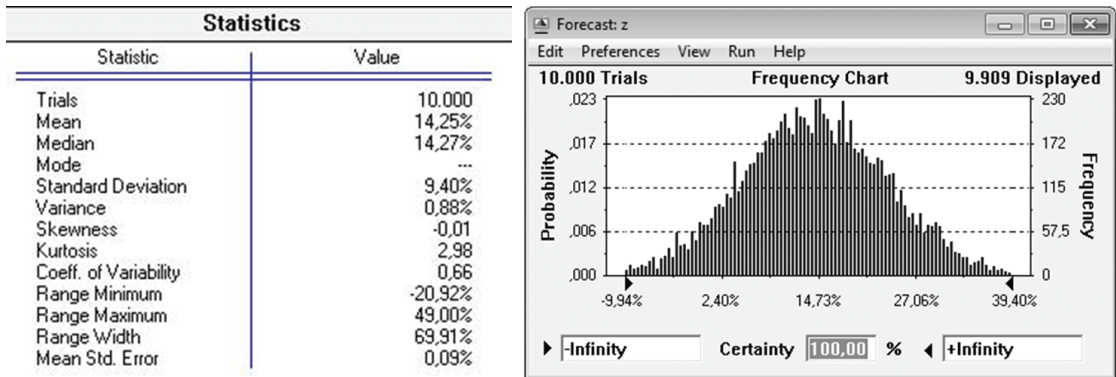


Figura 6. Análise de Monte Carlo (Crystal Ball®).

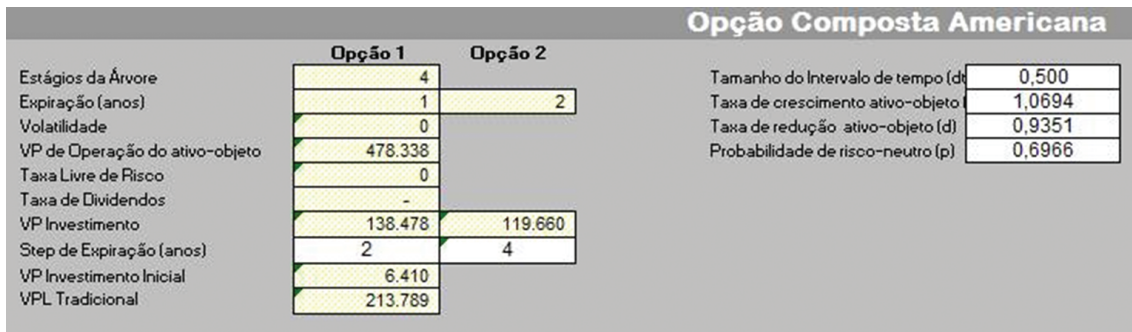


Figura 7. Parâmetros para árvore de eventos.

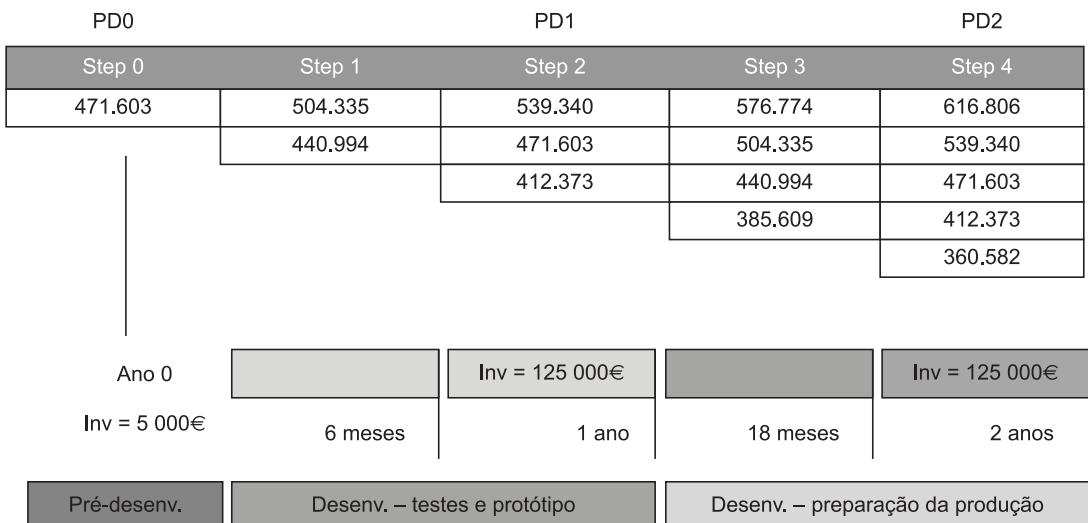


Figura 8. Árvore binomial de eventos do valor presente de produção do projeto.

utilizada é uma retroanálise, ou seja, a análise começa pela última opção: o direito de investir na produção do produto.

A opção de investimento em uma fase do projeto pode ser interpretada como uma opção de compra americana cujo preço de exercício X é equivalente ao investimento de US\$119.660,00 a ser feito no ano 2 (125.000€ convertidos em dólares). Uma opção americana pode ser exercida a qualquer momento dentro do seu período de validade, inclusive até a sua data de expiração.

A avaliação da condição inicial de uma opção também é executada por retropropagação, ou seja, procedendo-se de trás para a frente chega-se ao instante zero, obtendo-se o VPL do projeto considerando a opção. Assim, para cada célula da última coluna da árvore, o retorno da opção é avaliado pela Equação 16.

$$VPL_f = \text{Max}[V - X; 0] = \text{Max}[V - \$119.660; 0] \quad (16)$$

onde:

VPL_f = VPL do projeto considerando a flexibilidade gerencial, ou seja, a opção Real;

V = VP do projeto na árvore de eventos;

X = preço de exercício da opção, ou seja, o valor do investimento dessa etapa.

Assim, quando o valor presente do projeto no nó correspondente da árvore de eventos for maior que o valor investido, a opção deve ser exercida e seu retorno é $V - X$. Caso contrário, a opção não deve ser exercida e seu retorno é zero.

Cada célula do passo (*step*) anterior na árvore é avaliada pela equação de Bellman (Equação 17).

$$VPL_f = \text{Max}[V - X; \text{Valor de continuação}] \quad (17)$$

O valor de continuação do projeto (Equação 18) é calculado atualizando-se pela taxa livre de risco os valores *up* e *down* VP_u e VP_d calculados na coluna anterior dessa árvore, apresentada na Figura 9.

$$\text{Valor de continuação} = [p \cdot VP_u + (1 - p) \cdot VP_d] e^{-rf} \quad (18)$$

A árvore de avaliação da opção de investimento na produção do produto é utilizada como entrada para uma nova árvore, onde será avaliada a opção de investir-se \$138.478,00 para implementar o desenvolvimento do produto. Como essa opção vence no primeiro ano, os valores da árvore para os *steps* 3 a 4 permanecem inalterados e no *step* 1, a opção é avaliada pela Equação 19.

$$VPL_f = \text{Max}[V - X; 0] = \text{Max}[V - \$138.478, 0] \quad (19)$$

Procedendo-se à avaliação da primeira célula do *step* 2, a opção vale $\text{Max}[433.956 - 138.478; 0] = \$295.478,00$. Ou seja, a opção só tem valor se o valor presente da árvore anterior for maior que \$138.478,00. E isso ocorre em todas as células do *step* 2, como se pode observar na Figura 10.

No *step* zero, o valor do projeto com flexibilidade calculado pela Equação 18 é \$240.593,49. Subtraindo o valor de \$6.410,00, referente ao custo de pré-desenvolvimento do produto, encontra-se um valor presente líquido do projeto com flexibilidade igual a \$234.183,23 e, portanto, o investimento é viável. Esse valor também é denominado VPL Expandido e se apresenta superior ao VPL de \$213.789,21 calculado sem flexibilidade, utilizando-se o método tradicional do fluxo de caixa descontado, demonstrando o valor que pode ser agregado pelas opções reais.

A Equação 20 determina o valor das opções reais embutidas no projeto, subtraindo do VPL Expandido, o valor do VPL tradicional.

$$V_{OR} = VPL_f - VPL \quad (20)$$

Portanto, o valor das opções reais embutidas no projeto é \$20.394,02.

A árvore de decisões exibida na Figura 11 mostra as estratégias ótimas a serem aplicadas ao investimento

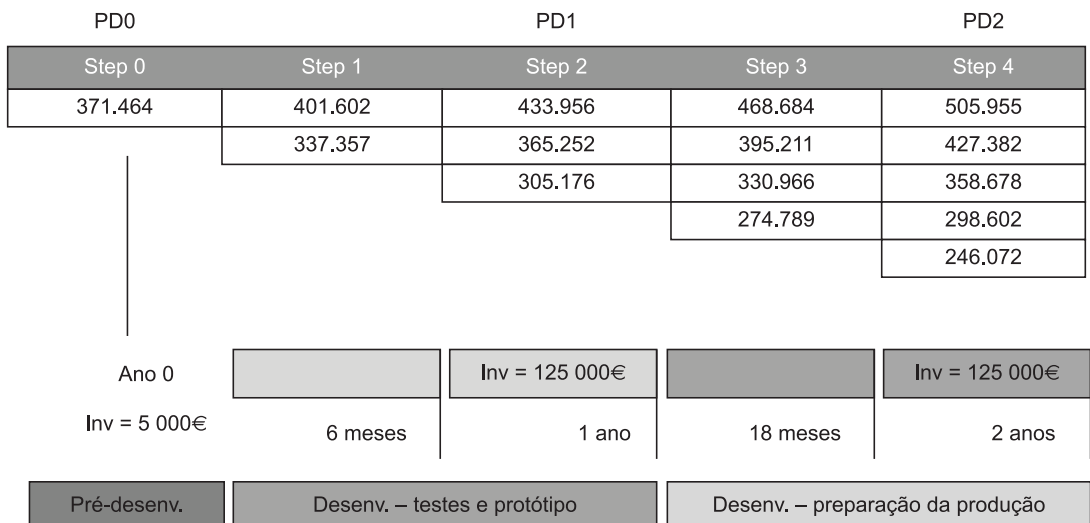


Figura 9. Árvore de avaliação da opção de investimento na produção do produto.

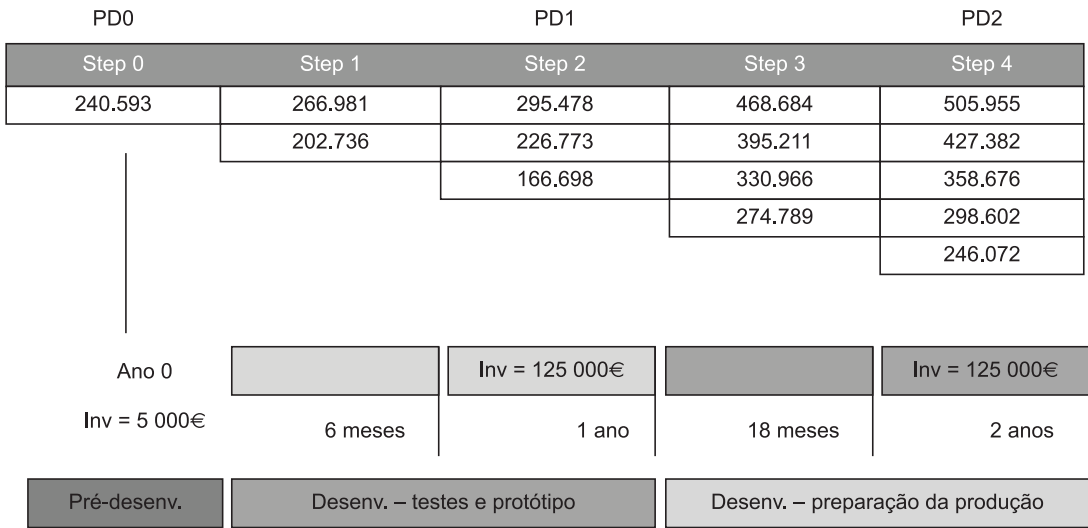


Figura 10. Árvore de avaliação da opção de investimento no desenvolvimento do produto.

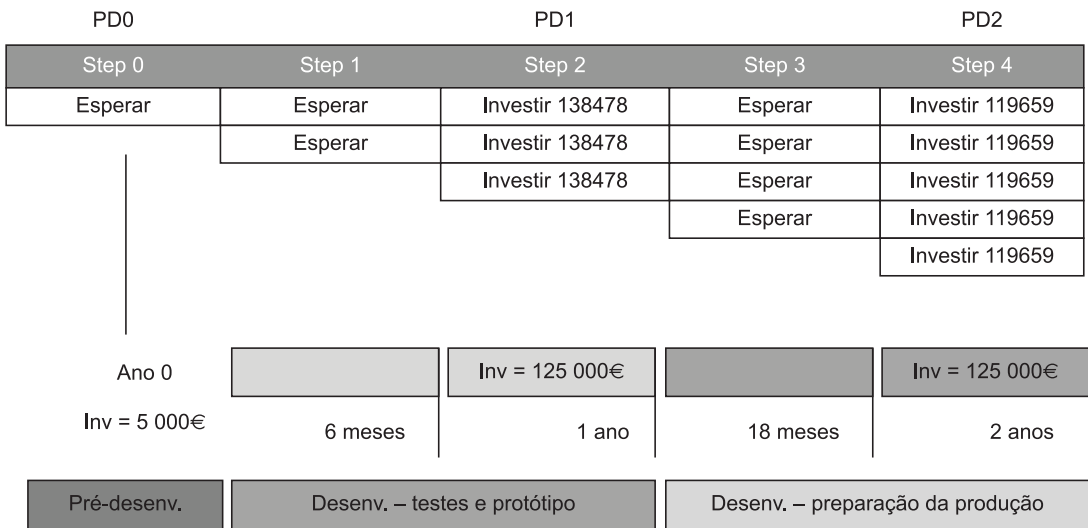


Figura 11. Árvore de decisão.

projetado, de acordo com seus diversos estados no tempo. Essas estratégias também são determinadas por retropropagação e por isso devem ser analisadas do *step* 4 para o *step* zero.

5.6 Avaliação

De acordo com processo de análise de opções reais, o valor do projeto, considerando a incerteza na projeção das cotações dólar-euro futuras e a flexibilidade de investir nele como uma opção composta a ser exercida no momento ótimo, é \$234.183,23. Ressalta-se que o investimento em todos os pontos de decisão é incentivado.

Embora as incertezas apontadas pela gerência fossem relacionadas tanto à previsão de demanda quanto ao câmbio, a equipe de pesquisa decidiu trabalhar somente com o câmbio. Não somente por

ele caracterizar-se como uma força macroambiental externa e, portanto, independente dos esforços da empresa, como pelo fato de não haver dados históricos para a modelagem da incerteza de demanda capazes de prover distribuições de retorno válidas para o projeto.

De maneira similar ao trabalho de Santiago e Bifano (2005), a equipe do projeto definiu as incertezas predominantes no processo de desenvolvimento. Entretanto, assim como sugerido no trabalho desses autores, essa decisão poderia ser aperfeiçoada por um modelo de análise de sensibilidade.

De maneira geral, as expectativas da equipe de pesquisa a respeito da TOR aplicada ao PDP giram em torno da possibilidade de apoiar decisões e estratégias, especialmente em tempos de crise econômica. Nesse sentido, a sistemática proposta pode apoiar os modelos de precificação já adotados pela empresa, levando ao

questionamento ou validação das margens adotadas sobre os custos dos produtos.

A capacidade de explicitar estratégias e valorar opções a cada ponto de decisão foi citada como a principal vantagem da aplicação. Como desvantagem tem-se a maior complexidade da sistemática. Como resultado dessas constatações, a equipe de pesquisa concluiu que a TOR deve ser aplicada somente a projetos estratégicos da empresa ou a projetos com VPL próximo de zero.

Como principal aprendizado foi apontado o fato de as opções criarem valor para o projeto. Por fim, a pesquisa-ação foi aprovada enquanto método de pesquisa, consolidando o conhecimento e incorporando mudanças através dos seus quatro ciclos.

6 Conclusão

O processo de desenvolvimento de produtos é uma área de pesquisa intensiva na qual acadêmicos, pesquisadores e participantes sugerem continuamente progressos e refinamentos. A próxima geração de modelos segue essa tendência, prometendo ser diferente em quatro direções: fluidez, complexidade dos pontos de decisão (*gates*), foco e flexibilidade.

Seguindo essa tendência, a proposta deste trabalho foi apresentar um processo de desenvolvimento de produtos no qual integrou-se à análise de viabilidade econômico-financeira abordagem de opções reais capaz de lidar com a complexidade e a flexibilidade, ao incorporar as incertezas e valorar as opções do tomador de decisão na indústria de autopeças.

Ao longo do trabalho foram apresentados inúmeros argumentos que contribuem para a aplicabilidade das opções reais ao processo de desenvolvimento de produto, dentre eles, a possibilidade de criar árvores de decisão cujos marcos representem os pontos de decisão propostos pelo modelo de desenvolvimento. Esse tipo de aplicação permite não só uma visão do investimento ao longo do tempo como também possibilita a revisão da análise de investimento a cada período.

No que tange aos objetivos do trabalho, considera-se que foram atingidos. Conclui-se que a incorporação da teoria de opções ao desenvolvimento de um conjunto de anéis de pistão da Mahle levantou o real valor do investimento, como havia sido proposto pela pesquisa, apresentando uma nova dinâmica para a tomada de decisão e negociação com o cliente. Nesse modelo é possível visualizarem-se os pontos de decisão e flexibilizarem-se essas decisões ao longo do PDP da empresa.

Nesse sentido, os resultados obtidos podem orientar o processo de precificação dos produtos desenvolvidos, conforme incertezas de câmbio e demanda analisadas a partir de avaliação dos 5Cs, especificamente clientes e contexto, dentro do processo de *marketing* proposto por Dolan (2000) e Fowler (2002).

Por fim, a presente pesquisa tem como recomendações para trabalhos futuros: a seleção de portfólio de desenvolvimento de produtos utilizando opções reais, a avaliação da volatilidade da demanda por cliente, além da avaliação de pontos de gatilho indicando o momento ótimo (*timing*) para a execução de cada etapa de investimento e da troca de produção de uma planta para a outra, dentro de uma perspectiva de análise do ciclo de vida do produto.

Referências

- ANDERSON, J. C.; NARUS, J. A. **Business Market Management**: understand, creating, and delivering value. New Jersey: Prentice Hall, 2004.
- BASTIAN, C.; BRANDÃO, L.; HAHN, W. J. **Modelling Switching Options using Mean Reverting Commodity Price Models**. Rio de Janeiro: PUC, 2006. Working paper. Disponível em: <<http://www.iag.puc-rio.br/~brandao/Pesquisa/Modeling%20Switch%20Options%20with%20Mean%20Reverting%20Prices%20-%2005-23-07.pdf>>.
- BASTIAN, C.; BRANDÃO, L.; HAHN, W. J. Discrete Time Modeling of Mean-Reverting Stochastic process for Real Option Valuation. **European Journal of Operations Research**, v. 184, n. 2, p. 534-548, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2006.11.015>
- BASTIAN-PINTO, C.; BRANDÃO, L. Modelando Opções de Conversão com Movimento de Reversão à Média. **Revista Brasileira de Finanças**, v. 5, p. 10-40, 2007.
- BRANDÃO, L. E.; DYER, J. S.; HAHN, W. J. Response to Comments on Brandao et al. **Decision Analysis**, v. 2, n. 2, p. 103-105, 2005a. <http://dx.doi.org/10.1287/deca.1050.0042>
- 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, 2005b. <http://dx.doi.org/10.1287/deca.1050.0040>
- CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. **Product development performance**: Strategy, organization and management in the world auto industry. Boston: Harvard Business School Press, 1991.
- COOPER, R. G.; EDGETT, S. J.; KLEINSCHMIDT, E. J. Optimizing the Stage-Gate Process: What Best Practice Companies are Doing. **Research Technology Management**, v. 45, n. 5, p. 43-49, 2002.
- COPELAND, T. E.; ANTIKAROV, V. **Opções Reais**: Um Novo Paradigma para Reinventar a Avaliação de Investimentos. Rio de Janeiro: Campus, 2002.
- COPELAND, T. E.; TUFANO, P. A real world way to manage real options. **Harvard Business Review**, 2004.
- COUGHLAN, P.; COUGHLAN, D. Action research for operations management. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 22, n. 2, p. 220-240, 2002. <http://dx.doi.org/10.1108/01443570210417515>
- COX, J.; ROSS, S.; RUBINSTEIN, M. Option Pricing: a Simplified Approach. **Journal of Financial Economics**, v. 7, p. 229-263, 1979. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-405X\(79\)90015-1](http://dx.doi.org/10.1016/0304-405X(79)90015-1)
- DIAS, M. A. G. **Opções Reais Híbridas com Aplicação em Petróleo**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia

- Industrial – Finanças e Análise de Investimentos)- Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2005.
- DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. **Investment under Uncertainty**. Princeton: University Press, 1994.
- DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. The Options Approach to Capital Investment. **Harvard Business Review**, v. 73, n. 1, p. 105-115, 1995.
- DOLAN, R. J. Note on Marketing Strategy. **Harvard Business School Publishing**, 2000.
- ETTLIE, J. E.; ELSENBACH, J. M. Modified Stage-Gates Regimes in New Product Development. **Product Innovation Management**, v. 33, p. 24-20, 2007.
- FOWLER, F. R. **Marketing estratégico e estratégia competitiva: um modelo integrado de análise e sua aplicação em um caso**. São Paulo: Universidade de São Paulo – FEAC, 2002.
- GUMMESSON, E. **Qualitative Methods in Management Research**. 2nd ed. Washington: Sage Pub, 2000.
- KOTLER, P.; KELLER, K. L. **Administração de Marketing**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.
- MIRANDA, J. F. **Metodologia de análise de investimentos em distribuição utilizando opções reais no novo ambiente do Setor Elétrico Brasileiro**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)-Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2005.
- MUN, J. **Real Options Analysis: Tools and Techniques for Valuing Strategic Investments and Decisions**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2002.
- MUNIZ, E.; BRITO, E. P. Z. O desenvolvimento de produtos a partir de novas tecnologias. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO, 23., 1999, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 1999.
- NORONHA, J. C. C. Análise de Investimentos em Geração Hidráulica utilizando a Teoria das Opções Reais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO – CBPE, 5., 2006, Brasília. **Anais...** Brasília, 2006.
- NORONHA, J. C. et al. Aplicação da teoria de opções reais a desenvolvimento de produtos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 6., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2007.
- NORONHA, J. C. **Opções reais aplicadas à gestão do processo de desenvolvimento de produto em uma indústria de autopeças**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)-Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.
- PORTAL BRASIL. **Euro x Dólar - cotação (€\$ euro - venda x US\$ dólar - venda)**. Disponível em: <http://www.portalbrasil.net/indices_euro_dolar.htm>. Acesso em: 05 maio 2009.
- ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de Produtos: uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- RUY, M.; ALLIPRANDINI, D. H. Aprendizagem Organizacional no Processo de Desenvolvimento de Produtos - Uma Revisão da Bibliografia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO – CBGDP, 2., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 2000. p. 30-31.
- SANTIAGO, L.; BIFANO, T. 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, May 2005.
- SILVA, M. M.; ALLIPRANDINI, D. H. Relação entre o processo de stage-gates e aprendizagem organizacional no PDP: um estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEPE, 21., 2001, Salvador. **Anais...** Salvador, 2001.
- THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 14. ed. São Paulo: Cortez, 2005.
- TONI, D.; SCHULER, M. A gestão de novos produtos: um estudo de caso na indústria plástica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS – CBGDP, 4., 2003, Gramado. **Anais...** Gramado, 2003.
- TRIGEORGIS, L. **Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation**. Cambridge: MIT Press, 1996.
- TRIGEORGIS, L. Making use of real options simple: an overview and applications in flexible/modular decision making. **The Engineering Economist**, v. 50, p. 25-53, 2005. <http://dx.doi.org/10.1080/00137910590917026>
- WRIGHT, P. L.; KROLL, M. J.; PARNELL, J. **Administração estratégica: conceitos**. São Paulo: Atlas, 2000.