

## 6. Casos Ilustrativos

Com a finalidade única e exclusiva de ilustrar a discussão sobre o dilema na escolha pela abordagem a ser adotada na avaliação, neste capítulo são apresentados três casos retirados de dissertações defendidas no Departamento de Engenharia Industrial da PUC-RIO.

A análise é precedida da apresentação de cada caso, onde são expostos as motivações dos estudos empíricos e a modelagem. Isto se dá de forma sucinta, posto que é um recorte de um trabalho de dissertação, entretanto não há prejuízo das informações que são relevantes a análise aqui pretendida.

Ressalta-se que de modo algum esta ilustração tem o objetivo de invalidar estes trabalhos de dissertação, posto que são trabalhos refletem as abordagens consagradas pela literatura de opções reais.

### **6.1 Caso I - Avaliação de uma Floresta de Eucaliptos na Presença de um Mercado de Certificados para Reduções de Emissões de Carbono: Uma Abordagem por Opções Reais**

A existência de um mercado de certificados para reduções de emissões de carbono cria uma nova variável a ser considerada na avaliação econômica de empreendimentos florestais, pois a espera num empreendimento florestal passa a ser premiada não só pelo crescimento das árvores como também pelo seqüestro do gás carbônico. Este passou a significar uma fonte adicional de receita, influenciando as decisões gerenciais tomadas pelo administrador florestal.

De posse deste novo mercado, a Baran (2005) apresenta um modelo de avaliação de florestas de eucalipto, onde duas podem ser as fontes de receita: a madeira quando cortada, e o seqüestro de carbono, quando da espera pela maturidade da floresta para o corte. Levando isto em conta, o trabalho estuda como se dá essa influência sobre o melhor momento de se efetuar o corte das árvores.

### 6.1.1 O modelo de avaliação de uma floresta de eucaliptos

O modelo de avaliação de uma floresta de eucaliptos considera conhecida a função de crescimento das árvores. O preço pelo qual pode ser vendida a madeira varia estocasticamente, o certificado correspondendo a uma tonelada de CO<sub>2</sub> removido tem um mercado próprio onde é negociado e seu preço é considerado constante e exógeno. Todos os outros parâmetros envolvidos são constantes e conhecidos. Diante do preço de mercado incerto o administrador pode tomar três decisões: derrubar a floresta, esperar ou abandonar o negócio. Posto isto, identificam-se algumas importantes características que justificam o uso da Teoria das Opções Reais na avaliação:

- As decisões são parcialmente irreversíveis, pois uma vez derrubada, uma floresta levará alguns anos para se regenerar e atingir a maturidade (no caso do eucalipto pode levar 7 ou 14 anos, dependendo do uso a ser feito da madeira).
- Há incerteza quanto à receita do empreendimento, uma vez que o preço da madeira é estocástico.
- O problema de exploração florestal é um problema dinâmico, pois está relacionado com as idades ótimas de corte ao longo do tempo.

O método de avaliação utilizado é a programação dinâmica, escolhido convenientemente para que o critério de maximização do fluxo de caixa imponha a regra de decisão que aponte o maior valor dentre os seguintes: o valor alcançado pelo corte imediato das árvores e o valor esperado do valor de aguardar mais um período. Essa relação foi expressa através da seguinte equação:

$$V(P_t, Y_{t,j}, Z) = \text{Max} \{P_t Y_{t,j} + (1-\lambda)(Z/r)Q_{t,j} + V(P_t, Y_{t,0}, Z); [E(V(P_{t+1}, Y_{t+1,j+1}, Z)) - C + ZQ_{t,j}]/(1+r)\}$$

Onde  $P_t$  é o preço da madeira no instante  $t$ ;  $Y_{t,j}$  é o volume de madeira no instante  $t$  para uma floresta com idade  $j$ ;  $Z$  é o valor de mercado de um CER;  $Q_{t,j}$  é a quantidade de CO<sub>2</sub> armazenada no instante  $t$  para uma floresta de idade  $j$ ;  $C$  representa os custos necessários para a gestão da floresta durante o período de espera e  $r$  é a taxa de desconto .

O valor total da floresta caso haja corte imediato das árvores é dado pela soma de três termos:  $P_t Y_{t,j}$ , que representa a receita obtida com a venda da madeira no instante  $t$  da floresta com idade  $j$ ; o termo  $V(P_t, Y_{t,0}, Z)$ , que representa o valor do terreno de uma floresta de idade  $j=0$  (antes do plantio das mudas) no instante  $t$  e o termo  $(1-\lambda)(Z/r)Q_{t,j}$  que representa o estoque de benefício ecológico líquido dado que uma fração  $\lambda$  do  $\text{CO}_2$  seqüestrado retorna à atmosfera. Este valor total é comparado com aquele que é esperado caso se opte por aguardar mais um período. Esse valor, por sua vez, é dado pela soma do valor da floresta no instante seguinte  $V(P_{t+1} Y_{t+1,j+1}, Z)$  com o fluxo do benefício ecológico obtido durante a espera  $ZQ_{t,j}$  subtraído o custo de gestão  $C$  incorrido durante a espera.

A condição de primeira ordem para o valor ótimo da idade de corte  $A$  que maximiza o valor do empreendimento definirá a região de indiferença, ou seja, quando o benefício obtido por manter a floresta de pé for igual ao benefício do seu corte. Isto é expresso pela seguinte relação:

$$P\partial Y(A)/\partial A + \lambda ZQ(A) + (1-\lambda)(Z/r)\partial Q(A)/\partial A = rV(A) + rPY(A)$$

O lado esquerdo desta equação corresponde ao benefício de manter a floresta de pé.

Onde:

- $P\partial Y(A)/\partial A$  é o incremento da receita líquida obtida com a madeira por unidade de tempo (fruto do crescimento das arvores);
- $\lambda ZQ(A)$  corresponde a diferença entre o fluxo de benefício ecológico fornecido pela floresta viva ( $ZQ(A)$ ) e derrubada ( $(1-\lambda)ZQ(A)$ );
- $(Z/r)\partial Q(A)/\partial A$  corresponde ao dividendo acumulado com o seqüestro do carbono por unidade de tempo, conforme passa mais tempo sem que haja a derrubada, mais créditos de seqüestro são acumulados;
- $(1-\lambda)(Z/r)\partial Q(A)/\partial A$  é o **dividendo líquido marginal** obtido a partir do seqüestro do carbono descontada a parcela de carbono que retornará a atmosfera.

O lado direito da equação corresponde ao custo de oportunidade de manter a floresta de pé

Onde:

- $rPY(A)$  corresponde ao rendimento alternativo auferido que seria ganho com o valor de venda da madeira cortada (em ativo que renda uma taxa  $r$ );
- $rV(A)$  é o custo de oportunidade do terreno, é o rendimento que seria auferido com o valor do terreno (em ativo que renda uma taxa  $r$ ).

Por fim, são escolhidos parâmetros com base em valores de projetos de exploração de eucalipto na região sudeste do Brasil e o valor da tonelada da redução de emissão de  $CO_2$  equivalente foi aproximado do valor negociado na *Chicago Climate Exchange (CCX)*.

Os resultados do modelo utilizado mostraram que a duração da rotação (a idade ótima de corte das árvores) aumenta conforme diminui o preço da madeira e se aumenta o valor de mercado do CER ( $Z$ ) ou o  $\lambda$ . Por outro lado, o aumento do preço da madeira corresponderá a um aumento no custo de oportunidade de se manter a floresta intacta, o que contribuirá para um menor tempo de rotação.

O trabalho conclui que a atividade florestal torna-se mais rentável ao se levar em conta os dividendos gerados pelo seqüestro de carbono, o que inclusive pode levar a um aumento na área cultivada de eucalipto. Somado a isto, esta rentabilidade pode ser maior ou menor dependendo do uso posterior a ser dado para a madeira. Os resultados também apontaram no sentido de que um aumento no preço do carbono, ou seja, um aumento no preço do CER não conduzirá necessariamente ao prolongamento da rotação, posto que o preço pelo qual será vendida a madeira também será um fator de influencia. Os resultados obtidos neste

### 6.1.2 Análise

Esta ilustração mostra a utilização de uma metodologia que tem o potencial de melhor refletir a realidade do projeto sob avaliação através da modelagem da decisão gerencial sobre o tempo ótimo de corte (tempo de

rotação) que influencia nas fontes de receita de um empreendimento florestal que neste caso são: o valor da madeira e o valor dos CER's.

O trabalho se utiliza de uma taxa livre de risco para expressar aquilo que representaria o custo de oportunidade de um empreendimento florestal. Ao se utilizar da taxa livre de risco implicitamente a avaliação considera que um empreendimento florestal é equivalentemente livre de risco, o que notoriamente não é. O custo de oportunidade de um investimento produtivo deve representar aquele ativo financeiro que melhor reflita o perfil de risco deste investimento produtivo.

Se por um lado o trabalho buscou refletir melhor a realidade da avaliação de um empreendimento florestal se utilizando da avaliação por opções reais que valoriza as opções gerenciais embutidas no projeto, dando melhor ajuste no fluxo de receitas previstas (créditos de carbono e madeira), por outro lado, ao considerar que o projeto possa ser descontado a uma taxa livre de risco o trata como "determinístico" (ou seja: sem volatilidade em seus fluxos de caixa, por tanto livre de risco, tal e qual a taxa de desconto escolhida), gerando uma incongruência na avaliação.

Mas, como argumentado ao longo deste trabalho, a taxa de desconto exógena demandada pelo método da programação dinâmica é sempre de difícil avaliação. Esta dificuldade se dá por que nem sempre se tem parâmetros de mercado observáveis (betas setoriais e títulos mobiliários, por exemplo) que tenham relação com o empreendimento sob avaliação ou reflitam seu "perfil" de risco. No caso em análise, seria necessária a busca por parâmetros relacionados a empreendimentos florestais de eucalipto e créditos de carbono, que correspondessem às fontes de receita do projeto.

Na hipótese destes parâmetros não serem observáveis, que corresponde a maior parte dos casos, a gerência do projeto acaba por arbitrar uma taxa de desconto que, por ser arbitrária, dá margem a escolhas subjetivas, podendo estar embutida nesta escolha a aversão ao risco do gerente, por exemplo.

Em casos como este, a escolha de uma taxa de desconto afetada pelas preferências da gerência pode resultar numa taxa de desconto demasiadamente alta, o que por sua vez também poderá inviabilizar projetos valiosos.

Este estudo de caso ilustra o dilema da escolha da taxa de desconto de um projeto, em que: se por lado é inadequado se utilizar da taxa livre de risco, pelos motivos já expostos, por outro não se observam parâmetros de mercado que balizem esta escolha, devendo a gerência arbitrá-la, o que, por sua vez, introduz relativa subjetividade<sup>14</sup> na avaliação. O que se evidencia é que esta subjetividade é uma componente quase sempre presente nas avaliações de investimentos produtivos, apesar dos métodos serem “quantitativos” a subjetividade estará presente na escolha dos parâmetros, posto que, também quase sempre, estes não são observáveis.

## **6.2 Caso II - Avaliação de Investimentos em Tecnologia da Informação: uma Perspectiva de Opções Reais**

O crescimento da indústria tecnológica na economia global, e o aumento da participação das firmas de TI nas bolsas de valores aumentaram o interesse e a necessidade por métodos de avaliação de investimentos em tecnologia de informação (TI).

Os projetos de TI são marcadamente dinâmicos, muitas vezes intangíveis e possuem altos níveis de incerteza, principalmente de ordem técnica, o que faz com que os métodos tradicionais de avaliação de investimentos não lhes sejam adequados. A dinâmica seqüencial é uma importante característica nos investimentos em TI. Nascimento (2005) argumenta que o uso da teoria de opções reais na avaliação deste tipo de projeto permitiria que estas características fossem incorporadas na avaliação. Com ela o projeto pode ser estruturado como uma seqüência temporal de decisões gerenciais, incorporando o valor da incerteza na avaliação de projetos. Por conseguinte, a avaliação desses projetos através da teoria de opções reais é o que permitirá captar a flexibilidade gerencial existente nos mesmos.

Sua dissertação tem como objetivo aplicar a teoria de opções reais a investimentos em tecnologia da informação em dois tipos de casos de investimento considerados comuns neste setor. São eles:

- Projetos de pesquisa e desenvolvimento;
- Projetos de aquisição e desenvolvimento de ativos de TI.

---

<sup>14</sup> Subjetividade, no seu sentido mais fiel, corresponde a aquilo que é próprio ao sujeito, que é individual, que varia de pessoa para pessoa, por tanto, que varia de gerente para gerente.

Para isso, foram adotados dois modelos já existentes na literatura de opções reais: Schwartz e Zozaya (2000) e Schwartz (2002)<sup>15</sup>. A partir daí foram realizados dois estudos de caso e aplicado o método de simulação de Monte Carlo para desenvolver soluções numéricas para os mesmos.

A análise aqui pretendida se dará sobre apenas um dos estudos de caso, que será o de desenvolvimento de uma nova tecnologia por uma empresa de TI. Este projeto é tratado como um projeto de pesquisa e desenvolvimento e foi modelado de acordo com o modelo de Schwartz (2002).

### 6.2.1 O Modelo de Avaliação para o Desenvolvimento de uma Nova Tecnologia

O modelo de Schwartz (2002) parte da hipótese de que o projeto sob avaliação é um projeto de P&D protegido por uma patente. Esta patente influenciará no valor do projeto na medida em que lhe dá exclusividade, por determinado período de tempo, sobre uma nova tecnologia em desenvolvimento. O modelo admite duas variáveis de estado: o custo esperado para o término do projeto e os fluxos de caixa após o término do projeto. Além disto, tem-se que a duração do investimento e a duração dos fluxos de caixa são interpretadas como variáveis aleatórias.

Considera-se que o investimento em P&D leva tempo para ser concluído, havendo uma taxa de investimento  $I(t)$  que deve ser maximizada pela firma, onde:

$$0 \leq I(t) \leq I_m$$

$I_m$  representa a taxa máxima permitida pelo modelo, onde não se admite suspensão temporária, ou seja, neste modelo não há opção de interrupção, apenas as opções de investir ou abandonar a cada período. A patente assegura o projeto de P&D até o tempo  $T$ , ou seja, seu vencimento se dará no instante  $T$ . O investimento necessário para concluir o projeto é incerto, sendo denotado pela variável aleatória  $K$  que segue o processo estocástico a seguir:

$$dK = -I dt + \beta(IK)^{1/2} dz$$

<sup>15</sup> Embora o foco do artigo de Schwartz originalmente seja direcionado a indústria farmacêutica, também cita que o modelo desenvolvido pode ser aplicado a outras indústrias também voltadas para a pesquisa, o que inclui a indústria de TI, apud Nascimento (2005).

O primeiro termo à direita indica que o custo esperado para o término do projeto diminuirá com o investimento. Isto ocorrerá até que o investimento restante seja nulo e então o projeto possa ser entregue. O último termo à direita desta equação representa a incerteza técnica dos custos de investimento no projeto de P&D e  $dz$  representa um processo de Wiener sem correlação com o mercado. Esta incerteza está relacionada às dificuldades físicas, como o tempo e os esforços necessários para completar o projeto. Por esta razão a incerteza técnica somente poderá ser resolvida investindo-se no projeto.

Na medida em que o projeto se conclua, a firma será recompensada pelo investimento realizado e receberá os benefícios do projeto na forma de fluxos de caixa. A taxa de fluxo de caixa por unidade de tempo é representada por  $C$  e descrita pelo Movimento Geométrico Browniano a seguir:

$$dC = \alpha C dt + \Phi C dx$$

Este processo descrito acima não está ajustado ao risco, este ajuste é feito por meio do prêmio de risco da seguinte forma:

$$dC = (\alpha - \mu_c) C dt + \Phi C dx$$

Ou

$$dC = \alpha^* C dt + \Phi C dx$$

Onde  $\mu_c$  é o prêmio de risco associado ao processo e  $\alpha^*$  é o retorno ajustado ao risco.

Durante a sua vida a firma tem a opção de abandonar o projeto caso o investimento requerido no período seja maior que o valor presente dos fluxos de caixa previstos. O modelo ainda considera a possibilidade de um evento catastrófico ocorrer, o que caracterizaria o fim do projeto. Neste caso, o projeto perderia todo o seu valor, o que induziria a um abandono forçado. Para isso, foi incorporada ao modelo uma distribuição de Poisson, onde  $\lambda$  representa a taxa de chegada de um evento catastrófico por unidade de tempo.

Com o fim do investimento em P&D, a firma detentora do projeto começará a receber dividendos deste projeto e a partir deste instante o valor do projeto dependerá somente dos fluxos de caixa por ele gerados. Assim, o valor do projeto no instante  $t < T$  será dado por  $V(C,t)$ . O horizonte de planejamento da



modelagem não ultrapassa o tempo de vigência da patente (T anos). A partir daí o valor residual do projeto será um múltiplo M dos fluxos de caixa no instante T.

O valor do projeto será calculado pelo método de ativos contingentes. A equação diferencial do projeto é:

$$\frac{1}{2}\sigma^2 C^2 V_{cc} + \alpha^* C V_c + V_t - rV + C = 0$$

Sujeita à condição de contorno terminal:

$$V(C, T) = M * C$$

A solução para a equação diferencial parcial (EDP) da expressão acima pode ser expressa por:

$$V(C, t) = C / (r - \alpha^*) [1 - e^{-(r - \alpha^*)(T - t)}] + MC e^{-(r - \alpha^*)(T - t)}$$

O primeiro termo da equação representa o valor do projeto antes do vencimento da patente e o termo seguinte representa o valor residual do projeto.

Nascimento (2005) também calcula, em seguida, aquilo que ele denomina “valor da oportunidade do investimento”, que estará relacionado com a decisão a cada instante de tempo de continuar ou abandonar o projeto.

### 6.2.2 A Aplicação do Modelo

O modelo de investimento em TI ora descrito foi ilustrado por Nascimento com um exemplo numérico que retrata um projeto de pesquisa e desenvolvimento para uma nova tecnologia a ser realizado por uma empresa de TI.

O caso narrado descreve um cenário de emergência de uma nova tecnologia, a televisão digital, que é um sistema de transmissão de dados que permite, entre outras coisas, o acesso à informação e serviços disponíveis na internet. E tendo isto em vista, o governo federal, por meio de decreto, institui o Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD) que cumpriria com o objetivo de adequar este novo sistema a realidade brasileira. Com isto, o Fundo de Desenvolvimento Tecnológico das Telecomunicações (Funttel) disponibilizaria recursos para projetos de pesquisa nesta área. Os recursos seriam destinados a empresas e instituições públicas ou privadas que estivessem dispostas a investir

em projetos de pesquisa e desenvolvimento para desenvolver e analisar soluções tecnológicas para o sistema de TV digital no Brasil.

Mas, para além dos aspectos técnicos e regulamentares, seria preciso avaliar economicamente a decisão de se investir nos referidos projetos de pesquisa. Assim, o exemplo supõe o caso de uma empresa de TI disposta a desenvolver uma nova tecnologia para o sistema de TV digital, que de olho no mercado de armazenamento de dados, pretenderá desenvolver uma tecnologia de compactação dos dados transmitidos no sistema de TV digital.

A dissertação se utiliza do modelo de Schwartz (2002) para a modelagem deste caso e atribui parâmetros. Em relação aos parâmetros utilizados na modelagem, vale dizer que a taxa de desconto livre de risco foi utilizada para o cálculo do valor presente do projeto (com e sem opção de abandono).

Os resultados obtidos pelo autor com a simulação pareceram vir de encontro com aquilo que se esperava. Entre as conclusões cita-se o fato de o projeto se mostrar mais valioso na presença da opção de abandono, além disto observou-se que com o passar do tempo a probabilidade de exercer a opção de abandono diminui onde, na simulação, mais da metade dos abandonos ocorriam durante o primeiro ano do projeto, sugerindo que o primeiro ano seja o mais crítico para o projeto. Outro resultado interessante foi que o valor da opção aumentava com o aumento da volatilidade dos fluxos de caixa.

### **6.2.3 Análise**

A dissertação argumenta que o problema de avaliação de investimento em TI, pela importância da seqüencialidade do projeto, pode ser visto como um conjunto de opções com exercício americano e que, portanto, o investimento poderia ser modelado de forma equivalente a uma opção financeira americana.

Como apresentado, o modelo para avaliação do investimento em TI é resolvido através do método de ativos contingentes tal e qual uma opção americana. Para realizar a análise aqui pretendida é necessário que se retome àquelas hipóteses que sustentam o método dos ativos contingentes.

O método dos ativos contingentes é construído com base no argumento de não arbitragem, onde se monta um portfólio replicante do derivativo composto pelo ativo subjacente e o derivativo que é construído de modo conveniente a este ser livre de risco (quando este portfólio é constantemente ajustado pelo

delta hedge). Esta hipótese que garante a validade deste “artifício” admite que, no limite, o mercado financeiro não permite oportunidades de arbitragem, pois todas as oportunidades que daí poderia emanar rapidamente se esgotariam. E é isto que garante esta relação “justa” entre o derivativo, seu ativo subjacente e o ativo livre de risco. O rendimento da carteira deverá ser igual ao do ativo livre de risco, caso contrário este mercado permitiria oportunidades de arbitragem.

Mas o fato é que no caso em questão, o ativo base corresponde aos fluxos de caixa do projeto e a opção corresponde ao valor do projeto em si, em que nada assegura a correta construção de portfólios livre de risco ( e seu rebalanceamento) para que se possa se utilizar do artifício da taxa livre de risco. Trata-se de um ambiente distinto do mercado financeiro e que não replica suas características (equilíbrio, por exemplo, é uma delas). Mesmo o desconto do ajuste ao risco utilizado na modelagem (pelo desconto do prêmio de risco) não é capaz sanar esta questão.

Na verdade este desconto pelo prêmio de risco, neste caso, corresponde apenas a um artifício matemático, mas não corrige o problema conceitual da escolha desta abordagem que está relacionado ao fato de não poder, de forma alguma, se assegurar completude dos mercados, ausência de arbitragem ou liquidez.

Investimentos em projetos de P&D no segmento de TI têm boa parte de seu custo composto por gasto com capital humano (o custo das horas trabalhadas de seus técnicos e analistas), os projetos são extremamente específicos e os técnicos alocados nos projetos direcionam seus esforços a produtos específicos que compõem o projeto como um todo. O ativo que se desenvolve em projetos deste tipo, na maior parte dos casos, está diretamente relacionado com os clientes, sem possibilidade de se considerar que para estes projetos há um mercado amplo, que faça sentido vendê-los como uma *commoditie* ou particionadamente. A natureza específica deste tipo de projeto evidencia a **falta de mercado** para projeto sob avaliação, o que invalida as hipóteses necessárias a utilização do método dos ativos contingentes.

Inclusive, segundo citado por Nascimento (2005), fazendo menção a Damodaran (2001), a maioria dos critérios de avaliação de empresas depende de pelo menos uma das seguintes fontes de informação:

1. Declarações financeiras atuais da empresa;

2. Históricos da firma;
3. Dados dos competidores.

No entanto, para o caso das firmas de tecnologia, todas as três fontes de informação são restritas. Outra questão importante advinda da abordagem de Damodaran sobre o valor de uma empresa é que ela pode ser enxergada como uma composição de ativos correntes (dizem respeito a investimentos já realizados) e ativos de crescimento (oportunidades futuras de investimento), além dos passivos (dívida e capital próprio). É justamente a parcela de ativos de crescimento que gera boa parte do valor das empresas de TI. Estes elementos corroboram o argumento da particularidade dos investimentos desta natureza e a dificuldade de enquadrá-los em avaliações que se utilizem do método de ativos contingentes, posto que não se trata de um mercado amplo que seja capaz de atender às hipóteses requeridas por este método.

### **6.3 Caso III - Viabilidade Econômica em Investimentos no Mercado Imobiliário: Gerenciamento de Risco e Opções Reais**

O mercado imobiliário é sabidamente uma rica fonte para diversas aplicações dentro da literatura de opções reais: Titman (1985), Williams (1991) são exemplos. Isto se dá, naturalmente, em função das características próprias deste mercado como: irreversibilidade dos investimentos, baixa liquidez, diversas fontes de incerteza (técnicas, econômicas e regulatórias), bem como a diversidade de opções que um empreendimento imobiliário pode conter como: expansão, abandono, espera, adiamento, aprendizado.

Barbosa (2005) demonstra que o caráter seqüencial dos empreendimentos imobiliários pode gerar muitas opções a incorporadora. Explica que os empreendimentos, de um modo geral, possuem quatro etapas marcantes:

- A aquisição do terreno;
- O lançamento do empreendimento;
- O início da obra e
- O término da obra / habite-se.

Entre cada uma destas etapas existe um intervalo/duração característico, por exemplo: o habite-se ocorre após um mês do término da obra, o intervalo entre a aquisição do terreno e o lançamento gira em torno de oito meses. Mas a incorporadora pode arbitrar alguns destes intervalos, como por exemplo, se entender ser conveniente (e estratégico) alongar o intervalo entre a aquisição do terreno e o lançamento com o objetivo de poder vender algumas unidades e se capitalizar para a próxima etapa para poder diminuir a exposição de caixa.

Outra prática que evidencia neste mercado o valor de uma opção de espera, por exemplo, é o caso do lançamento de um condomínio residencial, sendo comum que ele seja lançado seqüencialmente, pois a cada etapa novas informações se revelam, posto que o primeiro lançamento fornece importantes informações para os futuros lançamentos ou/e desenvolvimento do mercado em potencial da região. Caso este primeiro lançamento seja bem recebido pelo mercado, as próximas unidades serão mais valorizadas, ou seja, o incorporador pode “sentir” o tamanho do excedente do consumidor para aquele mercado e definir melhor o mercado potencial da região. Caso não tenha havido boa receptividade para o primeiro lançamento o incorporador poderá exercer a opção de espera antes de passar para a próxima etapa de construção e rever suas expectativas.

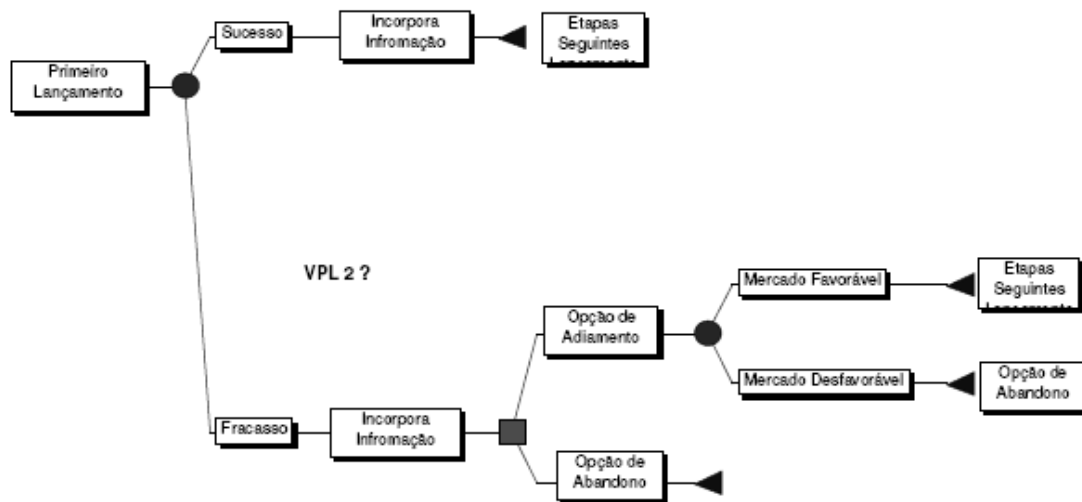
Barbosa (2005) cita que em função da visível importância das opções nos empreendimentos imobiliários, os analistas de mercado empiricamente/intuitivamente já buscam incorporá-las na avaliação. Sua proposta de dissertação, portanto, é desenvolver um modelo com base na teoria de opções reais (em código VBA) que possa ter a utilidade de avaliar com um nível mais alto de acuidade os projetos neste setor.

### **6.3.1 O Modelo de Avaliação de Investimento no Mercado Imobiliário**

O modelo considera uma incorporadora que já lançou a primeira etapa de um condomínio de edifícios residenciais e deseja determinar o momento ótimo para lançar as próximas etapas de construção. A incorporadora não possui o terreno destinado a construção das próximas etapas, mas paga mensalmente uma taxa correspondente a um “direito de exclusividade” para dar o direito de compra deste terreno a qualquer momento.

O diagrama a seguir ilustra a dinâmica do empreendimento, suas etapas e o modo como as opções estão dispostas dentro do cronograma do investimento.

**Figura 7 - Etapas do Empreendimento**



**Fonte: Barbosa (2005).**

O modelo considera que a velocidade em que são vendidas as unidades do empreendimento é a grande fonte de incerteza da avaliação e não os preços praticados, posto que os preços são determinados antecipadamente. O modelo supõe uma taxa de velocidade de vendas em cada etapa do investimento. A velocidade de vendas entre o lançamento e o término da obra e nas chaves são modeladas segundo distribuições de probabilidade triangulares. A distribuição relativa de vendas no lançamento apresenta os parâmetros  $[0, \text{Média}, 100]\%$ .

A distribuição de vendas entre o lançamento e o término da obra apresenta como valor máximo o valor residual de 100% subtraído daquele sorteado no lançamento e a média é a metade do valor máximo, ou seja,  $[0, (100 - \text{velocidade lançamento})/2, (100 - \text{velocidade lançamento})]\%$ . Respectivamente, a velocidade de vendas no término de construção apresenta como valor máximo, o valor residual entre 100% e aqueles subtraídos das vendas anteriores e a média é a metade do valor máximo, ou seja,  $[0, (100 - \text{velocidade 1} - \text{velocidade 2})/2, (100 - \text{velocidade 1} - \text{velocidade 2})]\%$

O segundo lançamento terá as mesmas velocidades de vendas sorteadas no primeiro lançamento. Se o primeiro lançamento tiver sucesso o valor do metro

quadrado da etapa posterior e o custo de construção aumentam. Caso o primeiro lançamento seja um fracasso a incorporadora poderá exercer uma opção de espera (ou adiamento) americana até que as condições de mercado se mostrem novamente favoráveis, tendo o prazo de expiração de 5 anos.

O ativo objeto da opção é o volume geral de vendas do empreendimento (VGV) que corresponde à receita do empreendimento líquido das despesas (permuta do terreno, corretagem, publicidade, PIS/COFINS e corretagem). Seu valor inicial equivale ao valor dado pelo primeiro lançamento, sendo função do preço/m<sup>2</sup> dos imóveis da região.

Se o empreendimento for um sucesso o VPL total do investimento será a soma do VPL da etapa 1 com o VPL da etapa 2. E se o investimento for um fracasso o processo de evolução da série de preços/m<sup>2</sup> P de vendas dos imóveis será um Movimento Geométrico Browniano escrito na medida de Martingal Equivalente expresso pela equação:

$$dP/P = (r - \delta)dt + \sigma dz$$

Onde:

- dz é o incremento de Wiener;
- r é a taxa livre de risco;
- $\delta$  é o custo de carregamento da opção (dividendos perdidos) e
- $\sigma$  a volatilidade.

A opção americana de adiamento é calculada através do método de ativos contingentes pela fórmula de Black- Scholes definida por:

$$C(S_0, t) = S_0 e^{-\delta(T-t)}N(d_1) - X e^{-r(T-t)}N(d_2)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(r - \delta + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}}$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(r - \delta - \frac{\sigma^2}{2}\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}}$$

Onde:

- X é o preço de exercício, que neste caso é o valor presente do custo de construção do 2º lançamento.
- T é o tempo máximo do exercício, ou seja, o tempo máximo economicamente viável para se ter a exclusividade do terreno.
- d é a taxa do dividendo, ou seja, o quanto o investidor receberia caso já estivesse realizado o empreendimento. Considerou-se um valor percentual sobre o VGV, algo semelhante a um aluguel, como se o investidor pudesse alugar as unidades construídas.
- S é o valor presente do VGV líquido das despesas (a permuta do terreno, por exemplo)

A aproximação analítica de Barone-Adesi foi utilizada para o cálculo da opção americana. Para tanto, calcula-se preliminarmente a curva de gatilho que determinará o  $S^*$  crítico para o qual a opção de compra (neste caso corresponde a uma opção de adiamento) deverá ser exercida (seu exercício corresponde ao lançamento da próxima etapa), tal como expresso abaixo:

$$S^* - K = c(S^*, t) + [1 - e^{-\delta(T-t)} N(d_1(S^*))] S^* / \gamma_2$$

E as condições de contorno desta opção americana é definida por:

$$C(S_0, t) = \begin{cases} c(S_0, t) + A_2 \left(\frac{S}{S^*}\right)^{\gamma_2} & \text{se } S < S^* \\ S - X & \text{se } S \geq S^* \end{cases}$$

Onde:

$$A_2 = \left(\frac{S^*}{\gamma_2}\right) \{1 - e^{-\delta(T-t)} N[d_1(S^*)]\}$$

$$\gamma_2 = \frac{\left[-(\beta - 1) + \sqrt{(\beta - 1)^2 + \frac{4\alpha}{h}}\right]}{2}$$



$$\alpha = 2r / \sigma^2$$

$$\beta = 2(r - \delta) / \sigma^2$$

$$h(T-t) = 1 - e^{-r(T-t)}$$

O valor do empreendimento é calculado considerando sua ocorrência de forma seqüencial, de acordo com o esquema da figura e é chamado de VPL expandido. Esta avaliação é realizada pelo seguinte algoritmo:

- Sorteio da velocidade de vendas para primeiro lançamento
  - Se o primeiro lançamento obtiver sucesso.
    - Calcula VPL do primeiro lançamento.
    - Revisão de expectativas para segundo lançamento (preço do imóvel aumenta em 10%)
    - Implementa o segundo lançamento
  - Se o primeiro lançamento não obtiver sucesso.
    - Adia o segundo lançamento por um prazo máximo de até 5 anos.
    - Calcula valor da opção de adiamento para esse período
      - Estabelece valor crítico do VGV para segundo o lançamento.
      - Se os preços de mercado impliquem em valor presente do VGV líquido de despesas e permuta maior que o valor crítico
        - ✓ Implementa o 2º lançamento
        - ✓ Calcula VPL do 2º lançamento (valor presente de (VGV - custos totais de construção) descontados a taxa livre de risco
      - Se o mercado permanece desfavorável

- ✓ Abandona o projeto
- ✓ O VPL do segundo lançamento será nulo

O valor final do empreendimento considerando as opções embutidas que existem quando o investimento se dá seqüencialmente será a soma do VPL do 1º lançamento com o VPL do 2º lançamento. Este será o VPL expandido do empreendimento e o VPL tradicional Barbosa (2005) considerou como sendo o valor do empreendimento quando se considera que os lançamentos ocorrem simultaneamente, onde a diferença entre os dois VPL's corresponderá ao valor da opção americana. Conclui também que de posse do valor justo da opção, a incorporadora também saberá o valor justo pago pelo direito de exclusividade do terreno.

Ao final, Barbosa (2005) apresenta um estudo de caso atribuindo valores aos parâmetros do modelo apresentado para um lançamento imobiliário típico na zona oeste do Rio de Janeiro que consiste na avaliação de viabilidade econômica do lançamento da primeira etapa de um condomínio de edifícios residenciais e a determinação do momento ótimo para o lançamento da próxima etapa do projeto. A avaliação do empreendimento é incrementada ainda pelo cálculo do Valor em Risco (VAR) da estratégia de avaliação das fases do empreendimento simultaneamente e seqüencialmente, apresentado um resultado já esperado que é um VAR maior para a estratégia simultânea. Outro resultado encontrado no estudo de caso foi o valor positivo da opção, para os parâmetros utilizados, o que também já era um resultado esperado.

### 6.3.2 Análise

O valor do empreendimento como um todo nesta modelagem depende, dentre outras variáveis, do valor da opção de adiamento da segunda etapa, pois, como mostrado, esta opção possibilitará a espera por uma possível valorização no valor dos imóveis da localidade do investimento para a construção da segunda etapa. O valor desta opção de compra (neste modelo corresponde à opção de adiamento) é calculado através da aplicação da equação de Black-Scholes.

Como anteriormente argumentado, o modelo de Black-Scholes faz parte da classe de modelos construídos em cima de argumentos de não arbitragem,

uma hipótese que é razoável para mercados financeiros, mas que não vale para o mercado sob análise, o mercado imobiliário.

Ressalta-se que na construção do modelo de Black-Scholes monta-se a seguinte carteira:

$$\pi = F_t - \frac{\partial F_t}{\partial S_t} S_t$$

Sendo de razoável percepção que esta carteira não fará muito sentido se for atentado que para o caso em questão o ativo base corresponde a receita líquida do empreendimento ainda não lançado. Pois, para que a equação de Black-Scholes forneça o valor justo da opção, este portfólio deverá ser possível, isto é, deverá haver “transacionabilidade” para estes ativos. Esta “transacionabilidade” é que garantirá uma relação justa entre o ativo base e o derivativo.

Para casos como este é conveniente trazer à discussão a ponderação de Luehrman (1998, p.14) que afirma que: quando os pressupostos de Black-Scholes são violados, simplificados, como este em que se supõe (implicitamente) que os investidores (neste caso a incorporadora) podem continuamente ajustar suas carteiras de investimentos, a avaliação por Black-Scholes rende “insights qualitativos” apenas, mas os números, ou seja a acuidade da avaliação, torna-se menos confiável.

Tendo em vista que a partir da avaliação desta opção todo o resto da avaliação do projeto se deriva, há de se prever que também a acuidade da avaliação final estará comprometida. A falta de acuidade não é necessariamente um fator que desqualifica um modelo de avaliação, pois todos os modelos possuem limitações, afinal são modelos. Importante é ressaltar que isto deve ser considerado no processo de tomada de decisão.