

# Teoria de Opções Reais: uma Perspectiva para a Valoração Econômica do Meio Ambiente sob Incerteza

**Gláucia de Paula Falco**  
glaupf@terra.com.br  
PUC-Rio

**Marley Maria Bernardes Rebuszi Vellasco**  
marley@ele.puc-rio.br  
PUC-Rio

**Juan Guillermo Lazo Lazo**  
juan@ele.puc-rio.br  
PUC-Rio

**Joyce Gonçalves Altaf**  
jgaltaf@yahoo.com.br  
FIVJ

**Irene Raguene Troccoli**  
rene.troccoli@estacio.br  
UES

**Resumo:** Este trabalho tem por objetivo apresentar a teoria de opções reais como forma de incorporar as incertezas existentes na análise de investimentos. A lógica deste raciocínio pode ser estendida para a avaliação econômica do meio ambiente. Existem uma série de incertezas presentes na avaliação dos recursos naturais que são simplesmente desconsideradas do valor dos bens ambientais pelas atuais técnicas de valoração. Este fato faz com que os valores estimados sejam subestimados. Assim o propósito deste estudo é apresentar os conceitos bases da teoria de opções reais e a relação destes com o meio ambiente. A teoria de opções reais permite incluir intrinsecamente à análise do valor do meio ambiente as incertezas associadas ao seu uso ou até mesmo a sua preservação.

**Palavras Chave:** Meio ambiente - Opções reais - Valoração - Incertezas - Irreversibilidade

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o ativo ambiental sempre existiu no âmbito da teoria econômica, que buscou associar a natureza com a economia. Desde o século XVI encontram-se registros dessa tentativa. Inicialmente por Willian Petty em 1662, passando pelo fisiocrata François Quesnay em 1758, Malthus em 1789, Ricardo em 1817, Marshall em 1890 até o economista Arthur C. Pigou em 1920 que introduziu o conceito de externalidades (CARVALHO & AGUIAR, 2008).

No século XVII a ciência econômica já buscava formas de determinar o valor da terra. Com o processo de deterioração crescente da natureza e das condições naturais para a sobrevivência humana, o tema ambiental deixou de ser assunto somente da teoria econômica e entranhou-se também em outras áreas de pesquisa, bem como na sociedade atual. A Economia Ambiental surgiu em 1950 quando uma organização independente, a “*Resources for the future*”, realizou diversas pesquisas econômicas focadas nos aspectos ambientais. (GAZONI, 2007).

À medida que o interesse pelo meio ambiente aumentou, naturalmente uma das questões que surgiu foi a necessidade de quantificar as perdas associadas à sua utilização e à degradação. Deste interesse apareceram os vários métodos de valoração econômica do meio ambiente que tentam explicitar a multifuncionalidade, em bases monetárias, dos ativos naturais nas suas funções ecossistêmica, econômica e recreativa.

A valoração de um ativo ambiental pode ser entendida como o ato de atribuir um valor monetário às variáveis do meio ambiente, embora não se pretenda com isso atribuir um preço para as mesmas, pois não se tratam de mercadorias (BENAKOUCHE & CRUZ, 1994) e (MOTA, 2006).

É pertinente ressaltar que valorar monetariamente os recursos ambientais não significa colocá-los à venda por um preço, mas sim estabelecer um valor que funcione como um indicador representativo de sua importância econômica e bem-estar social. Este “valor” funcionará apenas como um denominador comum entre o meio ambiente e os demais bens e serviços disponíveis e transacionados nos mercados.

Portanto associar valores monetários ao meio ambiente não representa literalmente atribuir um preço para os recursos, pois os bens ambientais possuem um valor inestimável. O “preço” estabelecerá um relacionamento entre o ambiente e os demais bens que são negociáveis. Além disso, o valor monetário permite quantificar os impactos que as atividades econômicas vêm causando na capacidade de suporte e resiliência dos ativos naturais (MOTA, 2006). Desta forma, a definição de um “valor” para os ativos naturais possibilita que medidas preventivas contra a degradação ambiental sejam implementadas.

Deve-se lembrar que os orçamentos públicos (privados) são sempre limitados e existe uma grande demanda não satisfeita com respeito aos investimentos em educação, saúde, saneamento básico, entre outros tipos de serviços. Por este motivo, a decisão de investir em implantação e manutenção de parques, bosques e áreas verdes concorre com outros tipos de investimentos em infra-estrutura. Logo o valor monetário para os recursos naturais servirá como uma ferramenta para auxiliar a tomada de decisão por permitir contabilizar os custos e benefícios associados.

Portanto, somente com a mensuração monetária dos benefícios e custos associados aos recursos naturais, é que os recursos privados e públicos e a satisfação social poderão ser alocados de forma a garantir uma maximização dos ganhos para a sociedade (HILDERBRAND ET AL., 2002).

Qualquer análise de valoração ambiental crível jamais poderá acontecer de maneira isolada. É imprescindível que a totalidade da pesquisa seja orientada pelo conhecimento de vários cientistas ambientais (biólogos, advogados, sociólogos, economistas, engenheiros, ambientalistas e pesquisadores de áreas afins) na tentativa de se obter uma estimativa confiável do “valor” para determinado recurso natural. Isso ocorre devido ao caráter interdisciplinar e multidisciplinar que norteia o problema da valoração.

Conforme a literatura econômica, o valor do meio ambiente é composto por quatro parcelas distintas: “valor de uso direto”, “valor de uso indireto”, “valor de opção” e “valor de existência”. (BENAKOUCHE & CRUZ, 1994) e (PEARCE & TURNER, 1991). A parcela do valor de uso direto pode ser obtida diretamente pelos preços de mercados, pois relaciona o recurso ambiental com a atividade econômica. São exemplos do uso direto a receita obtida com a pesca, caça, venda de madeira, o lazer e o turismo, entre outros. O “valor de uso indireto” diz respeito aos benefícios de um maior bem-estar decorrente do equilíbrio proporcionado pelas condições naturais do ambiente. O “valor de opção” se refere à decisão de preservar no presente para consumir no futuro. É o adiamento do consumo por esta geração em prol das próximas gerações. O “valor de existência” pode ser definido a partir do valor intrínseco do bem natural que traduz o desejo altruísta dos indivíduos em garantir o recurso sendo influenciado por questões morais, éticas e culturais.

Existem três metodologias principais para avaliação dos recursos naturais, que aparecem recorrentemente nos trabalhos científicos, e que se dedicam a realizar a valoração ambiental. São estas: o Método da Valoração Contingente (MVC), Método do Custo da Viagem (MCV) e Método de Preços Hedônicos (MPH).

- Método da Valoração Contingente (MVC)

Para aplicar o MVC é preciso simular o mercado hipoteticamente através de questionários, tentando extrair do entrevistado a sua DAP (disposição a pagar) para manter as atuais disponibilidades de recursos naturais. Através dos questionários também é possível extrair a DAR (disposição a receber) dos indivíduos para aceitar uma diminuição na quantidade de ativos ambientais.

O MCV e o MPH se utilizam dos mercados de bens complementares, respectivamente, os gastos realizados com a viagem até o local em que o recurso se encontra e o valor dos imóveis, para definir o valor dos recursos.

- Método do Custo da Viagem (MCV)

No caso do MCV, observa-se a demanda pela atividade recreacional de uma determinada região e os custos que o visitante incorre para usufruir das amenidades<sup>1</sup> deste recurso (MOTTA, 1997).

- Método de Preços Hedônicos (MPH)

Quanto ao MPH, sua aplicação mais comum utiliza os preços dos imóveis como uma variável *proxy* do valor dos bens naturais de uma certa localidade. Quanto maior o valor do imóvel, mantendo tudo o mais constante, maior o valor dos atributos ambientais circundantes ao imóvel considerado (MOTTA, 1997) e (SOUZA ET AL., 2006).

---

<sup>1</sup> Amenidades significa o “encanto” de uma determinada área. Trata-se de um substantivo abstrato. Neste trabalho, a amenidade traduz uma interseção entre os conceitos de valor de uso indireto e valor de existência.

Todas estas técnicas, apesar de partirem de suposições válidas para a avaliação do meio ambiente, são insuficientes para capturar todos os aspectos envolvidos no problema da valoração econômica do meio ambiente. Além disso, os métodos não permitem averiguar explicitamente e objetivamente todas as parcelas do valor. Isto acontece porque estes métodos falham ao desconsiderarem as incertezas associadas a um determinado uso do recurso e até mesmo às incertezas associadas à preservação (MOTTA, 1997). Também a irreversibilidade da ação no ambiente não é contabilizada pelos métodos tradicionais de avaliação.

Para superar algumas das limitações das atuais técnicas de valoração, a abordagem pela teoria de opções, que tem uma ampla aplicação em análise de investimentos, permite incorporar interessantes conceitos para a valoração econômica do meio ambiente.

Dixit & Pindyck (1994) entendem que uma área não desenvolvida (conservada/preservada) pode ser vista como uma “opção de investir em desenvolvimento”. Um exemplo citado pelos autores se refere às áreas ambientais para a construção dos projetos de energia elétrica. Estes projetos se utilizam de grandes e irreversíveis investimentos, mas existem consideráveis incertezas quanto ao seu retorno. Algumas das incertezas presentes estão nos preços dos combustíveis, sobre a demanda para eletricidade, sobre as regulações ambientais e sobre os custos das tecnologias alternativas para atender as regulações. Todos estes fatores devem ser levados em conta na avaliação da decisão de degradar um ambiente natural em favor do desenvolvimento econômico.

De acordo com Forsyth (2000), a abordagem da teoria das opções é bem apropriada para avaliar investimentos que se relacionam com os recursos ambientais. Neste caso, para a Forsyth (2000), devido as decisões estarem associadas a algum tipo de irreversibilidade e incertezas, além do *timing* do investimento quase sempre ser flexível, a teoria das opções possibilita realizar uma abordagem do problema de forma mais adequada.

Conforme avalia Conrad (1999), os recursos naturais podem ser distinguidos em duas categorias: os renováveis e os não-renováveis. Um recurso é renovável se a sua taxa de crescimento acontece num intervalo de tempo relevante para o seu gerenciamento. Por outro lado, se um recurso leva de 80 a 100 anos para se renovar, como acontece com algumas espécies arbóreas por exemplo, então este recurso pode ser considerado como um bem não renovável. A mesma ideia é considerada por Arrow & Fisher (1974) que associam o conceito de irreversibilidade ao tempo que a natureza exige para se regenerar de um dano sofrido. Quanto maior o tempo requerido, mais irreversíveis são considerados os efeitos de um impacto.

Em se tratando de decisões irreversíveis, um aspecto-chave na alocação dos recursos naturais é a definição do quanto extrair hoje e do quanto deixar para as gerações futuras considerando a capacidade de regeneração e de renovação do ativo e, portanto, o grau de irreversibilidade associado ao seu uso. A irreversibilidade se relaciona com o problema de alocação ótima dos recursos no tempo (CONRAD, 1999) e (CONRAD, 1980). Para este tipo de questão é necessário estabelecer as perdas e os ganhos decorrentes da preservação e do uso alternativo dos recursos.

De acordo com Conrad (1980) e Basili (1997) ao se levar em conta a irreversibilidade da mudança no meio ambiente e as incertezas no uso do recurso natural, estes dois aspectos criam um valor na opção de adiar a ação ou o uso. Esta parcela de valor presente na decisão de preservar é denominada valor de quasi opção.

No entanto, o valor líquido exato da preservação é impossível de ser determinado (FORSYTH, 2000). A razão desta afirmação pode ser encontrada em Pindyck (1999).

Em seu trabalho Pindyck (1999) discute que em projetos de investimentos que envolvam bens naturais há certas peculiaridades envolvidas:

- 1) a irreversibilidade do investimento (a irreversibilidade da decisão tem um custo de oportunidade que deve ser considerado).

- 2) a possibilidade de adiamento da decisão de investir e os benefícios da espera.
- 3) a escolha do momento ótimo para a utilização do bem ambiental.
- 4) as incertezas.

A presença destes quatro aspectos sugere que a avaliação destes projetos pelas técnicas convencionais que tradicionalmente são usadas, como a análise custo-benefício, análise custo-utilidade e análise custo-eficiência, são inconsistentes e podem gerar distorções. Assim, a abordagem por opções reais permite fazer uma modelagem mais adequada do problema por considerar endogenamente as incertezas envolvidas, a irreversibilidade da escolha, a possibilidade de adiamento da decisão e o valor de quasi opção.

Neste sentido, o propósito deste trabalho é apresentar a teoria de opções reais e seus conceitos norteadores no contexto da avaliação econômica do meio ambiente. Para tanto, na seção 2, apresenta-se a teoria tradicional de análise de investimentos. Na seção 3, discute-se os conceitos de incertezas e flexibilidade na ação. Na seção 4, mostra-se a teoria de opções reais. A seção 5 coloca a teoria de opções reais no contexto da avaliação dos recursos naturais. Na seção 6 são colocadas algumas conclusões pertinentes.

## 2. TEORIA TRADICIONAL DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO

Uma questão fundamental na tomada de decisão é saber quanto vale o projeto. Entre os métodos tradicionais para realizar este tipo de avaliação, os mais comuns são o VPL (Valor Presente Líquido) e a TIR (taxa interna de retorno).

Segundo Keswani & Shackleton (2006) o VPL é comprovadamente o critério mais utilizado para avaliar um projeto e consiste na diferença entre os fluxos de caixa estimados (descontados pela taxa de custo de capital da empresa) e o valor presente do investimento (I). Com base nas projeções dos fluxos de caixa, o agente faz a sua escolha de aceitar ou rejeitar o investimento pretendido. O resultado do VPL depende do custo inicial do projeto, do retorno, das datas de ocorrência e da taxa ajustada ao risco do projeto.

O fluxo de caixa é uma forma de representar as receitas e despesas em diferentes discretizações de tempo: mês, ano, semestre, trimestre. Como o dinheiro é capitalizado no tempo, é preciso trazer os valores futuros para o instante presente. Para isso, recorre-se a taxa de desconto ( $K = \mu$ ) que permite trazer os valores de qualquer período para o tempo presente. Além disso, a taxa de desconto representa o retorno exigido pelo investidor para aceitar o risco do investimento (FILHO & KOPITKE, 2000).

Pelo critério de decisão considerando VPL da teoria de finanças tradicional, deve-se comparar o VPL do projeto com o valor de referência “zero” para aceitar ou rejeitar um investimento. Se  $VPL > 0$ , significa que o custo inicial será recuperado com a taxa ( $K$ ) e também o projeto será remunerado por esta taxa. Neste caso, o projeto será aceito. Se  $VPL < 0$ , a taxa ( $K$ ) não é suficiente para remunerar o projeto e nem para recuperar o capital investido. Nesta situação o projeto será rejeitado (KESWANI & SHACKLETON, 2006).

Logo, a análise da teoria clássica do VPL se resume ao seu sinal, quando positivo, aceita-se o projeto e, caso o sinal seja negativo, rejeita-se o investimento. Na situação de dois projetos serem mutuamente exclusivos, a escolha privilegiará o projeto com o maior VPL. É através da taxa de desconto no denominador ( $K$ ) que o VPL ajusta-se ao risco.

No tempo discreto a equação do VPL é dada por 1:

$$VPL = \sum_{t=1}^T \frac{FC_t}{(1+k)^t} - I \quad (1)$$

Em (1):

$\sum_{t=1}^T FC_t$  : Fluxos de caixa em cada instante de tempo

$(1+k)^t$  : Fator de desconto em cada instante de tempo t.

$I$  : investimento

No processo de desconto, que traz os valores futuros para o tempo presente, a taxa de desconto leva em consideração o valor do dinheiro no tempo e representa o menor retorno exigido para se assumir os riscos e investir num projeto.

Normalmente, um método muito utilizado para estimar a taxa de desconto ajustada ao risco do projeto ( $K$ ) é o modelo de equilíbrio do mercado CMPC (Custo Médio Ponderado do Capital). Como mostrado na equação 2 a seguir, o CMPC faz uma ponderação entre o custo do capital de terceiros ( $K_d$ ) e o custo do capital próprio ( $K_e$ ). O fator  $(1-\tau)$  é obtido pela alíquota do imposto de renda ( $\tau$ ). A ponderação do CMPC leva em conta a estrutura do capital que financia o projeto, sendo ( $D$ ) a dívida e ( $E$ ) o capital próprio (GITMAN, 2001).

$$CMPC = K_d(1-\tau)\frac{D}{D+E} + K_e\frac{E}{D+E} \quad (2)$$

Em (2):

$\frac{D}{D+E}$  : parcela referente ao montante de capital de terceiros que está financiando o investimento.

$\frac{E}{D+E}$  : parcela referente ao montante de capital próprio que está financiando o investimento.

O retorno esperado do ativo ( $K$ ) pode ser encontrado pelo CAPM (Modelo de Precificação de Ativos de Capital). O CAPM é uma teoria que une o risco e o retorno de um ativo. O risco total de um ativo é a soma de duas parcelas: o risco diversificável e o risco não diversificável de um título. O risco diversificável é a parcela do risco que pode ser eliminada pela diversificação da carteira. Este risco está associado a causas específicas da empresa como por exemplo greves, perda de uma conta-chave, processos e ações regulamentadoras.

O risco não-diversificável é aquele que não se consegue eliminar através da diversificação da carteira. Este risco é consequência de fatores de mercado (guerra, inflação, incidentes políticos, crises internacionais, crises políticas). Portanto, afeta todas as empresas e não pode ser eliminado.

A equação do CAPM é mostrada a seguir:

$$k = r + \beta(E[\tilde{R}_m] - r) \quad (3)$$

$\downarrow$                        $\downarrow$   
 taxa livre              prêmio de  
 de risco                      risco

Em (3) tem-se:

$(K)$  é a taxa ajustada ao risco constituída por duas parcelas: taxa livre de risco + prêmio de risco.

$(r)$  é a taxa livre de risco

$(\beta)$  é a covariância entre o retorno de mercado e o retorno do ativo, dividido pela variância do retorno do mercado. Este coeficiente mede a sensibilidade do retorno do ativo à uma mudança no retorno de mercado. Por exemplo, se  $\beta = 0,5$ , o ativo tem metade da sensibilidade do mercado para um dado acontecimento. Neste caso se o retorno do portfólio de mercado mudar em 1%, o retorno da ação irá se alterar em 0,5%.

$E[\tilde{R}_m]$  é o valor esperado do retorno de mercado.

De especial interesse em (3) é observar que o modelo CAPM corresponde a duas parcelas: uma parcela que representa a taxa livre de risco e outra parcela que é o prêmio de risco que remunera o risco não diversificável.

Neste processo de desconto, os fluxos de caixa estimados são transformados em valores presentes para serem agrupados e comparados em um mesmo período. No entanto, estes fluxos de caixa, segundo a teoria financeira tradicional, são calculados de modo rígido, desconsiderando possíveis mudanças nos cenários econômicos, questões técnicas e aspectos estratégicos que podem ocorrer. Estas mudanças geram opções ao investidor de abandonar o projeto, expandi-lo ou adiar o seu início. No entanto, a teoria tradicional assume que o investimento, uma vez considerado viável, será realizado até o fim, e com uma única taxa de desconto constante ao longo do período analisado.

Desta forma, a teoria financeira tradicional pode fornecer, em certas situações, resultados inconsistentes para averiguar a viabilidade de um investimento. Sendo assim, a fim de se apresentar uma abordagem para a análise de investimentos com conceitos mais próximos da realidade é necessário fazer algumas adaptações aos métodos clássicos. O intuito destas adaptações é atingir os aspectos que deixam de ser considerados na averiguação financeira tradicional. Na próxima seção alguns destes aspectos são mencionados.

### 3. INCERTEZA E FLEXIBILIDADE

De acordo com Dixit & Pindyck (1994), o investimento sob incerteza envolve características como: irreversibilidade, incerteza e timing. Todo investimento é ao menos parcialmente irreversível dado que parte do seu custo inicial pode ser considerado como um custo afundado. Isto significa que, ao longo do período de desenvolvimento do projeto, se a alternativa mais viável for suspender a decisão de financiar o investimento, parte do que foi gasto não pode ser recuperado. Logo, a opção de esperar para investir é muito valiosa, já que a espera é reversível.

A incerteza se caracteriza pela falta de controle sobre a forma como os eventos irão acontecer no futuro. Mesmo que se tenha uma previsão sobre o comportamento destes eventos, não se pode definir exatamente quando e em qual intensidade tais eventos acontecerão. Mas, de qualquer forma, o agente precisa tomar sua decisão com as informações que tem disponíveis.

Existem três tipos de incertezas a serem consideradas na avaliação de um projeto: econômica, técnica e estratégica. A incerteza econômica refere-se aos fatores como crises internacionais, guerras, variações climáticas que afetam a produção agrícola, chegada de novas tecnologias, entre outras. Quanto a esse tipo de incerteza, aprende-se esperando e não investindo.

A incerteza técnica é endógena ao processo de decisão e está relacionada com os movimentos macroeconômicos. A opção de investir, reduz esta incerteza, pois aprende-se investindo. A incerteza estratégica refere-se às decisões das demais empresas no mercado. Neste caso, investir ou esperar depende de como as outras firmas se comportam.

Na concepção de Dixit & Pindyck (1994), é muito raro um investimento ser do tipo “agora ou nunca”. Em geral pode-se observar o mercado e aguardar por novas informações.

Isso significa que se deve comparar o custo de adiar o início do projeto com os benefícios da espera.

Ao se ignorar quaisquer dos três fatores mencionados (irreversibilidade, incerteza e *timing*), a decisão fica comprometida, pois a flexibilidade permitida ao agente nas suas escolhas é desconsiderada. A flexibilidade nas decisões é uma realidade no mundo dos negócios ainda que a abordagem financeira tradicional não a considere e nem a quantifique. O ambiente empresarial é caracterizado por mudanças rápidas, incertezas e competição intensa. Com o passar do tempo, novas informações chegam e as empresas reavaliam as suas estratégias de acordo com as novas condições de mercado. Portanto, o comportamento racional do investidor contradiz a hipótese de uma gestão passiva, como pressupõe a teoria financeira tradicional (KESWANI & SHACKLETON, 2006).

A possibilidade de rever o curso ótimo das ações conforme novas condições se estabeleçam é chamada de flexibilidade gerencial. Em teoria, a flexibilidade deve expandir o valor da oportunidade do investimento, na medida em que aumenta o potencial de ganhos e limita as perdas relacionadas a um gerenciamento passivo (MINARDI, 2004).

Como a abordagem convencional ignora as flexibilidades, que fazem parte do comportamento real do agente, há uma subavaliação do projeto. Nesta brecha, empreendedores e estrategistas encontram espaço para sugerirem novas teorias que complementam a teoria convencional estendendo-a para uma abordagem mais prática: a teoria de opções reais.

Em se tratando das incertezas, existem incertezas diversas relacionadas aos bens naturais:

- Incerteza econômica
- Incerteza ecológica
- Incerteza quanto ao melhor uso do recurso ambiental
- Incertezas nas mudanças tecnológicas
- Redução da incerteza pela revelação da informação
- Incertezas nos benefícios de uso *versus* benefícios da preservação
- Incerteza no “valor de existência”.

Sobre os dois primeiros tipos de incertezas apontadas e seus desdobramentos:

1) Incerteza econômica: refere-se ao fato dos impactos de um investimento ou de uma política ambiental serem incertos. Não se pode garantir como a agricultura, a pesca, o turismo e a rotina de vida da população serão afetados pelo projeto realizado.

2) Incerteza ecológica: existe incerteza na forma como o ambiente (fauna, vegetação, ar, temperatura, acidez das águas e solo) será impactado. Aí se incluem também as incertezas quanto ao tempo de recuperação da área afetada.

Quanto às demais incertezas, pode-se fazer as seguintes observações:

3) Normalmente são ignoradas as melhores escolhas de uso para o recurso natural que estão relacionadas com as circunstâncias do momento.

4) Mudanças tecnológicas podem acontecer e, por exemplo, reduzir o tempo de recuperação do meio ambiente a uma degradação sofrida.

5) Quando se decide pela degradação e pelo uso dos recursos naturais de uma determinada área, se um projeto de uso alternativo anterior já foi feito em uma outra área com características semelhantes, a incerteza diminui no próximo investimento devido a revelação



da informação acontecida com o primeiro projeto. A chegada de novas informações reduz a incerteza em investimentos seqüenciais.

6) Há incertezas tanto nos benefícios de se utilizar o bem ambiental quanto nos benefícios da preservação.

7) Incertezas existem também no próprio “valor de existência” do recurso, se for considerado que este valor tem uma relação com aspectos morais e culturais que modificam-se no decorrer dos anos.

Quanto ao conceito de flexibilidade gerencial, este significa considerar formalmente na modelagem um aspecto que é bastante intuitivo na prática: as decisões estratégicas são revisadas ao longo do tempo se as condições iniciais em que o projeto foi avaliado se alteram.

Em suma, todos estes aspectos destacados nessa seção são desconsiderados pelas técnicas que atualmente estão sendo usadas para valorar o meio ambiente. Mas com a teoria de opções reais há condições de introduzi-los explicitamente na modelagem. Ressalta-se que avaliar os recursos naturais e conhecer o seu valor é um aspecto essencial para se avaliar os usos alternativos ao estado de conservação.

#### 4. A TEORIA DAS OPÇÕES REAIS

Para iniciar o estudo da teoria das opções reais é válido estabelecer uma analogia desta com a teoria das opções financeiras, uma vez que a teoria das opções foi desenvolvida inicialmente nos mercados financeiros e, posteriormente, foi relacionada com as oportunidades de investimento em ativos reais (DIXIT & PINDYCK, 1994).

As opções financeiras são títulos derivativos escritos sobre ações, índices de bolsas, *commodities*, taxa de juros futura, câmbio e contratos futuros, entre outros. As opções reais são conceitos relacionados às oportunidades de investimentos em ativos reais, tais como a construção de uma indústria, expansão ou contração da sua capacidade de produção, entre outras possibilidades.

As opções são avaliadas quando existe incerteza no preço do ativo básico. Para exemplificar, um seguro de automóvel ou um plano de saúde é um contrato de opção. O seguro permite ao segurado a opção de usar o montante assegurado se ocorrer um sinistro. O plano de saúde também é um exemplo de contrato de opção (MINARDI, 2004).

As opções reais tentam modelar a flexibilidade gerencial intrínseca ao mundo real. O investidor racional modifica as suas decisões quando o cenário se altera frente às condições inicialmente previstas. Isso significa que as escolhas mudam e a teoria financeira tradicional, ao desconsiderar essa mudança, subavalia o projeto.

Apesar das críticas feitas aos pressupostos da teoria de finanças convencional, vale mencionar que os seus conceitos são válidos, mas devem ser utilizados com cuidado caso o projeto em análise tenha um alto grau de incerteza e permita flexibilidades ao investidor. Quando a incerteza for pequena e existir pouca flexibilidade para o agente agir, a análise pelo VPL, por exemplo, pode ser aplicada sem problemas (KESWANI & SHACKLETON, 2006) e (DIXIT & PINDYCK, 1994).

Trigeorgis (1996) faz uma conexão entre a teoria tradicional e a teoria das opções através da equação (4) a seguir. Nesta equação é possível observar como as duas teorias se complementam e não se substituem. O VPL expandido é assim denominado por Trigeorgis por considerar o valor das flexibilidades.

$$VPL_{\text{expandido}} = VPL_{\text{tradicional}} + \text{Valor}_{\text{flexibilidade gerencial}} \quad (4)$$



## 5. A TEORIA DE OPÇÕES NA LITERATURA DOS RECURSOS AMBIENTAIS

A literatura da teoria das opções reais mostra sua aplicação também no contexto de avaliação dos recursos econômicos que, especificamente, se relacionam com o conceito de conservação dos recursos naturais e da biodiversidade. Neste sentido, sabe-se que o sistema socioeconômico e ecológico evolui e, devido as variáveis aleatórias do problema, esta evolução é dita estocástica. Isso significa que encontrar um estado de equilíbrio para descrever essa evolução é improvável ou mesmo impossível (CONRAD, 1997).

Em ecologia, a evolução de duas ou mais espécies interagindo no tempo, chama-se coevolução. Uma vez que não é adequado fazer um tratamento determinístico da evolução dos sistemas, a coevolução torna-se um problema de simulação estocástica, pois fenômenos biofísicos, naturais e de extinção das espécies ocorrem aleatoriamente e a capacidade do planeta em suportar estes acontecimentos se altera com a ocorrência destes fenômenos (CONRAD, 1997).

Assim com os conceitos absorvidos pela teoria das opções reais pode-se incorporar às análises acerca do uso dos recursos naturais uma questão essencial: as decisões relacionadas ao uso da natureza podem ser irreversíveis. Por exemplo, a questão sobre o quanto de recurso consumir hoje apenas faz sentido quando se considera a possibilidade (escolha) de adiar a decisão de extrair ou não o recurso natural. Desta forma, a abordagem pela teoria das opções é mais apropriada para avaliar decisões que assumem a irreversibilidade de uma ação e a incerteza nos benefícios futuros desta ação por levar em conta o valor de quasi opção (FORSYTH, 2000).

A escolha do quanto consumir no presente deverá contabilizar os custos e benefícios de se adiar o consumo hoje para o futuro, a fim de deixar uma quantidade maior de recursos à disposição das gerações futuras. Diante disso, observa-se a estreita relação criada por Conrad (1997) e Conrad (1980) entre os conceitos da teoria das opções e o termo desenvolvimento sustentável. Conrad (1997) admite a presença de fatores estocásticos na decisão de uso do recurso natural e a irreversibilidade de uma ação em prol do desenvolvimento.

A noção da irreversibilidade da decisão é amplamente debatida por Henry (1974). Segundo este autor uma decisão é irreversível, se quando tomada, reduz a possibilidade de escolhas no futuro. Como exemplo de uma decisão irreversível, o caso da catedral de Notre-Dame na França serve como ilustração. Supondo que se tenha que decidir entre preservá-la ou demoli-la e construir um parque, a decisão de preservá-la não é irreversível, pois em qualquer outro momento pode-se repensar outro projeto alternativo à catedral. Mas a decisão de destruí-la é irreversível.

Observa-se que uma decisão é menos irreversível (portanto mais reversível) à medida que não afeta as possibilidades de escolhas no futuro. Contudo, se a escolha hoje é demolir Notre-Dame e construir um parque, nunca mais se terá a opção de conservá-la. Assim esta é uma decisão irreversível.

Outro exemplo empregado por Henry (1974) se relaciona com as escolhas de um fazendeiro sobre o tipo de semente que plantará em suas terras. Nesta ilustração, a decisão do fazendeiro não é irreversível porque o conjunto de possibilidades para os próximos anos não é alterado. No futuro pode-se novamente decidir qual semente plantar. No entanto, se a decisão em questão for destruir uma floresta e aumentar a área disponível para o cultivo, isso pode ser considerado uma decisão irreversível.

Em geral, existem diferentes graus de irreversibilidade associados à uma decisão de interesse (HENRY, 1974). A irreversibilidade e a transformação do meio ambiente gera uma perda de perpetuidade nos benefícios da preservação, que são os custos de oportunidade do desenvolvimento.

Conforme discutido por Arrow & Fisher (1974), e posteriormente por outros autores, uma falha dos estudos que avaliam a deterioração ambiental tem sido tratar fenômenos

estocásticos como determinísticos. Neste trabalho, Arrow & Fisher (1974) exploram as implicações das incertezas nos custos e benefícios ambientais de algumas atividades econômicas e avaliam que a existência de custos ambientais reduzem os benefícios líquidos da atividade econômica.

Se as informações dos custos e benefícios das alternativas de preservação e desenvolvimento no primeiro período mudam as expectativas dos valores destas duas possibilidades (preservação e desenvolvimento) no próximo período, então os benefícios do desenvolvimento da área em análise serão reduzidos. Logo, uma região menor será desenvolvida. Tal fato ocorre porque os custos ambientais no período inicial reduzem os benefícios econômicos do uso e desenvolvimento nos períodos seguintes.

Fisher & Krutilla & Cicchetti (2001) observaram em seu trabalho que a quantidade de recursos naturais disponíveis é decrescente com o passar do tempo. Esta é uma constatação preocupante devido a irreversibilidade de muitas transformações ambientais. Neste estudo, os autores desenvolveram um modelo de alocação ótima entre preservação e desenvolvimento dos recursos naturais. O modelo foi aplicado à decisão de construir uma hidrelétrica no Hells Canyon (ao longo do Rio Snake no continente da América do Norte) ou preservar a área para recreação e outras atividades.

Arrow & Fisher (1974) verificaram que a existência de incertezas pode reduzir os benefícios líquidos da atividade econômica que possui custos ambientais. Foi observado ainda que os retornos da opção de desenvolvimento são menores e decrescentes com o tempo em relação à alternativa de preservação e recreação devido a noção de irreversibilidade da mudança. Por outro lado, a opção de preservação é uma decisão reversível em qualquer momento. Segundo os autores, a diferença real entre as duas alternativas deve-se à irreversibilidade.

No raciocínio apresentado por Arrow & Fisher (1974) é colocado um modelo com dois períodos. É assumido que para qualquer quantidade de desenvolvimento planejada no primeiro período, esta decisão pode ser revisada no início do segundo período (quando se tem mais informações a respeito dos benefícios alcançados no primeiro período). Também, em virtude da incerteza nos benefícios do desenvolvimento, é melhor “errar” pelo lado de menos desenvolvimento do que por mais desenvolvimento em uma área. Diante disto, o resultado é que, sob incerteza, é menos provável que a área seja desenvolvida.

Apesar disso, Arrow & Fisher (1974), declaram que o fato de uma ação ter efeitos irreversíveis não significa que a mesma não deve ser empreendida. O efeito da irreversibilidade é reduzir os benefícios, os quais deverão ser balanceados com os custos da ação. Assim, a questão essencial em se tratando da irreversibilidade da ação é que os benefícios esperados de uma decisão irreversível devem ser ajustados para refletir a perda de opções no futuro.

As implicações da irreversibilidade do investimento, abordada por Pindyck (1991) e posteriormente por Dixit & Pindyck (1994), possibilitou observar que em decisões tomadas sob incerteza e irreversibilidade existe um valor positivo que gera o conceito de valor de quasi opção que é o valor na opção de adiamento do uso.

De acordo com Fisher (2000), existe uma estreita relação entre a teoria de opções financeira e a teoria de opções com foco na preservação ambiental. Este autor apresenta em seu trabalho um modelo simples de ambas as teorias e de sua equivalência. Fisher (2000) discute com base nos argumentos de Dixit e Pindyck (1994) que, se um investimento é irreversível e seu retorno futuro é incerto, a incerteza seria resolvida pela espera. Portanto, o valor presente da espera, em relação a oportunidade de investimento no período inicial, é maior. Esta diferença deve ser entendida como o valor da opção de adiar a decisão de investimento.

Outros trabalhos interessantes de serem citados como exemplo de como a teoria de opções tem focado os recursos naturais podem ser (PINDYCK, 1999), (CONRAD, 1980),

(PINDYCK, 2001), (COTAZAR; SCHWARTZ; SALINAS, 1998), (ROCHA; MOREIRA; REIS; CARVALHO, 2006) que avaliam a quantidade de poluição e a emissão de CO<sub>2</sub>. A decisão de corte de florestas pode ser vista nos trabalhos de (INSLEY, 2002) e (MORCK; SCHWARTZ; STANGELAND, 1989), (CONRAD, 1997), (FORSYTH, 2000).

Kassar & Lassere (2002) trazem uma abordagem diferenciada no uso de opções reais em bens naturais. Neste estudo os autores avaliam como uma indústria farmacêutica deve escolher entre dois princípios ativos para a produção de seus medicamentos. É considerado que as duas espécies naturais possíveis de serem usadas na fabricação de um medicamento são substitutas uma da outra. A escolha leva em conta os custos associados ao uso cada uma delas, a irreversibilidade do uso contínuo de uma única espécie e a incerteza no valor futuro das mesmas.

## 6. CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo apresentar os conceitos da teoria de opções reais para suprir algumas das limitações das atuais técnicas de avaliação econômica do meio ambiente. Neste sentido, os dois conceitos base da teoria de opções que devem ser incorporados à valoração são a flexibilidade da ação e a irreversibilidade da mudança. As atuais técnicas de valoração, ao ignorar estes dois aspectos na apuração do valor econômico dos recursos ambientais, vem provocando sérias distorções no processo de tomada de decisão e gerenciamento dos recursos ambientais.

A inclusão de um valor associado à flexibilidade da ação e à irreversibilidade pode ajudar a esclarecer uma questão-chave em decisões de investimentos que degradam o meio ambiente: até quando a preservação seria a decisão ótima para a sociedade em termos de manter o processo de desenvolvimento econômico e a evolução da humanidade.

A teoria de opções reais tem relevantes conceitos intrínsecos que permitem definir o valor econômico do meio ambiente sob incerteza. Como mostrado na seção 3, há muitas incertezas presentes na avaliação do meio ambiente que não podem ser desconsideradas. No entanto, as atuais técnicas de valoração não mostram como incorporar as referidas incertezas.

Desta forma, este trabalho apresenta os conceitos associados à teoria de opções reais como a alternativa para modelar as incertezas presentes no problema da valoração.

## 7. REFERÊNCIAS

ARROW, K. J. & FISHER, A.C. Environmental, Preservation, Uncertainty and irreversibility. **The Quarterly Journal of Economics**. Vol 88, n° 2, 312-319. 1974.

BASILIM, M. **Quasi-Option Value and Hard Uncertainty**. Quaderni del Dipartimento di Economia Política. Università degli Studi di Siena. N° 216. Outubro de 1997.

BENAKOUCHE, R. & CRUZ, R.S. **Avaliação monetária do meio ambiente**. São Paulo: Ed. Makron Books, 1994.

CARVALHO, A.M.R. & AGUIAR, M.A.A. A importância da economia e da contabilidade na gestão dos recursos hídricos -Estudo de Caso no Sudoeste Goiano. **XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**. 2008.

CONRAD, J.M. Quasi-option and consumer's surplus: further comment. **Quarterly Journal of Economics**. Vol 85, n° 3, p. 528 – 539. 1980.

CONRAD, J. M. On the option value of old-growth forest. **Ecological Economics**. Vol 22, p. 97-102. 1997.

CONRAD, J. M. **Resource Economics**. Cambridge University Press. 1999.

COPELAND, T & ANTIKAROV, V. **Opções reais: um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos**. Ed. Campus. 2001.

COTAZAR, G. & SCHWARTZ, E. & SALINAS, M. Evaluating Environmental Investments: A Real Options Approach. **Management Science**. Vol. 44, n° 8. 1998.

DIXIT, A. & PINDYCK, R. **Investment Under Uncertainty**. Princeton: Princeton University Press, 1994.

FILHO, C & KOPITTKKE, B. H. Análise de investimento. 9ª. edição. Ed. Atlas. 2000.

FISHER, A.C & KRUTILLA, J.V & CICCHETTI, C.J. The Economics of Environmental Preservation: A Theoretical and Empirical Analysis. **The American Economic Review**. 2001.

FORSYTH, M. On estimating the option value of preserving a wilderness area. **Canadian Journal of Economics**. Vol. 33, n° 2, p 413- 434.

GAZONI, J.L. Viagem aos comuns: valoração econômica da utilidade turística dos recursos ambientais de Itaúnas, Conceição da Barra/Es. **Turismo – Visão e Ação**. Vol. 9, n° 3, p. 305 a 324. 2007.

GITMAN, L.J. **Princípios de Administração Financeira**. Bookman. 2ª ed. 2001.

HENRY, C. Investment Decisions Under Uncertainty: The “Irreversibility effect”. **The American Economic Review**. Vol. 64, n° 6, p 1006-1012. 1974.

HILDEBRAND, E. *et al.* “Valoração Contingente” na avaliação econômica de áreas verdes urbanas. **Revista Floresta** vol. 32, 1ª ed. (121-132). Parana, 2002.

INSLEY, M. A Real Options Approach to the Valuation of a Forestry Investment. **Journal of Environmental Economics and Management**. Vol. 44, p. 471-492. 2002.

KESWANI, A. & SHACKLETON, M. B. **How real option disinvestment flexibility augments project NPV**. European Journal of Operational Research. V. 168 (240 – 252). 2006.

MINARDI, A.M.A.F. **Teoria de opções aplicada a projetos de investimento**. São Paulo. Atlas, 2004.

MORCK, R; SCHWARTZ,.; STANGELAND, D. The Valuation of Forestry Resources Under Stochastic Prices and Inventories. **The journal of Financial and Quantitative Analysis**. Vol.24, n° 4, p. 473-487. 1989.

MOTA, J.A. **O valor da Natureza: Economia e política dos recursos naturais**. Rio de Janeiro. Ed. Garamond. 2006.

MOTTA, R. S. **Manual para Valoração Econômica dos Recursos Naturais**. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. 1997.

MOTTA, R. S. **Desafios ambientais da economia brasileira**. Texto para discussão N° 509. IPEA. 1997a.

MUN, J. **Real Options Analysis – Tools and Techniques for Valuing Strategic Investment and Decisions**. 2006.

SOUZA, A. *et al.* Modelos de preços hedônicos para estimar a relação preço-satisfação na compra de veículos populares novos. **Revista Economia & Gestão**. Vol 07, n° 15. 2006.

PEARCE, D. & TURNER, R. **Economics of natural resources and the environment**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press. 1991.

PINDYCK, R.S. Irreversibility, Uncertainty and Investment. **Journal of Economic Literature**. Vol 29, p. 1110-1152. 1991.

ROCHA, K; MOREIRA, A.R.B; CARVALHO, L. The market value of forest concessions in the Brazilian Amazon: a Real Option approach. **Forest Policy and Economics**. Vol 8, p. 149-160. 2006.

TRIGEORGIS, L. **Real options – Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation**. The MIT Press, 1996.