



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia Florestal

**TEORIA DAS OPÇÕES REAIS: SUA APLICAÇÃO NA AVALIAÇÃO
ECONÔMICA DE UM PROJETO FLORESTAL**

CAMILLA BEHRENS PALMEIRA

Orientadora

MSc. Maísa Santos Joaquim

Co-orientador

Prof. Dr. Álvaro Nogueira de Souza

Brasília – DF, julho de 2012



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Faculdade de Tecnologia

Departamento de Engenharia Florestal

TEORIA DAS OPÇÕES REAIS: SUA APLICAÇÃO NA AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE UM PROJETO FLORESTAL

Estudante: Camilla Behrens Palmeira **Matrícula:** 07-30939

Orientadora: MSc. Maísa Santos Joaquim

Co-orientador: Prof. Dr. Álvaro Nogueira de Souza

Trabalho Final apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheira Florestal.

Brasília – DF, julho de 2012

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

**TEORIA DAS OPÇÕES REAIS: SUA APLICAÇÃO NA AVALIAÇÃO ECONÔMICA
DE UM PROJETO FLORESTAL**

Trabalho Final apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheira Florestal.

Estudante: Camilla Behrens Palmeira

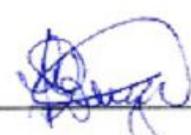
Matrícula: 07-30939

Menção: SS

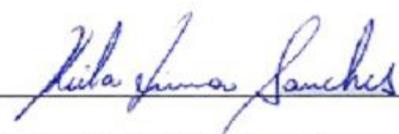
Banca Examinadora:



MSc. Maísa Santos Joaquim
(Orientadora – Serviço Florestal Brasileiro)



Prof. Dr. Álvaro Nogueira de Souza
(Co-orientador – UnB)



MSc. Keila Lima Sanches
(Examinadora – Doutoranda em Ciências Florestais, UnB)

Brasília – DF, julho de 2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido força e iluminado o meu caminho para que eu pudesse concluir mais uma etapa de minha vida.

Aos meus pais, Mônica e Luiz, por estarem sempre ao meu lado, pelo imenso amor e carinho que sempre me deram, por sempre acreditarem na minha capacidade em alcançar meus objetivos e pelas oportunidades de estudos que me proporcionaram.

À minha irmã, Luísa, por todo o apoio ao longo do curso e por me mostrar a ter calma diante dos problemas que viessem a surgir.

À minha orientadora, Máisa Santos Joaquim, e ao meu co-orientador, professor Álvaro Nogueira de Souza, pelos sábios conhecimentos a mim transmitidos, pela paciência e pelo maravilhoso apoio em todas as etapas desta monografia.

A todos os professores que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação, pelo incentivo, pela dedicação e pelos ensinamentos proporcionados em aula.

Aos colegas que fiz durante os cinco anos e meio de curso, pela ajuda na realização de diversos trabalhos e pelos momentos de descontração que tivemos.

Finalmente, a todos os meus amigos e familiares pelo apoio, paciência e compreensão nos momentos em que estive ausente devido aos estudos e que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Dedico às duas pessoas mais importantes de minha vida, meus pais, Mônica e Luiz, que, além de todo o amor, carinho e dedicação, me proporcionaram uma educação de qualidade que me permitiu chegar até aqui, me ensinaram a nunca desistir dos meus sonhos e que sempre vibraram com cada conquista minha.

*“O sucesso é ir de fracasso em fracasso
sem perder o entusiasmo”*

Winston Churchill

RESUMO

TEORIA DAS OPÇÕES REAIS: SUA APLICAÇÃO NA AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE UM PROJETO FLORESTAL

Autora: Camilla Behrens Palmeira

Orientadora: MSc. Máisa Santos Joaquim

Co-orientador: Prof. Dr. Álvaro Nogueira de Souza

Brasília – DF, julho de 2012

O presente trabalho teve como objetivo aplicar a Teoria das Opções Reais ao banco de dados de um projeto referente à implantação de um povoamento florestal clonal de *E. camaldulensis* x *E. grandis* e, em seguida, realizar a comparação entre os resultados obtidos e aqueles alcançados por meio do método tradicional de avaliação econômica do Valor Presente Líquido (VPL). Para isso, a realização do trabalho consistiu de quatro etapas: determinação do Fluxo de Caixa do projeto e cálculo de seus Valores Presentes Líquidos sem flexibilidade para os anos de corte (anos 2, 4 e 6); determinação da volatilidade (36%) e criação da árvore de eventos; identificação da opção de abandono e criação da árvore de decisão e realização do cálculo e da análise de tal opção. Os resultados evidenciaram que o $VPL_{\text{expandido}}$ (R\$ 6168,46), calculado a partir da Teoria das Opções Reais, é maior do que o $VPL_{\text{estático}}$ (R\$ 3416,73). A diferença entre ambos os valores mostra que a consideração da opção de abandono incorporou R\$ 2751,73 ao valor do projeto. Assim, pôde-se concluir que a aplicação da TOR em projetos do setor florestal é viável e que a flexibilidade gerencial e as incertezas presentes no decorrer de um projeto florestal pode incorporar valor ao mesmo.

Palavras-chave: Economia Florestal; Valor Presente Líquido; Teoria das Opções Reais.

SUMÁRIO

1. Introdução	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo geral	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
2. Referencial Teórico.....	3
2.1 Definições de importantes aspectos ligados às decisões de investimento.....	3
2.1.1 Incerteza	3
2.1.2 Risco	4
2.1.1 Flexibilidade gerencial	5
2.2 Avaliação econômica de projetos	5
2.2.1 Fluxo de Caixa Descontado (FCD)	6
2.2.1.1 Valor Presente Líquido (VPL).....	7
2.3 Teoria das Opções Reais.....	9
2.3.1 Tipos de Opções Reais	12
2.3.2 Ferramentas de avaliação de opções reais e de otimização sob condições de incerteza.....	16
2.3.2.1 Análise de Sensibilidade.....	17
2.3.2.2 Método da Simulação de Monte Carlo	17
2.3.2.3 Análise por Árvores de Decisão	18
2.3.2.4 Métodos de Avaliação de Opções Reais.....	19
2.3.3 Trabalhos realizados sobre a aplicação da TOR em projetos do setor florestal	22
3. Material e Métodos.....	24
4. Resultados e Discussão	31
5. Conclusão	42
6. Referências Bibliográficas	42
7. Apêndices.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Árvore de decisão (PAMPLONA & MONTEVECHI, 2005 – adaptado).....	19
Figura 2 – Árvore Binomial (LAZO, 2004).....	22
Figura 3 – Processo multiplicativo estocástico.....	28
Figura 4 – Gráfico da variação das taxas de inflação ao longo dos treze anos considerados..	33
Figura 5 – Árvore de eventos sem flexibilidade do projeto.....	36
Figura 6 – Árvore de decisão do projeto florestal.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Etapas operacionais e custo total em cada etapa.....	24
Tabela 2 – Dados do projeto florestal utilizados na realização do trabalho.....	25
Tabela 3 – Taxas de inflação no Brasil.....	27
Tabela 4 – Valores de venda do projeto.....	30
Tabela 5 – Fluxo de Caixa do projeto florestal em estudo.....	31
Tabela 6 – VPLs do projeto.....	32
Tabela 7 – Valores de x_i , X e $(x_i - X)^2$	34
Tabela 8 – Retornos ótimos dos nós finais da árvore de eventos.....	37
Tabela 9 – Dados obtidos a partir da abordagem do portfólio replicado e decisões a serem tomadas.....	38

1. INTRODUÇÃO

Diante de uma economia mundial cada vez mais dinâmica e complexa – caracterizada por constantes alterações nas taxas de juros, desajustes de mercado, competição global, ausência de poupança a longo prazo e intervenções frequentes em suas regras (ASSAF NETO, 1997) – torna-se necessário que empresas possuam uma maior visão analítica e crítica no momento das avaliações e das decisões econômicas de investimento. Segundo Antonik & Assunção (2005), tais atividades têm sido afetadas pela escolha do momento ótimo para a realização do investimento, pelo grau de irreversibilidade do projeto e por incertezas econômicas e técnicas relacionadas, por exemplo, à volatilidade dos preços dos ativos, aos custos, à ocorrência de crises em mercados de títulos e de câmbio e ao tamanho da produção.

Os métodos tradicionais utilizados nas análises econômicas de projetos, como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), todavia, não consideram a interação entre os fatores que afetam as atividades decisórias citados anteriormente. De acordo com Trigeorgis (1995), tais métodos partem do pressuposto da existência de uma estratégia operacional estática, em que o projeto é realizado de forma contínua, desde o investimento até a sua conclusão, sem considerar possíveis informações e incertezas que possam surgir durante sua execução. Esse fato limita a realização de redirecionamentos nos planos do projeto ao longo de seu desenvolvimento, o que seria fundamental para adaptá-lo às alterações do mercado, garantindo a sua maior lucratividade.

É visível, dessa forma, a necessidade da utilização de um método que permita realizar a avaliação econômica de investimentos de modo que as incertezas e os riscos sejam levados em consideração, para que decisões mais favoráveis quanto ao rumo do projeto possam ser tomadas. Um método que considera tais fatores é a Teoria das Opções Reais (TOR).

A TOR, portanto, inclui as incertezas e os riscos nas análises de investimentos. Essa incerteza se refere à falta de conhecimento *a priori* do resultado de uma ação ou do efeito de uma condição sobre o projeto. Já o risco, em seu sentido fundamental, está associado à possibilidade de uma empresa sofrer prejuízo financeiro ou, mais formalmente, à variabilidade de retornos referente a um determinado ativo (SIMIONI & HOELFLICH, 2006).

A teoria ainda inclui, nas avaliações econômicas de projetos, a flexibilidade gerencial, a qual corresponde à capacidade que uma empresa possui de alterar decisões ao longo da vida de empreendimentos que necessitem de investimentos irreversíveis e que sejam realizados em

ambientes altamente incertos (MASSOTTI, 2007). Assim, a existência de diversas possibilidades de decisões a serem tomadas, em um ambiente de incertezas e riscos, adiciona valor ao projeto, uma vez que fornece mais recursos aos analistas para otimizá-lo (DIWAN, 2004).

A TOR é empregada na avaliação de ativos reais como, por exemplo, de projetos de investimento de capital, de propriedades intelectuais, de terras, de fontes de recursos naturais e de projetos de pesquisa e desenvolvimento (SANTOS & PAMPLONA, 2002). Para esse emprego, é preciso considerar três premissas que afetam as atividades decisórias, mas que não são abordadas pelos métodos tradicionais: a irreversibilidade parcial ou completa do investimento; a existência de incertezas relacionadas às futuras recompensas pelo investimento e a flexibilidade em relação ao “timing” do investimento (ANTONIK & ASSUNÇÃO, 2005).

Entende-se, assim, que todo ou parte do capital investido não pode ser recuperado caso se realize modificações nos planos do projeto durante sua vida útil. Ainda entende-se que, à medida que novas informações de mercado surjam, as empresas passam a ter uma gama de opções cabíveis ao projeto de investimento, podendo, por exemplo, adiá-lo, abandoná-lo, expandí-lo ou contraí-lo a qualquer momento, a fim de influenciar positivamente os seus valores finais.

As incertezas e os riscos durante as tomadas de decisão estão presentes nas atividades econômicas do setor florestal. Isso se deve, principalmente, a longa duração dos projetos de investimentos florestais quando comparados a outros setores econômicos, uma vez que, são necessários elevados investimentos em terra e em capital, apresentando baixas taxas iniciais de retorno devido ao lento crescimento da floresta, o que, conseqüentemente, possibilita a obtenção de lucro apenas no longo prazo (NOCE *et al.*, 2005). O desenvolvimento de projetos florestais ainda se encontra associado a riscos provenientes de condições ambientais adversas, de crises econômicas e de variações na economia referentes aos preços dos produtos, à variação do volume produzido, às taxas de juros e aos custos dos insumos, por exemplo (SOARES *et al.*, 2009).

A partir do exposto, a Teoria das Opções Reais pode se apresentar como um importante instrumento para a execução de avaliações econômicas de projetos na área florestal, pois os diversos riscos e opções existentes no decorrer da realização do empreendimento podem ser considerados e, assim, refletindo de forma mais real e confiável o processo de tomada de decisão.

Dessa forma, levando em consideração a relevância da Teoria das Opções Reais para a análise de projetos e a existência de escassos estudos e informações sobre a sua utilização em investimentos florestais, justifica-se a realização do presente trabalho para analisar a aplicação da TOR na avaliação econômica de um projeto específico da área florestal, buscando responder se os resultados obtidos com a TOR são satisfatórios e diferentes dos resultados alcançados utilizando o método do VPL.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GERAL

O trabalho tem como objetivo aplicar a Teoria das Opções Reais ao banco de dados de um projeto referente à implantação de um povoamento florestal clonal de *E. camaldulensis* x *E. grandis* e, em seguida, realizar a comparação entre os resultados obtidos e aqueles alcançados por meio do método tradicional do Valor Presente Líquido.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Estimar o valor da opção real de abandono considerada no projeto.
- ✓ Verificar as vantagens e desvantagens da Teoria das Opções Reais.
- ✓ Comparar os resultados obtidos com a aplicação do método da Teoria das Opções Reais com os obtidos por meio do método do Valor Presente Líquido.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ASPECTOS LIGADOS ÀS DECISÕES DE INVESTIMENTO

2.1.1. INCERTEZA

O termo incerteza se refere à dificuldade de prever eventos futuros que possam incidir sobre um projeto, ou seja, refere-se à falta de conhecimento *a priori* acerca da distribuição das probabilidades de ocorrência de uma ação ou do efeito de uma variável aleatória sobre um projeto (SIMIONI & HOELFLICH, 2006). Isso significa que, em sua análise, não se

conhece a distribuição estatística de possibilidades futuras e, portanto, trabalha-se com opiniões e sugestões de especialistas que decidirão quais projetos ou investimentos serão mais adequados do ponto de vista econômico.

Essas incertezas podem estar condicionadas a elementos do próprio projeto e, também, do ambiente externo, como as mudanças no cenário econômico e tecnológico. Dessa forma, nas análises de investimento, elas podem ser classificadas em incertezas técnicas e incertezas econômicas (MARTINS *et al.*, 2007).

As incertezas técnicas são aquelas relacionadas às características específicas de um projeto – como a incerteza sobre o tamanho da produção – não estando relacionadas a movimentos macroeconômicos. A presença inicial desse tipo de incerteza é capaz de atribuir valor a projetos que podem ser desenvolvidos em uma sequência de estágios, pois as informações obtidas em uma etapa servirão de referência para o desenvolvimento das etapas seguintes, reduzindo, assim, a possibilidade de geração de projetos subótimos (DIWAN, 2004).

As incertezas econômicas, por sua vez, são ocasionadas por fatores externos ao projeto, sendo representadas pelas variações aleatórias no preço do produto e pelos custos, ou seja, pelos movimentos da própria economia (MARTINS *et al.*, 2007). De acordo com Dias (1996), elas afetam os investimentos de forma negativa, visto que quanto mais incerto for o mercado econômico, maior será a tendência de espera por parte do investidor ou maior será o retorno exigido por ele para que se inicie o projeto.

2.1.2. RISCO

Diferentemente da incerteza, o risco se refere à variância de determinada distribuição da probabilidade de ocorrer futuros eventos negativos sobre o projeto (SIMIONI & HOELFLICH, 2006). A partir dessa variância da distribuição probabilística, é possível determinar numericamente as chances do projeto se tornar inviável diante de distúrbios que possam vir a ocorrer, fornecendo, assim, subsídios para a empresa se decidir entre alternativas que apresentem diferentes graus de risco.

Como afirma Duarte Júnior (2001), existem quatro grandes grupos de risco: risco de mercado, risco operacional, risco de crédito e risco legal.

O risco operacional está relacionado a possíveis perdas econômicas decorrentes de falhas de gerenciamento, de erros humanos e de sistemas e/ou controles inadequados. Já o risco de crédito está associado a possíveis perdas – relacionadas aos recursos que não serão

mais recebidos pela empresa – quando um dos contratantes não honra seus compromissos. O risco legal, por sua vez, refere-se a possíveis perdas econômicas que poderão surgir quando um contrato não for legalmente amparado, como, por exemplo, quando há documentação insuficiente, ilegalidade e falta de representatividade por parte de um negociador. Por fim, o risco de mercado é a possibilidade de ocorrer perdas resultantes de alterações nos valores de mercado de posições detidas por uma instituição, incluindo o risco de variação cambial, das taxas de juros, dos preços de ações e dos preços de mercadorias, por exemplo (DUARTE JÚNIOR, 2001).

2.1.3. FLEXIBILIDADE GERENCIAL

A flexibilidade gerencial está associada à possibilidade, que a gerência de uma empresa possui, de realizar revisões e alterações estratégicas no planejamento original de seus projetos. Assim, é possível adaptá-los às incertezas e a novas situações do mercado (MASSOTTI, 2007).

Minardi (2000) enfatiza que tal flexibilidade é uma série de opções reais que uma empresa pode adotar como uma resposta adaptativa às incertezas e às informações que vão surgindo ao longo do desenvolvimento de um projeto. Ainda segundo o autor, exemplos de opções reais capazes de serem adotados são: adiar um projeto para se obter melhores informações sobre o mercado, resolvendo algumas incertezas; abandoná-lo temporária ou definitivamente, caso as condições de mercado se tornem muito desfavoráveis a sua execução e expandir ou contrair a sua escala de produção, se as condições do mercado se tornarem melhores ou piores que as previstas.

Portanto, a capacidade que a gerência tem de interferir em questões-chave de um projeto, promovendo alterações que minimizem perdas, ao exercer as possíveis opções no momento adequado, é de suma importância, uma vez que atribui valor ao projeto ao permitir a maximização de seus lucros (MONTEIRO, 2003).

2.2. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETOS

A análise econômica de um projeto é utilizada como forma de buscar parâmetros indicativos de sua viabilidade, consistindo em verificar se os retornos que foram originados no decorrer do projeto justificam ou não o investimento realizado (SIMÕES *et al.*, 2009).

Dessa forma, deve-se levar em consideração o seu fluxo de caixa, que expõe todos os custos e as receitas distribuídos ao longo da vida útil do empreendimento (SILVA *et al.*, 2005).

Para essa avaliação é necessária a aplicação de critérios ou métodos de avaliação econômica a partir dos quais podem ser tomadas decisões de forma mais segura acerca da viabilidade do projeto e das possíveis alternativas capazes de elevar a sua rentabilidade (SILVA & FONTES, 2005). Um exemplo de tais métodos é o Fluxo de Caixa Descontado.

2.2.1. FLUXO DE CAIXA DESCONTADO (FCD)

De acordo com Barros (2009), o método de avaliação econômica tradicional mais empregado na análise de projetos é o Fluxo de Caixa Descontado (FCD). Isso porque possui maior rigor técnico e conceitual para expressar o valor econômico de uma empresa (ASSAF NETO, 2008).

Tal método apresenta como base o conceito de que o dinheiro admite valor diferente no tempo, não podendo, conseqüentemente, se comparar quantias em períodos distintos (GALDI *et al.*, 2008). Assim, a partir dele os ativos são avaliados por sua riqueza econômica expressa na data presente, sendo determinada por meio da transferência, para essa data, do valor do fluxo de caixa esperado no futuro. Para isso, é descontada a taxa mínima de atratividade, a qual reflete o custo de oportunidade dos investidores (ASSAF NETO, 2008).

Portanto, os fluxos de caixa considerados nas avaliações econômicas realizadas com o emprego do FCD, devem ser projetados para um determinado horizonte de tempo, averiguando-se, a partir das entradas e das saídas de caixa, a riqueza líquida no presente momento (ASSAF NETO, 2008). Ainda segundo o mesmo autor, tais fluxos de caixa devem ser consistentes com a taxa mínima de atratividade aplicada ao projeto avaliado.

Myers (1984), contudo, afirma que o uso do FCD pode falhar em planejamentos estratégicos, mesmo que seja aplicado corretamente. Isso porque o referido método não é capaz de captar o valor da flexibilidade gerencial, ao não considerar incertezas futuras e situações não previstas (FRAYER & ULUDERE, 2001). Além disso, assim como a maioria das ferramentas utilizadas para valoração de ativos, o FCD foi desenvolvido para valorar ativos financeiros, como títulos e ações. Dessa forma, problemas podem surgir no momento de sua aplicação nas avaliações de ativos reais – como de projetos de investimento de capital, de terras e de fontes de recursos naturais – por ignorar as opções implícitas em tais ativos (SOUSA NETO *et al.*, 2008).

Outra desvantagem dos métodos de FCD, como enfatiza Noronha (2009), está relacionada ao fato de as taxas de retorno consideradas nos cálculos de viabilidade de projetos, em muitos casos, se encontrarem fundamentadas no julgamento subjetivo de quem faz a análise, causando o surgimento de uma forte tendência à valorização excessiva da aversão ao risco.

Monteiro (2003) afirma que, dentre as técnicas abrangidas pelo Fluxo de Caixa Descontado – o Índice de Lucratividade, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) – o VPL é a mais recomendada para a análise econômica de projetos, pois é considerado o método de maior consistência com o objetivo de uma empresa de maximizar a sua riqueza.

2.2.1.1. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

O critério do Valor Presente Líquido, usado em 80% das grandes empresas (SOUSA NETO *et al.*, 2008), consiste em transferir para o presente todas as variações de caixa esperadas, descontadas as taxas mínimas de atratividade, correspondendo à diferença entre os valores presentes das receitas e dos custos (SILVA & FONTES, 2005).

O uso do VPL é bastante simples quando se possuem todos os dados necessários para o seu cálculo. Além disso, Monteiro (2003) ainda cita como vantagens de tal ferramenta os fatos de reconhecer o valor do dinheiro no tempo e de ser consistente com a teoria financeira moderna por utilizar fluxos de caixa ao invés de lucros líquidos.

Como enfatiza Noronha (2009), um valor de VPL positivo implica que o investimento deve fornecer um valor adicional ao investidor, após a devolução do capital empregado e a remuneração de todos os agentes financiadores do investimento. Dessa forma, a existência de um VPL maior que zero é definida como o principal critério de aceitação de um determinado projeto e, ainda, o maior VPL é considerado o critério de escolha quando se realiza a comparação entre diversas alternativas de investimento (MACEDO & NARDELLI, 2009).

O método em questão, todavia, não considera as flexibilidades e os diversos riscos e incertezas que surgem no decorrer do projeto. De acordo com Trigeorgis (1995), tal critério parte do pressuposto da existência de uma estratégia operacional estática e contínua, sem considerar possíveis informações que possam surgir durante a execução do projeto, o que, conseqüentemente, afeta as atividades decisórias.

Outra característica do método é a premissa de que o investimento é reversível e, caso

não o seja, a decisão de investir passa a ser do tipo “agora ou nunca” (BRAGA, 2009). Nessa última situação, caso o VPL seja maior ou igual a zero o investimento deve ser realizado imediatamente, mas se for menor do que zero se deve desistir de investir, não considerando a possibilidade de postergar o investimento na expectativa de se obter novas informações favoráveis a sua execução (LIMA & SUSLICK, 2001).

Amran & Kulatilaka (2000) afirmaram em seu estudo que em épocas passadas os analistas econômicos possuíam um grau razoavelmente elevado de confiança em suas previsões para o futuro, visto a maior estabilidade e previsibilidade do mercado financeiro e a rara necessidade de mudanças repentinas na estratégia da corporação. Dessa forma, segundo os mesmos autores, tais analistas podiam operar com certo grau de segurança, pois uma vez que o projeto fosse aceito a empresa iria tentar executá-lo de acordo com o planejado.

Nesse contexto, a aplicação dos métodos tradicionais de análise econômica de projetos era adequada, uma vez que mesmo havendo incertezas ao longo do projeto estas eram menos frequentes e significativas.

Todavia, nos dias atuais, principalmente a partir dos anos 90, o ambiente econômico mundial tem se mostrado cada vez mais dinâmico, competitivo, incerto e complexo. Assim, quanto maior for o horizonte de tempo, maiores serão as incertezas e as imprecisões relacionadas às previsões de fluxo de caixa já que estes são diretamente influenciados, por exemplo, pelas vendas futuras, pelos custos do projeto em geral e pelas taxas de juros (MONTEIRO, 2003).

Tal fato vem exigindo análises cada vez mais exatas de projetos, principalmente daqueles que demandam elevadas quantias de capital. Este é o caso dos projetos de investimentos do setor florestal, que ainda se caracterizam pelo longo prazo, o que os tornam mais arriscados quando comparados a outros de menor duração (LIMA JÚNIOR *et al.*, 1997).

Os resultados econômicos de projetos florestais estão relacionados a riscos provenientes de condições ambientais adversas, de crises econômicas e de variações no mercado econômico. Assim, é importante que o empreendedor florestal tenha a possibilidade de tomar decisões estratégicas – como, por exemplo, o adiamento do início das operações, alterações dos níveis de produção e o encerramento das atividades – após a implantação do projeto, para que possa adaptá-lo às condições climáticas e de mercado que se verifiquem no decorrer de sua vida útil (MACEDO & NARDELLI, 2009).

Contudo, Cunha (2003) afirma que investidores de projetos florestais, principalmente produtores de celulose e papel, em sua maioria, empregam o método do VPL como principal

ferramenta de decisão para determinar a realização ou não de um projeto. Assim, tais investidores desconsideram, em sua análise, diversos planos de contingência inerentes ao projeto – como, por exemplo, a possibilidade de abandono por meio de sua venda.

Dessa forma, o emprego do critério tradicional do VPL no setor florestal acaba não se tornando muito adequado para a realização de análises quantitativas atuais, podendo fornecer respostas equivocadas. Isso porque subestima o valor do projeto analisado, justamente por não oferecer condições que permitam adaptações no empreendimento e o seu redirecionamento por parte da gerência (DIWAN, 2004).

Nesse cenário, o método da Teoria das Opções Reais (TOR) se mostra como uma possível forma de se considerar riscos e incertezas, buscando aumentar a precisão das decisões quanto ao rumo de projetos florestais que demandam altas quantias de capital e que possuam alto grau de incerteza associado.

2.3. TEORIA DAS OPÇÕES REAIS (TOR)

A Teoria das Opções Reais teve seu marco inicial na publicação do artigo de Black & Scholes, em 1973, no qual expõem um modelo de precificação padrão de opções financeiras. Juntamente com o professor Stewart Myers, do MIT, eles reconheceram que a teoria de precificação de opções poderia ser aplicada também a ativos reais. Assim, para diferenciar as opções sobre ativos reais e as opções financeiras negociadas no mercado, Myers cunhou, já em 1977, o termo “opções reais” que tem sido amplamente aceito no mundo acadêmico e da indústria (LI & JOHNSON, 2002).

De acordo com Reuer & Tong (2007), as opções financeiras oferecem ao detentor do contrato o direito de comprar ou vender um ativo numa determinada data e a um determinado preço, não tendo, contudo, a obrigatoriedade de exercer tal direito. Já as opções reais são o direito, mas não a obrigação, de tomar uma decisão em relação a um projeto ou a um ativo real – como, por exemplo, de adiá-lo, expandí-lo ou abandoná-lo – a um custo predeterminado (conhecido como preço de exercício ou de venda) durante certo período de tempo (GAZZI, 2010). Portanto, estas opções se diferenciam das opções financeiras por estarem relacionadas a ativos reais e tangíveis (FRAYER & ULUDERE, 2001).

Sousa Neto *et al.* (2008) afirmam que, de forma semelhante às financeiras, o valor das opções reais depende de seis importantes variáveis, que são: o valor do ativo subjacente sujeito ao risco (valor do projeto ou do ativo real, desconsiderando as flexibilidades

gerenciais); os dividendos, que são os fluxos de caixa descontados futuros produzidos pelo projeto; a volatilidade do preço do ativo (riscos e incertezas relativos ao retorno futuro esperado do investimento); o preço de exercício; o tempo de expiração da opção (seu prazo de vencimento) e a taxa de juros livre de risco.

A Teoria das Opções Reais, por sua vez, é um modelo de precificação de projetos que se assemelha à realidade empresarial, na qual o empreendimento está inserido, e que permite uma análise mais profunda de investimentos (MARTINS *et al.*, 2007). Ela busca associar ao valor total de uma operação as várias opções possíveis de serem adotadas, que agregam grande valor a um projeto, ao passo que possibilitam a redução de riscos diante das condições de incerteza do mercado (BARROS, 2009).

A teoria ainda está relacionada à flexibilidade que um gerente possui no momento da avaliação de ativos reais, os quais não são negociados no mercado, como é o caso, por exemplo, de projetos de investimento de capital, de avaliação de propriedades intelectuais, de análise de terras, de fontes de recursos naturais e de pesquisas e desenvolvimento (SANTOS & PAMPLONA, 2002).

Para muitos autores, essa flexibilidade gerencial corresponde às possíveis alterações de decisões ao longo da vida de projetos que necessitem de investimentos irreversíveis e que sejam realizados em ambientes com alto grau de incerteza (MASSOTTI, 2007). Assim, permite que empresas capitalizem futuras oportunidades que sejam favoráveis ao negócio e analisem o melhor momento de investir, para que, conseqüentemente, possam maximizar seus lucros e minimizar suas perdas relativas a um gerenciamento passivo ligado às expectativas iniciais (MINARDI, 2000).

Falco *et al.* (2011) afirmam que as opções consideradas por uma empresa adicionarão valor ao investimento apenas quando o VPL, determinado pelo método tradicional, estiver próximo de zero. Isso porque quando ele for muito alto, provavelmente a presença de opções terá um pequeno valor relativo – já que dificilmente serão exercidas – e quando for muito negativo, elas raramente tornarão o projeto viável.

Trigeorgis (1996) parte do pressuposto de que o VPL não deve ser considerado um método totalmente atrasado e desprezível, uma vez que ele pode ser empregado em projetos sem flexibilidades gerenciais significativas. Contudo, quando a flexibilidade é relevante a TOR preenche a lacuna deixada pelo VPL. Isso significa que ela deve ser entendida como um complemento ao método do VPL, à medida que considera as diversas opções que um investidor possui antes e durante a aplicação em um projeto, o que permite,

consequentemente, uma análise mais precisa de investimentos de longo prazo (DIWAN, 2004).

A Teoria das Opções Reais adapta o Valor Presente Líquido ao contexto da flexibilidade gerencial por meio da adição do valor da opção de gestão estratégica ao VPL tradicional – também conhecido como VPL estático ou passivo – dando origem a um VPL expandido, como mostrado na fórmula a seguir (TRIGEORGIS, 1995):

$$\text{VPL}_{\text{expandido}} = \text{VPL}_{\text{estático}} + \text{Valor das opções de gestão de ativos} \quad (1)$$

O valor das opções de gestão de ativos supracitado é um conjunto de opções contidas em oportunidades de investimento de capital, tendo como ativo básico o valor do projeto, o qual é expresso pelas receitas operacionais esperadas de um fluxo de caixa descontado (NORONHA, 2009).

A análise da fórmula exposta permite concluir que projetos podem ser aceitos mesmo possuindo VPLs estáticos negativos (DIWAN, 2004). Isso se deve ao fato de o valor adicionado pelas opções de gestão de ativos poder ser suficientemente alto para converter VPLs estáticos negativos em VPLs expandidos positivos (DIWAN, 2004).

A aplicação da teoria em estudo neste tópico não se estende à análise de qualquer investimento, uma vez que o seu uso requer a consideração de três premissas básicas e a interação entre elas, a saber: irreversibilidade parcial ou completa do investimento; flexibilidade em relação ao “timing” do investimento e existência de incertezas ao longo do projeto (ANTONIK & ASSUNÇÃO, 2005).

De acordo com a primeira premissa, pelo menos parte dos custos iniciais do investimento não poderá ser recuperada caso os retornos esperados não se materializem e o empreendedor realize alterações no projeto ao longo de sua execução (HUCHZERMEIER & LOCH, 2001).

A flexibilidade em relação ao “timing” do investimento está relacionada à liberdade que o empreendedor possui quanto ao momento de investir, podendo executar parte do projeto e, então, decidir em adiá-lo a fim de esperar por mais informações sobre o futuro (MONTEIRO, 2003). Essa possibilidade de adiar o investimento é uma opção, cuja consideração ao avaliar um projeto é de suma importância. Contudo, a empresa deve sempre comparar o custo do adiamento com os benefícios proporcionados pela espera de novas informações para subsidiar a tomada de decisão (RIGOLON, 1999).

A incerteza quanto aos benefícios futuros de investimentos está associada a uma

variável aleatória cujas probabilidades de ocorrência e/ou estados futuros não se conhecem (FIGUEIREDO *et al.*, 2006). Então, segundo Pamplona & Montevechi (2005), a consideração de incertezas possui como um de seus objetivos a discussão de como reagir frente a decisões necessárias, em ambientes onde não é possível se ter valores exatos ou uma distribuição probabilística dos dados.

Casarotto Filho & Kopittke (2000), afirmam que uma alternativa para dar suporte às tomadas de decisão é transformar as incertezas em riscos por meio de simulação, ou seja, é destacar as possibilidades futuras a partir de mudanças nas variáveis que mais influenciam tais tomadas de decisão. Pode-se, assim, obter a probabilidade dos diferentes resultados possíveis, os quais representam retornos maiores ou menores ao investimento ou, ainda, a sua perda parcial ou total (ANTONIK & ASSUNÇÃO, 2005).

A TOR, contudo, apresenta problemas e limitações quanto a sua aplicação. Sousa Neto *et al.* (2008), enfatizam que a determinação do valor do ativo subjacente pode apresentar dificuldades, visto que, normalmente, tal ativo não é negociado no mercado financeiro de forma sistemática. Além disso, de acordo com os mesmos autores, em muitos casos, o preço de exercício de uma opção real é incerto, devendo ser descrito por meio de um processo estocástico, e ainda afirmam que, ao se trabalhar com uma opção real, é possível que se leve em consideração mais de uma variável, entre as quais pode ser difícil estabelecer correlações.

Segundo Santos & Pamplona (2002), outro problema existente no uso da TOR é a estimativa da volatilidade de um ativo subjacente que não seja comercializado, uma vez que pode não existir uma série histórica que possa ser utilizada para estimar a incerteza do ativo. Dessa forma, se torna necessária a escolha de um ativo correlato para realizar a estimativa da volatilidade do ativo com o qual se está trabalhando (SOUSA NETO *et al.*, 2008).

2.3.1. TIPOS DE OPÇÕES REAIS

As opções podem ser diferenciadas – quanto à data na qual se pode exercer o direito de compra e venda do ativo – em americanas e europeias. As primeiras são aquelas em que o detentor tem o direito, mas não a obrigação, de exercê-las em qualquer momento até a data de vencimento, enquanto as opções europeias são aquelas que podem ser exercidas somente na data de vencimento do título (FERNANDES, 2009). Portanto, ainda segundo o autor, as opções americanas dão a seus detentores mais direitos e possibilidades de escolha, devendo ter um valor igual ou superior ao das opções europeias.

As opções americanas são, normalmente, solucionadas numericamente ou usando aproximações analíticas (LAZO, 2004). De acordo com o mesmo autor, para realizar a avaliação dessas opções, é necessário estabelecer o valor do preço do ativo a partir do qual a opção deve ser exercida, para que, assim, se possa maximizar o valor presente de sua remuneração. Tal fato é fundamental para a Teoria das Opções Reais, visto que a partir dele pode-se determinar o melhor momento para se investir em um projeto.

As opções europeias, por sua vez, são, em geral, resolvidas por meio da equação de Black e Scholes (LAZO, 2004). O autor afirma que, para a correta utilização dessa fórmula, é necessário que o mercado seja suficientemente completo, de forma a não permitir oportunidades de arbitragem, ou seja, é preciso haver um mercado em equilíbrio, onde um mesmo ativo tenha um único preço e onde seja possível criar carteiras de investimento sem risco.

As opções reais ainda são classificadas em categorias mutuamente excludentes, de acordo com o grau de flexibilidade que proporcionam ao projeto (SOUSA NETO *et al.*, 2008), podendo ser classificadas, principalmente, em: opções de abandono, de adiamento, de retração, de expansão, composta, arco-íris e de crescimento.

✓ *Opção de abandono*

A opção de abandono é uma opção de venda americana, aplicada, principalmente, a investimentos parcialmente irreversíveis, a partir da qual se pode abandonar o projeto permanentemente e realizar a venda dos ativos investidos caso as condições de mercado piorem significativamente (MONTEIRO, 2003).

Quando o desenvolvimento do projeto encontra dificuldades e se torna prejudicial à empresa, não é necessário que a gerência continue a ter gastos com os custos fixos do investimento. Isso porque pode abandoná-lo por completo, obtendo o seu valor residual encontrado no mercado por meio do preço de revenda dos equipamentos e de outros ativos do investimento (LAZO, 2004).

Portanto, a decisão de seu exercício depende, fundamentalmente, da relação entre o valor do projeto e o valor de liquidação do mesmo (ALBUQUERQUE, 2005). A opção de abandono será exercida, assim, quando o Valor Presente Líquido Expandido de um projeto for menor do que o seu preço de venda correspondente ao valor de revenda dos equipamentos e de outros ativos já investidos.

Albuquerque (2005), contudo, enfatiza que é possível que a opção de abandono de um projeto não traga um valor de liquidação, mas, ao invés, crie custos, como o pagamento de rescisão de contrato dos trabalhadores. Nessas situações, não compensaria abandoná-lo, a menos que os seus fluxos monetários fossem muito negativos.

De acordo com Pessoa (2006), tal classe de opção é de fundamental importância em indústrias de capital intensivo, em serviços financeiros e na introdução de novos produtos em mercados incertos.

Exemplos de trabalhos que empregam a opção de abandono são os realizados por Albuquerque (2005) e Magalhães Junior (2006).

Albuquerque (2005) avaliou a viabilidade econômica de um projeto de expansão da produção da Aracruz Celulose, a partir da aplicação da Teoria de Opções Reais. Assim, foi avaliado se – durante um período de até cinco anos a partir do investimento inicial realizado na aquisição da base florestal e considerando fatores como a volatilidade do preço da celulose, do preço da madeira e do câmbio – a Empresa deveria continuar com o projeto inicial ou alienar as florestas para terceiros, caracterizando uma opção real de abandono. O autor chegou à conclusão de que o projeto possuía uma opção de abandono avaliada em US\$ 3,3 milhões, enfatizando que o valor do projeto aumentou com a presença de tal opção.

Já Magalhães Junior (2006) analisou um campo maduro de petróleo, por meio da TOR, ao adicionar ao seu VPL as flexibilidades embutidas. Estas estavam associadas à reabertura de mais poços produtores de petróleo, nos anos 1, 2 e 3, e ao abandono do campo nos anos 6, 7 ou 8. O autor obteve como resultado um aumento do valor do campo em aproximadamente 4% ao incorporar as opções reais de abandono.

✓ *Opção de adiamento*

Uma das opções mais aplicadas em investimentos envolvendo ativos reais é o seu adiamento, uma vez que permite à gerência esperar pela realização de um investimento até que surjam mais informações sobre as condições de mercado, resolvendo algumas incertezas (BRACH, 2003).

É uma opção de compra americana que permite o investidor efetuar o investimento no próximo período, esperando e apenas o realizando se o valor do projeto no período seguinte for maior que o investimento necessário nessa data (LAZO, 2004).

Um projeto capaz de ser adiado possui maior valor do que o mesmo sem a

flexibilidade do adiamento, pois a opção permite ao administrador beneficiar-se de movimentos favoráveis ao valor do projeto e evitar prejuízos decorrentes de situações adversas (MACEDO & NARDELLI, 2008).

A opção de adiamento é importante nas indústrias de extração de recursos, na agricultura e no desenvolvimento de bens imobiliários, devido à elevada incerteza e aos longos horizontes temporais associados a estes tipos de investimentos (LAZO, 2004).

✓ *Opção de retração*

A opção de retrain a escala de operação de um projeto é equivalente a uma opção americana de venda (NORONHA, 2009). Se as condições de mercado se tornarem mais desfavoráveis do que o esperado, a retração do investimento possibilita à gerência operar abaixo da capacidade ou, ainda, reduzir a escala de operações, salvando parte dos investimentos planejados (PESSOA, 2006).

Como a opção de retração permite à administração reduzir a escala operacional, quando as condições se tornam desfavoráveis, um projeto que pode ser contraído vale mais do que se o mesmo não apresentasse tal flexibilidade (MACEDO & NARDELLI, 2008).

✓ *Opção de expansão*

A expansão é uma opção de compra americana que – se as condições do projeto forem favoráveis – permite a gerência fazer novos investimentos, possibilitando a adoção de uma capacidade de produção superior ao nível previsto (MONTEIRO, 2003).

Esta opção se mostra de fundamental importância, principalmente se, a partir dela, a empresa puder explorar oportunidades futuras de crescimento. Tal fato contribui para que um investimento inicial, aparentemente não lucrativo – tendo por base o método do VPL estático – possa se tornar um investimento vantajoso (LAZO, 2004).

✓ *Opção composta*

As opções compostas envolvem uma gama de opções que interagem entre si ao longo do tempo e cuja combinação de seus valores é diferente da soma de cada opção separadamente (MONTEIRO, 2003). Tais opções englobam projetos realizados em fases, os

quais podem ser abandonados ou adiados ao final de cada etapa (SOUSA NETO *et al.*, 2008).

Segundo Noronha (2009), Trigeorgis foi o primeiro a trabalhar explicitamente com as opções compostas em 1993. Seu estudo demonstrou que a interação entre diversas opções ao longo do projeto criava mais valor do que quando analisadas isoladamente. A partir de então, a maioria dos projetos reais consideram esse tipo de opção (MONTEIRO, 2003).

✓ *Opção Arco-Íris*

As opções Arco-Íris (*rainbow options*) são aquelas cujo pagamento está relacionado a múltiplas fontes de incerteza (OUWEHAND & WEST, 2006).

Exemplos de estudos que trabalharam com essa opção são os realizados por Morck, Schwartz & Stangeland (1989) e Rocha *et al.* (2000), que consideraram a presença de duas incertezas: a econômica, quanto ao preço da madeira, e a técnica, quanto à taxa de crescimento do estoque do produto (BROBOUSKI, 2004).

✓ *Opção de crescimento*

As opções de crescimento são opções americanas de compra que se referem a investimentos que poderão ser adotados a partir de projetos já realizados anteriormente (MINARDI, 2000). Nesse caso, o investimento inicial é o elo para a realização de vários novos investimentos, os quais possuem um potencial de retornos financeiros e estratégicos de elevada importância, mesmo nos casos em que apresentem um VPL inicial negativo (MONTEIRO, 2003).

Lazo (2004) explica que, mesmo obtendo-se um aparente VPL negativo, a infraestrutura, a experiência e o potencial de geração de subprodutos – durante o desenvolvimento do produto inicial – podem servir como base para o desenvolvimento de produtos em gerações posteriores. Tais produtos subsequentes, por sua vez, podem passar a apresentar custos mais reduzidos ou qualidade mais elevada, fato este que pode colocar a empresa em uma vantagem competitiva.

2.3.2. FERRAMENTAS DE AVALIAÇÃO DE OPÇÕES REAIS E DE OTIMIZAÇÃO SOB CONDIÇÕES DE INCERTEZA

Existem várias metodologias possíveis de serem aplicadas nas avaliações econômicas de investimento, dependendo das características do projeto. Trigeorgis (1996) enfatiza, em seu trabalho, que a Análise de Sensibilidade, a Simulação Tradicional – como a de Monte Carlo – e a Análise por Árvore de Decisão são abordagens que podem ser empregadas para lidar com as incertezas e com as decisões possíveis de serem tomadas por uma empresa.

Em relação às ferramentas utilizadas para a avaliação de opções reais, pode-se citar as Técnicas de Programação Dinâmica, a Análise de Ativos Contingenciais e o Modelo Binomial (LAZO, 2004).

2.3.2.1. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A Análise de Sensibilidade está relacionada ao estudo do efeito que a variação de um dado de entrada pode provocar no resultado de um projeto (ALMEIDA & FERREIRA, 2008). Ela busca identificar a quais variáveis o valor do empreendimento é mais sensível.

Para isso, é necessário variar cada parâmetro de uma vez e determinar o valor mais provável e os limites inferior e superior da variação. Em seguida, calcula-se, para cada valor, o VPL ou a Taxa Interna de Retorno, obtendo-se assim uma ideia sobre a sensibilidade do projeto ao parâmetro analisado (PAMPLONA & MONTEVECHI, 2005).

A ferramenta é de grande importância para se tomar decisões mais confiáveis. Isso porque, a partir dela, pode-se ter maior cautela em relação às variáveis consideradas mais influentes, tanto em termos de qualidade das previsões quanto da variabilidade e do risco do projeto como um todo (MONTEIRO, 2003).

Todavia, a análise de sensibilidade possui limitações no que diz respeito à falta de informação sobre a probabilidade de variação dos parâmetros escolhidos na modificação das variáveis analisadas (MONTEIRO, 2003). Outra limitação se encontra no fato de a ferramenta considerar cada variável como sendo independente (ALMEIDA & FERREIRA, 2008).

2.3.2.2. MÉTODO DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

A Simulação de Monte Carlo é um método estocástico utilizado na avaliação de fenômenos que apresentam um comportamento probabilístico. A partir dele, pode-se simular, por repetidas vezes, uma grande quantidade de situações-resultado possíveis, por meio de um mecanismo gerador de valores aleatórios para a variável de interesse (DUTRA, 2006).

Fernandes (2005) ressalta que, para a realização da simulação, é necessário que as

variáveis aleatórias consideradas sejam independentes. Isso significa que os eventos de riscos simulados também devem ser independentes, ou seja, um não pode influenciar no resultado do outro ou que, pelo menos, essa influência seja absolutamente mínima.

De acordo com Almeida & Ferreira (2008), o método é particularmente importante para entender o comportamento dos estimadores em amostras pequenas ou finitas. Além disso, Oliveira *et al.* (2007) enfatizam que essas amostras analisadas devem possuir determinados parâmetros – como, por exemplo, média e desvio padrão – e podem apresentar diversos comportamentos – como Normal, Exponencial e Uniforme.

Em relação a investimentos de capital, a partir das correlações entre as variáveis aleatórias, o método permite simular as principais fontes de incerteza que afetam o valor do retorno de um projeto. Tal fato possibilita a determinação do risco sobre o referido retorno, aumentando a eficácia da avaliação da opção de investimento (NORONHA, 2009).

Segundo Noronha (2009), a simulação de Monte Carlo é, dentre os métodos que utilizam probabilidade na análise de riscos, o mais simples e flexível. Contudo, ele é um processo caro e lento, uma vez que requer um maior tempo para executar as diversas simulações necessárias para a redução dos erros nas estimativas dos resultados esperados.

2.3.2.3. ANÁLISE POR ÁRVORES DE DECISÃO

A árvore de decisão é uma representação gráfica simples e de fácil interpretação que permite visualizar as consequências de decisões atuais e futuras e, ainda, os eventos aleatórios relacionados (PAMPLONA & MONTEVECHI, 2005). Ela expõe um fluxo de eventos de uma forma lógica e por sequência de tempo, de modo que o tomador de decisão possa considerar as probabilidades de cada resultado (MARSH, 1993).

De acordo com Monteiro (2003), a utilização deste método é de suma importância quando se trata de questões financeiras. Isso porque ele busca associar a incerteza e a flexibilidade gerencial a um modelo teórico, estruturando o problema de decisão a partir da representação de todas as alternativas de ações gerenciais cabíveis, por ordem de probabilidade de ocorrência. Assim, permite o analista econômico visualizar as alternativas existentes e otimizar o resultado esperado de um projeto que apresenta incertezas.

A Teoria das Opções Reais procura colocar o projeto e os seus desdobramentos dentro da árvore, expondo quais são as diversas opções motivadas pelos desdobramentos e pela incerteza. Baseado nos novos e múltiplos fluxos de caixa, determinados a partir das inúmeras opções, calcula-se o VPL, verificando se o caminho adotado é aquele em que o VPL é

maximizado e que atende à rentabilidade esperada pelo investidor (SANTOS FILHO, 2003).

A Figura 1 é uma ilustração adaptada de um modelo de árvore de decisão exposto por Pamplona & Montevechi (2005). Segundo os autores, a árvore é constituída por ramos, que representam as diferentes alternativas para uma decisão particular, e por nós quadrados e redondos, os quais representam, respectivamente, as decisões e as incertezas.

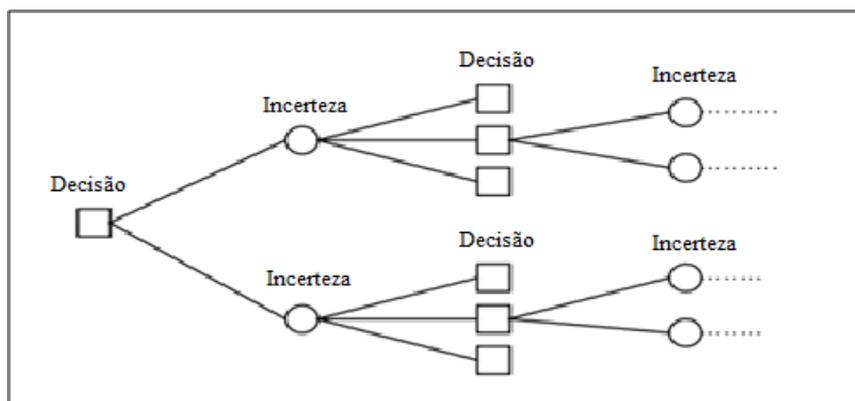


Figura 1. Árvore de decisão (PAMPLONA & MONTEVECHI, 2005 – adaptado).

Para a sua construção, devem-se levar em consideração os seguintes aspectos: a árvore deve ser simples e conter somente informações objetivas e necessárias, de forma a permitir uma comunicação fácil e completa; o modelo de análise de risco deve ser claro, para que possa ser representado de maneira aceitável na árvore e os analistas envolvidos na tomada de decisão precisam estar conscientes de sua construção em todos os aspectos, com o intuito de assegurar que todas as opções estejam presentes, que o grau de modelagem esteja correto e que os resultados alcançados possam ser discutidos (FREITAS, 2003).

Copeland & Antikarov (2002) afirmam, contudo, que a árvore de decisão fornece respostas erradas, visto que considera a mesma taxa de desconto ao longo de toda a árvore, enquanto o risco do fluxo de caixa varia de acordo com a localização na árvore de decisão.

2.3.2.4. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE OPÇÕES REAIS

Lazo (2004) afirma que há dois principais métodos – baseados em modelos estocásticos – que podem ser utilizados para avaliar o valor de uma opção real por meio da TOR: Técnicas de Programação Dinâmica e Análise de Ativos Contingenciais. Tais métodos, mesmo tendo semelhanças entre si e fornecendo resultados equivalentes, em algumas situações assumem premissas diferentes em relação aos modelos financeiros e às taxas de

desconto dos fluxos futuros (BRAGA, 2009).

A Programação Dinâmica é uma ferramenta matemática alternativa de avaliação muito importante no tratamento de incertezas (SANTOS FILHO, 2003). Ela conduz tanto a equações ordinárias diferenciais quanto a equações parciais diferenciais (SOUSA NETO *et al.*, 2008).

Considerando que o valor de um projeto pode ser avaliado como sendo a sequência ótima de decisões que leva à maximização de seu valor (SANTOS FILHO, 2003), a ideia básica da programação dinâmica é a divisão dessa sequência de decisões em duas partes: a decisão imediata e uma função de valoração que engloba as consequências de todas as decisões subsequentes (BRAGA, 2009). A partir de tal divisão, a técnica visa otimizar as decisões subsequentes em relação à decisão imediata, para que esta também seja otimizada posteriormente (DIWAN, 2004).

Santos & Filho (2003) enfatizam que, caso o horizonte de tempo do projeto seja finito, a análise é iniciada pela última decisão sem que haja problemas. Contudo, se for infinito, não há uma decisão final a partir da qual se possa iniciar a avaliação e é necessária a estimação, de forma realista, de um valor qualquer para a solução. Só então, começa-se a análise por tal valor até que se chegue à decisão inicial.

A abordagem em questão é empregada quando não há um mercado suficientemente completo (LAZO, 2004). Assim, a dificuldade para usá-la se encontra na determinação da taxa de desconto, visto que essa determinação se torna difícil e subjetiva quando se tem um mercado incompleto para a precificação dos riscos de um projeto (BRAGA, 2009).

Na Análise de Ativos Contingenciais, por sua vez, também são utilizadas equações diferenciais desenvolvidas a partir do Lema de Ito, o qual é capaz de informar quanto varia uma função de uma variável aleatória X quando esta variável sofre uma pequena variação em seu valor, o que contribui diretamente para a criação das carteiras que replicam o ativo livre de risco e que, portanto, devem render à taxa livre de risco (SILVA, 2010). Contudo, diferentemente da Programação Dinâmica, na Análise de Ativos Contingenciais é necessária a existência de um mercado suficientemente completo para a sua aplicação (DIXIT & PINDYCK, 1994).

De acordo com Braga (2009), o método se baseia na determinação de uma carteira dinâmica, livre de riscos, em que é exigido – por contrários, neutros e simpatizantes ao risco – o mesmo retorno, o qual é considerado a taxa livre de risco. Dessa forma, pode-se obter o valor da opção, sob a suposição de não arbitragem, uma vez que ele deve ser igual ao valor da

carteira estabelecida pela soma do valor dos ativos negociados no mercado e de valores conhecidos, que a compõem. Contudo, se os ativos não forem negociados no mercado, é necessário que o projeto possa ser replicado por algum ativo negociável e que possua correlação com tal projeto (DIWAN, 2004).

A Análise por Ativos Contingenciais possui limitações, visto que – à medida que as incertezas sobre as variáveis subjacentes tornam-se mais complexas – pode se tornar onerosa computacionalmente ou impossível de ser realizada algebricamente (LAZO, 2004).

Segundo Dixit & Pindyck (1994) e Huchzermeier & Loch (2001), comparando-se os métodos da Programação Dinâmica e da Análise por Ativos Contingenciais, pode-se observar que este considera o risco mais adequadamente do que a Programação Dinâmica, pois a taxa de desconto utilizada, ao invés de exógena, é derivada do equilíbrio geral do mercado. Contudo, para a Análise por Ativos Contingenciais é necessário que haja um mercado suficientemente completo e uma grande quantidade de mercados de ativos de risco, fato este que pode não ser compatível com a realidade de algumas atividades econômicas (DIXIT & PINDYCK, 1994). Já em relação à Programação Dinâmica, essas exigências não são verificadas.

Outra abordagem capaz de ser empregada na precificação de uma opção real em tempo discreto, por meio da TOR, é o Modelo Binomial – desenvolvido por Cox, Ross e Rubinstein. Baidya & Castro (2001) enfatizam que o modelo é baseado na construção de árvores binomiais e é bastante utilizado devido a sua simplicidade, flexibilidade e facilidade em ser implementado computacionalmente. Além disso, para a sua aplicação não é necessário o uso de modelos estocásticos em tempo contínuo, que exigem o uso de técnicas matemáticas mais complexas.

Por meio do modelo, pode-se avaliar projetos que apresentam grande número de períodos, sendo que, em cada um desses períodos, é possível que o preço da opção real assuma apenas dois valores distintos no tempo: valor ascendente ou valor descendente (MACEDO & NARDELLI, 2008). Assim, o modelo binomial pressupõe que no período seguinte, o valor do ativo ou subirá ou descerá em relação ao valor do período anterior (BRACH, 2003).

Segundo Lazo (2004), a árvore binomial criada no modelo, mostra a vida útil de uma opção real dividida em determinados períodos de tempo, somente nos quais é possível negociar o preço do ativo. O mesmo autor afirma que ela expõe todos os possíveis preços do ativo, partindo de um valor inicial V e, em seguida, gerando dois preços possíveis (uV e dV)

no segundo período, três preços possíveis (u^2V , udV e d^2V) no terceiro período e assim por diante, até que a vida útil seja alcançada, conforme ilustra a Figura 2.

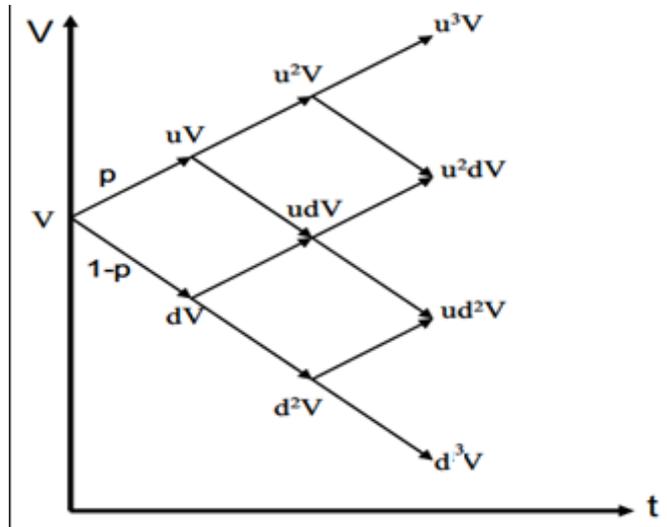


Figura 2. Árvore Binomial (LAZO, 2004).

O Modelo Binomial ainda apresenta como premissas, segundo Santos Filho (2003):

1. a existência de uma taxa livre de risco positiva e constante;
2. a possibilidade de indivíduos aplicarem ou tomarem emprestado o montante desejado a esta mesma taxa livre de risco;
3. a não existência de custos de transações, de tributações e de requerimentos de depósitos de margem de garantia;
4. o empréstimo tomado pode ser pago somente com a receita das vendas das ações, mas caso esta seja menor que o valor do empréstimo atualizado é dado a moratória da diferença;
5. a independência do valor da opção em relação à posição do investidor diante do risco e,
6. a dependência do valor da opção ao valor e volatilidade da ação e à taxa de juros livre de risco.

2.3.3. TRABALHOS REALIZADOS SOBRE A APLICAÇÃO DA TOR EM PROJETOS DO SETOR FLORESTAL

A partir dos anos 80 e, principalmente, dos anos 90, houve um significativo aumento do número de artigos e de livros publicados relacionados às opções reais (SOUSA NETO *et*

al., 2008). De acordo com Santos & Pamplona (2001), as primeiras aplicações da TOR foram realizadas em projetos relacionados a recursos naturais, uma vez que tal setor é caracterizado pela disponibilidade de recursos comercializados ou preços de *commodities*, pela alta volatilidade e pela longa duração dos investimentos, que são requisitos básicos para a obtenção de melhores resultados a partir do uso da TOR.

Segundo Noronha (2009), o brasileiro Octavio A. Tourinho foi o primeiro acadêmico a utilizar a teoria para a avaliação de uma reserva natural, em sua tese de PhD, em Berkeley, em 1979. Posteriormente, diversos outros trabalhos foram executados, principalmente, na área petrolífera, como os de Paddock, Siegel & Smith (1988) e de Dias (1996).

Paddock, Siegel & Smith, em 1988, analisaram o valor da opção de espera em um investimento de exploração de petróleo, assim como Dias que, em sua dissertação de mestrado realizada em 1996, analisou investimentos em projetos de exploração e produção de petróleo sob condições de incerteza (NORONHA, 2009).

Foram realizados, contudo, poucos trabalhos voltados, especificamente, ao setor florestal, sendo que a maioria está relacionada ao tempo ótimo de corte de povoamentos florestais (BROBOUSKI, 2004). Dentre os escassos estudos, pode-se citar os efetuados por Moreira *et al.* (2000), por Martins & Melo (2007), por Brobouski (2004) e por Albuquerque (2005).

Moreira *et al.* (2000) utilizaram a Teoria das Opções Reais para calcular o valor da concessão de uma típica Floresta Nacional na região da Amazônia Legal brasileira, analisando as incertezas sobre a evolução do preço futuro e do volume de madeira e, ainda, sobre a sua quantidade inicial na área concedida ao estudo. Para a realização do trabalho, Moreira *et al.* (2000), tiveram como referência a pesquisa de Morck, Schwartz & Stangeland (1989), que foi o primeiro artigo voltado a recursos florestais, empregando a TOR para valorar uma concessão hipotética de pinheiros em Alberta, Canadá.

Martins & Melo (2007) empregaram a Teoria das Opções Reais para analisar se uma parte do Parque dos Manguezais, localizado em Recife – PE, deveria ou não ser utilizada para a construção de uma rodovia ou, ainda, para fins imobiliários. A partir do valor obtido, concluíram que era necessária a preservação do parque e que, caso se optasse pelo seu uso para a construção de uma rodovia, esta deveria se dar de forma suspensa.

Brobouski (2004), por sua vez, realizou uma análise do contrato de parceria entre o produtor rural e empresas de reflorestamento a fim de estimular a produção florestal e minimizar o déficit de Pinus no Sul do Brasil. A essência do contrato estava em estabelecer,

entre as partes, um preço mínimo para a compra da madeira, por meio da TOR.

Já Albuquerque (2005) avaliou a viabilidade econômica de um projeto de expansão da produção da Aracruz Celulose, a partir da aplicação da Teoria de Opções Reais. Assim, foi avaliado se a empresa deveria continuar com o projeto inicial ou alienar as florestas para terceiros, caracterizando uma opção real de abandono. O autor chegou à conclusão de que o projeto possuía uma opção de abandono avaliada em US\$ 3,3 milhões, enfatizando que o valor do projeto aumentou com a presença de tal opção.

Brobuski (2004) ainda destaca os estudos, na área florestal, realizados por Thomson (1992), por Reed & Haight (1996) e por Haight & Holmes (1991).

Thomson (1992) utilizou o modelo binomial para decidir o tempo ótimo de corte de uma floresta, considerando as opções de colheita ou de espera por mais um período. Já Reed & Haight (1996) e Haight & Holmes (1991) utilizaram séries temporais em dados para a espécie *Pinus taeda* com o intuito de estimar os parâmetros “tendência” e “variância” aplicados no modelo do Movimento Geométrico Browniano (MGB).

3. MATERIAL E MÉTODOS

✓ Dados

Os dados utilizados na realização deste trabalho foram provenientes do banco de dados de um projeto florestal de uma empresa de Minas Gerais, referente à implantação de um povoamento clonal de *E. camaldulensis* x *E. grandis*. Tal povoamento foi implantado no município de Itamarandiba – MG e era destinado à obtenção de madeira para lenha.

O referido projeto possuía duração de sete anos e o corte da madeira era realizado a cada dois anos. As suas etapas operacionais, bem como o custo total em cada etapa, estão discriminados na Tabela 1. Já os demais dados utilizados estão expostos na Tabela 2.

Tabela 1 – Etapas operacionais e custo total em cada etapa.

Ano	Etapla operacional	Custos (R\$)
0	Implantação	R\$ 3360,10
	Manutenção - 1º ano	R\$ 978,04
1	Manutenção - 2º ano	R\$ 461,56
2	Manutenção - 1ª Cond. Brotação	R\$ 746,46
	Colheita	R\$ 8,75 / m ³ cc/ha

Tabela 1 (continuação) – Etapas operacionais e custo total em cada etapa.

Ano	Etapa operacional	Custos (R\$)
3	Manutenção - 1ª Cond. Brotação	R\$ 363,00
4	Manutenção - 2ª Cond. Brotação	R\$ 746,46
	Colheita	R\$ 8,75 / m ³ cc/ha
5	Manutenção - 2ª Cond. Brotação	R\$ 363,00
6	Colheita	R\$ 8,75 / m ³ cc/ha

Tabela 2 – Dados do projeto florestal utilizados na realização do trabalho.

Dados	Valores
Preço da madeira	R\$ 65/m ³ cc
Volume de madeira produzido por colheita	100 m ³ cc/ha
Taxa livre de risco	10% a.a.
Taxa Mínima de Atratividade / Custo de capital	10% a.a.
Preço da terra	R\$ 4285,71

O detalhamento dos custos com insumos e serviços empregados nas operações de implantação, de manutenção e de colheita são mostrados, respectivamente, nas Tabelas 1, 2 e 3 do Apêndice.

✓ **Metodologia**

A metodologia empregada foi baseada no proposto por Copeland & Antikarov (2001), pois de acordo com Albuquerque (2005), ela pode ser adaptada à avaliação de investimentos relacionados a recursos florestais.

Tal metodologia foi constituída por quatro etapas, a saber:

1. Determinação do Fluxo de Caixa do projeto e cálculo de seus Valores Presentes Líquidos sem flexibilidade;
2. Determinação da volatilidade do projeto e criação da árvore de eventos;
3. Identificação da Opção Real a ser utilizada;
4. Criação da árvore de decisão e realização do cálculo e da análise da Opção Real.

As etapas 1 a 4 são descritas a seguir:

1. Determinação do Fluxo de Caixa do projeto e cálculo de seus Valores Presentes Líquidos sem flexibilidade.

A partir dos valores de custos e rendimentos presentes nas Tabelas 1 e 2, foi criado, por meio do *software Microsoft Office Excel 2007*, um fluxo de caixa, o qual representa as estimativas de entradas (receitas) e de saídas (despesas) no projeto, ao longo de sua vida. O resultado líquido desse fluxo foi calculado subtraindo-se das receitas as despesas.

Utilizando-se ainda o programa *Microsoft Office Excel 2007* e baseando-se na taxa mínima de atratividade admitida pela empresa de 10% a.a e no fluxo de caixa determinado, foi realizado o cálculo dos Valores Presentes Líquidos (VPL) sem flexibilidade. Para tanto, foi utilizada a seguinte fórmula (REZENDE & OLIVEIRA, 2009):

$$VPL = \sum R_j (1 + i)^{-j} - \sum C_j (1 + i)^{-j} \quad (2)$$

onde: R_j = valor das receitas; C_j = valor dos custos; i = taxa mínima de atratividade; j = período em que as receitas ou os custos ocorrem e n = duração do projeto.

O VPL calculado para o sétimo ano do projeto foi tratado como o seu valor base por levar em consideração os custos de produção de todos os sete anos do projeto e ainda todas as receitas conquistadas com a venda da madeira para lenha obtida com a realização das três colheitas.

2. Determinação da volatilidade do projeto e criação da árvore de eventos.

Após o cálculo dos VPLs sem flexibilidade, foi realizada uma análise de sensibilidade a fim de determinar qual variável do projeto – como, por exemplo, preço da madeira e preço dos insumos – mais influenciava o seu valor. A partir de tal análise, foi assumida, como fonte de incerteza, o preço dos insumos.

Para a determinação da volatilidade, por não haver uma série histórica dos preços dos insumos florestais, foram consideradas as taxas de inflação anuais no Brasil entre os anos de 1999 e 2011 – obtidas a partir do banco de dados do Banco Central do Brasil (Tabela 3).

Tabela 3 – Taxas de inflação anuais no Brasil (Banco Central do Brasil).

Ano	Taxa de inflação (%)	Ano	Taxa de inflação (%)
1999	8,94	2006	3,14
2000	5,97	2007	4,46
2001	7,67	2008	5,90
2002	12,53	2009	4,31
2003	9,30	2010	5,91
2004	7,60	2011	6,50
2005	5,69	-	-

Como as taxas de inflação variam continuamente a cada ano, suas variações assumem uma distribuição lognormal. Assim, elas foram determinadas, no programa *Microsoft Office Excel 2007*, por meio da seguinte fórmula:

$$x_i = \ln (I_{i+1} / I_i) \quad (3)$$

onde: x_i = i -ésima variação da taxa de inflação; \ln = logaritmo neperiano; I_i = taxa de inflação de cada ano; I_{i+1} = taxa de inflação do ano seguinte em relação a I_i .

Em seguida, a fim de obter a volatilidade do projeto em relação aos custos dos insumos, foi utilizada a fórmula do desvio padrão:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - X)^2}{N-1}} \quad (4)$$

onde: σ = desvio padrão; x_i = i -ésima variação da taxa de inflação; X = média aritmética das variações das taxas de inflação; N = número de variações das taxas de inflação consideradas.

Considerando-se que a opção teria uma vida de sete anos e que seria realizado um passo a cada ano – e já de posse do Valor Presente Líquido do sétimo ano do projeto e da sua volatilidade – foi criada uma árvore de eventos, a fim de entender como o valor presente sem flexibilidade evolui ao longo do tempo (Sousa Neto *et al.*, 2008).

Para isso, primeiramente, foram calculados, a partir do Modelo Binomial proposto por Cox, Ross & Rubinstein (1979), tanto os movimentos ascendentes quanto os descendentes do preço da opção. Dessa forma, foram empregadas as seguintes fórmulas:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = 1/u \quad (5 \text{ e } 6)$$

onde: u = taxa contínua de crescimento do preço do ativo-objeto (movimento ascendente); d = taxa contínua de redução do preço do ativo-objeto (movimento descendente); σ = desvio padrão anual da taxa contínua de retorno do ativo-objeto; Δt = intervalo de tempo.

Após a determinação de u e d , foi adotado um processo multiplicativo para calcular o Valor Presente Líquido sem flexibilidade do projeto em cada nó da árvore, sendo o do primeiro nó equivalente ao valor base do projeto (V_0). A partir de tal nó, moveu-se para cima ou para baixo, multiplicando-se V_0 pelos fatores u e d , até que se chegasse às ramificações finais da árvore. Os fatores multiplicativos de cada nó foram dispostos na Figura 3.

Ainda foram estimadas as probabilidades objetivas p e $(1 - p)$ dos movimentos ascendentes e descendentes, respectivamente, por meio da fórmula abaixo:

$$V_0 = puV_0e^{-kt} + (1 - p)dV_0e^{-kt} \quad (7)$$

onde: V_0 = Valor Presente Líquido do sétimo ano; p = probabilidade objetiva do projeto; u = movimento ascendente do VPL; k = custo do capital; d = movimento descendente do VPL e t = número de períodos no ano.

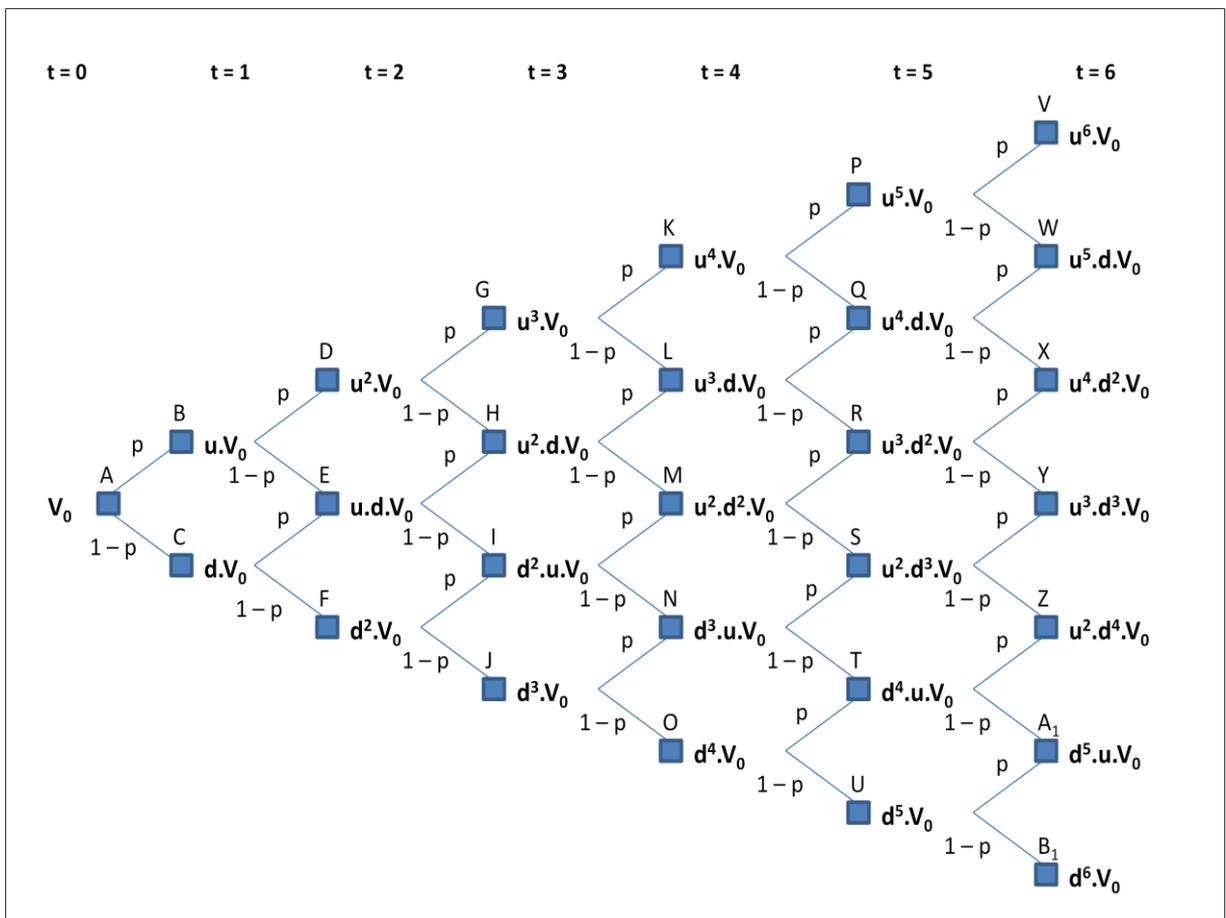


Figura 3 – Processo multiplicativo estocástico.

3. Identificação da Opção Real a ser utilizada.

Neste trabalho foi considerada a opção simples de abandono do projeto florestal caso o seu desenvolvimento encontrasse dificuldades em alguma de suas etapas, devido ao aumento do preço dos insumos e se tornasse prejudicial à empresa florestal.

Dessa forma, tal opção seria exercida quando o Valor Presente Líquido Expandido do projeto fosse menor do que o seu preço de venda correspondente a 80% do valor dos ativos já investidos.

A determinação dos valores de venda do projeto foi baseada em seus custos acumulados até o ano considerado. Contudo, como o projeto é parcialmente irreversível, ou seja, nem todo capital investido pode ser recuperado caso se realize a venda dos ativos já investidos, considerou-se que o seu preço de venda corresponderia a 80% dos investimentos florestais acumulados até a data, conforme proposto, subjetivamente, por Albuquerque (2005). Os valores de venda estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores dos custos e da venda do projeto.

Ano	Valor dos custos (R\$)	Valor de venda (R\$)
0	4338,14	3470,51
1	5228,27	4182,62
2	7278,30	5822,64
3	8069,87	6455,90
4	10119,90	8095,92
5	10911,48	8729,18
6	12215,05	9772,04

Não seria necessário, assim, que a gerência continuasse a ter gastos com os custos fixos do investimento, pois poderia abandoná-lo e obter o seu valor residual.

4. Criação da árvore de decisão e realização do cálculo e da análise da Opção Real.

Após a escolha da opção de abandono, foi realizada a sua análise no valor do projeto.

Para isso, foi criada uma árvore de decisão, na qual os valores sem flexibilidade obtidos na árvore de eventos foram substituídos por valores que incorporam a flexibilidade adicional proporcionada pela opção de abandono. Além disso, foi realizada a análise de cada

um de seus nós, a fim de definir se a opção seria ou não exercida.

Para tanto, foi feito o cálculo remissivo do valor dos retornos ótimos, ou seja, calculou-se, primeiramente, tal valor no último período e, posteriormente, continuou-se – de trás para frente, ao longo da árvore – calculando o valor para todos os períodos que o precedem, de forma a obter o valor do projeto com flexibilidade no primeiro período. Os retornos ótimos para cada nó da árvore foram representados da seguinte forma:

$$\text{Retorno} = \text{Max} (V_t, X) \quad (8)$$

onde: V_t = Valor Presente Líquido do projeto no nó e X = preço de venda do projeto.

Portanto, quando o valor presente do projeto calculado no nó correspondente da árvore (V_t) fosse menor do que o seu preço de venda (X), a opção deveria ser exercida. Caso contrário, a opção não deveria ser executada.

Na análise dos nós, a partir do penúltimo período da árvore de decisão, assim como exposto por Sousa Neto *et al.* (2008), levou-se em consideração a abordagem do portfólio replicado para estimar o valor do projeto. Tal portfólio consiste em m unidades do ativo replicante e B unidades do título de dívida sem risco, podendo ser representado, para o segundo ramo da árvore ($t = 1$) da Figura 3, por exemplo, pelas seguintes fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{Portfólio Replicado: } m uV_0 + B &= \text{valor da opção no nó B} \\ m dV_0 + B &= \text{valor da opção no nó C} \end{aligned} \quad (9)$$

onde: uV_0 = VPL do nó B; dV_0 = VPL do nó C; m = número de unidades do ativo subjacente sujeito ao risco e B = número de títulos de dívida livre de risco.

Os valores de m e B , para o nó C, por exemplo, foram calculados a partir das seguintes fórmulas:

$$m = \frac{(C_E - C_F)}{dV_0(u - d)} \quad B = \left[\frac{uC_F - dC_E}{(u - d)} \right] \div (1 + r_f) \quad (10 \text{ e } 11)$$

onde: C_E = VPL no nó ascendente (E); C_F = VPL no nó descendente (F); dV_0 = VPL no nó B; u = movimento ascendente do VPL; d = movimento descendente do VPL e r_f = taxa livre de risco contínua.

Dessa forma, conhecendo-se os valores de m e B , pôde ser determinado o valor presente com flexibilidade em cada nó, a partir das fórmulas do portfólio replicado mencionadas anteriormente.

De posse dos Valores Presentes Líquidos com flexibilidade e do preço de venda do projeto (X), foi finalmente analisado se a opção do nó de decisão considerado deveria ou não ser exercida. Tais passos foram realizados para todos os nós da árvore, até que se chegasse ao nó inicial, e, assim, se obtivesse o valor do projeto com flexibilidade.

Por fim, considerando a equação a seguir, foi obtido o valor da opção real de abandono subtraindo-se o VPL_{expandido} (VPL com flexibilidade) do VPL_{estático} (VPL sem flexibilidade).

$$\text{VPL}_{\text{expandido}} = \text{VPL}_{\text{estático}} + \text{Valor da opção real de abandono} \quad (12)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

✓ *Determinação do VPL sem flexibilidade do projeto.*

De posse dos valores dos custos em cada etapa operacional, das receitas obtidas com as colheitas realizadas e da taxa mínima de atratividade de 10% a.a. (Tabelas 1 e 2), foi construído o Fluxo de Caixa do projeto florestal da empresa florestal (Tabela 5).

Tabela 5 – Fluxo de Caixa do projeto florestal em estudo (R\$/ano).

Ano	0	1	2	3	4	5	6
0	-4338,140	-4338,140	-4338,140	-4338,140	-4338,140	-4338,140	-4338,140
1		-890,131	-890,131	-890,131	-890,131	-890,131	-890,131
2			4449,969	4449,969	4449,969	4449,969	4449,969
3				-791,571	-791,571	-791,571	-791,571
4					4449,969	4449,969	4449,969
5						-791,571	-791,571
6							5196,429

A partir do Fluxo de Caixa e da taxa mínima de atratividade considerada, calculou-se os Valores Presentes Líquidos (VPL) sem flexibilidade para os anos de corte da madeira (anos 2, 4 e 6). Os valores obtidos estão expostos na Tabela 6.

Tabela 6 – VPLs do projeto.

Anos	VPL (R\$)
2	-R\$ 1.469,69
4	R\$ 974,98
6	R\$ 3.416,73

Analisando os VPLs encontrados, observa-se que apenas o do primeiro ano de corte foi negativo, o que pode ser explicado pelos investimentos realizados na implantação do povoamento e nas suas manutenções iniciais.

Já nos segundo e terceiro anos de corte, os VPLs apresentaram-se positivos. Isso indica que a receita obtida com a venda da madeira para lenha compensa os custos de produção e que o projeto de implantação do povoamento florestal possui um retorno superior à taxa mínima de atratividade exigida de 10% a.a.. Tais fatos apontam o empreendimento como viável do ponto de vista econômico.

Contudo, mesmo já mostrando o projeto como economicamente viável, no método de avaliação financeira tradicional empregado, as receitas e os custos que determinam o fluxo de caixa do projeto são estimados como valores únicos possíveis a cada ano, não ficando aparente as variações que ele pode sofrer ao longo do tempo. Isso significa que o método não considera e nem quantifica as opções que a empresa florestal possa vir a ter no decorrer do projeto, o que poderia 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.

Dessa forma, foi realizada a análise econômica do projeto, utilizando-se a Teoria das Opções Reais, a fim de incorporar ao seu VPL o valor da opção simples de seu abandono, caso ele perdesse sua viabilidade econômica.

Para tanto, foram realizados a determinação da volatilidade do projeto, a criação da árvore de eventos, o cálculo e a análise do VPL com flexibilidade para cada nó de uma árvore de decisão e, por fim, a determinação do valor da opção de abandono.

✓ *Determinação da volatilidade do projeto e criação da árvore de eventos.*

Durante a execução do projeto florestal, diversos fatores podem influenciar o seu retorno, como, por exemplo, a ocorrência de secas prolongadas e de incêndios, o aumento nos custos dos insumos e serviços e a variação do valor de mercado da madeira para lenha. No

presente trabalho, após a realização de uma análise de sensibilidade, considerou-se que a variação nos preços dos insumos foi o fator que mais afetou os retornos do projeto, assumindo-a, conseqüentemente, como a única fonte de incerteza para o cálculo da volatilidade.

Como não há uma série histórica dos preços dos insumos florestais, foram consideradas as taxas de inflação anuais no Brasil entre os anos de 1999 e 2011, expostas na Tabela 3, uma vez que elas influenciam tais preços.

A fim de facilitar a observação da variação das taxas de inflação nos treze anos considerados, foi criado o gráfico da Figura 4. Nele, pode-se notar que houve um considerável aumento das taxas entre 2000 e 2002 e uma redução significativa entre 2002 e 2006. Nos demais anos, ocorreram variações menores, mas que também são capazes de alterar o preço dos insumos florestais e, por conseqüência, os retornos do projeto da empresa.

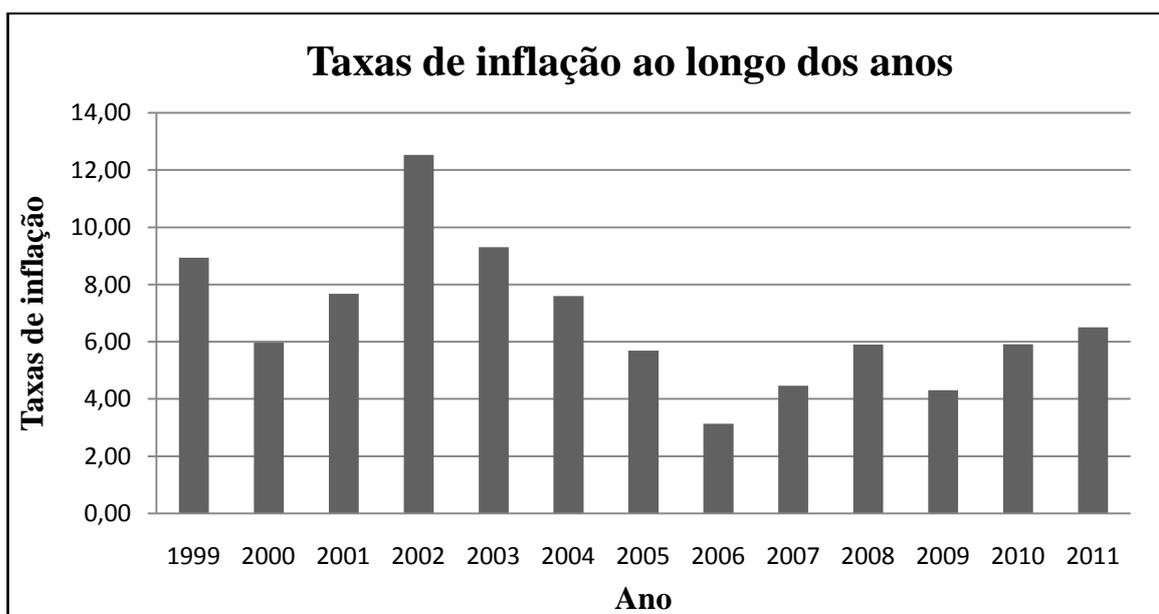


Figura 4 – Gráfico da variação das taxas de inflação ao longo dos treze anos considerados.

De posse de tais taxas, foram determinados os valores de suas variações entre um ano e o ano seguinte (x_i), a média aritmética destas variações (X) e a diferença entre x_i e X elevada ao quadrado ($x_i - X$)² (Tabela 7).

Tabela 7 – Valores de x_i , X e $(x_i - X)^2$.

x_i	X	$(x_i - X)^2$
-0,4038	-0,0266	0,1423
0,2506		0,0768
0,4908		0,2677
-0,2981		0,0737
-0,2019		0,0307
-0,2894		0,0691
-0,5945		0,3225
0,3509		0,1425
0,2798		0,0939
-0,3140		0,0826
0,3157		0,1171
0,0952		0,0148

A partir dos valores da Tabela 7 e utilizando a fórmula do desvio padrão, calculou-se a volatilidade do projeto:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1,4338}{12 - 1}} \Rightarrow \sigma = 0,36 \quad (13)$$

O valor encontrado de 36% é alto, o que pode ser explicado pelo fato de ter sido considerada apenas uma fonte de incerteza (preço dos insumos), cuja variação, entre 1999 e 2011, também foi elevada. Caso houvesse sido feita a combinação desta e de outras fontes de incerteza por meio, por exemplo, da Simulação de Monte Carlo, ou se as variações das taxas de inflação fossem menores, poderia ter sido obtido uma volatilidade mais baixa.

Em um exemplo de emprego da TOR realizado por Sousa Neto *et al.* (2008), os autores afirmam que assumir a elasticidade do preço dos produtos igual a volatilidade de um projeto, a fim de simplificar o processo, não inviabiliza o seu estudo. Isso porque no exemplo – assim como no presente trabalho – um dos objetivos é aplicar a Teoria das Opções Reais complementarmente ao método do VPL, com o intuito de observar se a consideração da opção real (no caso, de abandono) agrega valor ao projeto.

Após admitir que a volatilidade do projeto é de 36% e considerando que a opção teria uma vida de sete anos; que seria realizado um passo a cada ano (portanto, sete passos ao todo)

e que o Valor Presente Líquido sem flexibilidade do sétimo ano do projeto corresponderia ao seu valor base ($V_0 = \text{R\$ } 3.416,73$), foi criada uma árvore de eventos.

A referida árvore facilitará a visualização dos possíveis valores presentes sem flexibilidade do projeto em cada ano, durante todo o seu desenvolvimento. Além disso, ela será a base sobre a qual, posteriormente, se incorporará a opção de abandono.

Na árvore, o valor do projeto é determinado para cada nó do evento por meio de movimentos ascendentes (u) e descendentes (d). Tais movimentos foram calculados por meio das fórmulas expostas no tópico *Material e Métodos*, obtendo-se:

$$u = e^{0,36 \cdot \sqrt{7/7}} \Rightarrow u = 1,434819 \quad (14)$$

$$d = \frac{1}{1,434819} \Rightarrow d = 0,696952 \quad (15)$$

A partir da determinação desses movimentos, foi calculado o Valor Presente Líquido do projeto sem flexibilidade para os nós da árvore, por meio da multiplicação do valor base (V_0) pelos fatores u e d , assim como mostrado na Figura 3.

Em seguida – assumindo $V_0 = \text{R\$ } 3.416,73$; $u = 1,434819$; $d = 0,696952$; número de passos por ano = 1 e taxa mínima de atratividade = 10% – calculou-se as probabilidades objetivas de ocorrerem os movimentos ascendentes e descendentes, representadas, respectivamente, por p e $(1 - p)$:

$$3.416,73 = p \cdot 1,434819 \cdot 3.416,73 \cdot e^{-0,1 \cdot 1} + (1 - p) \cdot 0,696952 \cdot 3.416,73 \cdot e^{-0,1 \cdot 1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p = 0,553242$$

$$\therefore 1 - p = 0,446758 \quad (16)$$

Considerando o VPL obtido para cada nó, bem como as probabilidades p e $(1 - p)$, foi construída a árvore de eventos do projeto, exposta na Figura 5.

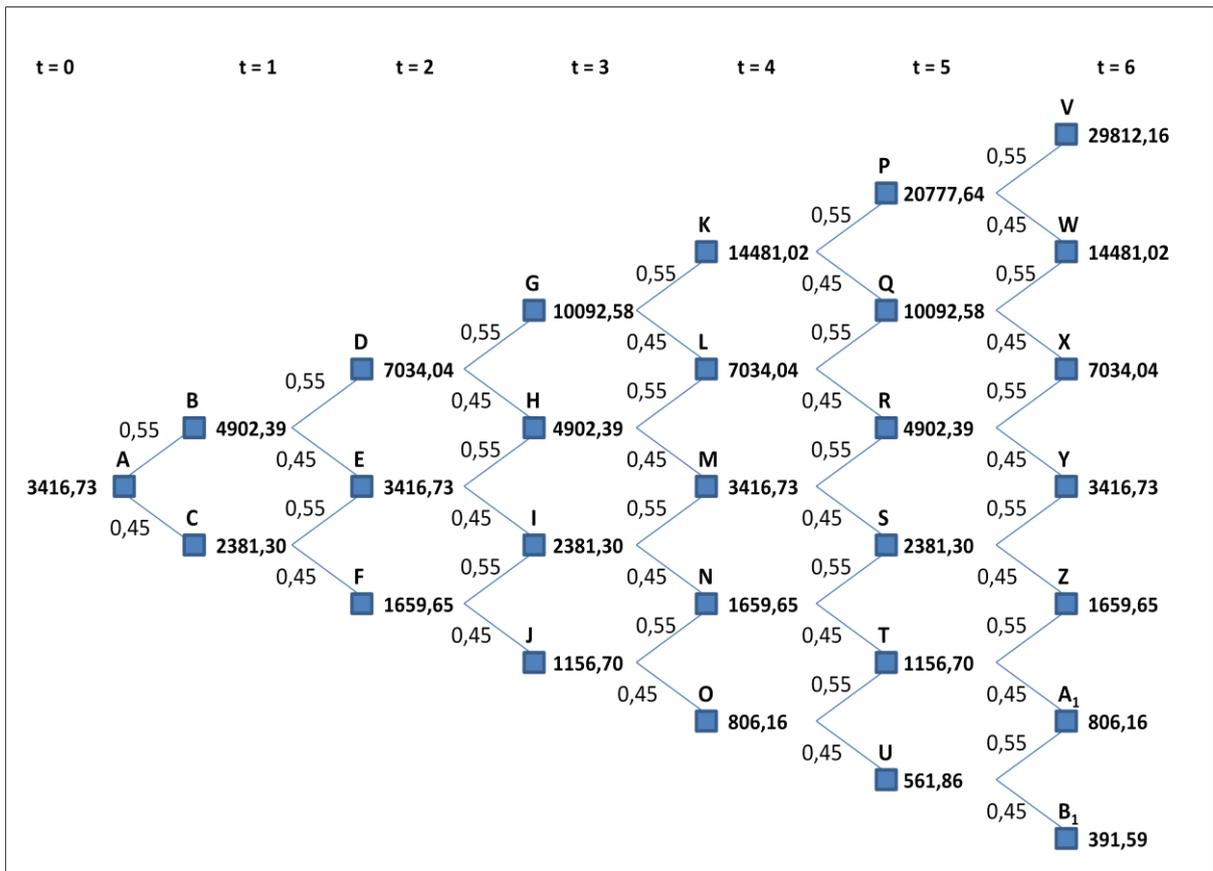


Figura 5 – Árvore de eventos sem flexibilidade do projeto.

Portanto, nota-se que, partindo de seu valor V_0 (R\$ 3.416,73), na data atual ($t = 0$), o projeto florestal da empresa poderá assumir, em $t = 1$, um valor de R\$ 4.902,39, caso haja o movimento ascendente – que possui uma probabilidade de 55% de ocorrer – ou um valor de R\$ 2.381,30, caso haja o movimento descendente, com probabilidade de 45% de acontecer. A mesma análise pode ser realizada para os demais ramos.

Outro ponto a ser observado na árvore é que, após o cálculo do valor do projeto em cada nó, o seu valor base não foi alterado (R\$ 3.416,73). Isso porque ainda não se inseriu a opção de abandono, ou seja, o ambiente ainda está neutro ao risco.

A seguir, será inserida a opção real de abandono à árvore de eventos e a análise de seus efeitos sobre o valor presente do projeto.

✓ *Criação da árvore de decisão e realização do cálculo e da análise da opção real de abandono.*

A opção de abandono será exercida quando o preço de venda do projeto florestal

(Tabela 4) for maior do que o seu Valor Presente Líquido calculado para os nós da árvore, ou seja, quando a venda do empreendimento for mais vantajosa economicamente do que a continuidade de seu desenvolvimento.

Dessa forma, partindo do último ramo da árvore de eventos ($t = 6$), foi feita a comparação entre o preço de venda do projeto (R\$ 9.772,04) e o seu VPL em cada nó do referido ramo. Pôde-se, então, determinar os retornos ótimos para tais nós, como exposto na Tabela 8.

Tabela 8 – Retornos ótimos dos nós finais da árvore de eventos.

Nós	Retornos	Decisão
V	$\text{MAX} [u^6.V_0; X] = \text{MAX} [29812,16; 9772,04]$	Prosseguir
W	$\text{MAX} [u^5.d.V_0; X] = \text{MAX} [14481,02; 9772,04]$	Prosseguir
X	$\text{MAX} [u^4.d^2.V_0; X] = \text{MAX} [7034,04; 9772,04]$	Abandonar
Y	$\text{MAX} [u^3.d^3.V_0; X] = \text{MAX} [3416,73; 9772,04]$	Abandonar
Z	$\text{MAX} [u^2.d^4.V_0; X] = \text{MAX} [1659,65; 9772,04]$	Abandonar
A ₁	$\text{MAX} [u.d^5.V_0; X] = \text{MAX} [806,16; 9772,04]$	Abandonar
B ₁	$\text{MAX} [d^6.V_0; X] = \text{MAX} [391,59; 9772,04]$	Abandonar

Analisando os resultados obtidos, nota-se que, apenas nos nós V e W, os retornos que seriam atingidos com a continuidade do desenvolvimento do projeto – R\$ 29.812,16 e R\$ 14.481,02, respectivamente – superariam o seu preço de venda de R\$ 9.772,04. Portanto, a decisão a ser tomada pela gerência nessas situações seria a de prosseguir com a execução do projeto florestal.

Em contrapartida, nos nós X, Y, Z, A₁ e B₁, o preço de venda é maior do que os retornos que seriam conquistados com a realização do projeto. Assim, o melhor a ser feito pela empresa seria abandoná-lo, a fim de obter o seu valor residual com a venda dos ativos já investidos (R\$ 9.772,04) e evitar gastos adicionais com os custos fixos necessários para a continuação de sua execução.

Para a determinação do VPL com a incorporação da opção nos nós dos demais ramos da árvore – seguindo do ramo $t = 5$ ao ramo $t = 0$ – foi empregada a abordagem do portfólio replicado, utilizando como ativo replicante os valores dos nós do último ramo ($t = 6$).

De acordo com Sousa Neto *et al.* (2008), o uso de tal abordagem é necessária porque, caso a opção de abandono seja exercida no final da árvore, os valores dos VPLs nos nós dos

ramos anteriores poderão ser modificados.

Assim, por meio da referida abordagem, e considerando $u = 1,434819$; $d = 0,696952$ e $r_f = 10\%$ a.a., foram calculados – conforme exposto no tópico *Material e Métodos* – o número de unidades do ativo subjacente sujeito ao risco (m) e o número de títulos livre de risco (B) para cada nó.

A partir dos resultados obtidos para m e B , foram determinados os VPLs do projeto considerando a opção de abandono.

Como exemplos dos cálculos, são mostradas as determinações dos VPLs com flexibilidade dos nós U e A.

$$\text{U: } m = \frac{(9.772,04 - 9.772,04)}{561,86 \cdot (1,434819 - 0,696952)} \Rightarrow m = 0 \quad (17)$$

$$B = \frac{(1,434819 \cdot 9.772,04 - 0,696952 \cdot 9.772,04)}{(1,434819 - 0,696952)} \div (1 + 0,1) \Rightarrow B = 8.883,67 \quad (18)$$

$$\therefore \text{VPL}_{\text{flexibilidade}} = 0 \cdot 561,86 + 8.883,67 \Rightarrow \text{VPL}_{\text{flexibilidade}} = 8.883,67 \quad (19)$$

$$\text{A: } m = \frac{(7.263,35 - 6.209,85)}{3.416,73 \cdot (1,434819 - 0,696952)} \Rightarrow m = 0,418 \quad (20)$$

$$B = \frac{(1,434819 \cdot 6.209,85 - 0,696952 \cdot 7.263,35)}{(1,434819 - 0,696952)} \div (1 + 0,1) \Rightarrow B = 4.740,70 \quad (21)$$

$$\therefore \text{VPL}_{\text{flexibilidade}} = 0,418 \cdot 3.416,73 + 4.740,70 \Rightarrow \text{VPL}_{\text{flexibilidade}} = 6.168,46 \quad (22)$$

Os resultados encontrados para todos os nós, bem como a decisão a ser tomada a partir da comparação entre o preço de venda (Tabela 4) e o VPL com flexibilidade, estão expostos na Tabela 9.

Tabela 9 – Dados obtidos a partir da abordagem do portfólio replicado e decisões a serem tomadas.

Nós	m	B	VPL com flexibilidade	Retorno	Decisão
U	0	8883,67	8883,67	MAX [8883,67; 8729,18]	Prosseguir
T	0	8883,67	8883,67	MAX [8883,67; 8729,18]	Prosseguir
S	0	8883,67	8883,67	MAX [8883,67; 8729,18]	Prosseguir

Tabela 9 (continuação) – Dados obtidos a partir da abordagem do portfólio replicado e decisões a serem tomadas.

Nós	m	B	VPL com flexibilidade	Retorno	Decisão
R	0	8883,67	8883,67	MAX [8883,67 ; 8729,18]	Prosseguir
Q	0,632	4840,16	11222,04	MAX [11222,04 ; 8729,18]	Prosseguir
P	1	0	20777,64	MAX [20777,64 ; 8729,18]	Prosseguir
O	0	8076,07	8076,07	MAX [8076,07; 8095,92]	Abandonar
N	0	8076,07	8076,07	MAX [8076,07; 8095,92]	Abandonar
M	0	8076,07	8076,07	MAX [8076,07; 8095,92]	Abandonar
L	0,451	6068,15	9237,24	MAX [9237,24 ; 8095,92]	Prosseguir
K	0,894	1996,64	14946,94	MAX [14946,94 ; 8095,92]	Prosseguir
J	0	7341,88	7341,88	MAX [7341,88 ; 6455,90]	Prosseguir
I	0	7341,88	7341,88	MAX [7341,88 ; 6455,90]	Prosseguir
H	0,321	6344,80	7918,49	MAX [7918,49 ; 6455,90]	Prosseguir
G	0,767	3494,68	11232,79	MAX [11232,79 ; 6455,90]	Prosseguir
F	0	6674,43	6674,43	MAX [6674,43 ; 5822,64]	Prosseguir
E	0,229	6179,31	6960,77	MAX [6960,77 ; 5822,64]	Prosseguir
D	0,639	4352,70	8844,43	MAX [8844,43 ; 5822,64]	Prosseguir
C	0,163	5821,80	6209,85	MAX [6209,85 ; 4182,62]	Prosseguir
B	0,521	4710,50	7263,35	MAX [7.263,35 ; 4182,62]	Prosseguir
A	0,418	4740,70	6168,46	MAX [6168,46 ; 3470,51]	Prosseguir

A fim de facilitar a visualização do Valor Presente Líquido com flexibilidade dos nós e da decisão a ser tomada pela empresa em cada situação, foi criada a árvore de decisão da Figura 6.

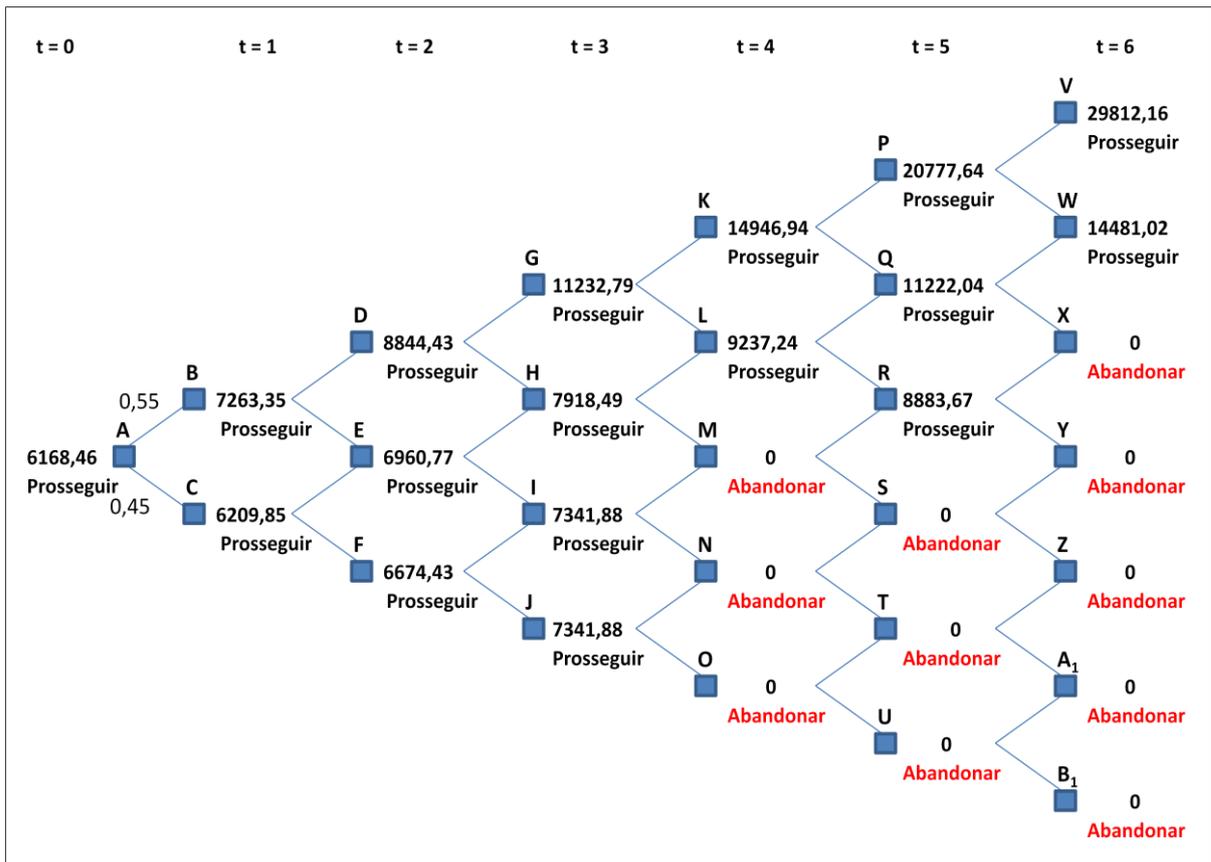


Figura 6 – Árvore de decisão do projeto florestal.

As Tabelas 8 e 9, mostram que nas situações dos nós M, N, O, X, Y, Z, A₁ e B₁ a opção real de abandono do projeto deveria ser exercida. Isso porque os preços de venda correspondentes aos ramos t = 4 (R\$ 8.095,92) e t = 6 (R\$ 9.772,04) são maiores do que os VPLs nos nós citados.

Contudo, a partir da análise da Figura 6, pode-se observar que, como os valores obtidos para os nós M, N e O indicaram que a melhor decisão a ser tomada pela empresa seria a de abandonar o projeto, nas situações dos nós S, T e U essa decisão de seu abandono deveria ser mantida – mesmo que na Tabela 9 tenha sido mostrado que a empresa deveria dar prosseguimento à realização do projeto. Isso porque, no caso, uma vez abandonado o projeto e obtido o seu valor residual, ele não poderia ser iniciado novamente.

Nas situações dos demais nós da árvore de decisão da Figura 6, a gerência deveria decidir por dar prosseguimento ao desenvolvimento do projeto.

Ainda considerando a árvore de decisão acima, nota-se que o Valor Presente Líquido com flexibilidade no nó A é de R\$ 6.168,46. Como ele é positivo, pode-se concluir que a receita obtida com a venda da madeira para lenha compensa os custos de produção, indicando o empreendimento como viável economicamente.

Dessa forma, tanto por meio do método tradicional do VPL quanto pela TOR, o projeto se mostrou satisfatório do ponto de vista econômico. Contudo, devido à incorporação da opção de abandono, o seu valor pela segunda abordagem foi maior do que pela primeira.

Comparando ainda o resultado, obtido através da TOR, com aquele sem flexibilidade (R\$ 3.416,73), calculado pelo método tradicional para o nó A da árvore de eventos (Figura 5), verifica-se que a inserção da opção de abandono fez com que o projeto atingisse um valor 180,53% superior ao seu valor sem flexibilidade.

Isso se deve ao fato de o método tradicional ter subestimado o valor do projeto em questão, justamente por não oferecer condições que permitam adaptações no empreendimento e por considerar um ambiente neutro ao risco. Já a TOR elevou o seu valor ao considerar os riscos de variações nos preços dos insumos que possam vir a surgir no decorrer de seu desenvolvimento e a flexibilidade que a gerência da empresa florestal possui de abandonar o investimento, caso ele se torne inviável economicamente.

O mesmo foi observado por Moreira *et al.* (2000), por Brobouski (2004) e por Albuquerque (2005), os quais verificaram vantagens no uso da TOR em seus trabalhos relacionados ao setor florestal.

Moreira *et al.* (2000) analisou que o valor da concessão de Flonas na Amazônia Legal brasileira para exploração de madeiras comerciais pela TOR foi 140% superior ao calculado pelo método do VPL estático. Já Brobouski (2004) concluiu que a análise do contrato de parceria entre o produtor rural e as empresas de reflorestamento, por meio da TOR, a fim de estimular a produção florestal e minimizar o déficit de Pinus no Sul do Brasil, elevou o valor do projeto. Albuquerque (2005), por sua vez, observou um aumento de 16,3% no valor inicial estimado para o projeto de expansão da produção da Aracruz Celulose S.A. com a construção de uma nova fábrica no Brasil a partir de 2005, ao considerar a opção real de abandono das florestas de eucalipto, caso o projeto se tornasse desvantajoso economicamente.

Após o cálculo e a incorporação da flexibilidade em cada nó da árvore de decisões, obteve-se o valor da opção de abandono de modo indireto, por meio da diferença entre o valor presente do projeto sem flexibilidade e de seu valor presente com flexibilidade:

$$\text{Valor da opção de abandono} = 6.168,46 - 3.416,73 = \mathbf{2.751,73} \quad (23)$$

O elevado adicional de R\$ 2.751,73 ao VPL sem flexibilidade, proporcionado pela incorporação da opção, pode ser explicado pela alta volatilidade do projeto (36%). Isso porque uma elevada volatilidade significa maiores incertezas quanto aos preços dos insumos,

implicando em maiores riscos quanto ao futuro do projeto florestal. Conseqüentemente, há um aumento do valor da opção de abandono.

Portanto, a Teoria das Opções Reais pode se apresentar como um importante instrumento complementar para a execução de avaliações econômicas de projetos na área florestal, pois os diversos riscos existentes no decorrer da realização do empreendimento poderiam ser considerados e, assim, refletindo de forma mais real e confiável o processo de tomada de decisão por parte da gerência.

5. CONCLUSÃO

Após a realização do presente trabalho, concluiu-se que o valor do projeto com flexibilidade, calculado pela TOR, foi maior do que o obtido pela abordagem tradicional do VPL, mostrando que a consideração da opção de abandono foi capaz de incorporar valor a ele (R\$ 2.751,73), tornando-o ainda mais atrativo.

Notou-se, ainda, que a aplicação do método tradicional no projeto florestal apresentou a vantagem de ser mais simples do que a da TOR, uma vez que os dados necessários foram mais facilmente obtidos. Para a aplicação desta última abordagem foram necessárias diversas informações que, muitas vezes, são difíceis de serem encontradas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, M.H.F. **Aplicação da Teoria de Opções Reais na Análise de Viabilidade Econômica de um Projeto: O Caso da Aracruz Celulose S.A.** Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Administração. Faculdades Ibmecc, Rio de Janeiro, 2005.

ALMEIDA, E. P. & FERREIRA, M. L. R. **Técnicas de Análise de Risco Aplicadas à Planejamento e Programação de Projetos da Construção Civil.** IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão - Responsabilidade Socioambiental das Organizações Brasileiras, Niterói, RJ, 2008.

AMRAM, M. & KULATILAKA, N. **Strategy and Shareholder Value Creation: The Real Options Frontier.** Bank of America – Journal of Applied Corporate Finance, v 13, n 2, 2000.

- ANTONIK, L. R. & ASSUNÇÃO, M. S. **Análise de Investimentos pelo Método de Opções Reais**. II Seminário de Gestão de Negócios, FAE Centro Universitário, Curitiba, PR, 2005.
- ASSAF NETO, A. **A Dinâmica das Decisões Financeiras**. Caderno de Estudos, n 16, São Paulo, SP, 1997.
- ASSAF NETO, A. **A Superioridade do Método de Fluxo de Caixa Descontado no Processo de Avaliação das Empresas**. Instituto Assaf, São Paulo, SP, 2008.
- BARROS, A. M. **Precificação de Reservas de Petróleo não-desenvolvidas em Blocos da Região do Pré-sal Brasileiro - Uma Abordagem por Opções Reais**. Dissertação [Mestrado em Matemática] - Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada (IMPA), Rio de Janeiro, RJ, 2009.
- BARROS, N. R.; OLIVEIRA, P. H. D. & REIS, S. G. **Aplicabilidade do Método de Simulação de Monte Carlo na Previsão dos Custos de Produção de Companhias Industriais: O Caso Companhia Vale do Rio Doce**. Artigo - Programa Multiinstitucional e Inter-regional de Pós-Graduação em Ciências Contábeis, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.
- BAIDYA, T.K.N. & CASTRO, A. L. **Convergência dos Modelos de Árvores Binomiais para Avaliação de Opções**. Pesquisa Operacional, v 21, n 1, Rio de Janeiro, RJ, 2001.
- BRACH, M. A. **Real Options in Practice**. John Wiley & Sons Inc., 2003.
- BRAGA, J. M. F. **Análise da Viabilidade Econômica da Integração de Sistemas de Célula a Combustível, nas Plantas de Cloro-soda, para Utilização do Hidrogênio Gerado no Processo**. Tese [Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos] - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, RJ, 2009.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Histórico de Metas para a Inflação no Brasil**. Disponível em: <http://www.bcb.gov.br/Pec/metas/TabelaMetaseResultados.pdf>
- BROBOUSKI, W. J. P. **Teoria das Opções Reais Aplicada a um Contrato de Parceria Florestal com Preço Mínimo**. Dissertação [Mestrado em Ciência] - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Exatas e Tecnológica, Curitiba, PR, 2004.
- CASAROTTO FILHO, N. & KOPITTKKE, B. H. **Análise de investimentos**. São Paulo, SP: Atlas, 2000.

- COPELAND, T. E. & ANTIKAROV, V. **Opções Reais: Um Novo Paradigma para Reinventar a Avaliação de Investimentos**. Rio de Janeiro: Campus, 2002.
- CUNHA, M.R.F. **The Investment in Eucalyptus: A Real Options Analysis**. Dissertação [Mestrado em Finanças] - Universidade Católica Portuguesa, Porto, 2003.
- DIAS, M. A. G. **Investimento sob Incerteza em Exploração & Produção de Petróleo**. Dissertação [Mestrado] - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Departamento de Engenharia Industrial, Rio de Janeiro, RJ, 1996.
- DIWAN, J. R. **Análise de Alternativas de Investimento na Área Petrolífera sob a Ótica das Opções Reais Embutindo a Opção do Investimento em Informação**. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Produção] - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- DIXIT, A. K. & PINDYCK, R. S. **Investment under Uncertainty**. New Jersey, Princeton: University Press, 1994.
- DUARTE JÚNIOR, A. M. **Riscos: definições, tipos, medição e recomendações para seu gerenciamento**. Gestão de risco e Derivativos. São Paulo: Atlas, 2001.
- DUTRA, T. P. **Opções Reais – uma aplicação e bolsa de valores**. Dissertação [Mestrado em Economia, modalidade profissionalizante, com ênfase em Economia Aplicada] - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Ciências Econômicas, Programa de pós-graduação em economia, Porto Alegre, RS, 2006.
- FALCO, G. P.; VELLASCO, M. M. B. R.; LAZO, J. G. L.; ALTAF, J. G. & TROCCOLI, I. R. **Teoria de Opções Reais: uma Perspectiva para a Valoração Econômica do Meio Ambiente sob Incerteza**. VIII SEGeT - Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2011.
- FERNANDES, C. A. **Gerenciamento de Riscos em Projetos: Como Usar o Microsoft Excel para Realizar a Simulação Monte Carlo**. 2005.
- FERNANDES, M. M. **Diferenças Finitas na Valoração de Opções Europeias e Americanas**. Dissertação [Mestrado em Matemática e Aplicações] – Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, 2009.
- FIGUEIREDO, A. M.; SANTOS, P. A.; SANTOLIN, R. & REIS, B. S. **Integração na**

- Criação de Frangos de Corte na Microrregião de Viçosa – MG: Viabilidade Econômica e Análise de Risco.** RER, vol. 44, n 04, p. 713-730, Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- FRAYER, J. & ULUDERE, N. Z. **What is it worth? Applications of Real Options Theory to the Valuation of Generation Assets.** The Electricity Journal, v 13, n 8, p. 40-51, 2001.
- FREITAS, M. A. S. **Análise de Risco e Incerteza na Tomada de Decisão na Gestão Hidroambiental.** XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba, PR, 2003.
- GALDI, F. C.; TEIXEIRA, A. J. C. & LOPES, A. B. **Análise Empírica de Modelos de Valuation no Ambiente Brasileiro: Fluxo de Caixa Descontado versus Modelo de Ohlson (RIV).** Revista de Contabilidade e Finanças, USP, v 19, n 47, São Paulo, SP, 2008.
- GAZZI, L. M. P. **Decisão de Investimento em Ambiente de Incertezas Integrada à Análise de Viabilidade de Projetos de Subtransmissão e Distribuição.** Dissertação [Mestrado em Engenharia Elétrica] - Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, SP, 2010.
- HUCHZERMEIER, A. & LOCH, C. H. **Project Management Under Risk: Using the Real Options Approach to Evaluate Flexibility in R&D.** Management Science Informs, v 47, n 1, 2001.
- LI, X. & JOHNSON, J. D. **Evaluate IT Investment Opportunities Using Real Options Theory.** Information Resources Management Journal, 15(3), 2002.
- LIMA JÚNIOR, V. B.; REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Determinação da taxa de desconto a ser usada na análise econômica de projetos florestais.** Revista Cerne, v 3, n 1, 1997.
- LIMA, G. A. C. & SUSLICK, S. B. **Quantificação do momento de investir em ativos minerais por meio da Teoria das Opções Reais.** Revista Esc. Minas, v 54, n 2, Ouro Preto, 2001.
- LAZO, J. G. L. **Determinação do Valor de Opções Reais por Simulação Monte Carlo com Aproximação por Números Fuzzy e Algoritmos Genéticos.** Tese [Doutorado em Engenharia Elétrica] - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- MACEDO, M. A. S. & NARDELLI, P. M. **Utilizando Opções Reais na Análise de**

- Viabilidade de Projetos de Investimento Agropecuários: Um Ensaio Teórico.** XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, Rio Branco, AC, 2008.
- MARSH, W. E. **Decision Tree Analysis: Drawing some of the Uncertainty out of Decision Making.** Swine Health and Production, v 1, n 4, 1993.
- MARTINS, A. L.; CASTRO, M. A. R. & GOMES, S. M. S. **As Opções Reais Aplicadas no Orçamento de Capital.** Revista Produção On Line, ISSN 1676 – 1901, Edição Especial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2007.
- MARTINS, G. N. & MELO, A. S. S. de A. **O Valor da Preservação do Parque dos Manguezais em Recife-PE: Uma Utilização do Método de Opções Reais.** XXXV Encontro Nacional de Economia, Recife, PE. Anais. Belo Horizonte: Associação Nacional dos Centros de Pós Graduação em Economia (ANPEC), 2007.
- MASSOTTI, M. B. **Uso de Opções Reais para Precificação das Garantia de Contratos: O Caso Expresso Aeroporto.** Dissertação [Mestrado profissionalizante em Economia] - Faculdade de Economia e Finanças IBMEC, Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- MINARDI, A. M. A. F. **Teoria de Opções Aplicada a Projetos de Investimento.** RAE - Revista de Administração de Empresas, v 40, n 2, São Paulo, SP, 2000.
- MONTEIRO, R. C. **Contribuições da Abordagem de Avaliação de Opções Reais em Ambientes Econômicos de Grande Volatilidade – Uma Ênfase no Cenário Latino-Americano.** Dissertação [Mestrado em Controladoria e Contabilidade] - Universidade de São Paulo; Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade; Departamento de Contabilidade e Atuária, São Paulo, SP, 2003.
- MOREIRA, A. R. B.; REIS, E. J.; ROCHA, K.; CARVALHO, L. **A Valoração das Concessões nas Florestas Nacionais da Amazônia: Uma Abordagem com Opções Reais.** Pesquisa e Planejamento Econômico, v 30, n 3, 2000.
- MYERS, S. C. **Finance Theory and Financial Strategy.** Interfaces 14, p. 126-137, 1984.
- NOCE, R.; SILVA, M.L.; SOARES, T. S. & CARVALHO, R. M. . A. **Análise de Risco e Retorno do Setor Florestal: Produtos da Madeira.** Revista Árvore, v 29, n 1, Viçosa, MG, 2005.

- NORONHA, J. C. **Opções Reais Aplicadas à Gestão do Processo de Desenvolvimento de Produto em Uma Indústria de Autopeças**. Dissertação [Mestrado em Engenharia de Produção] - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2009.
- OUWEHAND, P. & WEST, G. **Pricing rainbow options**. Wilmott Magazine, 2006.
- PAMPLONA, E. O. & MONTEVECHI, J. A. B. **Engenharia Econômica II**. Apostila, Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria (FUPAI), Itajubá, MG, 2005.
- PASIN, R. M.; MARTELANC, R. & SOUSA, A. F. **A Flexibilidade do Processo Decisório e o Valor da Opção de Adiamento**. VI Seminário em Administração - SEMEAD, FEA-USP, São Paulo, SP, 2003.
- PESSOA, G. A. **Avaliação de Projetos de Mineração Utilizando a Teoria das Opções Reais em Tempo Discreto - Um Estudo de Caso em Mineração de Ferro**. Dissertação [Mestrado em Gestão Empresarial] - Fundação Getúlio Vargas, Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, Centro de Formação Acadêmica e Pesquisa, Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- REUER, J. J. & TONG, T. W. **Real Options Theory**. Advances in Strategic Management, v 24, Elsevier JAI, Oxford, UK, 2007.
- REZENDE, J. L. P. & OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Universidade Federal de Viçosa - UFV, ed. 2, Viçosa, MG, 2009.
- RIGOLON, F. J. Z. **Opções Reais, Análise de Projetos e Financiamentos de Longo Prazo**. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, RJ, v 6, n 11, 1999.
- SANTOS, E. M. & PAMPLONA, E. O. **Teoria das Opções Reais: Aplicação em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)**. 2º Encontro Brasileiro de Finanças, Ibmecc, Rio de Janeiro, RJ, 2002.
- SANTOS, E. M. & PAMPLONA, E. O. **Teoria das Opções Reais: Uma Abordagem Estratégica para Análise de Investimentos**. XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Salvador, BA, 2001.
- SANTOS FILHO, A. D. **Teoria das Opções Reais Aplicada a Projetos de Investimento em Prestação de Serviços de Tecnologia da Informação**. Dissertação [Mestrado] - Fundação Getúlio Vargas - Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas - Centro de

Formação Acadêmica e Pesquisa, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

SILVA, M. L. & FONTES, A. A. **Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE) e Valor Esperado da Terra (VET).** Revista *Árvore*, v 29, n 6, Viçosa, MG, 2005.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G. & VALVERDE, S. R. **Economia Florestal.** Universidade Federal de Viçosa, MG, 2005.

SIMIONI, F. J. & HOEFLICH, V. A. **Avaliação de Risco em Investimentos Florestais.** Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n 52, 2006.

SIMÕES, D.; CERVI, R. G. & FENNER, P.T. **Análise econômica de um povoamento clonal de *Eucalyptus grandis* na região Centro-Oeste do estado de São Paulo.** 61ª Reunião Anual da SBPC, Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, AM, 2009.

SOARES, N. S.; REZENDE, A. M.; SILVA, M. L. & MOURA, A. D. **Ambiente de Incerteza sobre os Negócios do Setor Florestal.** Centro de Inteligência em Florestas - CI Florestas, *Análise Conjuntural*, 2009.

SOUSA NETO, J. A.; BERGAMINI JÚNIOR, L. C. & OLIVEIRA, V. I. **Opções Reais: Introdução à Teoria e à Prática.** Qualitymark, Rio de Janeiro, RJ, 2008.

TRIGEORGIS, L. **Real Options in Capital Investment: Models, Strategies and Applications.** Praeger Publisher, Westport, Conn., 1995.

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

APÊNDICES

Tabela 1 – Custos, em Reais, dos insumos e serviços (mão-de-obra e maquinário) utilizados na operação de implantação do povoamento.

Atividades	Serviços	Insumos	Custo bruto	Custo Líquido (recuperação PIS/CONFINS de 3,25%)
Topografia	6,00	-	6,00	5,45
Estradas I	132,00	-	132,00	119,79
Estradas II	95,00	-	95,00	86,21
Estradas III	60,00	-	60,00	54,45
1º Combate a Formigas	37,50	24,00	61,50	58,03
2º Combate a Formigas	30,00	12,00	42,00	39,23
Aplicação de Calcáreo	48,00	150,00	198,00	193,56
Aplicação de Herbicida na área total	48,00	55,00	103,00	98,56
1ª Gradagem	84,00	-	84,00	76,23
Subsolagem + Adubo + Pré-emergentes I	144,00	330,00	474,00	460,68
Subsolagem + Adubo + Pré-emergentes II	-	25,00	25,00	25,00
Plantio	270,00	1667,50	1937,50	1912,53
Irrigação do Plantio	120,00	-	60,00	54,45
Replantio	102,00	83,38	185,38	175,94
Total	1176,50	2346,88	3463,38	3360,10

Tabela 2 – Custos, em Reais, dos insumos e serviços (mão-de-obra e maquinário) utilizados na operação de manutenção do povoamento.

Manutenção – 1º ano				
Atividades	Serviços	Insumos	Custo bruto	Custo Líquido (recuperação PIS/CONFINS de 9,25%)
Repasse do Combate a formigas	30,00	12,00	42,00	39,23
Capina Química Mecanizada	120,00	127,33	247,33	236,23
1ª Adubação Mecanizada da Cobertura – Após 3 meses	60,00	180,00	240,00	234,45
Capina Química Manual	210,00	44,00	254,00	234,58
2ª Adubação Mecanizada da Cobertura – Após 9 meses	48,00	190,00	238,00	233,56
Total	468,00	553,33	1021,33	978,04
Manutenção – 2º ano				
Atividades	Serviços	Insumos	Custo bruto	Custo Líquido (recuperação PIS/CONFINS de 9,25%)
Repasse do Combate a formigas	30,00	12,00	42,00	39,23
Capina Química Mecanizada	48,00	55,00	103,00	98,56

Tabela 2 (continuação) – Custos, em Reais, dos insumos e serviços (mão-de-obra e maquinário) utilizados na operação de manutenção do povoamento.

Manutenção – 2º ano				
Atividades	Serviços	Insumos	Custo bruto	Custo Líquido (recuperação PIS/CONFINS de 9,25%)
3ª Adubação Mecanizada da Cobertura – Após 15 meses	48,00	194,00	242,00	237,56
Estradas II	95,00	-	95,00	86,21
Total	221,00	261,00	482,00	461,56
Manutenção – 1ª condução – 3º ano				
Atividades	Serviços	Insumos	Custo bruto	Custo Líquido (recuperação PIS/CONFINS de 9,25%)
Repasse do Combate a formigas	30,00	12,00	42,00	39,23
Capina Química Manual	120,00	55,00	175,00	163,90
1ª Adubação Mecanizada da Cobertura – Após 3 meses	48,00	180,00	228,00	223,56
2ª Adubação Mecanizada da Cobertura – Após 3 meses	48,00	190,00	238,00	233,56
Estrada II	95	-	95,00	86,21
Total	341,00	437,00	778,00	746,46

Tabela 2 (continuação) – Custos, em Reais, dos insumos e serviços (mão-de-obra e maquinário) utilizados na operação de manutenção do povoamento.

Manutenção – 1ª condução – 4º ano				
Atividades	Serviços	Insumos	Custo Bruto	Custo Líquido (recuperação PIS/CONFINS de 9,25%)
Repasse do Combate a formigas	30,00	12,00	42,00	39,23
3ª Adubação Mecanizada da Cobertura – Após 15 meses	48,00	194,00	242,00	237,56
Estradas II	95,00	-	95,00	86,21
Total	173,00	206,00	379,00	363,00
Manutenção – 2ª condução – 5º ano				
Atividades	Serviços	Insumos	Custo Bruto	Custo Líquido (recuperação PIS/CONFINS de 9,25%)
Repasse do Combate a formigas	30,00	12,00	42,00	39,23
Capina Química Manual	120,00	55,00	175,00	163,90
1ª Adubação Mecanizada da Cobertura – Após 3 meses	48,00	180,00	228,00	223,56
2ª Adubação Mecanizada da Cobertura – Após 9 meses	48,00	190,00	238,00	233,56
Estrada II	95,00	-	95,00	86,21
Total	341,00	437,00	778,00	746,46

Tabela 2 (continuação) – Custos, em Reais, dos insumos e serviços (mão-de-obra e maquinário) utilizados na operação de manutenção do povoamento.

Manutenção – 2ª condução – 6º ano				
Atividades	Serviços	Insumos	Custo Bruto	Custo Líquido (recuperação PIS/CONFINS de 9,25%)
Repasse do Combate a formigas	30,00	12,00	42,00	39,23
3ª Adubação Mecanizada da Cobertura – Após 15 meses	48,00	194,00	242,00	237,56
Estrada II	95,00	-	95,00	86,21
Total	173,00	206,00	379,00	363,00

Tabela 3 – Custos, em Reais, dos insumos e serviços (mão-de-obra e maquinário) utilizados na operação de colheita do povoamento.

Atividades	Custo (R\$/h)	Rendimento (m³cc/h)	Valor (R\$/m³cc)
Corte	210	55	3,82
Remoção	170	100	1,70
Processamento	210	65	3,23
Total	590	220	8,75