



**Igor Michel Santos Leite**

**O valor da opção de *switch-use* da terra: da pecuária de corte para projetos de reflorestamento ou silvipastoris**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Carlos Patrício Samanez

Rio de Janeiro  
Março de 2016



**Igor Michel Santos Leite**

**O valor da opção de *switch-use* da terra: da pecuária de corte para projetos de reflorestamento ou silvipastoris**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Nélio Domingues Pizzolato**

Presidente

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. Marco Antonio Guimarães Dias**

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Profa. Frances Fischberg Blank**

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

**Prof. Márcio da Silveira Carvalho**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 8 de Março de 2016

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização do autor, da orientadora e da universidade.

### **Igor Michel Santos Leite**

Graduou-se em Engenharia de Produção pela UNAMA em 2013. Trabalhou como estagiário na empresa de consultoria INDG (atual FALCONI), no projeto de GPD do BANPARÁ, posteriormente trabalho como consultor para o Instituto PUBLIX, em projeto de redimensionamento da força de trabalho em hospitais da SESPA.

#### Ficha catalográfica

Leite, Igor Michel Santos

O valor da opção de switch-use da terra : da pecuária de corte para projetos de reflorestamento ou silvipastoris / Igor Michel Santos Leite ; orientador: Carlos Patrício Samanez. – 2016.

107 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)—Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2016.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Opções reais. 3. Processos estocásticos. 4. Silvipastoril. 5. Reflorestamento. 6. Pecuária. I. Samanez, Carlos Patrício. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

## Agradecimentos

Agradeço aos meus pais que com muita dedicação puderam me fornecer uma boa educação, sempre me estimulando a progredir com os estudos e me apoiando a realizar todos os meus objetivos. Sempre sendo um exemplo de vida a ser seguido.

Agradeço a minha noiva pelo apoio incondicional para a realização deste mestrado, paciência, amor e compreensão, sem os quais tornariam este projeto muito mais difícil.

Agradeço a tia Nilza Franco pelo recebimento caloroso e apoio prestado desde a minha chegada ao Rio de Janeiro.

Agradeço aos meus familiares que me acompanharam ao longo deste trajeto de desenvolvimento profissional.

Agradeço aos meus professores que participaram da minha formação do conhecimento, que estavam sempre dispostos a ajudar. Em especial aos professores Carlos Patrício Samanez (*in memoriam*) e Marco Antonio Guimarães Dias pela contribuição, sabedoria e paciência no desenvolvimento desta Dissertação.

Agradeço aos amigos estiveram presente nessa etapa da minha vida e que contribuíram para o meu desenvolvimento como pessoa e também profissional. Agradeço a Douglas Sad e Leandro Costa pela ajuda nos trabalhos desenvolvidos.

Agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro sem o qual tornaria este trabalho inviável.

E finalmente obrigado a toda a PUC-Rio por dispor de um ensino de qualidade

## Resumo

Leite, Igor Michel Santos; Samanez, Carlos Patrício. **O valor da opção de *switch-use* da terra: da pecuária de corte para projetos de reflorestamento ou silvipastoril.** Rio de Janeiro, 2016. 107p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O problema de valoração da opção de *switch-use* da terra é um enigma recorrente e de complexa solução, haja vista a grande variedade de incertezas relacionadas ao agronegócio no Brasil. Nesta dissertação é analisada e valorada essa opção através da abordagem da Teoria de Opções Reais (TOR), desenvolvendo um sistema de gerenciamento de longo prazo, considerando a instalação de um projeto de reflorestamento ou manejo silvipastoril e a existência inicial da pecuária de corte. A resolução do problema de onde e como investir é resolvida por meio da Simulação de Monte Carlo (SMC). As séries históricas de preços da madeira (diâmetros pequeno e médio) e do boi gordo, no período entre 1997 e 2015, são testadas para observar a sua aderência a um modelo estocástico de reversão à média (MRM). Os resultados mostraram que a decisão ótima a ser tomada é a de se investir imediatamente em um manejo silvipastoril, vencendo até mesmo as opções de aguardar e investir posteriormente. Por meio de análise de sensibilidade foram verificados os limites de segurança da decisão.

## Palavras Chave

Opções Reais; Processos Estocásticos; Silvipastoril; Reflorestamento; Pecuária.

## Abstract

Leite, Igor Michel Santos; Samanez, Carlos Patrício (Advisor). **The value of the switch-use option of the land: from beef cattle for reforestation or silvipasture projects.** Rio de Janeiro, 2016. 107p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The valuation problem of switch-use option of the land is a recurring and complex solution puzzle, given the wide range of uncertainties related to agribusiness in Brazil. This dissertation analyzed and valued this option through the approach of Real Options Theory (TOR), developing a long-term management system, considering the installation of a reforestation project or silvipasture management and initial stock of beef cattle. Solving the problem of where and how to invest is resolved through Monte Carlo Simulation (SMC). The historical series of timber prices (small and average diameters) and live cattle in the period between 1997 and 2015, are tested to observe their adherence to a stochastic model of mean reversion (MRM). The results showed that the optimal decision to be taken is to invest immediately in a silvipasture management, winning even the option to wait and invest later. Through sensitivity analysis the safety limits was of the decision are verified.

## Keywords

Real Options; Stochastic process; Silvipasture; Reforestation; livestock.

## Sumário

1. Introdução	14
2. Cadeia produtiva e outros aspectos dos setores	20
2.1 Pecuária de Corte	20
2.1.1 Pecuária no cenário Brasileiro	22
2.1.2 O sistema de produção da bovinocultura de corte	24
2.2 Reflorestamento	27
2.2.1 Reflorestamento no cenário Brasileiro	27
2.2.2 O sistema de produção florestal	30
2.3 Manejo Silvipastoril	35
2.3.1 Interação entre Floresta e a bovinocultura	36
3. Base Teórica	38
3.1 Teoria das Opções Reais	38
3.2 Processos Estocásticos	42
3.2.1 Processo de Markov	43
3.2.2 Processo de Wiener	43
3.2.3 Movimento Browniano com <i>Drift</i>	45
3.2.4 Processo de Itô	45
3.2.5 Movimento Geométrico Browniano	46
3.2.6 Processo de Reversão à Média	47
4. Modelagem dos Processos Estocásticos	50
4.1 Opções Reais e Projetos <i>switch-use</i> da terra	50
4.2 Levantamento de Dados	50
4.2.1 Preço do boi	51
4.2.2 Preço da madeira	61
4.2.3 Consolidação dos resultados	69
5. Elaboração Fluxo de Caixa das opções	70
5.1 Bovinocultura de corte	71
5.1.1 Receitas	71

5.1.2 Despesas	72
5.2 Reflorestamento para serraria	73
5.2.1 Receitas	73
5.2.2 Despesas	74
5.3 Manejo Silvipastoril	75
5.3.1 Receitas	75
5.3.2 Despesas	77
6. Simulação de Monte Carlo para o Modelo de Reversão à Média.	78
6.1 SMC-Processo Neutro ao Risco	79
6.1.1 Resultados SMC Neutra ao Risco	82
6.2 Análise de Sensibilidade	86
6.2.1 Variação dos custos de produção	87
6.2.2 Variação das médias do longo prazo ( <b>P</b> )	91
7. Conclusão	97
7.1 Sugestões para trabalhos posteriores	99
8. Referências bibliográficas	101



## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Estrutura Fundiária Brasileira	23
Tabela 2 – Sistema de produção de bovinos conforme subsistema	25
Tabela 3 - Fases de produção da pecuária de corte no Brasil e suas principais características	26
Tabela 4 – Relação DAP e altura por idade em função do espaçamento	32
Tabela 5 - Analogia entre uma opção financeira e uma opção de investir em um projeto	41
Tabela 6 - Teste de estacionariedade de Phillips-Perron para o preço do boi	55
Tabela 7 - Regressão linear simples boi	58
Tabela 8 - Regressão linear simples retorno dos preços do Boi	59
Tabela 9 – Resultados da regressão linear preços do boi	59
Tabela 10- Resultados Parâmetros MRM para o preço do boi	60
Tabela 11- Teste de estacionariedade de Phillip-Peron DAPM	65
Tabela 12 - Teste de estacionariedade de Phillip-Peron DAPP	65
Tabela 13 - Regressão linear simples madeira-DAPM	67
Tabela 14 - Regressão linear simples madeira-DAPP	68
Tabela 15 – Resultados da regressão linear	68
Tabela 16- Resultados Parâmetros MRM para o preço da madeira	69
Tabela 17- Resultados consolidados dos parâmetros MRM	69
Tabela 18-Custo de implantação e manutenção da pecuária de corte por hectare	72
Tabela 19- Custo de implantação e manutenção reflorestamento para serraria por hectare	75
Tabela 20- Custo de implantação e manutenção reflorestamento para serraria por hectare	77
Tabela 21 – Matriz de correlação	80
Tabela 22 – Matriz de Cholesky	81

## Lista de Figuras

Figura 1 - Fluxograma de decisão das opções	15
Figura 2 - Série Histórica cabeças de gado no Brasil	20
Figura 3 - Distribuição dos rebanhos bovinos no mundo em 2014	21
Figura 4 - Participação Pecuária no PIB do Brasil em 2014	22
Figura 5 - Ciclo Anual da pecuária de corte da região Centro-Sul do Brasil	24
Figura 6 – Uso do solo no Brasil	28
Figura 7 – Evolução da Área de árvores plantadas	28
Figura 8 – Distribuição das árvores plantadas por Estado	29
Figura 9 – Produtividade florestal no Brasil versus outros líderes mundiais	30
Figura 10- Esquematização dos espaçamentos florestais	33
Figura 11 - Valor da Flexibilidade: Incerteza e Capacidade de Reagir	40
Figura 12 – Ilustração do Processo de Wiener	44
Figura 13- Série Histórica de preços do boi	51
Figura 14 - Preços Deflacionados do boi	52
Figura 15- Teste da razão de variância para preço do boi	54
Figura 16- Série Histórica de preços da madeira	62
Figura 17- Preços Deflacionados da madeira	63
Figura 18- Teste da razão de variância para preço da madeira	64
Figura 19- Fluxo produtivo bovinocultura de corte	71
Figura 20- Fluxo produtivo reflorestamento	74
Figura 21- Fluxo produtivo manejo silvipastoril	76
Figura 22- Exemplo do comportamento dos preços do boi durante a simulação	81
Figura 23- Exemplo do comportamento dos preços da madeira –DAPM durante a simulação	82
Figura 24- Exemplo do comportamento dos preços da madeira –DAPP durante a simulação	82
Figura 25- Resultados da SMC neutra ao risco para opção de investir em projeto silvipastoril	83
Figura 26- Resultados da SMC neutra ao risco para opção de investir em reflorestamento	84
Figura 27- Resultados da SMC neutra ao risco para a opção de Switch-use da terra	85

Figura 28- Análise sensibilidade da opção de investimento em reflorestamento através da variação de custos	89
Figura 29- Análise sensibilidade da opção de investimento em manejo silvipastoril através da variação de custos	89
Figura 30- Sobreposição de curvas para as opções de investimento em reflorestamento e manejo silvipastoril	90
Figura 31- Campo de densidade de resultados da subtração das opções	90
Figura 32- Curvas para opção de reflorestamento - Média de Longo Prazo	92
Figura 33- Curvas para opção de manejo silvipastoril - Média de Longo Prazo	93
Figura 34- Sobre posição de curvas - Média de Longo Prazo	94
Figura 35- Curvas para opção de Reflorestamento - Média de Longo Prazo- DAPP e gado	95
Figura 36- Sobreposição de curvas - Média de Longo Prazo –DAPP e gado	96

## **Símbolos, Acrônimos e Abreviaturas**

ADF - Augmented Dickey–Fuller

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

CME – Chicago Mercantile Exchange

DAP – Diâmetro na Altura do Peito

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

KPSS - Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin

m<sup>3</sup> – Metro Cúbico

MGB – Movimento Geométrico Browniano

MRM – Movimento de Reversão à Média

MSE – Minimum Square Error

Om<sub>p</sub> – Opção de manter-se na pecuária de corte

Ot<sub>r</sub> – Opção de troca Imediata para Projeto de Reflorestamento

Ot<sub>s</sub> – Opção de troca Imediata para Manejo Silvipastoril

Ot<sub>a</sub> – Opção de aguardar investir no próximo período

Ot<sub>r</sub><sup>\*</sup> - Opção de Investir em Reflorestamento no próximo período

Ot<sub>s</sub><sup>\*</sup> - Opção de Investir em Silvicultura no próximo período

OR – Opções Reais

OU – Ornstein-Uhlenbeck

PIB – Produto Interno Bruto

R\$/m<sup>3</sup> – Reais por metro cúbico

R\$/st – Reais por estéreo

RM – Reversão à Média

SMC – Simulação de Monte Carlo

SNC – Sociedade Nacional de Agricultura

st – Estéreo de madeira

TIR – Taxa Interna de Retorno

TOR – Teoria de Opções Reais

USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América

VPL – Valor Presente Líquido

*O impossível existe até que alguém duvide dele e prove o contrário.*

Albert Einstein

## 1.

### INTRODUÇÃO

A aplicação da Teoria das Opções Reais (TOR) à gestão financeira e de produção das empresas e de projetos tem sido considerada nos meios acadêmico e comerciais como importante ferramenta de decisão, que mitiga ou elimina impactos negativos de eventuais subjetividades não captadas pelos métodos tradicionais de avaliação, como o do VPL com abordagem estática.

Como a TOR incorpora características comuns aos projetos de investimento, tais como irreversibilidade ou reversibilidade parcial, controle do tempo de exercício de uma opção e a combinação das incertezas, a análise de investimento se torna dinâmica. O exercício ou não das opções deve ser realizado apenas se o conjunto de todas as condições envolvidas se desenhar como propício ao investidor, tornando essa metodologia ideal para a aplicação em diversos setores econômicos.

Não sendo diferentes, as decisões relacionadas ao agronegócio são de fundamental importância para o produtor rural e para o Brasil, fazer jus a grandiosidade deste setor no PIB brasileiro. Portanto, decisões certeiras, visando à maximização do retorno, devem ser adotadas sempre. As incertezas associadas à pecuária de corte no Brasil resultam em margens de retorno apertadas e sujeitas a fortes fatores de incertezas (Ramos *et al.*, 2013), sendo a diversificação do empreendimento uma estratégia para a minimização do impacto dos fatores de risco sobre o fluxo de caixa dos empreendimentos.

Esta dissertação estuda a viabilidade de se exercer a opção de troca de uso (*switch-use*) da terra para um projeto de reflorestamento ou para um manejo silvipastoril<sup>1</sup>, dada a produção inicial de gado para corte, considerando a abordagem através de Opções Reais. Essa opção é estudada no momento corrente e a cada ano até o limite do da expiração da opção de troca (4 anos), conforme a Figura 1, considerando um horizonte de tempo de 12 anos.

---

<sup>1</sup> Combinação de árvores, pastagem e gado simultaneamente em uma mesma área de produção.

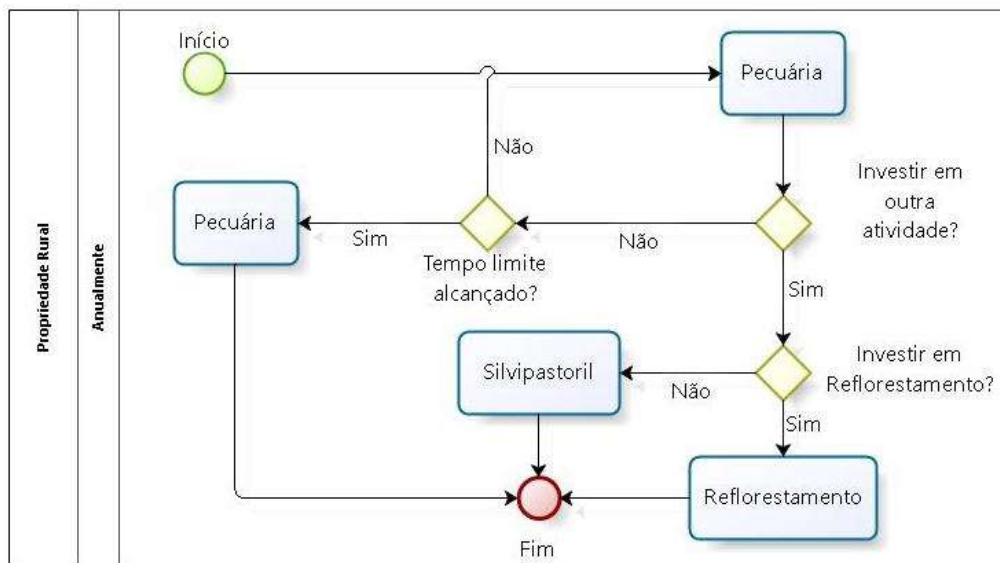


Figura 1 - Fluxograma de decisão das opções

Fonte: Elaboração Própria

As perguntas-chaves que são analisadas neste trabalho são: A opção de mudar para um projeto de reflorestamento é vantajosa ao empresário do setor primário? Deve-se aguardar a mudança de cultura para os anos posteriores? A utilização de silvicultura resultará em melhores retornos financeiros? A metodologia de reflorestamento para corte de serraria é vantajosa?

Como a finalidade é calcular os valores das opções que um empreendedor rural possui ao analisar a mudança de uso da terra (*switch-use*), nesta dissertação foi considerada uma propriedade genérica de um hectare (ha). Através da comparação dos valores dos fluxos de caixas gerados por cada uma das possíveis escolhas, dadas as principais incertezas dos setores (preço do gado para a pecuária e preço da madeira para o reflorestamento), pretende-se determinar:

1. O valor das opções: manter a criação de gado, investir em um projeto de reflorestamento e/ou investir em um manejo silvipastoril;
2. Os valores dos custos de produção que mantenham as decisões traçadas ao longo do trabalho;
3. O valor do ponto de gatilho para as opções de investimento em reflorestamento, investimento em sistema silvipastoril e/ou reinvestimento em gado de corte.

Na literatura relacionada ao assunto é possível encontrar diversos trabalhos acadêmicos analisando a viabilidade financeira de aplicações em pecuária de corte, tais como o trabalho de Barbosa (2008) que analisa a viabilidade financeira da pecuária de corte em sistemas de produção distintos, demonstrando a vantagem financeira de sistemas de criação intensiva, e Sipp (2011) que estuda a perspectiva econômica do confinamento de gado, obtendo resultados vantajosos para o modelo. No caso de projetos de reflorestamento para corte de madeira, o trabalho de Cordeiro (2009) analisa a viabilidade econômica em sistemas de reflorestamento combinado de Paricá e Curuá, demonstrando ser economicamente viável.

Unindo ambos os processos produtivos, tem-se o sistema silvipastoril, que através da análise realizada no trabalho de Grado, Hovermale e Louis (2001), culminando com a exequibilidade financeira do manejo silvipastoril nos Estados Unidos, Vale (2004) compara a viabilidade em sistemas de pecuária leiteira, reflorestamento e entre um manejo combinado de gado e árvores, obtendo uma vantagem financeira para o último modelo citado. Stainback e Alavalapati (2004) investigam o potencial econômico de um sistema silvipastoril com inclusão de créditos de carbono na América do Norte, sugerindo que tal manejo é mais rentável do que a pecuária e reflorestamento tradicionais. Enquanto Santos e Grzebieluckas (2014) analisam viabilidade econômica da pecuária de corte, eucalipto convencional e sistema silvipastoril, sendo obtido a superioridade financeira do plantio de eucalipto convencional.

Contudo, todos os trabalhos citados anteriormente utilizam-se das técnicas tradicionais da análise de investimentos (VPL, TIR, *Payback*, etc.), sendo limitados pela ausência de tratamento das incertezas nas metodologias adotadas. Adentrando, no âmbito do estudo de viabilidade sob incerteza em sistemas produtivos, Nascimento (2012) afirma que é comum a utilização de Modelos de Reversão à Média (MRM) para a modelagem do preço de *commodities* não financeiras. Tal julgamento é explicado por Dias (2015) ao fazer ligação dos conceitos relacionados ao MRM às definições microeconômicas, onde caso o preço de uma *commodity* esteja abaixo da média, torna-se desinteressante para as companhias produzir/vender esse bem, fazendo com que o preço retorne<sup>2</sup> ao seu patamar. Valendo a mesma analogia para o cenário oposto, onde os preços elevados

---

<sup>2</sup> Devido à escassez de produtos no mercado.



viabilizam a entrada de concorrentes e/ou aumento de produção ou ampliação no consumo de bens substitutos, forçando os preços a sofrerem uma redução. No trabalho de Bessembinder et al. (1995) são demonstradas evidências estatísticas de Reversão à Média (RM) no preço de *commodities* agrícolas<sup>3</sup>, sendo destacado pelo autor a presença do preço do boi (na Bolsa de Valores de Chicago-CME) no estudo.

Deng (2006) utiliza-se do conceito de opções reais avaliando as opções de expansão e contração da produção na indústria bovina na região de Alberta/Canadá. O autor adotou o Movimento Geométrico Browniano (MGB) para modelar a incerteza nos preços do boi, da vaca e do bezerro. Todavia, o mesmo reconheceu a limitação da metodologia, ao não utilizar testes estatísticos para definição do processo estocástico que melhor adere aos dados, e fez a recomendação da adoção de técnicas para a modelagem adequada da incerteza.

Reforçando os resultados de Bessembinder et al. (1995) e as sugestões de Deng (2006), o trabalho de Ramos *et al.* (2013) sustenta a premissa do MRM para as fontes de incerteza (preço do boi e custo de confinamento), avaliando as opções de manter o gado em confinamento aguardando a melhora de preço ou vendê-lo na data ideal. Ainda no trabalho de Ramos *et al.* (2013), a suposição foi validada como verdadeira através da aplicação dos testes de estacionaridade: teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), Teste da Razão de Variância e o teste de KPSS. A solução para o problema foi obtida através da modelagem pela árvore binomial recombinante de Cox, Ross e Rubinstein para duas variáveis.

Já para o segmento de reflorestamento para exploração da madeira, o trabalho de Morck, Schwart e Stangeland (1989), utilizando conceitos da teoria de opções reais, analisa o tempo ótimo para corte (opção de exercício no melhor momento econômico) de uma floresta através da definição do preço da madeira e da taxa de crescimento da floresta como as incertezas do projeto. Ambas as fontes de risco são modeladas como um Movimento Geométrico Browniano (MGB) e demonstram a solução analítica por ativos contingentes<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Para ativos financeiros, tal suposição não se mostrou conclusiva, haja vista que a RM apresentou uma fraca evidência estatística para este tipo de dados.

<sup>4</sup> Montagem de um portfólio livre de risco contendo derivativo e os ativos básicos.

No Brasil, Samanez e Levy (2002) realizaram um estudo semelhante ao trabalho supracitado, também considerando as mesmas fontes de incertezas e modelando-as a partir de um MGB, porém, tornando o modelo mais realístico ao definir que os custos operacionais de uma floresta de Eucalipto não são corretamente modelados por uma função quadrática relacionada à quantidade de madeira extraída, além de ponderar que o custo de manutenção e implementação depende do ciclo de corte da árvore. Os autores afirmam que para projetos de exploração de madeira para serrarias, o preço alcançado pelas toras é função da idade da madeira, uma vez que a mesma adquire resistência e diâmetro com o passar do tempo, sendo um ponto importante a ser considerado, diferenciando a finalidade do projeto de reflorestamento.

Outro trabalho de grande relevância na literatura é o de Insley (2002), que utilizou a mesma metodologia dos trabalhos anteriormente citados, mas comparou seus resultados entre a modelagem através da utilização do MGB e do MRM para as incertezas. O autor tece críticas contundentes aos modelos de avaliação florestal que se utilizam do MGB, afirmando ser mais racional considerar um MRM para os preços da madeira. Tal confirmação pode ser verificada, pois no exemplo numérico de Insley (2002) foi apurado que a utilização do MRM teve um impacto mais significativo sobre a decisão de corte ideal e no valor do investimento em floresta. Ou seja, sob modelo de reversão à média é mais provável que o exercício da opção de corte da floresta seja em um momento mais próximo ao ideal.

Na literatura internacional os trabalhos de Gjolbert e Guttormsen (2002), Chladná (2007), Khajuria (2008), além de Hahn e Dyer (2008), utilizaram o movimento de reversão à média para o preço da madeira, corroborando a sugestão proposta por Insley (2002) e outros autores. O trabalho de Frey (2013) aborda o uso de opções reais para a avaliação de investimento em agronegócio e/ou rotação de cultura, especificamente de projetos de reflorestamento a projetos agroflorestais<sup>5</sup>, no intuito de explicar a viabilidade financeira do plantio de árvores da região estudada. O trabalho adotou a simulação de Monte Carlo para os preços das *commodities* agrícolas e da madeira, para posterior obtenção do valor das opções. Na modelagem adotou-se um MRM. O trabalho demonstrou que tais sistemas são

---

<sup>5</sup> Semelhante ao sistema silvipastoril. Porém, com a utilização de um sistema de floresta (frutíferas e/ou madeiras) em combinação a cultivos agrícolas.

menos viáveis quando a metodologia de opções reais é usada, em comparação aos métodos tradicionais de orçamento de capital, confirmando a crítica sugerida inicialmente.

A presente dissertação se valerá da ideia proposta por Vale (2004) e Stainback e Alavalapati (2004), ao avaliar a possibilidade de se exercer a opção de *switch-use* da terra, onde um produtor rural que possui um sistema voltado a pecuária de corte avalia a possibilidade de migração para um sistema de reflorestamento ou um sistema silvipastoril, onde a madeira será destinada a serrarias. Tal avaliação será feita com base na metodologia empregada por Frey (2013), com opções reais em um horizonte de tempo de 12 anos (longo prazo). No trabalho, além das constatações estatísticas próprias em relação ao melhor processo para simular os fatores de risco, foram considerados também os resultados de Bessembinder et al. (1995), Ramos *et al.* (2013) e Insley (2002).

O presente estudo divide-se em 7 capítulos, sendo que o primeiro realiza uma introdução onde é apresentado o problema, o objetivo do trabalho e analisado o estado da arte sobre o assunto. No capítulo 2, é apresentado um panorama econômico e o histórico sobre os processos produtivos estudados no trabalho, bem como características técnicas dos mesmos. No capítulo 3, é tratado o contexto para a aplicação da TOR e definição dos principais processos estocásticos. No capítulo 4, é analisada e apresentada a estrutura de preços do boi gordo e da madeira no país. Também são detalhadas metodologias para a escolha do processo estocástico adequado e são identificados os principais parâmetros para o movimento de reversão à média. No capítulo 5, são detalhados formulações e valores para elaboração do fluxo de caixa dos processos produtivos, além da explicação sobre o fluxo do processo produtivo. No capítulo 6, é explicado o funcionamento da Simulação de Monte Carlo e o MRM é aplicado para o cálculo do valor das opções de *switch-use* da terra, permitindo uma visão prática do emprego desse processo. Também são mostradas as análises de sensibilidade relacionadas às opções, demonstrando os limites de aceitação dos resultados. No capítulo 7, são apresentadas as conclusões e perspectivas futuras do assunto tratado na dissertação. No capítulo 8, são explicitadas as referências atualizadas neste trabalho.

## 2.

### CADEIA PRODUTIVA E OUTROS ASPECTOS DOS SETORES

Este capítulo irá abordar os principais aspectos e características relacionadas à pecuária de corte, ao reflorestamento para corte de serraria e ao manejo silvipastoril, além de destacar a importância dos mesmos no cenário econômico brasileiro.

#### 2.1

##### Pecuária de Corte

Para Sipp (2011), a pecuária brasileira começou seu desenvolvimento a passos largos no final da década de 60, consolidou-se ao longo da década de 70, e hoje ostenta um dos maiores rebanhos do mundo.

A Figura 2 representa o crescimento no número de cabeças de gado no Brasil ao longo dos anos, com dados anuais entre 1945 e 2014 (com ausência<sup>6</sup> de dados nos anos de 1971 e 1972), obtidos junto ao Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

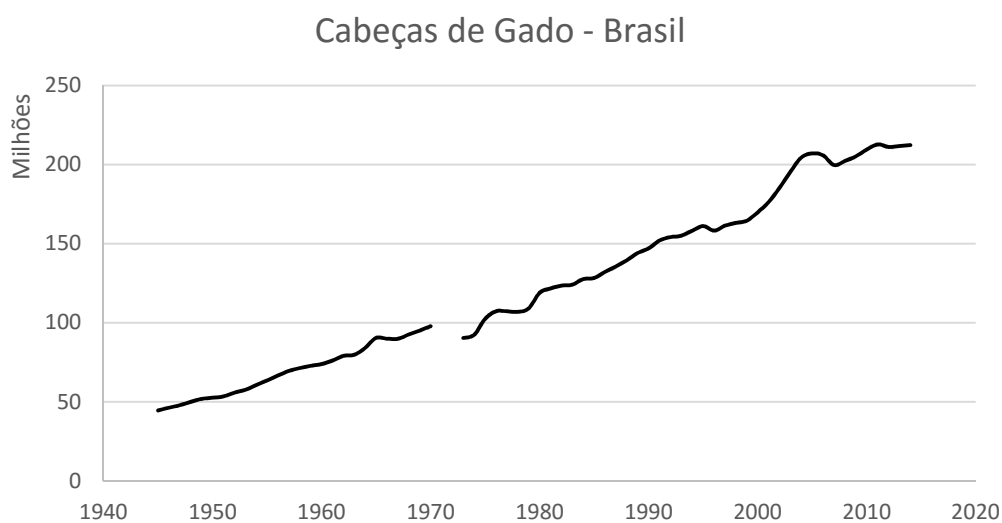


Figura 2 - Série Histórica cabeças de gado no Brasil  
Fonte: IPEA

A posição de destaque em dimensão de rebanho no cenário global é confirmada por Ramos *et al.* (2013), onde segundo dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), o Brasil possui o segundo maior rebanho do mundo, com aproximadamente 197,5 milhões de cabeças, além

<sup>6</sup> Ausência não explicada pelo IPEA.

de também possuir o título de segundo maior produtor de carne do mundo desde 2009, com 16% da produção mundial.

Dados mais atuais fornecidos pelo Portal Brasil (2015), apontam que o rebanho brasileiro chegou a 212,3 milhões de cabeças em 2014. Com isso, o Brasil manteve-se como segundo colocado no ranking mundial, atrás apenas da Índia, conforme observado na Figura 3. Mesmo com a crise instalada no Brasil no ano de 2015 (perspectiva de redução no PIB), especialistas no setor consideram o mercado de gado promissor no país. Tal argumento é ressaltado em reportagem da Sociedade Nacional de Agricultura (SNC), afirmando que o Brasil será o maior produtor de carne bovina do mundo em cinco anos, superando os Estados Unidos, hoje com participação de 19% da produção mundial, contra 17% da produção brasileira.

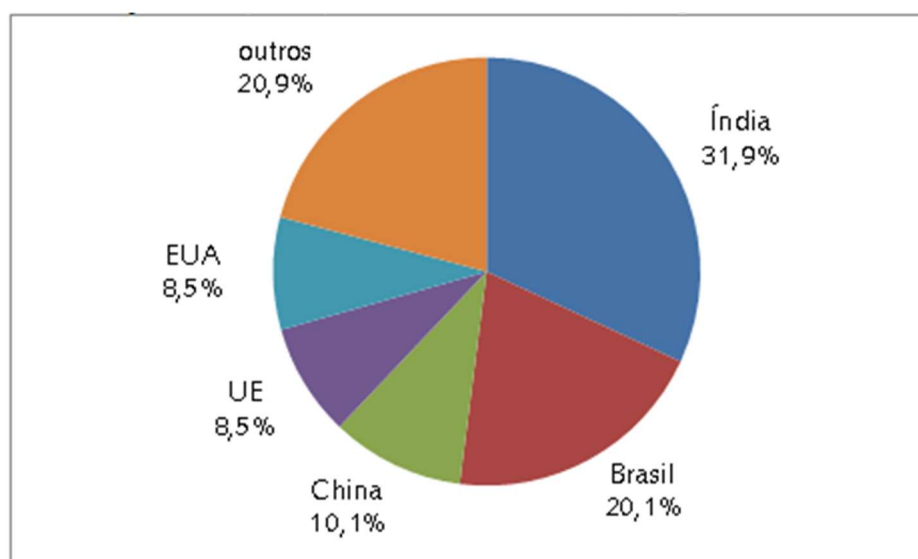


Figura 3 - Distribuição dos rebanhos bovinos no mundo em 2014  
 Fonte: USDA / Elaboração: Scot Consultoria<sup>7</sup>-[www.scotconsultoria.com.br](http://www.scotconsultoria.com.br)

Mencionada a importância da pecuária brasileira no cenário mundial, a mesma atividade produtiva também possui elevada significância na economia nacional conforme observado na Figura 4, a exemplo da participação média de 7% no valor do PIB brasileiro (calculado com base na Figura 4). Observando o agronegócio de maneira completa, tal valor salta para 24%, demonstrando a

<sup>7</sup> Disponível em:

<https://www.scotconsultoria.com.br/noticias/todas-noticias/36510/maiores-rebanhos-bovinos-em-2014.htm>

importância deste segmento para o país, também observado nos relatórios publicados<sup>8</sup> pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA).

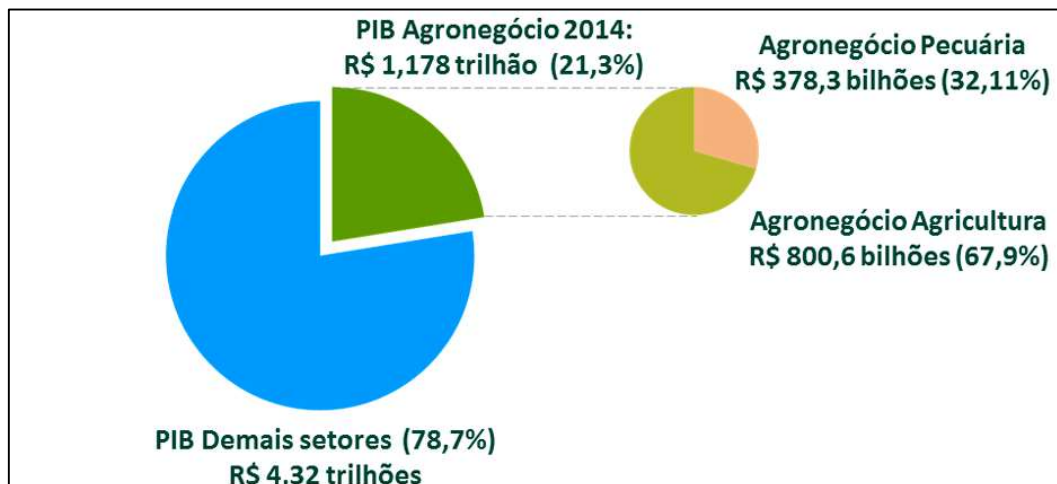


Figura 4 - Participação Pecuária no PIB do Brasil em 2014  
Fonte: Faculdade CNA de Tecnologia<sup>9</sup>

Para Nascimento (2015) “É a pecuária “salvando a lavoura” e auxiliando o PIB do país a não sofrer um tombo ainda maior que o previsto”, ressaltando a importância da agropecuária<sup>10</sup>, visto que no ano de 2014 o crescimento do agronegócio foi obtido unicamente devido ao aumento da atividade pecuária, pois no respectivo período houve a contração da agricultura no Brasil.

### 2.1.1

#### Pecuária no cenário Brasileiro

Para que seja entendida a situação da pecuária brasileira, primeiramente se faz necessária a compreensão de como as terras estão distribuídas entre os pecuaristas. Ramos *et al.* (2013) afirma que grande parte dos empreendimentos do país são de mini e pequeno porte. Tal afirmação pode observada na Tabela 1.

<sup>8</sup> Relatório CEPEA disponível em:

[http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/other/Pib\\_Cepea\\_1994\\_2013\\_final.xlsx](http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/other/Pib_Cepea_1994_2013_final.xlsx)

<sup>9</sup> Disponível em: <http://www.faculdadecna.com.br/agronegocio>

<sup>10</sup> Sendo este o único setor que apresentou expansão juntamente com o setor de serviços no PIB brasileiro.

Tabela 1 - Estrutura Fundiária Brasileira

Classe	Imóveis		Área	
	Número	%	Hectares (Milhões)	%
Grande Propriedade	139.829	2,84	375	60,2
Média Propriedade	368.326	7,47	108,5	17,4
Pequena Propriedade	1.280.371	25,96	81,6	13,1
Minifúndio	3.045.883	61,76	42,6	6,8
Não classificado (*)	97.199	1,97	11,9	1,9
Não classificado (**)	116	0	3,8	0,6
<b>Total</b>	<b>4.931.724</b>	<b>100</b>	<b>623,4</b>	<b>100</b>

(\*) Imóveis Rurais que não possuem informações de área explorável ou com informações entre os Formulários Dados sobre Estrutura e Dados sobre o Uso

(\*\*) Imóveis Rurais não classificados com declaração de projeto técnico, de acordo com o Art. 7 da Lei n. 8629/1993

Fonte: Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento<sup>11</sup>

Para Barbosa (2008), o tamanho médio das propriedades é um indicador importante para o negócio de gado, por representar o grau de concentração de mercados, uma vez que maiores terras significam maior poder de barganha dos pecuaristas em relação aos compradores de gado. Ou seja, a distribuição de terras impacta diretamente no planejamento produtivo, assim como no retorno proporcionado pelas mesmas. Ainda para Barbosa, a maior parte do rebanho, aproximadamente 38,74%, concentra-se em propriedades com 100 a 1000 ha. (Média Propriedade), enquanto que as com mais de 1000 ha. (Grande Propriedade) englobam aproximadamente 27,19% do rebanho nacional. As pequenas propriedades (com área entre 10 e 100 ha) possuem 24% do rebanho, enquanto os minifúndios (terras com menos de 10 ha) representam 8,25% da produção nacional. Tais números demonstram a concentração do rebanho brasileiro, favorecendo o surgimento de oligopólios entre grandes pecuaristas e as empresas a jusante do setor, abrindo possibilidades para a manipulação de preços. Contudo, o método produtivo pode alterar de forma significativa tal conclusão, detalhes sobre esse assunto serão abortados no próximo tópico.

<sup>11</sup> Disponível em: [http://www.agricultura.mg.gov.br/images/files/perfil/perfil\\_brasil.pdf](http://www.agricultura.mg.gov.br/images/files/perfil/perfil_brasil.pdf)

### 2.1.2

#### O sistema de produção da bovinocultura de corte

Para Barbosa (2014), a criação de gado de corte pode ser dividida em dois subsistemas de produção: subsistema tradicional (extensivo) e subsistema melhorado (semi-intensivo ou intensivo), descritos nos parágrafos a seguir.

O subsistema extensivo é classificado pelo predomínio para obtenção de nutrientes via pasto, com pouco ou nenhum investimento em melhoramentos da pastagem ou rotação de espécies de gramíneas, elevando a deterioração das terras e ocasionando uma baixa produtividade. Em alguns casos é comum a inclusão de sal comum ou suplementação mineral a ração animal em períodos de seca.

A Figura 5 mostra os períodos de seca e de chuvas para a região Centro-Sul do Brasil, podendo ser diferente para as demais regiões do país.

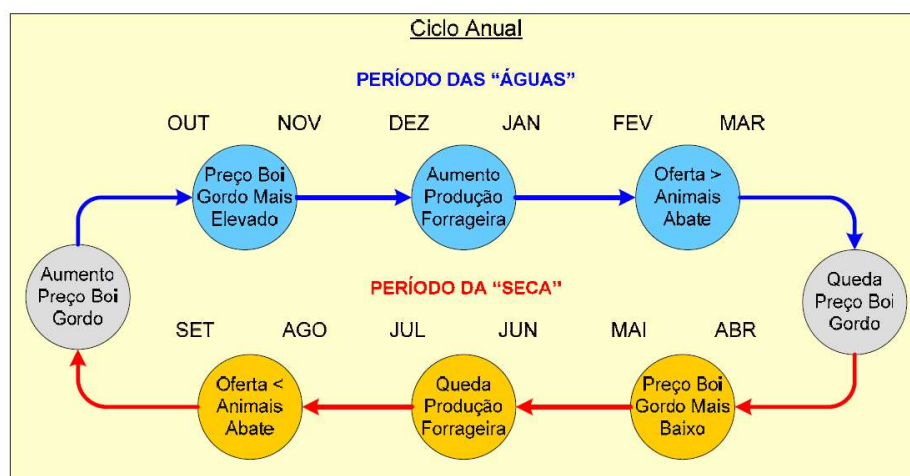


Figura 5 - Ciclo Anual da pecuária de corte da região Centro-Sul do Brasil  
Fonte: Medeiros e Montevechi (2005)

No subsistema melhorado existem maiores investimentos em manutenção, melhoria de pastagens pelo processo de adubação, irrigação ou rotação de cultura (capim), além de utilizar suplementação mineral e nutricional de forma contínua ou possuir sistemas de confinamento, onde o gado passa todas as etapas do ciclo produtivo recebendo alimentação específica para crescimento e engorda, resultando em um maior desempenho animal, maior peso em menor intervalo de tempo e, conseqüentemente, levando à redução na idade de abate.

A Tabela 2 compara os subsistemas de criação mencionados, deixando explícita vantagem dos sistemas intensivo e semi-intensivo de produção.



Tabela 2 – Sistema de produção de bovinos conforme subsistema

	TRADICIONAL	INTENSIFICADO
Subsistema	Extensivo	Semi-intensivo ou intensivo
Pastagem	Extensiva em degradação	Rotação, correção, adubação
Suplementação águas	Sal comum e /ou suplemento mineral	Suplemento mineral e /ou proteinado
Suplementação seca	Proteinado baixo consumo ou ureado	Proteinados, rações, volumoso
Produtividade - kg/ha/ano	< 120 kg peso vivo	> 180 kg peso vivo
Taxa desmama	< 60%	> 75%
Idade ao primeiro parto e abate	> 42 meses	24 a 36 meses
Ganho diário águas	0,4 - 0,5 kg/animal	0,6 - 0,8 kg/animal
Ganho diário seca	Mantém ou perde	Acima de 0,5 kg/animal

Fonte: Barbosa (2008)

Para Barbosa (2008), historicamente a pecuária de corte brasileira desenvolveu-se por meio da expansão da fronteira agrícola incorporando ao sistema extensivo de produção novas áreas de terras, metodologia útil para uma rápida ocupação do território, em regiões desprovidas de infra-estrutura e baixo nível de investimento. Dessa forma, pode-se explicar a predominância nos dias de hoje da pecuária extensiva, culminando na criação no Brasil de um sistema altamente ineficiente e barato (Azevedo, 2015).

Para Barbosa (2008), o crescimento horizontal prevaleceu no Brasil até a década de sessenta, com pequeno ganho de produtividade, utilizando predominantemente pastagens compostas de capim-gordura, colômbio, guiné, jaraguá e angola (*Melinis minutiflora*, *Panicum maximum*, *Hyparrhenia rufa* e *Brachiaria mutica*, respectivamente). Já na década de setenta, teve início o ciclo das Braquiárias (*B. decumbens*, *B. ruziziensis* e *B. humidicula*), com utilização na região de cerrado e na região amazônica, principalmente, aumentando a taxa de lotação em 5 a 10 vezes. Nos anos 80, foram introduzidas as variedades de capins resistentes às pragas da época. De acordo ao autor, o grande salto na criação de gado de corte ainda está ocorrendo no país, haja vista que uma parcela significativa dos pecuaristas perceberam a necessidade da melhoria na eficiência. Tal argúcia foi refletida no aumento de produtividade que ocorreu de 1995 a 2005, com um aumento da produção da ordem de 25%, enquanto o crescimento do rebanho foi de 9%, um ganho proporcionado principalmente pela redução média da idade de abate.

Para Medeiros e Montevechi (2005), o ciclo da pecuária de corte se dá através da análise do processo produtivo dividido em três etapas: cria, recria e engorda, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Fases de produção da pecuária de corte no Brasil e suas principais características

<b>Fases</b>	<b>Cria</b>	<b>Recria</b>	<b>Engorda</b>
<b>Características</b>			
Categoria do Animal ao final da fase	Bezerro	Boi Magro	Boi Gordo
Idade Média	até 8 meses	de 8 a 36 meses	até 48 meses
Duração da Fase	de 6 a 8 meses	de 6 a 24 meses	de 6 a 18 meses
Peso ao Final da Fase	de 4 a 8 arrobas	de 13 a 15 arrobas	mais de 16 arrobas
Sistema de Criação	Extensivo	Extensivo e Semi-intensivo	Semi-intensivo e intensivo
Nível Tecnológico	Baixo e pouco desenvolvido	Médio/Alto desenvolvido	Alto e muito desenvolvido

Fonte adaptada: Medeiros e Montevechi (2005)

A fase de cria corresponde à reprodução e o crescimento do bezerro até a desmama. A recria começa com a desmama ao início da reprodução das fêmeas ou o início da fase de engorda dos machos. A engorda representa o segmento final da criação de gado com objetivo do ganho de peso para a venda. Para Barbosa (2008), “há uma tendência crescente da redução na duração da recria, nos programas de produção de novilhos precoce”, representando o ganho no desempenho da bovinocultura.

Medeiros e Montevechi (2005), classificam ainda a produção em verticalizada ou horizontalizada. A verticalizada seria aquela onde a mesma propriedade é responsável pelas três fases de produção, enquanto na horizontalizada ao menos uma das etapas é realizada em propriedade diferente.

O modelo adotado neste trabalho é o mesmo utilizado por Barbosa (2008), onde o sistema é caracterizado pelo sistema de engorda de machos em um subsistema semi-intensivo, utilizando módulos rotacionados, minimizando a ação de pisoteio<sup>12</sup> do gado sobre as gramíneas. Os bovinos recebem suplemento mineral na época das águas, e suplementação proteico-mineral na fase de transição água-seca (março a junho). Os animais que atingiram peso de abate (acima de 450 kg)

<sup>12</sup> Em grandes espaços os animais possuem o intuito de andar mais pela vegetação em busca de uma alimentação de melhor qualidade, fazendo com que os mesmos caminhem mais sobre as pastagens, matando-a, reduzindo assim a disponibilidade de biomassa.

nas pastagens são vendidos, e os mais leves são confinados e alimentados com cana-de-açúcar e ração concentrada.

## 2.2

### **Reflorestamento**

A introdução do eucalipto no Brasil foi realizada por Edmundo Navarro de Andrade em 1905, objetivando a produção de dormentes para as estradas de ferro em construção na época, e lenha para movimentar as locomotivas da Companhia Paulista de Estradas de Ferro em São Paulo. A partir de 1940, foram iniciadas as atividades de reflorestamento no Estado de São Paulo, principalmente na Bacia do Rio Doce, como substituto alternativo ao coque no beneficiamento de minério de ferro nas siderúrgicas (Guerra, 1995 *apud* Vale, 2004).

Já na década de 50, o aumento da demanda de madeira para celulose e chapas de madeira resultou num rápido crescimento do número de reflorestamento com eucalipto, gênero mais plantado no mundo, proporcionado pelas condições climáticas favoráveis e tecnologia florestal desenvolvida para o setor, reduzindo custos e elevando coeficientes produtivos no Brasil (Cardoso, 2014).

#### 2.2.1

##### **Reflorestamento no cenário Brasileiro**

Segundo o relatório do IBÁ (2015), a área de florestas plantadas no Brasil totalizou 7,74 milhões de hectares em 2014, crescimento de 1,8% comparado ao ano anterior, ou 0,9% do território nacional. Tamanho pequeno quando comparado à distribuição total de terras exibida pela Figura 6.

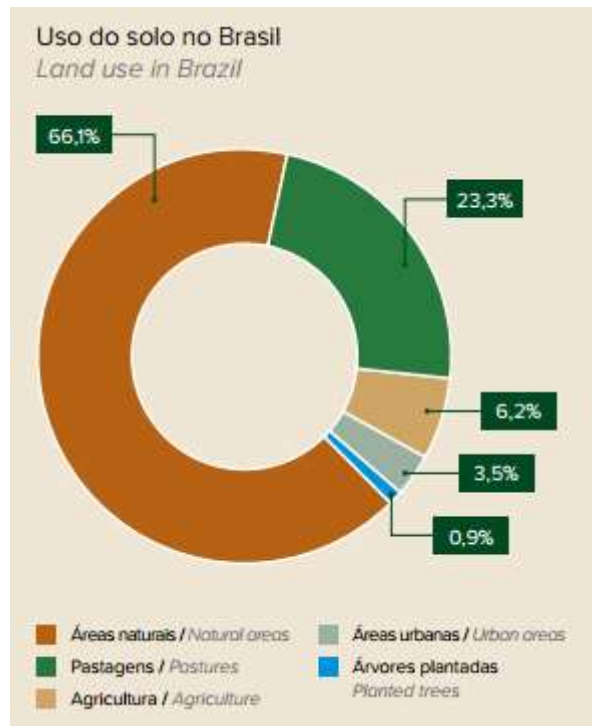


Figura 6 – Uso do solo no Brasil  
Fonte: IBÁ (2015)

Do total de floresta plantada, o eucalipto ocupa 5,56 milhões de hectares, 71,9% do total de área, enquanto o Pinus, com 1,59 milhões de hectares, corresponde a 20,5% da extensão total, conforme observado na Figura 7. A Figura 8 apresenta a divisão da área plantada por estado brasileiro, sendo notável a participação dos estados de São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul.

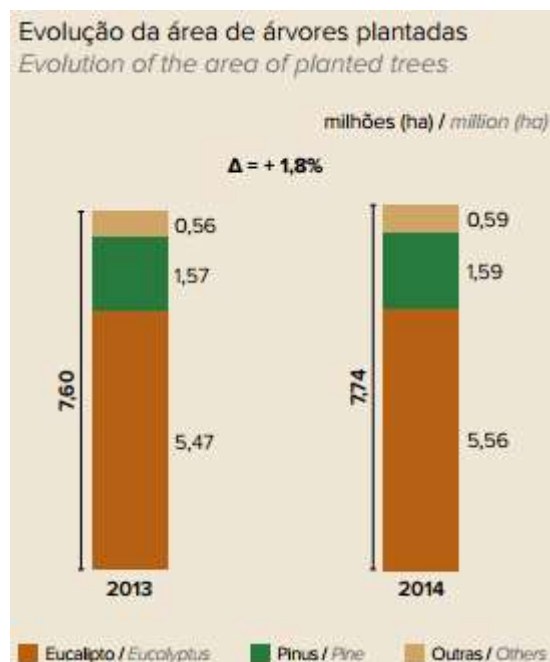


Figura 7 – Evolução da Área de árvores plantadas  
Fonte: IBÁ (2015)



Figura 8 – Distribuição das árvores plantadas por Estado  
Fonte: IBÁ (2015)

Outro fator importante ressaltado pelo relatório do IBÁ (2015), é que o reflorestamento no Brasil está na liderança global em termos de produtividade, chegando a ser cinco vezes maior que em alguns países da Europa. A Figura 9 representa o rendimento Brasileiro comparado aos países líderes globais em reflorestamento. O relatório observa que a participação do setor no PIB brasileiro representa 1,1% da riqueza do país e 5,5% do PIB industrial. Mesmo sendo aparentemente modesto, é ressaltada a importância do setor para o Brasil, uma vez que, em termos marginais, cada hectare de floresta adiciona R\$ 7,8 mil/ano ao PIB, enquanto a soja adicionou R\$ 4,9 mil/ano e a pecuária, R\$ 2,7 mil/ano, para cada hectare plantado no ano de 2014.

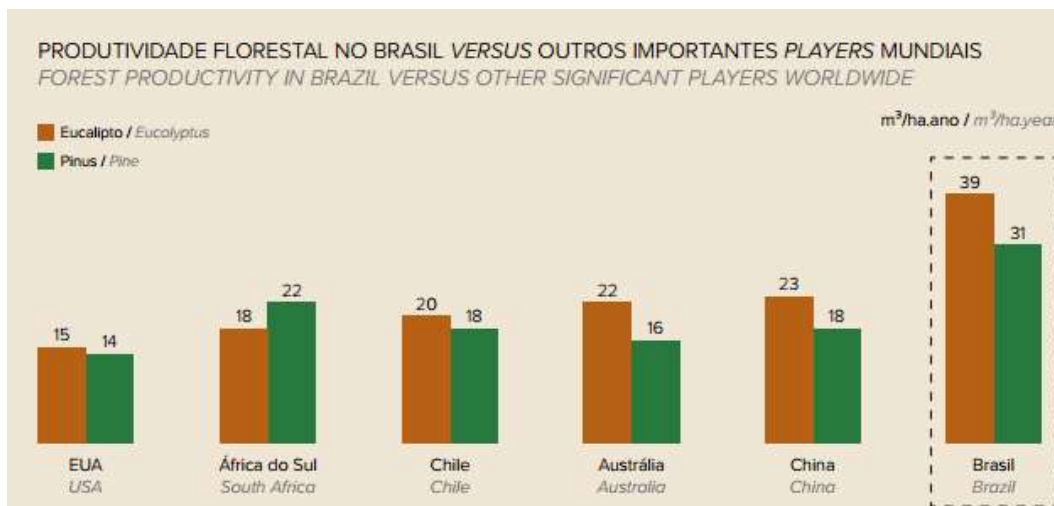


Figura 9 – Produtividade florestal no Brasil *versus* outros líderes mundiais  
Fonte: IBÁ (2015)

### 2.2.2

#### O sistema de produção florestal

Desde sua implementação, o reflorestamento tem seu uso ampliado com o desenvolvimento de novas tecnologias, tendo o eucalipto como um importante substituto da madeira de floresta nativa, devido a sua maleabilidade ambiental.

Para fins industriais, a produção de madeira é velha conhecida da manufatura, podendo ter aplicações em energia (lenha e carvão vegetal), papel e celulose, moirões, estacas e dormentes. Só recentemente a madeira de eucalipto está sendo utilizada para obtenção de produtos com maior valor agregado, tais como painéis de partículas (aglomerados), lâminas de compensados e madeira serrada, a depender do diâmetro das toras (Oliveira et al, 2009).

Coelho (2010), classifica os plantios de madeira de acordo com as dimensões das toras:

1. Toras de grandes diâmetros: para compostos laminados e serraria;
2. Todas de diâmetro intermediário: serraria;
3. Toras de pequenos diâmetros: para fins energéticos e celulose.

Além disso, da floresta é possível obter produtos para fins não madeireiros, como óleos essenciais, muito utilizados na farmacologia cosmética e alimentícia. Outros produtos a serem considerados são as substâncias produzidas da casca destas árvores para a produção de elementos ligantes (colas).

A mais nova tendência florestal está na adoção das mesmas como sumidouros de carbono (*carbono sinks*) ou sequestro de carbono, para o combate ao aquecimento global, dada a absorção de Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ) da atmosfera, dado o desenvolvimento de um mercado internacional de créditos de carbono, na forma de mitigar a emissão dos gases estufa (Baran, 2005). Portanto, abre-se uma nova frente de análise do fomento florestal, que não será abordada neste trabalho.

#### 2.2.2.1

##### Espaçamento

O espaçamento adotado entre árvores e entre linhas tem como fundamento proporcionar a cada árvore o espaço suficiente para se obter o crescimento máximo. Assim, a área útil para cada muda no plantio é um dos principais fatores que afetam a formação das florestas, seus tratos culturais, a qualidade da madeira, sua extração e, conseqüentemente, os custos de produção (Simões et al., 1976 *apud* Vale, 2004).

“O espaçamento adotado é de grande valia dada finalidade da floresta, uma vez que o mesmo interfere diretamente na morfologia do indivíduo, em particular no diâmetro. Como destacado anteriormente, o diâmetro classifica o destino final da madeira. Ou seja, os maiores espaçamentos proporcionam maior crescimento em diâmetro, entretanto, o ciclo de corte é maior, conseqüentemente o retorno econômico se dá em um prazo de tempo mais longo. São mais recomendados no caso de produção de madeira para serraria e laminação. Nos menores espaçamentos ocorre o inverso, há maior produção de volume no curto espaço de tempo, entretanto o crescimento em diâmetro é menor. São mais indicadas para a produção de energia, celulose, moirões, estacas etc” (Cemig, 2002 *apud* Vale, 2004, p.36-36).

A Tabela 4 demonstra o comportamento em relação ao diâmetro na altura do peito (DAP) e altura das árvores de eucalipto (H) sob diferentes espaçamentos em um espaço de 1 hectare, e a Figura 10 representa visualmente a disposição dos espaçamentos para o plantio das árvores.

Tabela 4 – Relação DAP e altura por idade em função do espaçamento

Arranjos/ Espaçamento (m)	Área útil por árvore (m²)	Nº árvores	DAP (cm)	H (m)	18 meses		27 meses		38 meses		51 meses	
					DAP (cm)	H (m)	DAP (cm)	H (m)	DAP (cm)	H (m)	DAP (cm)	H (m)
3,33 x 2	6,66	1500	6,78	8,61	8,94	12,2	10,46	15,7	11,83	19,3		
3,33 x 3	9,99	1000	7,87	8,7	10,65	13,2	12,14	15,4	14	20,6		
5 x 2	10	1000	7,63	9,02	10,34	13,2	11,9	15,5	13,58	20,9		
10 x 2	20	500	7,59	7,65	11,89	12,3	14,19	14,7	16,95	21,4		
10 x 3	30	333	7,44	7,91	13,16	12,1	16,19	15,1	20,2	22,4		
10 x 4	40	250	7,69	6,88	13,62	12,1	17,18	14,3	20,74	21,4		
(3x4) +7	20	500	6,65	6,85	11,08	12,2	13,93	13,9	16,5	21,3		
(3x3) +10	19,5	512	6,28	6,52	11,01	12,2	13,43	13,6	15,99	20,3		
(3x4) +10	26	385	6,65	6,76	11,78	10,2	14,53	13,9	17,47	20,5		
(3x3) +15	27	370	7,6	7,47	12,68	12,0	15,69	14,7	18,77	22,1		
(3x4)+7+10	20/34/26	375	7,52	7,26	12,81	12,5	16,23	15,2	19,19	22,5		

Fonte: Oliveira, 2009



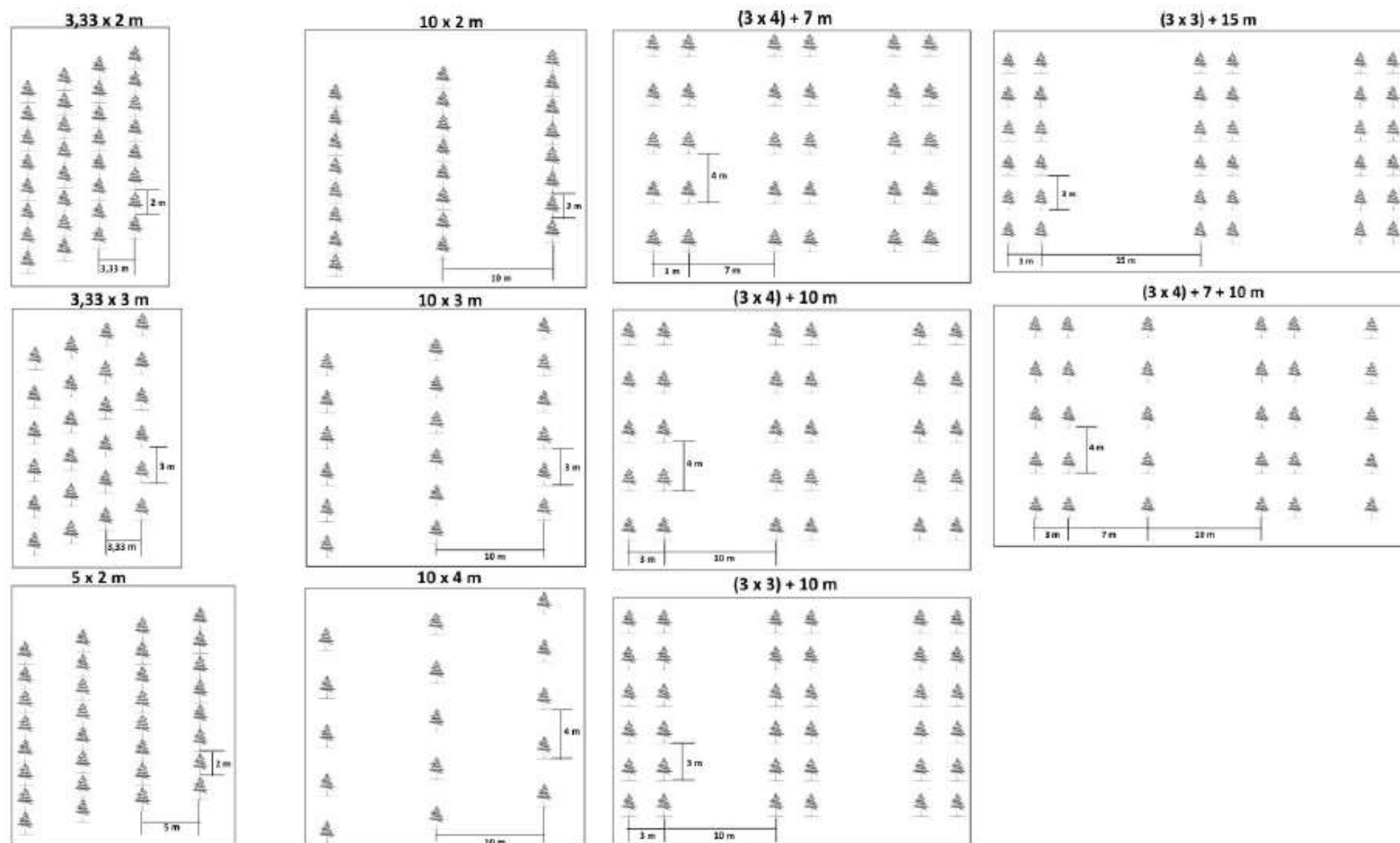


Figura 10- Esquematisação dos espaçamentos florestais  
Fonte: Oliveira, 2009

#### 2.2.2.2

##### Desbaste

Coelho (2010) define o desbaste como a retirada de uma determinada proporção de árvores da floresta almejando a obtenção de espaço para o crescimento das árvores remanescentes, dado que a redução de indivíduos no aglomerado também diminui a competição recíproca entre os mesmos, aumentando a disponibilidade de fatores ambientais, conseqüentemente, acrescendo a atividade metabólica e culminando com a aceleração do crescimento no povoamento remanescente. O autor afirma que o diâmetro médio é uma função densidade da floresta, logo, povoamentos mais densos tendem a resultar em diâmetros menores, enquanto que florestas mais espaçadas resultam em troncos mais espessos. Esta característica pode ser confirmada ao analisar os resultados da Tabela 4, comparando o modelo de alta densidade de árvores com outro de maior espaçamento. Portanto, dada a expectativa de desenvolvimento de uma floresta, objetivando extração de madeira para serraria, é possível realizar manejos silviculturais com alta densidade de plantas e obter árvores com elevado diâmetro, através da realização de desbaste programados em diferentes idades da floresta.

Um ponto importante a ser considerado é a necessidade de desbastes sucessivos em função da idade da madeira, haja vista que, com o tempo, a competição entre as árvores irá retornar. Assim, para Bertolani *et al* (1995), o primeiro desbaste (por volta dos 4 anos de idade da floresta) deve ocorrer cedo e de forma pesada, para eliminar árvores dominadas e de forma ruim, enquanto os próximos desbastes são mais brandos e objetivam eliminar o aparecimento de ramos laterais<sup>13</sup>.

Na produção econômica, com ou sem desbaste, a produção biológica total do povoamento permanece a mesma, sendo possível otimizar a transferência de fatores produtivos escassos para as árvores mais eficientes na relação assimilação/respiração, através da eliminação das menos eficientes. Conseqüentemente, tem-se o aumento na velocidade de crescimento das mais eficientes, atingindo-se o objetivo mais cedo, o que implica num período mais curto de investimento, possibilitando a reinversão dos recursos (Hosokawa, 1988 apud Coelho, 2010).

---

<sup>13</sup> Ocasionalmente alta proporção de madeira de baixa qualidade.

Resumindo, na dinâmica social de um povoamento em função dos desbastes, ocorre o deslocamento das árvores de uma classe diamétrica para outra superior em um intervalo de tempo menor que um sistema sem desbaste, mantendo a produção volumétrica, devido à aceleração do crescimento dos pés remanescentes.

No desenvolvimento deste trabalho, será considerada a metodologia proposta por Eboli (2005), considerando no plantio o espaçamento de 3x2m, com maciços de 1.667 árvores por hectare, com desbaste a cada quadriênio nas proporções de 40% e 24%, aos 4 e aos 8 anos de idade da floresta, sendo que a madeira a ser retirada no corte final aos 12 anos (idade da floresta) tem um diâmetro maior que 20 cm.

## 2.3

### Manejo Silvipastoril

O sistema agroflorestal é a ciência que estuda a produção integrada de animais, plantas forrageiras e árvores, na mesma área, preconizando a associação de árvores dentro da atividade pecuária ou a criação de animais dentro dos povoamentos florestais. Nestes sistemas, os espaçamentos entre linhas de árvores são amplos, permitindo o consórcio das espécies arbóreas com pastagens e posterior entrada de animais, mitigando ao longo do tempo custos de produção, devido à comercializada pecuária inserida (ALVES, 2013). Ou seja, o sistema silvipastoril engloba três componentes: árvores, pastagem e animais integrados no mesmo espaço físico e temporal (podendo também ser considerado um manejo em sequência temporal). Para Alves (2013), os sistemas silvipastoris são complexos, devido à otimização da produção por unidade de área causada pela diversificação da produção, onde o eucalipto a variedade arbórea mais utilizada no Brasil.

Assim, o manejo misto é uma modalidade viável de uso de terra, segundo o princípio do rendimento sustentável, em função do aumento de espécies vegetais comercializáveis ocupando o solo. Portanto, em comparação aos sistemas tradicionais, o manejo misto se firma como uma alternativa sustentável aos níveis de produção animal, com a redução da dependência de insumos. Elevando e melhorando os benefícios proporcionados para os componentes solo-animal-planta.

O fator sustentável deste tipo de manejo ocorre devido ao aumento da biodiversidade, tanto acima quanto abaixo do solo, pois cada espécie possui diferentes necessidades de água, radiação solar e nutrientes. A ciclagem e reciclagem promovidas

pelas espécies arbóreas aumentam a fertilidade dos solos pela translocação dos nutrientes das camadas mais profundas do solo para a superfície, por meio do aumento da quantidade de matéria orgânica depositado sobre o solo, através da decomposição das folhas e galhos caídos (Vale, 2004). Ou seja, as árvores retiram os nutrientes de camadas profundas do solo, onde as raízes das gramíneas não alcançam<sup>14</sup>, e os depositam nas camadas mais superficiais da terra, por meio da decomposição da matéria expelida pelas árvores. Vale (2004) comenta sobre a redução do impacto das gotas de chuva sob o solo, devido à copa das árvores, e à diminuição da amplitude térmica, já que o dossel das árvores protege o solo contra a radiação solar direta durante o dia e minimiza a perda de energia durante a noite, modificando, assim, o microclima abaixo dos pés de eucalipto o que favorece o aumento da qualidade das gramíneas forrageiras.

### 2.3.1

#### **Interação entre Floresta e a bovinocultura**

A relação entre plantas e animais, como dito anteriormente, visa potencializar a produção pelo melhor aproveitamento das interações favoráveis entre as árvores e o pasto, de modo que se obtenham benefícios para ambos os sistemas (pecuária e florestal). Contudo, neste tipo de dinâmica ambiental se faz necessária a existência de espaçamento entre as árvores, adequado ao pastejo dos animais. No trabalho de Vale (2004), o mesmo afirma que o espaçamento entre árvores nos sistemas silvipastoris, principalmente com bovinos, deve ser amplo para permitir o estabelecimento da pastagem e comportar a presença dos animais. Para o eucalipto, normalmente, o espaçamento recomendado é de 10m entre linhas e de 4m entre plantas nas linhas (espaçamento 10x4 m, como mostrado na Figura 10). Há possibilidade de aplicação para o espaçamento com fileiras duplas ou triplas de árvores. Porém, ainda faltam estudos mais detalhados sobre este tipo de disposição espacial. Contudo, deve-se considerar que o mesmo autor menciona que a utilização de clone híbridos (apresentem um crescimento mais acentuado que espécies naturais) em manejo silvipastoril, em espaçamento 10x4 m, deve ocorrer até o 11º de vida da floresta, uma vez que neste ponto a cobertura das copas, reduz drasticamente a luminosidade e conseqüentemente diminuindo a atividade

---

<sup>14</sup> Dado a predominância de pastagens. Neste substrato, profundo, de solo, os nutrientes estão concentrados e inalcançáveis por plantas com raízes rasas, sendo que os acumulados crescem ao longo do tempo, podendo ser explicados, pela rápida infiltração de água no solo.

fotossintetizante das gramíneas e podendo matá-la. Ressalta-se, também, que em espaços maiores ocorre a maior formação de galhos nas árvores, fazendo com que a desrama artificial seja antecipada, proporcionando uma melhor qualidade na madeira para serraria, além de aumentar os custos de manutenção do processo produtivo.

Outro fator relevante está na alteração no microclima, proporcionado pela cobertura da copa das árvores sobre o solo, que incide diretamente sobre o rendimento dos animais, devido à redução de perdas dos animais para o ambiente, e menor necessidade de locomoção (minimização do pisoteio), fazendo com que haja a manutenção ou crescimento na capacidade produtiva do pasto (Alves, 2013). Tal afirmação é comprovada pelo trabalho de Almeida (1991) *apud* Vale (2004), demonstrando um incremento médio em peso para bovinos de 0,46 a 0,51 kg/dia, considerando o sistema como economicamente viável.

O modelo produtivo adotado neste trabalho é semelhante ao abordado por Vale (2004), onde inicialmente são plantadas as mudas de eucalipto com espaçamento 10x4 m, (totalizando 250 árvores/ha) o mesmo recomendado anteriormente, juntamente com a plantação da pastagem apropriada para a região, tomando as medidas preventivas adequadas.

A partir do 2º ano considerou-se a inserção da cultura da pecuária de corte. Porém nesta etapa, foi utilizada a metodologia adotada por Barbosa (2008), de pastoreio semi-intensivo, com confinamento para animais abaixo do peso esperado. O corte raso da floresta ocorrerá no 12º ano.

### 3.

## BASE TEÓRICA

Neste capítulo são abordados os principais conceitos relacionadas ao termo Opções Reais.

### 3.1

#### Teoria das Opções Reais

Na atualidade, é plenamente aceito o conceito que as empresas buscam a geração de valor e o crescimento de suas atividades. Contudo, para Dias (2014), a obtenção de tais objetivos depende da qualidade da análise econômica de seus projetos de investimento, como ressaltado também por Porter (1992), onde é afirmado que o investimento é o fator mais importante para as vantagens competitivas da firma.

O estudo da análise de investimento é um dos itens fundamentais na tomada de decisões, uma vez que todas as empresas em algum momento de sua vida necessitam investir, seja em inovação ou em expansão de capacidade. Portanto, saber avaliar adequadamente os investimentos a serem feitos é de suma importância para o sucesso das companhias, uma vez que boas avaliações possuem a capacidade de maximizar os retornos (Mendonça, 2014).

Para avaliar os investimentos, existem diversas técnicas usualmente conhecidas na literatura, tais como o FCD (Fluxo de Caixa Descontado) com seus indicadores tradicionais; VPL (Valor Presente Líquido), VAE (Valor Anual Equivalente), *Payback*, *Payback descontado*, *TIR* etc. Todavia, é dever do avaliador levar em consideração a existência de fatores de risco/incerteza, tanto como a irreversibilidade do projeto e o momento ótimo para se investir (Dixit e Pindyck, 1994).

Na análise sob a ocorrência de incertezas/riscos dentro da avaliação de investimentos, para Frank Knight (1921) *apud* Dias (2014), a distinção entre risco e incerteza é de que o primeiro é uma variável aleatória com distribuição de probabilidade conhecida, enquanto na outra não. Mas, é possível converter incerteza em risco através da introdução de probabilidades, mesmo estas sendo subjetivas. Entretanto, em finanças, é rotineiro o uso de ambas, de maneira ambivalente.

Acrescentando a incerteza aos parâmetros utilizados da análise de investimentos, o valor de uma variável de risco é caracterizado por uma distribuição de probabilidade, sendo sua variabilidade (variação dos resultados) uma medida do risco de tal variável com impacto representativo sobre os fluxos de caixa futuros de um projeto (Trigeorgis, 1996).

Portanto, dado o cenário de incerteza econômica é possível concluir que os resultados das avaliações também, apresentam alguma distorção, distribuição de probabilidade característica, gerada pela incerteza relacionada ao projeto. Uma vez que os principais métodos avaliativos trabalham com resultados esperados, sendo descontados a taxas constantes (risco inalterado ao longo da vida do projeto).

As técnicas tradicionais de FCD são baseadas na suposição de que os fluxos de caixa futuros seguem um padrão conhecido, e podem ser previstos com exatidão a longo prazo, resultando no aceite ou rejeição do projeto. Nessa metodologia, a incerteza do projeto, e as reações estratégicas da gestão, para mudanças de condições e cenários, são tratados apenas superficialmente, ou seja, a taxa de juros ajustada ao risco é empregada em várias versões determinísticas da projeção da renda econômica. Assim, em situações em que a incerteza e as relações estratégicas da gestão são importantes, a técnica tradicional é capaz de levar a decisões erradas (Morck, Schwartz e Stangeland, 1989). Ou seja, a possibilidade de mudança nas estratégias da empresa não é considerada adequadamente na abordagem tradicional de FCD. Dixit e Pindyck (1995) argumentam que o Valor Presente Líquido (VPL) do projeto pode ser alterado, para cima ou para baixo, quando informações adicionais são consideradas.

Para Dias (2014), a teoria das opções reais (TOR) é a técnica apropriada quando cenários de incerteza são considerados, e se enfatiza “*flexibilidade*” gerencial possível de ser realizada, podendo alterar de forma significativa o valor de um ativo. Complementando tal ideia, Schwartz e Trigeorgis (2001) afirmam que esta “*flexibilidade*” pode representar uma parte substancial do valor de muitos projetos. A metodologia de opções reais reconhece na avaliação dos ativos a existência de flexibilidades gerenciais, muitas delas oriundas das variáveis incertas, aumentando o valor da oportunidade de investimento, visto que atribui valor para possíveis decisões futuras capazes de aumentar o valor do ativo, bem como limitar perdas em cenários desfavoráveis. (Gastaldi e Minardi, 2012).

A Figura 11, esclarece a relação de incerteza e flexibilidade gerencial:

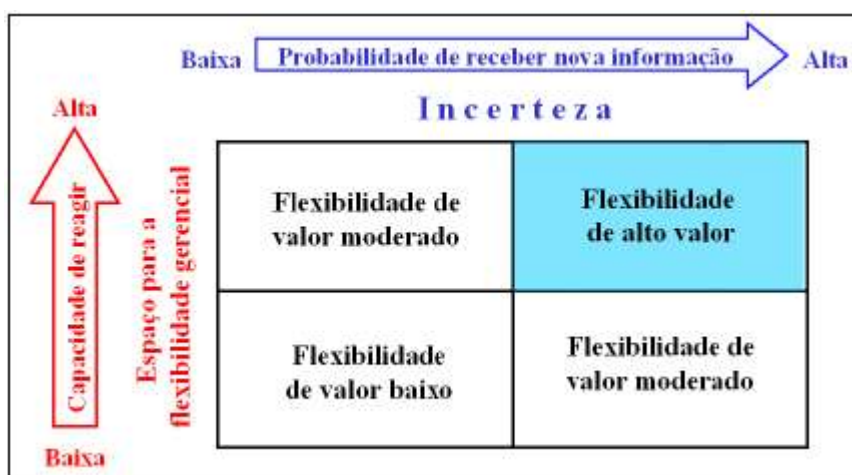


Figura 11 - Valor da Flexibilidade: Incerteza e Capacidade de Reagir  
Fonte: Copeland e Antikarov (2001) *apud* Dias (2014)

Para Smit e Trigeorgis (2004), assim como para Copeland, Weston e Shastri (2005), uma opção é o direito, mas não a obrigação, que um agente possui quando toma decisões sobre um ativo a um custo predeterminado, durante um intervalo de tempo. Exemplificando a citação anterior, considere uma empresa de reciclagem de vidro e alumínio que avalia a possibilidade de expandir seus negócios, começando a reciclagem de plásticos ou a instalação de um biodigestor para a produção de adubo para terra, incorrendo para isso em um custo de investimento, dependendo de como o mercado de reciclados está se comportando e qual as perspectivas futuras do mesmo. A opção seria uma possibilidade gerencial que a empresa possui para alterar sua trajetória no mercado, agregando valor ao projeto.

Para Dias (2014), o grande desafio é como quantificar financeiramente essa flexibilidade, que é valiosa principalmente num ambiente de incerteza. Este é o principal objetivo da teoria das OR.

Contudo, em busca de uma metodologia que precifique opções reais adequadamente não se pode desprezar completamente os métodos tradicionais de análise. Tanto que Trigeorgis (1996) propõe adicionar ao VPL tradicional o valor das flexibilidades. Tal alteração é denominada Valor Presente Expandido ( $VPL_E$ ), conforme a Eq. (1):

$$VPL_{Expandido} = VPL_{Tradicional} + Valor_{flexibilidade\ gerencial} \quad (1)$$



Ao analisar a Eq. (1), é observado que mesmo o projeto possuindo um VPL negativo (primeiro termo da soma), o valor da opção agregada, a flexibilidade gerencial, pode compensar e tornar o  $VPL_E$  (VPL Expandido) positivo. Para exemplificar tal elucidação: um projeto que hoje apresenta  $VPL_T$  (VPL Tradicional) negativo, pela análise tradicional deveria ser recusado. Porém, se existe a possibilidade de adiamento do investimento, aguardando a subida dos preços, o valor da espera (opção) pode fazer o  $VPL_E$  ser superior ao  $VPL_T$ , tornando o projeto valioso do ponto de vista econômico, mesmo que se deva esperar por melhores condições

Para resolver o desafio da quantificação das opções, enquanto a modelagem do risco é realizada pela Teoria dos Processos Estocásticos, a mensuração do valor da flexibilidade é realizada através de ferramentas mais sofisticadas como:

- *Contingency Claim Analysis* (Análise dos Direitos Contingenciais);
- Técnicas de Programação Dinâmica;
- Procedimentos Numéricos.

O embasamento das OR se deu com o trabalho de Black, Scholes e Merton, sobre opções financeiras, e a analogia entre ambas é facilmente reconhecível e pode ser observada na Tabela 5.

Tabela 5 - Analogia entre uma opção financeira e uma opção de investir em um projeto

<b>Opção Financeira</b>	<b>Opção Real</b>
Valor da ação	Valor presente dos fluxos de caixa esperados
Preço do exercício	Valor do investimento
Tempo até o exercício	Tempo até desaparecer a oportunidade de investimento
Volatilidade da ação	Volatilidade do projeto
Taxa de juros livre de risco	Taxa de juros livre de risco

Fonte: Baran (2005)

## 3.2

### Processos Estocásticos

Como citado anteriormente, os métodos tradicionais de avaliação de investimentos se utiliza de valores esperados das variáveis estudadas, enquanto que nas OR são consideradas as incertezas de modo explícito. A modelagem da incerteza junto ao modelo de avaliação o torna mais realista e mais robusto a possíveis variações no mercado.

Para Dias (2015), o aprofundamento no âmbito das incertezas, geralmente, é feito através do mapeamento probabilísticos das variáveis de decisão que afetam o resultado do projeto, que por sua vez são modelados através da teoria dos processos estocásticos.

Uma variável é denominada estocástica quando a mesma se desenvolve com algum grau de interação (parcial ou total), de maneira aleatória ao longo do tempo, ou seja, as mudanças nas variáveis são incertas ao longo do tempo. Mas, para Dixit e Pindyck (1994), tal variável deve seguir uma regra de probabilidade definida, de maneira que as previsões futuras possam ser expressadas em termos de distribuições de probabilidade.

Os processos estocásticos são rotulados:

Quanto ao tempo:

- Discretos: Quando o conjunto de observações for finito ou infinito enumerável;
- Contínuos: Quando as observações são infinitas e não enumeráveis;

Quanto ao momento:

- Estacionários: Quando ela se desenvolve no tempo aleatoriamente com média e variância constante;
- Não-estacionários: Quando ela se desenvolve no tempo aleatoriamente com média e variância não constantes;

Matematicamente, um processo estocástico  $dp$  pode ser interpretado como uma variação no tempo acrescida de um termo aleatório, ou seja, analisando em um intervalo infinitesimal, tem-se a Eq. 2.

$$dp = Fator_1 * d(tempo) + Fator_2 * d(aleatoriedade) \quad (2)$$

Para Samanez et al. (2014), os principais processos estocásticos aplicados a finanças são: o Movimento Geométrico Browniano (MGB), o Movimento de Reversão à Média (MRM) e Processo de Poisson (tanto para o MGB quanto para o MRM). Todavia, o enfoque adotado neste trabalho será sobre o MRM, não sendo tratados de maneira significativa detalhes sobre os outros processos estocásticos citados.

Para a melhor compreensão do MRM, nos tópicos que seguem, são descritos conceitos fundamentais, tais como o Processo de Markov, Processo de Wiener, Movimento Browniano com drift, Processo de Itô e o Lema de Itô, finalizando com o MRM, tais conceitos estão explicados.

### 3.2.1

#### Processo de Markov

O processo de Markov é um caso de processo estocástico que apresenta a propriedade markoviana, onde é definido que as etapas anteriores não são de interesse para a predição dos estados futuros, sendo somente necessário o conhecimento do estado atual. (Baran, 2005).

Formalizando matematicamente a definição anterior, a Eq. (3) diz que a probabilidade de  $\tilde{X}_{t+1}$  depende somente de  $\tilde{X}_t$ .

$$prob(\tilde{X}_{t+1} | \tilde{X}_0 = x_0, \tilde{X}_1 = x_1 \dots \tilde{X}_t = x_t) = prob(\tilde{X}_{t+1} | \tilde{X}_t = x_t) \quad (3)$$

Para Dixit e Pindyck (1994), o processo de Markov é importante, devido à simplificação gerada, servindo como base para a grande maioria de modelos estocásticos que se baseiam na premissa de que os mesmos seguem um processo de Markov.

### 3.2.2

#### Processo de Wiener

O movimento browniano recebe esse nome de seu descobridor, o botânico escocês Robert Brown, que em 1827 observou e descreveu esse tipo de movimento irregular ao observar grãos de pólen suspensos em água. Anos depois o matemático N. Wiener demonstrou matematicamente o comportamento do movimento.

O processo de Wiener também é conhecido como movimento Browniano, e possui três importantes propriedades. A primeira delas é que o referido é um processo de Markov, ou seja, o valor de uma previsão futura é dependente somente do seu valor no momento atual. O segundo fator é que o processo de Wiener são incrementos independente, ou seja, a distribuição de probabilidade em qualquer intervalo de tempo é independente de qualquer outro intervalo. A terceira propriedade diz que alterações no processo durante qualquer intervalo de tempo finito são normalmente distribuídas com um desvio que aumenta com o tempo.

Se  $z(t)$  é um processo de Wiener, para qualquer  $\Delta z$  correspondente a um intervalo de tempo,  $\Delta t$ , tem-se a relação entre ambas descrita pela Eq. 4:

$$dz = \varepsilon_t \sqrt{dt} \quad (4)$$

Onde  $\varepsilon_t$  é uma variável aleatória com distribuição normal padrão,  $\varepsilon_t \sim N(0, 1)$ .

A Figura 12 (elaborada com auxílio do *software* Maple 18), descreve o comportamento de um processo de Wiener, onde é possível observar suas características aleatórias e seu início em 0 (para  $t = 0$ ).

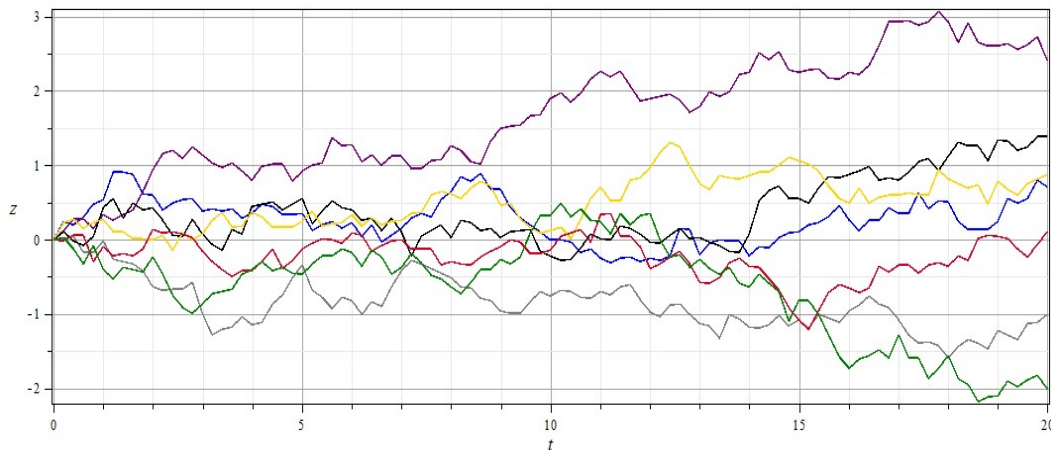


Figura 12 – Ilustração do Processo de Wiener  
Fonte: Elaboração Própria

Como  $\varepsilon_t \sim N(0, 1)$ , é possível concluir que o valor esperado do Processo de Wiener é igual a zero, e sua variância é  $dt$ , conforme demonstração a seguir:

$$E(dz) = E(\varepsilon_t \sqrt{dt})$$

$$E(dz) = E(\varepsilon_t) E(\sqrt{dt}) = 0 * E(\sqrt{dt}) \therefore E(dz) = 0$$

$$Var(dz) = E[(dz)^2] - [E(dz)]^2$$

$$\text{Var}(dz) = E[(dz)^2] - [0]^2$$

$$\text{Var}(dz) = dt$$

Para Nascimento (2012), aplicando o Teorema Central do Limite<sup>15</sup>, a soma de todos os intervalos  $dt$  segue uma distribuição normal com média 0 e variância  $dt$ . Portanto, o Processo de Wiener é uma variável não tendenciosa (média zero) e não diferenciável<sup>16</sup> em relação ao tempo.

### 3.2.3

#### Movimento Browniano com *Drift*

Uma das generalizações do processo de Wiener é o Movimento Browniano com *Drift*, também conhecido como Processo de Wiener generalizado ou Movimento Aritmético Browniano (Baran, 2005), descrito na Eq 5.

$$dx = \alpha dt + \sigma dz \quad (5)$$

Onde  $dz$  é o incremento do processo de Wiener, definido anteriormente,  $\alpha$  é denominado parâmetro de *drift* e  $\sigma$  o parâmetro de variância ou volatilidade. É importante considerar que  $\alpha$  e  $\sigma$  são constantes ao longo do tempo, e o parâmetro de *drift* representa a taxa de crescimento temporal do modelo. O segundo termo da Eq. 5 representa a incerteza do modelo.

Analisando a Eq 5 é possível concluir que o processo de Wiener é um caso particular do Movimento Browniano com *Drift*, no qual as taxas de *drift* e variância são iguais a zero e um, respectivamente.

### 3.2.4

#### Processo de Itô

O Processo de Itô ou Movimento Browniano generalizado é uma generalização do movimento browniano com *drift*, onde o parâmetro de *drift* e o parâmetro de variância não são constantes no tempo. Podendo ser generalizado conforme a Eq. 6:

<sup>15</sup> Em teoria de probabilidades, o teorema do limite central afirma que a soma de muitas variáveis independentes aleatórias e com a mesma distribuição de probabilidade sempre tende a uma distribuição normal.

<sup>16</sup> Limites laterais da função são diferentes, devido a existência de “bicos” na representação gráfica (trajetória serrilhada). Ou seja, não existe a derivada em relação ao tempo.

$$dx = \alpha(x, t)dt + \sigma(x, t)dz \quad (6)$$

Onde:

$\alpha(x, t) = \text{Drift}$  ou tendência instantânea do Processo de Itô;

$\sigma(x, t) = \text{Volatilidade}$  estimada de  $x$  no instante  $t$ ;

$dt = \text{Variação instantânea do tempo}$ ;

$x = \text{Variável aleatória no instante } t$ ;

$dz = \text{Incremento de Wiener}$ .

Uma propriedade do Processo de Itô refere-se à variação infinitesimal ocorrida em  $dx$ , onde o valor esperado de  $dx$  é igual  $\alpha(x, t)dt$ , conforme mostrado na Eq. 7.

$$E(dx) = E[\alpha(x, t)dt + \sigma(x, t)dz]$$

$$E(dx) = E[\alpha(x, t)dt] + E[\sigma(x, t)dz]$$

$$E(dx) = \alpha(x, t)E[dt] + \sigma(x, t)E[dz]$$

Como  $E[dz] = 0$ , então

$$E(dx) = \alpha(x, t)dt \quad (7)$$

Enquanto a variância é dada por  $\sigma^2(x, t)dt$ , conforme Eq. 8.

$$\text{Var}(dx) = E((dx - E[dx])^2)$$

$$\text{Var}(dx) = E((dx - \alpha(x, t)dt)^2)$$

$$\text{Var}(dx) = E((\alpha(x, t)dt + \sigma(x, t)dz - \alpha(x, t)dt)^2)$$

$$\text{Var}(dx) = E((\sigma(x, t)dz)^2)$$

$$\text{Var}(dx) = E(\sigma^2(x, t)dz^2) = E(\sigma^2(x, t)) * E(dz^2)$$

$$\text{Var}(dx) = \sigma^2(x, t)dt \quad (8)$$

### 3.2.5

#### Movimento Geométrico Browniano

O Movimento Geométrico Browniano (MGB) é o mais popular processo estocástico, com larga aplicação na análises de ativos financeiros e ativos reais. Para

Nascimento (2012), tal fato pode ser explicado pela simplicidade de aplicação e compreensão.

Todavia, tal processo é um caso particular do Processo de Itô, no qual  $\alpha(x, t) = \alpha x$  e  $\sigma(x, t) = \sigma x$ . Assim, substituindo na Eq. 6, será obtida a Eq. 9.

$$dx = \alpha x dt + \sigma x dz \quad (9)$$

A média e variância do MGB são dadas pelas Eq. 10 e Eq. 11, respectivamente:

$$E(x_t) = x_0 e^{\alpha t} \quad (10)$$

$$Var(x_t) = x_0^2 e^{2\alpha t} (e^{\sigma^2 t} - 1) \quad (11)$$

Onde  $x_0$  representa o valor de  $x$  em  $t = 0$ .

### 3.2.6

#### Processo de Reversão à Média

Enquanto o movimento browniano tende a se distanciar dos seus pontos iniciais conforme o avanço do tempo, sendo tal característica muito apropriada a sua aplicação na modelagem de muitas variáveis, Baran (2005) afirma que tal situação não é aplicável para *commodities*. Devido, principalmente, a lógica microeconômica que rege este tipo de variável, resultando em oscilações nos preços em função das leis de oferta e demanda, conforme mencionado anteriormente.

Assim, surge o Processo de Reversão à Média ou Movimento de Reversão a Média (MRM), onde sua forma mais simples é o processo de fator único de Ornstein-Uhlenbeck (OU), ou MRM aritmético, dada pela Eq. 12.

$$dx = \eta(\bar{x} - x)dt + \sigma dz \quad (12)$$

Onde:

$\bar{x}$  = média de longo prazo da variável estocástica, ou seja, o nível de equilíbrio no longo prazo;

$\eta$  = velocidade de reversão, ou medida de intensidade da dissipação dos choques estocásticos, pelo efeito da reversão à média.

Um MRM é um processo de Markov, embora seus incrementos não sejam independentes, pois pode ser observado que a variação esperada de  $x$  depende da

diferença entre  $\bar{x}$  e  $x$ . Conforme demonstrado em Dixit e Pindyck (1994), a média, Eq. 13, e a variância, Eq. 14, do processo de Ornstein-Uhlenbeck são dados por:

$$E(x_t) = \bar{x} + (x_0 - \bar{x})e^{-\eta(t-t_0)} \quad (13)$$

$$Var(x_t) = \frac{\sigma^2}{2\eta}(1 - e^{-2\eta(t-t_0)}) \quad (14)$$

### 3.2.6.1

#### Discretização do Modelo

Para simular o MRM se faz necessário uma equação de discretização, transformando os termos diferenciáveis em termos discretos. Tal transformação é obtida através da soma da parcela determinística da média, Eq. 13, com a parcela da variância, Eq. 14, a qual é multiplicada pela distribuição normal padrão.

A Eq. 15 é uma discretização exata e independente do tamanho de  $\Delta t$ .

$$x_t = x_{t-1}e^{-\eta\Delta t} + \bar{x}(1 - e^{-\eta\Delta t}) + \sigma\sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta\Delta t}}{2\eta}}N(0,1) \quad (15)$$

### 3.2.6.2

#### Estimação de Parâmetros

É preciso conhecer os parâmetros da Eq. 12, ou seja, os valores da média de longo prazo  $\bar{x}$ , volatilidade  $\sigma$  e da velocidade de reversão  $\eta$ .

Segundo Bastian Pinto (2009), para a determinação dos parâmetros para simulação do MRM-OU, expande-se o termo da média da Eq. 13, em termos discretos, onde o termo de  $(\varepsilon_t)$  é normalmente distribuído com média zero e desvio padrão igual  $\sigma_\varepsilon$ , dada pela Eq. 16. Ou seja,  $\varepsilon_t \sim N\left(0, \frac{\sigma\sqrt{1-e^{-2\eta\Delta t}}}{2\eta}\right)$ .

$$x_t - x_{t-1} = x_{t-1}(e^{-\eta\Delta t} - 1) + \bar{x}(1 - e^{-\eta\Delta t}) + \varepsilon_t \quad (16)$$

Fazendo  $(e^{-\eta\Delta t} - 1) = (b - 1)$  e  $\bar{x}(1 - e^{-\eta\Delta t}) = a$ , tem-se a Eq. 17:

$$x_t - x_{t-1} = a + (b - 1)x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (17)$$

Portanto, pode-se estimar os parâmetros do processo em questão através da regressão linear sobre a série de  $x_t$

Assim, tem-se a partir de  $b - 1 = e^{-\eta\Delta t} - 1$ , a velocidade de reversão ( $\eta$ ), dada pela Eq. 18:



$$\eta = -\frac{\ln(b)}{\Delta t} \quad (18)$$

A partir de  $a = \left(\bar{x}(1 - e^{-\eta\Delta t})\right)$ , a média de longo prazo ( $\bar{x}$ ), dada pela Eq. 19:

$$\bar{x} = -\frac{a}{b - 1} \quad (19)$$

O parâmetro volatilidade pode ser determinado partindo da variância dos erros da regressão ( $\sigma_e$ ), utilizando a relação ( $b^2 = e^{-2\eta\Delta t}$ ), conforme Eq. 20:

$$\begin{aligned} \sigma_e^2 &= \frac{\sigma^2}{2\eta} (1 - e^{-2\eta\Delta t}) \\ \sigma_e^2 &= -\sigma^2 \Delta t \frac{1 - b^2}{2\ln(b)} \\ \sigma &= \sigma_e \sqrt{\frac{2\ln(b)}{(b^2 - 1)\Delta t}} \end{aligned} \quad (20)$$

“Meia vida” é definida como o tempo necessário para o valor esperado da variável auto-regressiva diminuir pela metade a distância até o nível de equilíbrio, sendo inversamente proporcional ao parâmetro velocidade de reversão (Bastian Pinto, 2009).

Prova-se que:

$$T_{1/2} = -\frac{\ln(2)}{\eta} \quad (21)$$

## 4.

### MODELAGEM DOS PROCESSOS ESTOCÁSTICOS

Este capítulo tem como finalidade realizar análise quantitativas que permitam identificar o processo estocástico mais apropriado na modelagem dos fatores de risco e valorar a opção de ‘*switch-use*’ da terra na bovinocultura de corte para projetos de reflorestamento ou manejo silvipastoril dado um horizonte de 12 anos (longo prazo).

#### 4.1

##### Opções Reais e Projetos *switch-use* da terra

Neste trabalho será analisada a viabilidade econômica da substituição do uso da terra, onde inicialmente dominava a pecuária extensiva para gado de corte, considerando a substituição dessa atividade por um projeto de reflorestamento ou manejo silvipastoril, para extração de madeira. Tal investimento envolve risco nas mais diversas esferas produtivas, como na aquisição dos insumos para preparação do terreno, até o preço final da madeira.

Devido a tais incertezas, se faz necessário que as mesmas sejam incorporadas aos modelos avaliativos, uma vez que tal condição pode alterar significativamente o resultado de uma avaliação financeira, fazendo-se necessário que o método usado seja capaz de incorporar tal flexibilidade.

#### 4.2

##### Levantamento de Dados

Os dados sobre as séries históricas dos preços das variáveis de decisão do modelo (preço do boi e preço da madeira) para os produtores rurais, foram obtidos juntos ao Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) e tratados separadamente para facilitar a compreensão da modelagem do processo estocástico. Conforme será explanado nos próximos tópicos. No manejo dos dados foram usados os *softwares* MS Excel, Eviews 7, @Risk, entre outros.

#### 4.2.1

##### Preço do boi

Para a série histórica do preço do boi ( $P_{b,t}$ ) foi considerada a *proxy* do indicador de preço do boi gordo à vista<sup>17</sup> (R\$/arroba), obtida junto ao BM&FBOVESPA, com auxílio da plataforma de pesquisa BLOOMBERG, dado o convênio da bolsa de valores com a Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (Fealq) e o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), onde o indicador representa o valor mensal dos preços à vista do boi gordo em São Paulo.

O indicador representa o bovino macho, castrado ou inteiro, comum e rastreado com 16 arrobas ou mais de carcaça<sup>18</sup> e idade máxima de 42 meses, considerando apenas negócios concretizados (sem preços nominais) e negócios onde o valor a ser pago pela arroba é determinado no momento da compra pelo frigorífico. A Figura 13 apresenta a evolução histórica de tais preços.



Figura 13- Série Histórica de preços do boi  
Fonte: BM&FBOVESPA

<sup>17</sup> Para contratos a preços futuros, os mesmos são convertidos a valor presente considerando-se o prazo em dias entre a negociação e o efetivo pagamento pelo comprador, com base na taxa diária do Certificado de Depósito Interbancário (CDI).

<sup>18</sup> Refere-se ao bovino macho, abatido, sangrado, esfolado, eviscerado, desprovido de cabeça, patas, rabada, verga, exceto suas raízes, e testículos.

A série possui 214 observações com frequência mensal, com início em julho/1997 a abril/2015 (o CEPEA disponibiliza dados anteriores a 1997, porém a metodologia de apuração era diferenciada, se tornando padrão na referida data de início), totalizando aproximadamente 18 anos de série histórica. Em sequência, a série foi deflacionada pelo Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI), calculado pelo Instituto Brasileiro de Economia (IBRE) da Fundação Getúlio Vargas (FGV), usando como base de cálculo da deflação a data de abril/2015.

Após a deflação da série histórica do preço do boi, a representação gráfica pode ser observada na Figura 14.

Preço do Boi Gordo - Deflacionado

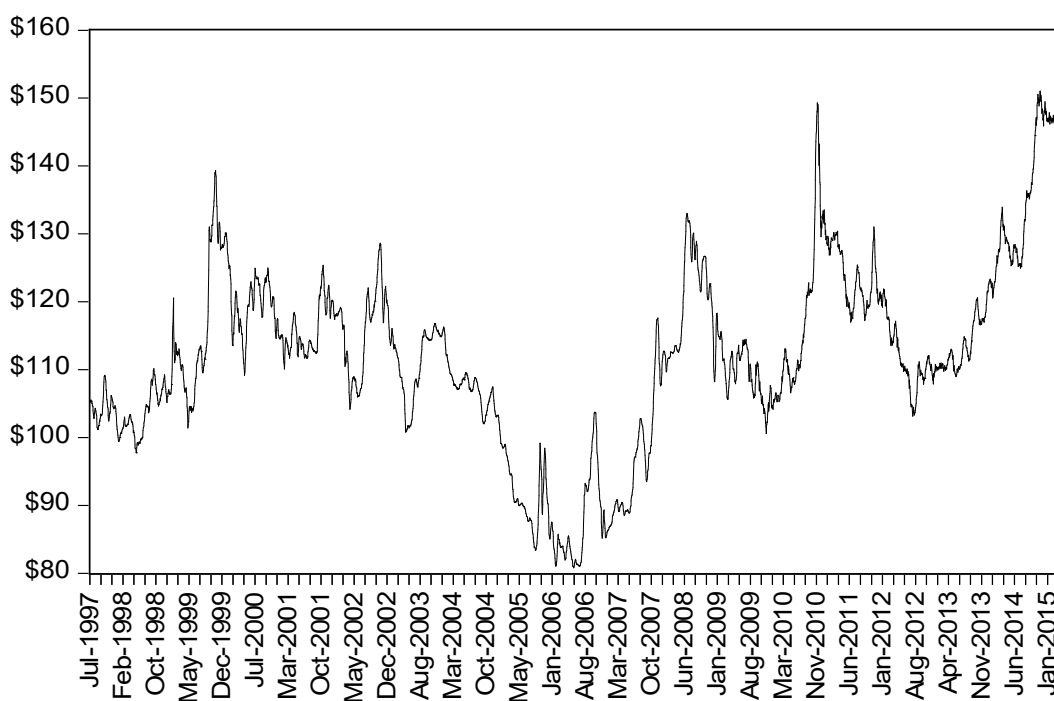


Figura 14 - Preços Deflacionados do boi

Fonte: Elaboração própria

Um fato a ser mencionado se refere à queda nos preços entre os anos da crise econômica mundial, com início em 2008, representando uma queda de aproximadamente 23,1% nos preços praticados no cenário brasileiro. Porém, para o referido setor, houve uma crise ocorrida entre 2005 e 2007, que, segundo a Federação da Agricultura do Estado do Paraná (FAEP) (2006), foi marcado por uma das piores crises da história da pecuária de corte brasileira, sendo que os preços da arroba do boi chegaram ao seu pior nível nos últimos 50 anos. Tal crise foi ocasionada devido ao surgimento de focos de febre aftosa no Brasil em 2005,

desencadeando o embargo total/parcial de mais de 50 países à carne bovina brasileira, conforme pode ser observado entre os anos de 2005 e 2006 na Figura 14.

Todos os dados utilizados para esta *commodity* serão referentes ao seu valor deflacionado e será usado o logaritmo natural<sup>19</sup> de tais valores para estimação de parâmetros e para a simulação.

#### 4.2.1.1

##### **Escolha do Processo Estocástico para o Preço do boi**

Para definição de qual processo estocástico melhor se adequa à variável em estudo (preço do boi), será realizado o teste da razão de Variância, uma vez que vários autores, dentre os quais Pindyck (1999), argumentam sobre o elevado poder desta ferramenta na detecção ou não de processos estacionários. Além desse teste, será aplicado também o teste de Phillips-Perron, no intuito de ratificar os resultados, conforme Gujarati (2012).

Utilizando o *software Eviews7*, foi gerado o gráfico com o resultado do teste da razão de variância para 90 *lags* (Figura 15). É observado o decaimento da razão de variância com o aumento da defasagem, significando que qualquer componente do passeio aleatório dos choques nos preços é pequena, de modo que na sua maioria são transitórios, consistindo num modelo onde o preço reverte a um ponto de equilíbrio, ver Pindyck (1999).

---

<sup>19</sup> Usa-se  $\ln$  para que seja obtida a distribuição normal dos dados e fazer a regressão linear para estimação dos parâmetros do MRM.

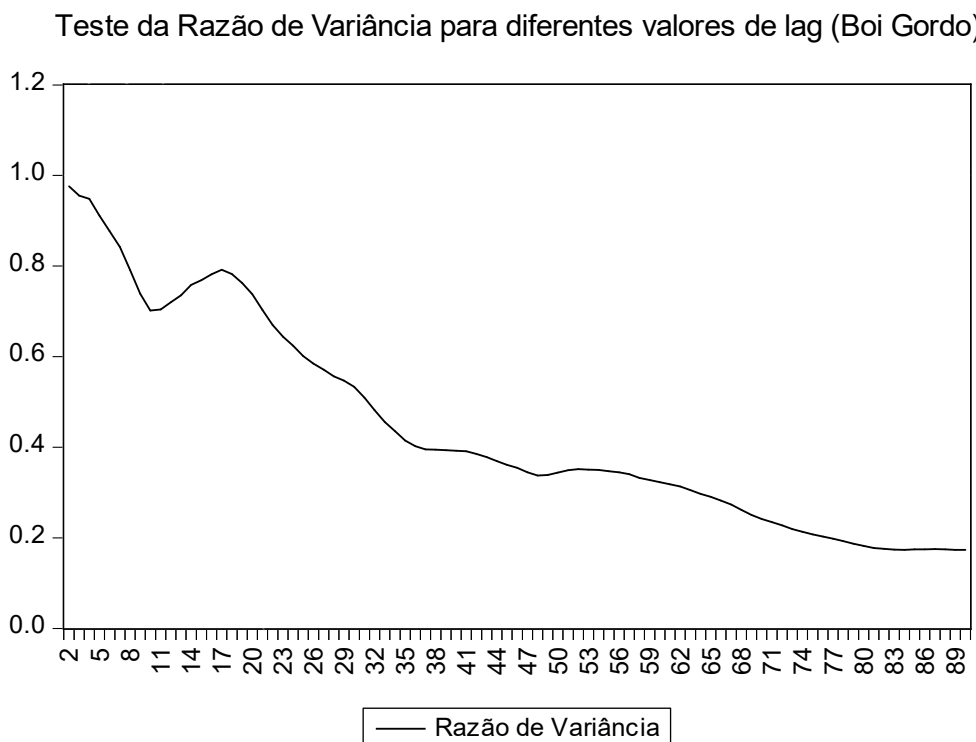


Figura 15- Teste da razão de variância para preço do boi  
Fonte: Elaboração própria

Aplicou-se o teste de Phillips-Perron (1988) *apud* Morettin e Tolo (2006), considerando a realização do teste no nível, incluindo o intercepto e considerando uma defasagem máxima de *lags* e utilizando o método de Newey-West<sup>20</sup>.

Com tais parâmetros, foi obtido como resultado um *p-value* de 0,2960, fazendo com que a hipótese nula (a série apresenta raiz unitária), seja aceita, apontando para uma adequação ao MGB como processo estocástico que rege os preços do boi, conforme a Tabela 6.

<sup>20</sup> O estimador é utilizado para tentar superar autocorrelação e heterocedasticidade nos termos de erro nos modelos. Isto é frequentemente usado para corrigir os efeitos da correlação em termos de erro em regressões aplicados a dados de séries temporais.

Tabela 6 - Teste de estacionariedade de Phillips-Perron para o preço do boi

Null Hypothesis: LN_SERIE has a unit root				
Exogenous: Constant				
Bandwidth: 2 (Newey-West automatic) using Bartlett kernel				
	Adj. t-Stat	Prob.*		
Phillips-Perron test statistic	-1.979014	0.2960		
Test critical values:	1% level	-3.461030		
	5% level	-2.874932		
	10% level	-2.573985		
*MacKinnon (1996) one-sided p-values.				
Residual variance (no correction)		0.001621		
HAC corrected variance (Bartlett kernel)		0.001631		
Phillips-Perron Test Equation				
Dependent Variable: D(LN_SERIE)				
Method: Least Squares				
Date: 06/09/15 Time: 17:45				
Sample (adjusted): 2 214				
Included observations: 213 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
LN_SERIE(-1)	-0.045473	0.023091	-1.969313	0.0502
C	0.216598	0.109248	1.982626	0.0487
R-squared	0.018048	Mean dependent var		0.001524
Adjusted R-squared	0.013395	S.D. dependent var		0.040722
S.E. of regression	0.040448	Akaike info criterion		-3.568239
Sum squared resid	0.345210	Schwarz criterion		-3.536678
Log likelihood	382.0175	Hannan-Quinn criter.		-3.555484
F-statistic	3.878192	Durbin-Watson stat		1.994588
Prob(F-statistic)	0.050226			

Fonte: Elaboração própria

A falha na rejeição da raiz unitária não implica na aceitação estrita da mesma, pois tal informação não impede a existência do MRM na variável de interesse (SAMANEZ et al., 2012).

O teste de raiz unitária de Phillips-Perron tem como base na Eq. 24, assim, é possível concluir que para um coeficiente angular negativo a lógica microeconômica das forças de oferta e demanda, regem o comportamento de preços. Ou seja, para uma inclinação negativa, no instante em que houver incremento ou redução de preço, o retorno esperado para o próximo período será menor ou maior, respectivamente, forçando os preços a voltarem a um nível de equilíbrio. Outra analogia pode ser observada analisando a primeira derivada da

Eq. 24, que sempre é negativa<sup>21</sup>, ou seja, dada uma perturbação no sistema, o mesmo sempre retorna ao nível de equilíbrio. Como pode ser observado no resultado do termo de inclinação (LN\_SERIE(-1)) na Tabela 6, corroborando com a hipótese de reversão à média para o preço do boi.

Em Hahn e Dyer (2008), é comentado que estudos empíricos de dados históricos de preços de *commodities* revelam que modelos de reversão à média são mais precisos em capturar o real comportamento dessas variáveis, enquanto que o trabalho de Laughton e Jacoby (1993) ratifica a informação anterior, pois caso os preços sejam realmente um movimento de reversão a média, uma modelagem com um MGB pode superestimar as incertezas, impactando diretamente na valoração das opções. Portanto, será adotado o MRM para a modelagem do preço do boi, e tal procedimento é detalhado no tópico a seguir.

#### 4.2.1.2

##### Parâmetros do processo para o preço do boi

A estimação dos parâmetros dos principais processos estocásticos (MGB e MRM) é aferida a partir do modelo econométrico que gere uma maior qualidade de previsão, minimize o Erro Quadrático Médio (MSE em inglês) (Didas, 2015).

Porém, a função que minimiza o MSE é a função expectativa condicional, que em geral é não-linear, exceto para o caso onde o regressando e o regressor possuem uma distribuição de probabilidade normal, fazendo com que a regressão ótima seja a regressão linear simples (RLS), com dados não autocorrelacionados e homocedásticos. Ou seja, será desconsiderado algumas características estilizadas sobre séries financeiras como: não estacionariedade, dependência linear e não-linear, excesso de curtose, comportamento heterocedástico (Aiube, 2013).

Dando continuidade à análise da série de preços do boi, primeiramente foi feita a transformação logarítmica da série, transformando os retornos da série em uma série estacionária, obtidos pela primeira diferença do preço histórico<sup>22</sup>, conforme Eq. (22).

$$\ln(\Delta P_{b,t}) = \ln(P_{b,t}) - \ln(P_{b,t-1}) \quad (22)$$

<sup>21</sup> Para um processo de reversão a média (MRM),  $b < 1$  na Eq. 23.

<sup>22</sup> Como a série foi transformada em logaritmo, a primeira diferença equivale a análise sobre o retorno dos preços.



Onde:

$\Delta P_{b,t}$  = diferença/retorno entre preços;

$P_{b,t}$  = preço do boi no instante t;

$P_{b,t-1}$  = preço do boi no instante t-1.

A equação de regressão está representada pela Eq. 23.

$$\ln(P_{b,t}) = a + b * \ln(P_{b,t-1}) + \varepsilon_t$$

$$p_{b,t} = a + b * p_{b,t-1} + \varepsilon_t \quad (23)$$

$$r_{b,t} = p_{b,t} - p_{b,t-1} = a + (b - 1) * p_{b,t-1} + \varepsilon_t \quad (24)$$

Onde:

$p_{b,t} = \ln(P_{b,t})$  = logaritmo natural do preço do boi no instante t;

$p_{b,t-1} = \ln(P_{b,t-1})$  = logaritmo natural do preço do boi no instante t-1;

$a$  = termo de intercepto para logaritmo natural do preço do boi;

$b$  = coeficiente angular para logaritmo natural do preço do boi;

$\varepsilon_t$  = termo de erro da regressão;

$r_{b,t} = p_{b,t} - p_{b,t-1}$  = retorno logaritmo do preço do boi no instante t;

A regressão linear foi realizada no *software Eviews* para o preço do boi. Os resultados mostram um intercepto ( $a$ ) de 0,216598 e coeficiente angular ( $b$ ) de 0,954527. Contudo, a 5% de significância, é possível inferir que, tanto o termo de intercepto, quanto o coeficiente angular, sejam, estatisticamente, diferentes de zero. Os resultados detalhados são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Regressão linear simples boi

Dependent Variable: LN\_SERIE

Method: Least Squares

Date: 06/09/15 Time: 17:46

Sample (adjusted): 2 214

Included observations: 213 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
b	0.954527	0.023091	41.33791	0.0000
a	0.216598	0.109248	1.982626	0.0487
R-squared	0.890094	Mean dependent var	4.731226	
Adjusted R-squared	0.889573	S.D. dependent var	0.121720	
S.E. of regression	0.040448	Akaike info criterion	-3.568239	
Sum squared resid	0.345210	Schwarz criterion	-3.536678	
Log likelihood	382.0175	Hannan-Quinn criter.	-3.555484	
F-statistic	1708.823	Durbin-Watson stat	1.994588	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fonte: Elaboração própria

Todavia, o processo de regressão linear foi realizado diretamente sobre os preços do boi (já em formato logaritmo), conforme Eq. 23. Porém, tomando a primeira diferença sobre o preço em formato logaritmo, é obtido o retorno dos preços do boi<sup>23</sup>, conforme Eq. 24.

Portanto, tem-se que para o retorno sobre o preço do boi o coeficiente angular será igual à -0,045473 (a Tabela 8 comprova tal resultado, sendo valido ressaltar que os resultados apresentados são idênticos aos apresentados na Tabela 6). Observando tal resultado é possível inferir sobre a presença de um MRM para o preço do boi, conforme explicado anteriormente, porque quanto maiores os valores de preço em um determinado instante, menores são as demandas dessas *commodities* para o período seguinte, haja vista que os preços estão acima de um patamar médio, forçando os preços a voltarem a um nível de equilíbrio.

<sup>23</sup> Maiores detalhes em: <http://people.duke.edu/~rnau/411log.htm>

Tabela 8 - Regressão linear simples retorno dos preços do Boi

Dependent Variable: DIFF  
 Method: Least Squares  
 Date: 06/09/15 Time: 17:47  
 Sample (adjusted): 2 214  
 Included observations: 213 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
(b-1)	-0.045473	0.023091	-1.969313	0.0502
a	0.216598	0.109248	1.982626	0.0487
R-squared	0.018048	Mean dependent var		0.001524
Adjusted R-squared	0.013395	S.D. dependent var		0.040722
S.E. of regression	0.040448	Akaike info criterion		-3.568239
Sum squared resid	0.345210	Schwarz criterion		-3.536678
Log likelihood	382.0175	Hannan-Quinn criter.		-3.555484
F-statistic	3.878192	Durbin-Watson stat		1.994588
Prob(F-statistic)	0.050226			

Fonte: Elaboração Própria

A Tabela 9 mostra os resultados obtidos com a regressão linear da diferença dos logaritmos dos preços em  $t$ , *versus* o logaritmo dos preços do boi no período anterior ( $t - 1$ ).

Tabela 9 – Resultados da regressão linear preços do boi

Parâmetro	Resultado
$a$	0,216598
$b - 1$	-0,045473
$b$	0,954527
$\sigma_b$	0,040448

Fonte: Elaboração Própria

Dada a equação diferencial do MRM, Eq. 12, com média ajustada a um processo neutro ao risco, a Eq. 25 será utilizada para modelar o preço do boi.

$$dp_{b,t} = \eta_b * \left( \left[ \bar{p}_{b,t} - \frac{\mu - r}{\eta_b} \right] - p_{b,t} \right) * dt + \sigma_b * dz_b \quad (25)$$

Onde:

$\eta_b$  = Velocidade de reversão à média do logaritmo natural do preço do boi;

$\bar{p}_{b,t}$  = ln da média de longo prazo do preço do boi;

$\sigma_b$  = Volatilidade do logaritmo natural do preço do boi;

$dz_b$  = Incremento de Wiener do preço do boi, em que  $dz = \varepsilon\sqrt{dt}$ , com  $\varepsilon \sim N(0,1)$ ;

$$\frac{\mu-r}{\eta_b} = \text{Prêmio de risco normalizado.}$$

A estimação de tais parâmetros é realizada com base nas informações contidas na Tabela 10. Sendo que tais fórmulas foram demonstradas no capítulo anterior e  $N$  representa o número de observações ao ano, como a série é mensal, portanto  $N = 12$  e  $\Delta t = \frac{1}{12}$ , tornando os resultados parâmetros anuais.

Tabela 10- Resultados Parâmetros MRM para o preço do boi

Parâmetro	Equação	Fórmula	Resultado
Velocidade de Reversão	Eq. 18	$\eta_b = -\ln(b) * N$	0,5584731
Volatilidade	Eq. 20	$\sigma_b = \sigma_\varepsilon \sqrt{\frac{2 \ln(b)}{(a^2 - 1)} * N}$	0,1433898
Média de longo prazo	Eq. 19	$\bar{p}_{b,t} = \exp\left(-\frac{a}{b-1}\right)$	R\$/@ 117,12
Meia Vida	Eq. 21	$H_b = \frac{\ln(2)}{\eta_b}$	1,241 Anos

Fonte: Elaboração Própria

Ao se comparar os parâmetros calculados com os apresentados por RAMOS *et al.* (2013), verifica-se a elevação na volatilidade (de 0,1360 para 0,1433) e no preço de equilíbrio do boi (de 94,08 para 117,12), enquanto houve uma redução no parâmetro velocidade de reversão (de 0,68 para 0,558). Neste sentido, é plausível uma elevação nos valores das opções relacionadas, haja vista que a maior volatilidade aumenta o valor da flexibilidade de uma Opção Real, conforme Kulatilaka (1993) e também presente na Figura 11.

Ao analisar a velocidade de reversão à média e o tempo de meia vida, é observado um curto período de meia vida, representando uma característica normal para a maioria das *commodities* agrícolas, uma vez que as mesmas possuem substitutos diretos no mercado. Portanto, pode ser concluído que há uma proximidade entre os resultados obtidos e os obtidos por Ramos *et al.* (2013), os quais foram 0,68, 0,136 e R\$ 94,08, para a velocidade de reversão, para a volatilidade e para a média de longo prazo, respectivamente.

#### 4.2.2

##### Preço da madeira

Para a série histórica dos preços da madeira tipo  $j$  ( $P_{mj,t}$ ) para o produtor rural, foi considerada a *proxy* do preço do st<sup>24</sup> da tora para serraria em pé (R\$/st), obtida junto ao setor florestal do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), onde o indicador representa o valor mensal dos preços à vista do eucalipto na região de Sorocaba em São Paulo.

O valor obtido representa o preço por metro estéreo, st (que é um metro cúbico de madeira desuniforme e empilhada, considerando-se os vãos entre as peças). É o preço fornecido pelo comprador ou vendedor da floresta em pé, uma vez que a árvore tem o formato de um cone, o comprador e o vendedor negociam o preço do produto, tentando mensurar o volume que obterão para o preço em pé da lenha e o preço em pé da tora para processamento em serraria. Como a floresta ainda está para ser cortada, tal preço não inclui o corte, empilhamento, carregamento e transporte.

Os preços coletados para a árvore em pé variam conforme o DAP médio da floresta (diâmetro a altura do peito), onde são apresentados valores para diâmetro menor que 20cm, denominado para este trabalho como  $DAPP(P_{m2,t})$ , para diâmetros maior que 20cm e menor que 50cm será denominado para este trabalho como  $DAPM(P_{m1,t})$ , já o caso maior que 50cm não será abordado<sup>25</sup>. Quanto maior é o DAP médio das árvores na floresta, maior é o preço pago por estéreo da árvore em pé. A Figura 16 representa a evolução histórica do preço da madeira em pé.

<sup>24</sup> Volume em ésteres, unidade de medida de madeira em toras empilhadas.

<sup>25</sup> Para este tipo de variável o tempo necessário para crescimento das árvores excede o período adotado na análise.

## Série Histórica Preço da Madeira

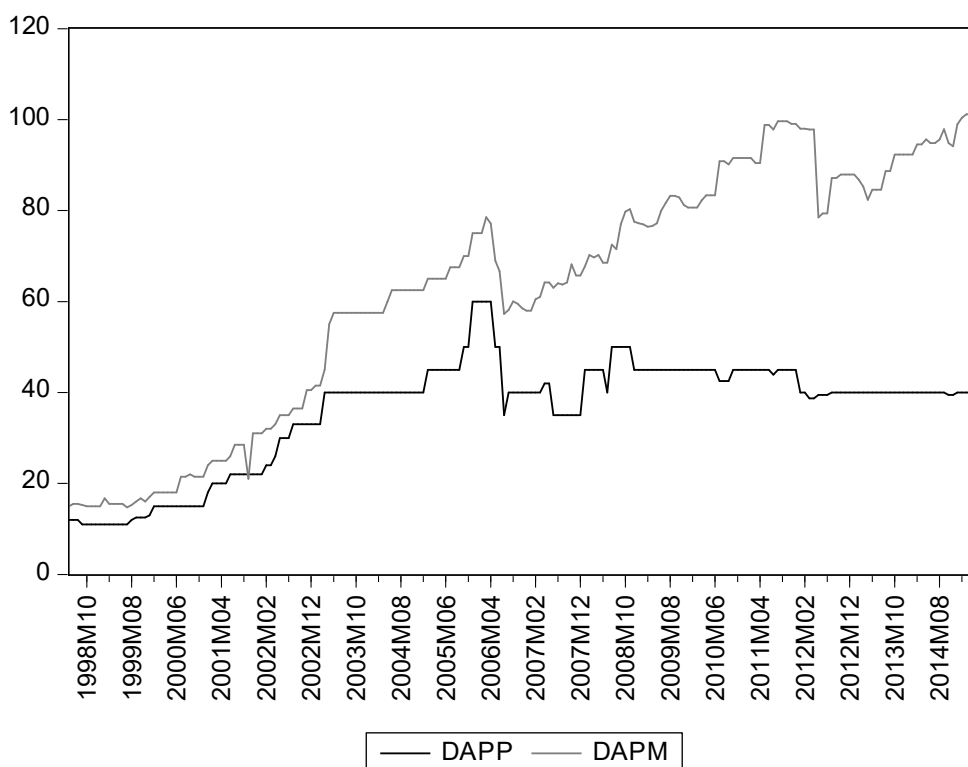


Figura 16- Série Histórica de preços da madeira  
Fonte: CEPEA

A série usada possui 204 observações com frequência mensal, com início em junho/1998 a maio/2015, totalizando aproximadamente 17 anos de série histórica. Em sequência, à série foi deflacionada pelo Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI), calculado pelo Instituto Brasileiro de Economia (IBRE) da Fundação Getúlio Vargas (FGV), usando como base de cálculo da deflação a data de abril/2015, mesma base utilizada para o preço do boi.

Após a deflação da série histórica dos preços da madeira a representação gráfica pode ser observada na Figura 17.

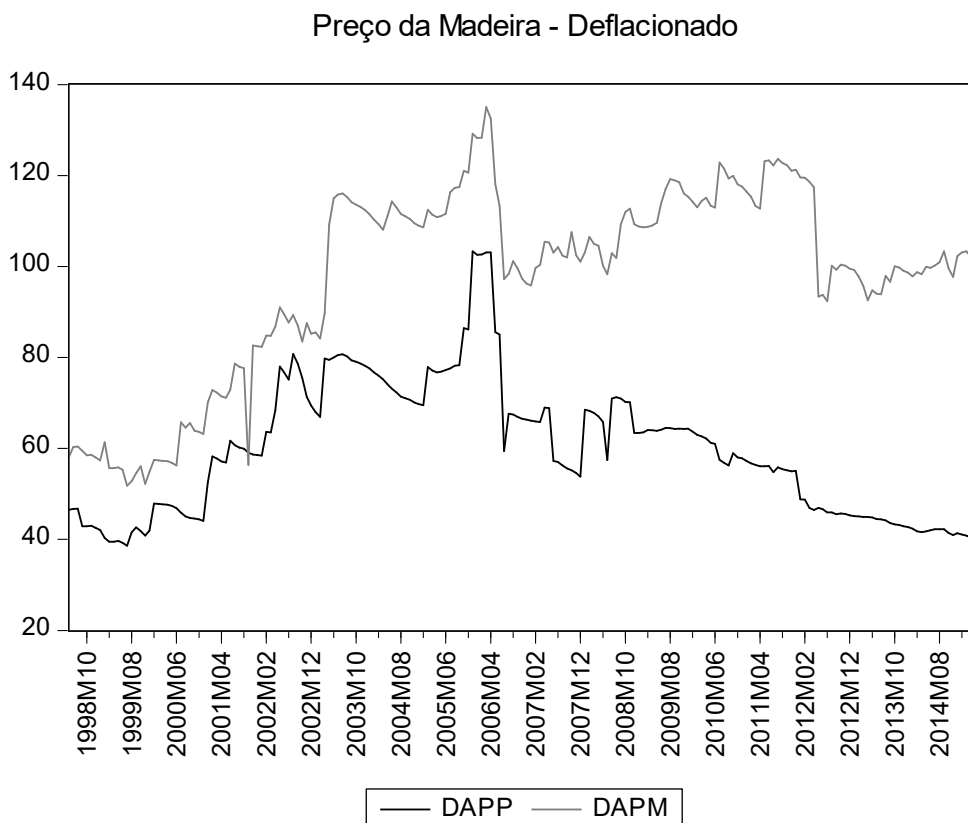


Figura 17- Preços Deflacionados da madeira  
Fonte: Elaboração Própria

Semelhante ao observado com o preço do boi, houve um decaimento no preço da madeira, principalmente no ano de 2012, sendo explicado no relatório publicado pelo *site* Painel Florestal (2012), onde esse decaimento foi relacionado à queda no preço da fibra da madeira para celulose no mercado internacional, além da inferência do câmbio na competitividade da madeira, o que acarretou no aumento da oferta de madeira para outras atividades, reduzindo assim seu preço de mercado.

Após o procedimento de deflação, foi utilizado o mesmo procedimento que para a série de preço do boi (transformação logarítmica dos preços) e utilização apenas de dados deflacionados, para estimação dos parâmetros do MRM dos preços da madeira.

#### 4.2.2.1

##### **Escolha do Processo Estocástico para o Preço da madeira**

Utiliza-se novamente o teste da Razão de Variância para a série histórica do preço da madeira, e utilizando o *software* *Eviews7*, foi gerado o gráfico mostrado na Figura 18, com o resultado do teste da razão de variância para 90 *lags*.

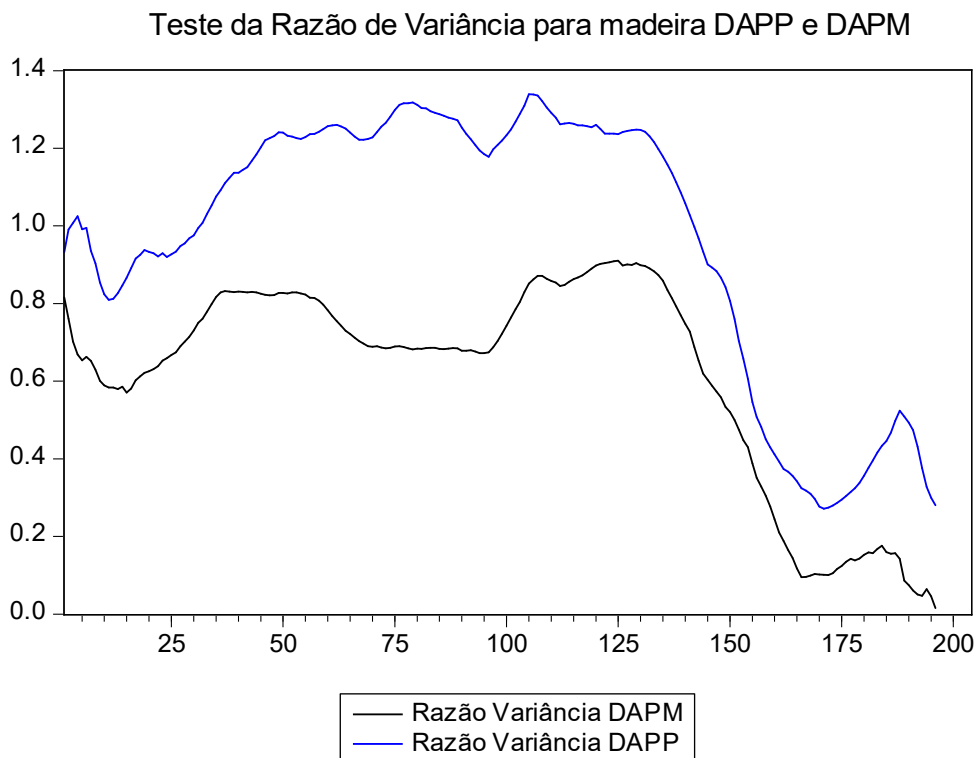


Figura 18- Teste da razão de variância para preço da madeira  
Fonte: Elaboração Própria

O Figura 18 mostra um o mesmo padrão comportamental da série de preço do boi, onde há decaimento da razão de variância com o aumento da defasagem, caracterizando um processo de reversão a média. Porém, só é observado tal efeito com o aumento significativo da defasagem, sendo que para os primeiros 120 *lags* não é observada uma redução significativa da razão de variância.

Acreditasse que tal resultado seja oriundo de problemas ou limitações relacionadas a série histórica, como pode ser observado na Figura 16, onde existem períodos em que os preços permaneceram constantes ao longo dos meses, podendo sugerir diversas inferências econômicas como: manipulação dos preços por parte dos fornecedores ou consumidores deste produto, características econômicas diferenciadas da região, entre outros. Além, que diferente da série histórica do preço do boi, o preço da madeira não é cotado da bolsa de valores brasileira (BM&FBOVESPA), reduzindo a confiabilidade da variável, ao demonstrar que por não ser contado em bolsa, o mercado deste produto não alcançou um nível de comercialização necessária, ou que o mercado ainda é restrito, o que reforça a possibilidade de problemas ou limitações relacionadas a série histórica do preço da madeira.



Para o teste de Phillip-Peron, em relação ao preço da madeira com diâmetro na altura médio (DAPM). Foi obtido um *p-value* de 0,2682, fazendo com que a hipótese nula (a série possui raiz unitária), seja aceita, apontando para a adequação do MGB como processo estocástico que rege os preços do boi, conforme mostrado na Tabela 11.

Tabela 11- Teste de estacionariedade de Phillip-Peron DAPM

Null Hypothesis: LNDAPM has a unit root		
Exogenous: Constant		
Bandwidth: 7 (Newey-West automatic) using Bartlett kernel		
	Adj. t-Stat	Prob.*
Phillips-Perron test statistic	-2.042551	0.2686
Test critical values: 1% level	-3.462737	
5% level	-2.875680	
10% level	-2.574385	
*Mackinnon (1996) one-sided p-values.		
Residual variance (no correction)		0.002653
HAC corrected variance (Bartlett kernel)		0.001775

Fonte: Elaboração Própria

O mesmo procedimento foi realizado para a madeira com diâmetro na altura do peito pequeno (DAPP), sendo obtido o *p-value* de 0,5984, fazendo com que a hipótese nula seja aceita, apontando para a adequação do MGB como processo estocástico que rege os preços da madeira com diâmetro pequeno, conforme mostra a Tabela 12.

Tabela 12 - Teste de estacionariedade de Phillip-Peron DAPP

Null Hypothesis: LNDAPP has a unit root		
Exogenous: Constant		
Bandwidth: 3 (Newey-West automatic) using Bartlett kernel		
	Adj. t-Stat	Prob.*
Phillips-Perron test statistic	-1.365818	0.5984
Test critical values: 1% level	-3.462737	
5% level	-2.875680	
10% level	-2.574385	
*Mackinnon (1996) one-sided p-values.		
Residual variance (no correction)		0.002914
HAC corrected variance (Bartlett kernel)		0.002961

Fonte: Elaboração Própria

Partindo destes resultados, caso semelhante ao observado no preço do gado de corte, optou-se pela adoção do MRM para a modelagem do preço da madeira, uma vez que o teste da razão de variância (maior poder explicativo) aponta para tal implicação. Estes resultados coincidem como os encontrados nos trabalhos de Gjølbert e Guttormsen (2002), Chladná (2007) e Khajuria (2008).

Semelhante ao ocorrido com o teste de Phillip-Peron para a série de preço do boi, o preço da madeira também apresentou coeficiente angular negativo, valendo-se também da interpretação de tal resultado, para ambas as variáveis relacionadas. Como o resultado da regressão do teste de Phillip-Peron são idênticos aos resultados obtidos na regressão linear para estimação dos parâmetros de MRM, optou-se pela apresentação de tais resultados na Tabela 15, enquanto que as estatísticas de teste permanecem as mesmas que as exibidas na Tabela 13 e 14, para a madeira DAPM e DAPP, respectivamente.

#### 4.2.2.2

##### Parâmetros do processo do preço da madeira

Utilizando da mesma metodologia aplicada para a outra fonte de incerteza, a Eq. 26 e a Eq. 27 representam a regressão linear utilizada para a modelagem dos parâmetros para o preço da madeira e para o retorno para um processo auto regressivo de primeira ordem, AR(1). Lembrando que os preços estão sob a forma de logaritmo.

$$p_{mj,t} = a + b * p_{mj,t-1} + \varepsilon_t \quad (26)$$

$$r_{mj,t} = p_{mj,t} - p_{mj,t-1} = a + (b - 1) * p_{mj,t-1} + \varepsilon_t \quad (27)$$

Onde:

$p_{mj,t}$ =logaritmo natural do preço da madeira tipo j no instante t;

$p_{mj,t-1}$ = logaritmo natural do preço da madeira tipo j no instante t-1;

$a$ = termo de intercepto logaritmo natural do preço da madeira;

$b$ = coeficiente angular logaritmo natural do preço da madeira;

$\varepsilon_t$ = termo de erro da regressão;

$r_{m,t} = p_{mj,t} - p_{mj,t-1}$ = retorno logaritmo da madeira tipo j no instante t;

Portanto, feita a regressão linear para o preço da madeira DAPM no *software Eviews*, foram obtidos o valor de 0,148244 para o termo de intercepto, e um coeficiente angular de 0,968032. Os resultados são mostrados na Tabela 13.

Tabela 13 - Regressão linear simples madeira-DAPM

Dependent Variable: LNDAPM				
Method: Least Squares				
Date: 05/09/16 Time: 17:53				
Sample (adjusted): 2 203				
Included observations: 202 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
b	0.968079	0.014766	65.56353	0.0000
a	0.148071	0.067316	2.199662	0.0290
R-squared	0.955541	Mean dependent var	4.555052	
Adjusted R-squared	0.955319	S.D. dependent var	0.244893	
S.E. of regression	0.051765	Akaike info criterion	-3.074352	
Sum squared resid	0.535924	Schwarz criterion	-3.041596	
Log likelihood	312.5095	Hannan-Quinn criter.	-3.061099	
F-statistic	4298.577	Durbin-Watson stat	2.359304	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fonte: Elaboração Própria

Para a série dos retornos sobre o preço da madeira, tomando como base a Eq. 27, é obtido um coeficiente angular de -0,031968, sendo que as demais estatísticas de teste (erro padrão, desvio padrão, soma dos quadrados dos resíduos, etc.) permaneceram as mesmas, conforme pode ser observado comparando as Tabelas 7 e 8, no tópico sobre o preço do boi.

Para a série de preços da madeira DAPP, foram obtidos no *software Eviews* um termo de intercepto (x) de 0,085771 e um coeficiente angular (y) igual a 0,978696. Os resultados são mostrados na Tabela 14.

Tabela 14 - Regressão linear simples madeira-DAPP

Dependent Variable: LNDAPP  
 Method: Least Squares  
 Date: 12/10/15 Time: 17:59  
 Sample (adjusted): 2 203  
 Included observations: 202 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
b	0.978696	0.015767	62.07332	0.0000
a	0.085771	0.064145	1.337148	0.1827
R-squared	0.950655	Mean dependent var		4.060391
Adjusted R-squared	0.950408	S.D. dependent var		0.243619
S.E. of regression	0.054252	Akaike info criterion		-2.980501
Sum squared resid	0.588657	Schwarz criterion		-2.947746
Log likelihood	303.0306	Hannan-Quinn criter.		-2.967248
F-statistic	3853.097	Durbin-Watson stat		2.127908
Prob(F-statistic)	0.000000			

Fonte: Elaboração Própria

As principais estatísticas de interesse para o trabalho não se alteram, caso a regressão linear seja realizada sobre o retorno dos preços da madeira.

As estatísticas necessárias para o trabalho estão resumidas na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados da regressão linear

Parâmetro	DAPM	DAPP
$a$	0,148244	0,085771
$b - 1$	-0,031968	-0,021304
$b$	0,968032	0,978696
$\sigma_m$	0,051640	0,054252

Fonte: Elaboração Própria

Dada a equação diferencial do MRM, Eq. 12 com média ajustada a um processo neutro ao risco, a Eq. 28 será utilizada para a modelagem do preço da madeira.

$$dp_{mj,t} = \eta_{mj} * \left( \left[ \bar{p}_{mj} - \frac{\mu - r}{\eta_{mj}} \right] - p_{mj,t} \right) * dt + \sigma_{mj} * dz_{mj} \quad (28)$$

Onde:

$j$  = tipo de madeira (1 = DAPM, 2 = DAPP);

$\eta_{mj}$  = Velocidade de reversão a média da madeira tipo  $j$ ;

$\bar{p}_{mj}$  = logaritmo natural da média de longo prazo da madeira tipo j;

$\sigma_m$  = Volatilidade do preço da madeira tipo j;

$dz_m$  = Incremento de Wiener do preço da madeira tipo j, em que  $dz_{mj} = \varepsilon\sqrt{dt}$ , com  $\varepsilon \sim N(0,1)$ ;

$\frac{\mu-r}{\eta_m}$  = Prêmio de risco normalizado.

Utilizando os parâmetros descritos pelas Eq. 18, Eq. 20, Eq. 19 e Eq. 21, a Tabela 16 foi elaborada, contendo os principais valores necessários para o processo estocástico utilizado, considerando  $N = 12$ .

Tabela 16- Resultados Parâmetros MRM para o preço da madeira

Parâmetro	Fórmula	DAPM	DAPP
Velocidade de Reversão	$\eta_m = -\ln(y) * N$	0,389884	0,24899
Volatilidade	$\sigma_b = \sigma_\varepsilon \sqrt{\frac{2 \ln(y)}{(y^2 - 1)} * N}$	0,1817988	0,189512
Média de longo prazo	$\bar{x} = \exp\left(-\frac{x}{y-1}\right)$	R\$/st 103,26	R\$/st 55,63
Meia Vida	$H = \frac{\ln(2)}{\eta_m}$	1,78 Anos	2,78 Anos

Fonte: Elaboração Própria

#### 4.2.3

##### Consolidação dos resultados

A Tabela 17 apresenta um resumo dos resultados encontrados para os principais parâmetros do MRM a partir da análise da série histórica dos preços do gado e da madeira (DAPP e DAPM).

Tabela 17- Resultados consolidados dos parâmetros MRM

Parâmetro	Preço Boi	Preço Madeira -DAPP	Preço Madeira - DAPM
Velocidade de Reversão ( $\eta_j$ )	0,558	0,249	0,390
Volatilidade ( $\sigma_j$ )	0,143	0,190	0,182
Média de Longo Prazo ( $\bar{P}_j$ )	117,12	55,63	103,26

Fonte: Elaboração Própria

## 5.

**ELABORAÇÃO FLUXO DE CAIXA DAS OPÇÕES**

Neste capítulo são explicitadas as metodologias utilizadas para elaboração do fluxo de caixa que possibilitem quantificar o valor de cada opção individualmente. Destaca-se que este trabalho analisa um projeto hipotético de uma propriedade rural onde seu proprietário deseja avaliar a viabilidade de *switch-use* da sua propriedade para a inclusão de um projeto florestal de duas formas distintas, dada área produtiva de 1 hectare, semelhante aos trabalhos de Vale (2004), Santos (2014).

Um importante fator a ser considerado está relacionado à metodologia de avaliação, que visa a maximização do retorno, através da comparação entre os fluxos de caixas gerados por cada uma das opções, considerou-se uma alíquota de imposto de renda de 15%, segundo a Lei Nº 9.393 (BRASIL, 1996).

Diferentemente de outros tipos de opções, a opção de troca de uso (*switch-use*) da terra não ocorre com elevada frequência, uma vez que as deliberações no agronegócio relacionam-se de maneira direta a prazos longos<sup>26</sup>, com provável inviabilidade da ação de reversão sobre a decisão tomada. Além disso, existe a necessidade de reinvestimento com pequena margem de retorno proporcionado por este tipo de empreendimento.

Os cálculos dos VPL são das atividades de bovinocultura, de reflorestamento e de manejo silvipastoril para o caso base de um hectare de terra utilizado no processo produtivo.

A Eq. 29 representa a formulação para cálculo do Valor Presente Líquido (VPL).

$$Vp_x = \sum_{t=0}^N \frac{receitas_t - despesas_t}{(1+i)^t} - investimentos_t \quad (29)$$

Onde:

$i$  = taxa de desconto;

$Vp_x$  = Valor presente do fluxo de caixa do Projeto x;

$t$  = tempo.

---

<sup>26</sup> Necessários para que haja retorno sobre o capital investido

## 5.1

### Bovinocultura de corte

A metodologia relacionada à elaboração do retorno da atividade foram subdivididas em receitas e despesas, considerando uma propriedade genérica com tamanho de 1 (um) hectare.

#### 5.1.1

##### Receitas

Este trabalho abordará a mesma metodologia utilizada por Barbosa (2008), considerando a engorda de gado em sistema semi-intensivo, no qual os animais são criados em sistema de pasteio rotacionado em período de águas, dada a boa disponibilidade de matéria orgânica, e com suplementação adicional na ração, época de seca.

A Figura 19 representa o ciclo produtivo, de maneira resumida, da propriedade genérica estudada, onde o gado é comprado como novilhas com aproximadamente 320kg e é vendido, após 180 dias<sup>27</sup>, como garrote (boi gordo) com peso a partir de 472kg.

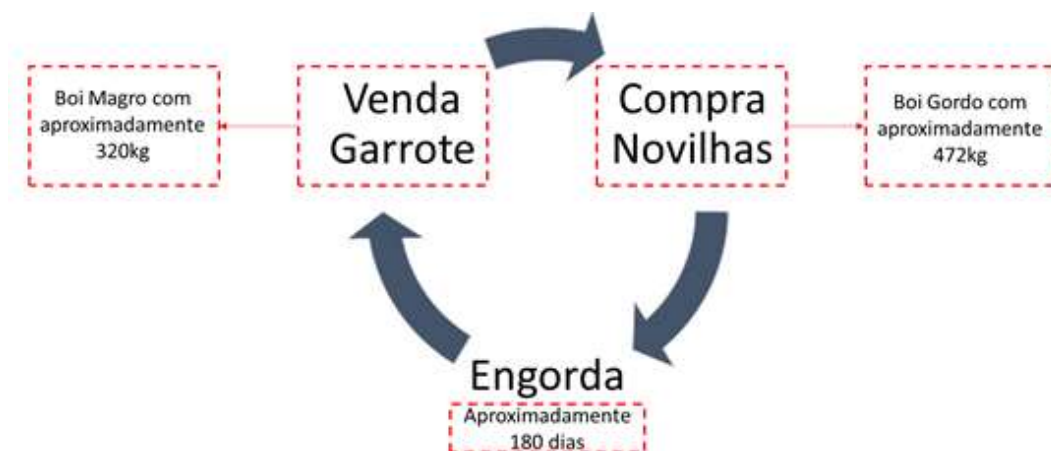


Figura 19- Fluxo produtivo bovinocultura de corte  
Fonte: Elaboração Própria

Os indicadores de produtividade apontados no trabalho de Barbosa (2008), apontam rendimento de 258 a 693,8 kg/ha/ano<sup>28</sup>, sendo adotado o resultado médio de 551 kg/ha/ano, caracteriza-se, portanto, uma taxa de ocupação variando entre 2,4

<sup>27</sup> Número de dias pode variar em função de fatores externos (regime de chuvas, temperatura, etc). Período de 180 dias considera uma taxa de engorda de 0,84 kg/dia, alguns autores consideram tal valor como elevado e aplicável em cenários altamente favoráveis à engorda, neste tipo de sistema produtivo.

<sup>28</sup> Barbosa (2008) reconhece que os indicadores de desempenho podem ser aprimorados caso o capim utilizado na propriedade analisada seja melhorado.

e 3,8 UA/há. Tal indicador já contempla o ciclo completo da pecuária, compra de novilhos e venda de garrotes, sendo tal valor adotado para a elaboração das receitas do negócio.

Contudo, o indicador adotado representa o peso vivo de animal produzido por ano, enquanto que a variável preço relaciona-se ao peso de carcaça (mencionado anteriormente), ou seja, o peso em carne do animal. Para relacionar o preço do animal à quantidade produzida o trabalho Coutinho Filho *et al.* (2006) utilizam a taxa de conversão (peso vivo para peso de carcaça) de 55,61%.

A Eq. 30 representa a função de receita proporcionada pela bovinocultura de corte, onde o primeiro termo da equação representa a produtividade anual de 1 hectare de terra em arrobas, multiplicado pela taxa de conversão do peso vivo para peso de carcaça, multiplicado pelo preço do gado simulado para o período t.

$$receita_t = \frac{551}{15} * 0,5561 * P_{b,t} \quad (30)$$

### 5.1.2

#### Despesas

As despesas relacionadas à pecuária de corte podem ser encontradas no trabalho de Santos e Grzebieluckas (2014), correspondendo ao custo da pecuária de corte por hectare utilizado ao ano, sendo estas despesas fixas durante toda a análise, conforme mostrado na Tabela 18.

Tabela 18- Custo de implantação e manutenção da pecuária de corte por hectare

Especificações	Implementação (Ano 0)	Manutenção
Benfeitorias	568,58	
Equipamentos	202,00	
Formação de pastagens	79,72	
Rebanho	962,00	607,7
Remuneração do capital		61,65
Manut. Infra estrutura, impl. equip.		63,68
Salários de funcionários		105,05
Despesas administrativas		24,8
Suplementos e medicamentos		360,28
<b>Total</b>	<b>1.812,30</b>	<b>1.223,16</b>

Fonte adaptada: Santos e Grzebieluckas (2014)

Neste trabalho será considerada que o exercício da opção de troca resulta na venda de todo o gado remanescente na propriedade, gerando a receita equivalente ao valor pago pelo Rebanho (R\$ 962,00).



## 5.2

### Reflorestamento para serraria

Semelhante à utilizada no tópico sobre a pecuária, a metodologia relacionada à elaboração do retorno da atividade foi subdividida em receitas e despesas, considerando uma propriedade genérica com tamanho de 1 (um) hectare.

#### 5.2.1

##### Receitas

Para o segmento florestal será utilizada a metodologia proposta por Eboli (2008) e Bertolani *et al* (1995), que consiste no plantio de floresta com espaçamento reduzido (adotado o espaçamento 3x2 metros, conforme Figura 10), semelhante ao reflorestamento para fins energéticos, porém, havendo a inclusão do sistema de desbastes a cada quadriênio, cortando 40% e 24% da floresta nos anos 4 e 8, respectivamente, garantido DAP  $\geq 20$  cm aos 12 anos de idade da floresta, quando será realizado o corte raso das árvores remanescentes.

Para a determinação do volume de madeira na floresta, dadas as características iniciais, será utilizada a curva de crescimento de Shumacher & Hall, conforme Müller *et al.* (2014), representada pela Eq. 31, onde  $V_j$  representa o volume de madeira ( $m^3/ha$ ) numa floresta com idade  $j$  no instante de tempo  $t$ , enquanto  $\alpha = 751,336$  e  $\beta = 6,0777$  são parâmetros relacionados à terra utilizados por Baran (2005) para plantações de eucalipto no interior do estado de São Paulo.

$$V_j = \alpha * e^{\frac{\beta}{t}} \quad (31)$$

Assim, o volume de madeira a ser vendido será igual à proporção de madeira derrubada no desbaste em função do volume remanescente de floresta. Contudo, semelhante ao caso do gado, o preço pago pela madeira é medido em ésteres enquanto o volume é medido em  $m^3$ , portanto, a taxa de conversão será a mesma utilizada por Klock (2013), onde 1  $m^3$  equivale a 1,428 st.

A Figura 20 representa o fluxo produtivo do processo produtivo da madeira para serraria, onde as mudas são plantadas no ano 0 e são vendidas nos anos 4 e 8 com preço de madeira DAPP e no 12º ano a preço de madeira tipo DAPM. Ou seja, há entrada de capital somente nos períodos 4, 8 e 12, onde ocorre o corte raso.

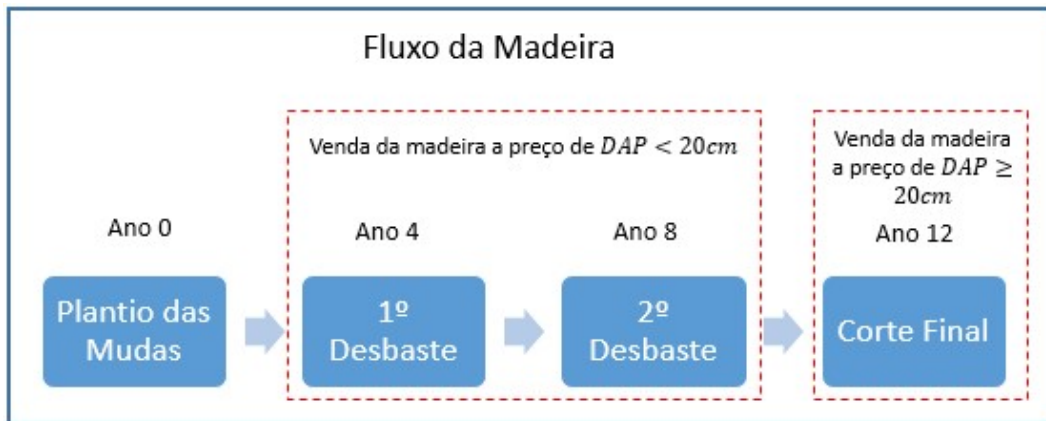


Figura 20- Fluxo produtivo reflorestamento  
Fonte: Elaboração Própria

No caso das opções de aguardar e decidir no próximo período, as entradas ficaram nos períodos 8 e 12, quando a floresta completar 4 e 8 anos, respectivamente, sendo que a madeira será vendida inteiramente a preços de DAPP.

Assim, a função da receita será dada pela Eq. 32:

$$receita_t = \begin{cases} (V_j * k_1) * 1,428 * P_{m2,t}, & \text{para } j = 4 \\ (V_j^* * k_2) * 1,428 * P_{m2,t}, & \text{para } j = 8 \\ (V_j^{**}) * 1,428 * P_{m1,t}, & \text{para } j = 12 \end{cases} \quad (32)$$

Onde:

$k_1, k_2$  = Percentual de floresta derrubada pelo sistema de desbaste;

$V_j^*$  = Total de madeira restante após primeiro desbaste;

$V_j^{**}$  = Total de madeira restante após segundo desbaste.

### 5.2.2

#### Despesas

As despesas relacionadas ao reflorestamento para serraria podem ser encontradas no trabalho de Santos e Grzebieluckas (2014), correspondendo ao custo da atividade por hectare utilizado ao ano, conforme idade da floresta, conforme demonstrado na Tabela 19.

Tabela 19- Custo de implantação e manutenção reflorestamento para serraria por hectare

Itens	Investimento	Manutenção	
Formicida	229,07	Ano 1	2579,66
Herbicida	252,33	Ano 2	729,54
Calcário	255,16	Ano 3	651,01
Fosfato	493,1	Ano 4	603,95
Adubação	398,8	Ano 5	177,56
Irrigações	385,57	Ano 6	95,26
Desinfecção de mudas	52,92	Ano 7	95,26
Plantio	302,41	Ano 8	568,32
Mudas	658,86	Ano 9	95,26
Gel agrícola	49,62	Ano 10	95,26
Combate a praga	132,23	Ano 11	95,26
Replantio	37,8	Ano 12	95,26
<b>Total</b>	<b>3.247,87</b>		<b>5.881,6</b>

Fonte adaptada: Santos e Grzebieluckas (2014)

Assim, tem-se que o valor financeiro para investimento por hectare em uma floresta é de R\$ 3.247,87 e o custo de manutenção varia conforme a idade da floresta.

### 5.3

#### Manejo Silvipastoril

A metodologia relacionada à elaboração do retorno da atividade foi subdividida em receitas e despesas, considerando uma propriedade genérica com tamanho de 1 (um) hectare.

#### 5.3.1

##### Receitas

Para o manejo silvipastoril houve a combinação das receitas oriundas da pecuária e do projeto florestal. A metodologia e os indicadores para as receitas da criação de gado são as mesmas adotadas pela bovinocultura comum<sup>29</sup>, abordado anteriormente. Porém, a mesma diferencia-se devido à inclusão de animais (gado de corte) somente a partir do Ano 2 (2º ano da floresta), e permanecendo assim até o final do ciclo, quando são cortadas todas as árvores, conforme a Figura 21 (VALE, 2004).

<sup>29</sup> Conforme mencionado, a composição de sistema agroflorestais tende a manter ou melhorar o desempenho dos processos combinados.

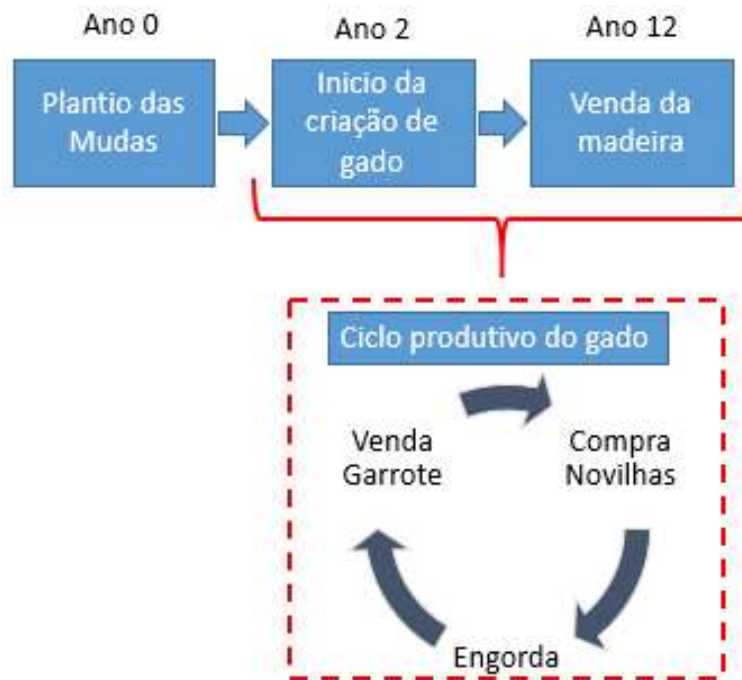


Figura 21- Fluxo produtivo manejo silvipastoril  
Fonte: Elaboração Própria

A Eq. 33 demonstra as receitas oriundas da criação de gado no manejo silvipastoril, onde, para  $t \geq 2$ , a equação se assemelha à Eq. 30.

$$receitas_{t,1} = \begin{cases} 0, & \text{para } t < 2 \\ \frac{551}{15} * 0,5561 * P_{b,t}, & \text{para } t \geq 2 \end{cases} \quad (33)$$

Para o segmento florestal será adotada a metodologia proposta por Vale (2004) onde a floresta cresce linearmente a uma taxa de 35 st/ha/ano e com espaçamento de 10 metros entre linhas e 4 metros entre árvores, conforme a Figura 10, sendo que toda a floresta será derrubada e vendida somente no Ano 12<sup>30</sup> (final do período útil de avaliação) a preço de madeira tipo DAPM.

A Eq. 34 descreve as receitas para o segmento florestal do manejo combinado, onde em  $t = 12$ , os dois primeiros termos da equação citada referem-se ao volume final de madeira em st, dado o crescimento linear da floresta em função da idade, e o termo final representa o preço da madeira naquele período.

$$receitas_{t,2} = \begin{cases} 0, & \text{para } t < 12 \\ 35 * t * P_{m1,t}, & \text{para } t = 12 \end{cases} \quad (34)$$

<sup>30</sup> Existe a possibilidade do exercício antecipado do corte das árvores, visto que as mesmas alcançam DAP >20 cm aos 51 meses.

Assim, as receitas geradas pela atividade produtiva serão mensuradas pela soma das Eq. 33 e 34, resultando na Eq. 35.

$$receitas_t = \begin{cases} 0, & \text{para } t < 2 \\ \frac{551}{15} * 0,5561 * P_{b,t}, & \text{para } t \geq 2 \\ 35 * t * P_{m1,t}, & \text{para } t = 12 \end{cases} \quad (35)$$

Deve-se atentar que para  $t = 12$  haverá tanto as receitas provenientes do gado, quanto a receitas oriunda da madeira.

### 5.3.2

#### Despesas

As despesas relacionadas ao reflorestamento para serraria podem ser encontradas no trabalho de Santos e Grzebieluckas (2014), correspondendo ao custo da atividade por hectare utilizado ao ano, conforme idade da floresta, demonstrado na Tabela 20.

Tabela 20- Custo de implantação e manutenção reflorestamento para serraria por hectare

	Implantação	Manutenção
Benfeitorias	568,58	Ano 1 2.608,53
Equipamentos	202,00	Ano 2 1.629,63
Formação de Pastagens	79,72	Ano3 1.588,08
Rebanho	1105,00	Ano4 1.563,15
Formicida	121,20	Ano5 1.337,58
Herbicida	133,50	Ano 6 1.294,08
Calcário	135,00	Ano 7 1.294,08
Fosfato	260,90	Ano 8 1.544,33
Adubação	211,00	Ano 9 1.294,08
Irrigações	204,00	Ano 10 1.294,08
Desinfecção de mudas	28,00	Ano 11 1.294,08
Plantio	160,00	Ano 12 1.294,08
Mudas	348,60	
Gel agrícola	26,25	
Combate a praga	70,00	
Replantio	20,00	
Total	3673,75	

Fonte adaptada: Santos e Grzebieluckas (2014)

Assim, tem-se que o valor financeiro para investimento em uma floresta é de R\$ 3.673,75 e o custo de manutenção varia conforme a idade da floresta, mas estabilizando a partir do 8º ano. Considera-se que os custos com a criação bovina estão inclusos nos valores citados pela Tabela 20.

## 6.

**SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO PARA O MODELO DE REVERSÃO À MÉDIA.**

Para Cardoso (2014), a simulação de Monte Carlo (SMC) consiste em um procedimento através do qual desenham-se os possíveis caminhos aleatórios percorridos por uma determinada variável aleatória, buscando a modelagem das incertezas. Assim, trata-se de um método numérico computacional, utilizando técnicas de amostragem probabilística<sup>31</sup> para as distribuições de probabilidade das variáveis de entrada através da simulação randômica, gerando os resultados de saída que também são expressas em distribuições de probabilidades.

Conforme discutido anteriormente, este trabalho irá simular os preços para as variáveis estocásticas através do MRM, sendo utilizado o *software* comercial *@Risk*. A simulação é efetuada a partir da discretização da equação diferencial do MRM, demonstradas nos capítulos anteriores.

Posteriormente à simulação dos fatores de risco, os valores das opções são calculados pelas diferenças entre o valor presente do fluxo de caixa gerado pelo reflorestamento ( $Vp_f$ ) no ano  $t$  ou manejo silvipastoril ( $Vp_s$ ), e valor presente do fluxo de caixa gerado pela pecuária ( $Vp_p$ ).

A seguir, descreve-se matematicamente os valores das opções, sendo  $Ot_s^*$  e  $Ot_r^*$  o valor presente gerado pelo ato de postergar o investimento a favor do manejo silvipastoril e reflorestamento, respectivamente<sup>32</sup>:

1. Manter-se na pecuária de corte:

$$Om_p = E(Vp_p) - E(Vp_p) = 0 \quad (36)$$

2. Troca Imediata para Manejo Silvopastoril:

$$Ot_s = \max[E(Vp_s) - E(Vp_p); Om_p] \quad (37)$$

3. Troca Imediata para Projeto de Reflorestamento:

$$Ot_r = \max[E(Vp_f) - E(Vp_p); Om_p] \quad (38)$$

<sup>31</sup> Procedimento em que todos os elementos da população têm uma probabilidade conhecida e superior a zero de integrar a amostra.

<sup>32</sup> Postergar a decisão de investimento representa uma manutenção da criação de gado até o próximo período de decisão;

4. Aguardar o próximo período para investir:

$$Ot_a = \max \left[ [E(Ot_s^*); E(Ot_r^*); Om_p] \right] \quad (39)$$

Como a escolha da opção de troca de uso (*switch-use*) da terra visa a maximização do retorno do proprietário, pode-se concluir ao observar a terceira opção, que se deve escolher a opção que proporcione o maior fluxo de caixa, conforme demonstrado na Eq. 40.

$$V_{troca} = \max(Ot_r; Ot_s; Ot_a) \quad (40)$$

Assim, por exemplo caso  $Ot_s^* > Ot_s$  tem-se que no momento atual a decisão que maximiza o retorno é a de manter-se na pecuária no ano corrente e investir em um manejo silvipastoril no próximo período.

## 6.1

### SMC-Processo Neutro ao Risco

A simulação realizada nesta fase baseia-se na análise do processo neutro ao risco, no qual se penaliza a modelagem real do processo através do desconto do prêmio de risco  $\left(\frac{\mu-r}{\eta_b}\right)$  sob a média de longo prazo, possibilitando o desconto dos fluxos de caixa médios obtidos através da simulação por meio da aplicação da taxa de desconto livre de risco.

Aplicando a Eq. 25 e 28, para as fontes de incertezas é obtida a Eq. 41 que descreve o comportamento logarítmico do preço do boi, enquanto a Eq. 42 descreve o logaritmo do preço da madeira.

$$p_{b,t} = p_{b,t-1}e^{-\eta_b\Delta t} + \left[\bar{p}_b - \frac{\mu-r}{\eta_b}\right](1 - e^{-\eta_b\Delta t}) + \sigma_b \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta_b\Delta t}}{2\eta_b}} N_b(0,1) \quad (41)$$

$$p_{mj,t} = p_{mj,t-1}e^{-\eta_{mj}\Delta t} + \left[\bar{p}_{mj} - \frac{\mu-r}{\eta_{mj}}\right](1 - e^{-\eta_{mj}\Delta t}) + \sigma_{mj} \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta_{mj}\Delta t}}{2\eta_{mj}}} N(0,1) \quad (42)$$

Todavia, para a identificação dos parâmetros da equação que minimiza o MSE, foi utilizada a transformada logarítmica em ambos os preços, resultando em:

$p_{b,t} = \ln(P_{b,t}) \rightarrow P_{b,t} = \exp(p_{b,t})$  e portanto,  $P_{mj,t} = \exp(p_{mj,t})$ . Através da resolução das Eq. 41 e 42, são obtidas as Equações 43 e 44, que representam o preço do boi e da madeira, respectivamente.

$$P_{b,t} = \exp \left[ \ln(P_{b,t-1}) e^{-\eta_b \Delta t} + \left[ \ln(\bar{P}_b) - \frac{\mu-r}{\eta_b} \right] (1 - e^{-\eta_b \Delta t}) + \sigma_b \sqrt{\frac{1-e^{-2\eta_b \Delta t}}{2\eta_b}} N_b(0,1) - \frac{\sigma_b^2}{4\eta_b} (1 - e^{-2\eta_b \Delta t}) \right] \quad (43)$$

$$P_{mj,t} = \exp \left[ \ln(P_{mj,t-1}) e^{-\eta_{mj} \Delta t} + \left[ \ln(\bar{P}_{mj}) - \frac{\mu-r}{\eta_{mj}} \right] (1 - e^{-\eta_{mj} \Delta t}) + \sigma_{mj} \sqrt{\frac{1-e^{-2\eta_{mj} \Delta t}}{2\eta_{mj}}} N_{mj}(0,1) - \frac{\sigma_{mj}^2}{4\eta_{mj}} (1 - e^{-2\eta_{mj} \Delta t}) \right] \quad (44)$$

Os *inputs* do modelo de simulação serão a parte estocástica das Eq. 43 e 44, ou seja,  $N(0,1)$ , pois através deste parâmetro é introduzida a aleatoriedade na SMC. No entanto, como a análise possui três variáveis aleatórias (preço do boi e preço da madeira DAPP e preço da madeira DAPM) e as mesmas possuem um certo grau de dependência entre elas, a variação em uma variável implica na alteração de outra. Como a dependência influencia o valor da opção, deve-se construir um fator estocástico capaz de captá-la. Para esse fim é utilizada a decomposição de Cholesky, partindo da matriz de correlação apresentada na Tabela 21 (Samanez, et al. 2014).

	$P_{b,t}$	$P_{m1,t}$	$P_{m2,t}$
Gado - $P_{b,t}$	1	-0,2068	-0,54177
DAPM - $P_{mj,t}$	-0,2068	1	0,54407
DAPP - $P_{mj,t}$	-0,5417	0,5440	1

Fonte: Elaboração Própria

A Tabela 22 mostra o resultado da decomposição de Cholesky para as três variáveis analisadas, sendo estes os valores utilizados para o processo de simulação nesta dissertação.



Tabela 22 – Matriz de Cholesky

	$P_{b,t}$	$P_{m1,t}$	$P_{m2,t}$
Gado - $P_{b,t}$	1	0	0
DAPM - $P_{mj,t}$	-0,2068	0,9783	0
DAPP - $P_{mj,t}$	-0,5417	0,4415	0,71521

Fonte: Elaboração Própria

Portanto, as normais correlacionadas ( $N^*(0,1)$ ) dadas pelas expressões a seguir, substituem as normais padrões utilizadas na Eq. 43 e 44;

1.  $N_b(0,1) \rightarrow N_b^*(0,1) = N_b(0,1)$ ;
2.  $N_{m1}(0,1) \rightarrow N_{m1}^*(0,1) = -0,20688 * N_b(0,1) + 0,97836 * N_{m1}(0,1)$ ;
3.  $N_{m2}(0,1) \rightarrow N_{m2}^*(0,1) = -0,54177 * N_b(0,1) + 0,44154 * N_{m1}(0,1) + 0,715211 * N_{m2}(0,1)$ .

A partir da aplicação da transformação de Cholesky, pode-se simular os preços para os próximos 12 anos de previsão do fluxo de caixa, utilizando a taxa de juros sem risco no valor ( $r$ ) de 6% ao ano, que corresponde ao valor da Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP)<sup>33</sup> para os meses de Abril a Junho de 2015<sup>34</sup>, conforme Samanez et al. (2014) e Cardoso (2014), realizando 50.000 simulações de preços.

A Figura 22 representa o caráter de reversão ao nível de preços do equilíbrio para os preços da boi gordo, enquanto que a Figura 23 e 24 exemplifica para os preços da Madeira Tipo DAPM e DAPP respectivamente.

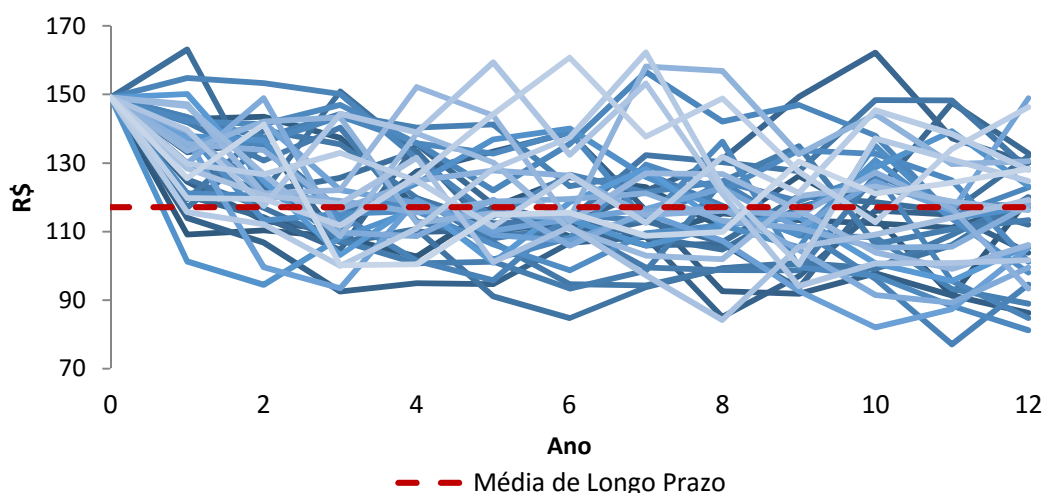


Figura 22- Exemplo do comportamento dos preços do boi durante a simulação  
Fonte: Elaboração Própria

<sup>33</sup> A TJLP é definida como sendo o custo básico dos financiamentos concedidos pelo BNDES

<sup>34</sup> Disponível em:

[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Ferramentas\\_e\\_Normas/Custos\\_Fina\\_nceiros/Taxa\\_de\\_Juros\\_de\\_Longo\\_Prazo\\_TJLP/](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Ferramentas_e_Normas/Custos_Fina_nceiros/Taxa_de_Juros_de_Longo_Prazo_TJLP/)

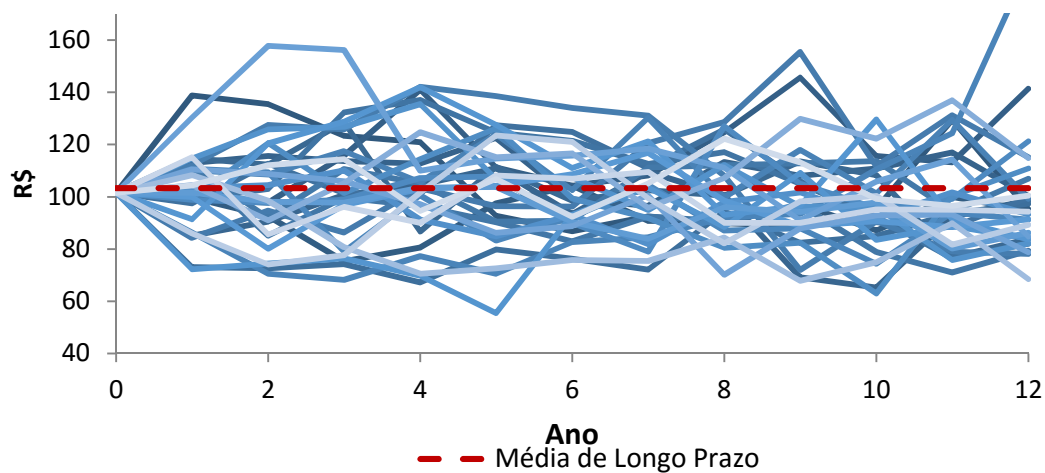


Figura 23- Exemplo do comportamento dos preços da madeira –DAPM durante a simulação  
Fonte: Elaboração Própria

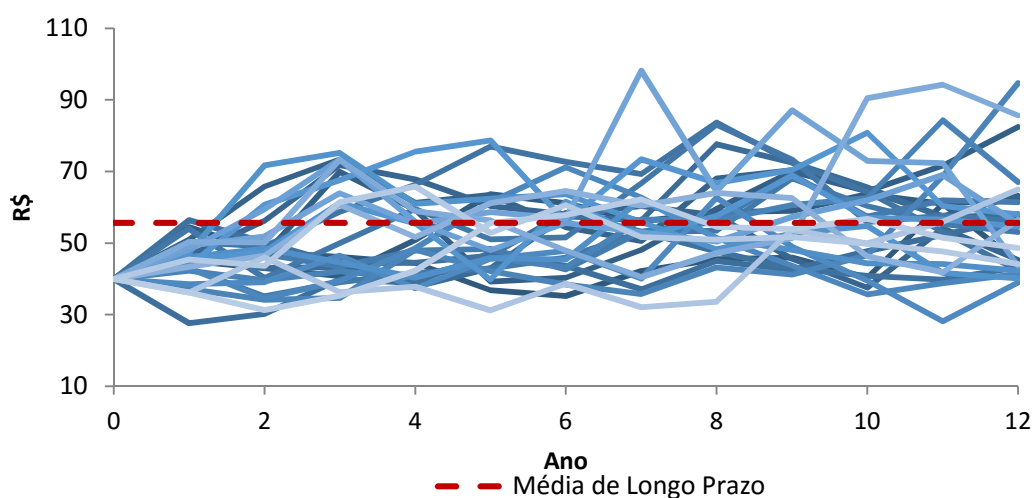


Figura 24- Exemplo do comportamento dos preços da madeira –DAPP durante a simulação  
Fonte: Elaboração Própria

### 6.1.1

#### Resultados SMC Neutra ao Risco

Após simulados os preços das três variáveis de decisão, os resultados obtidos são mostrados nas figuras a seguir de acordo com a Eq. 37, ressalta-se ainda que a ação de postergar o investimento consiste na manutenção da pecuária até o período de exercício da opção, sendo os valores monetários trazidos a valor presente:

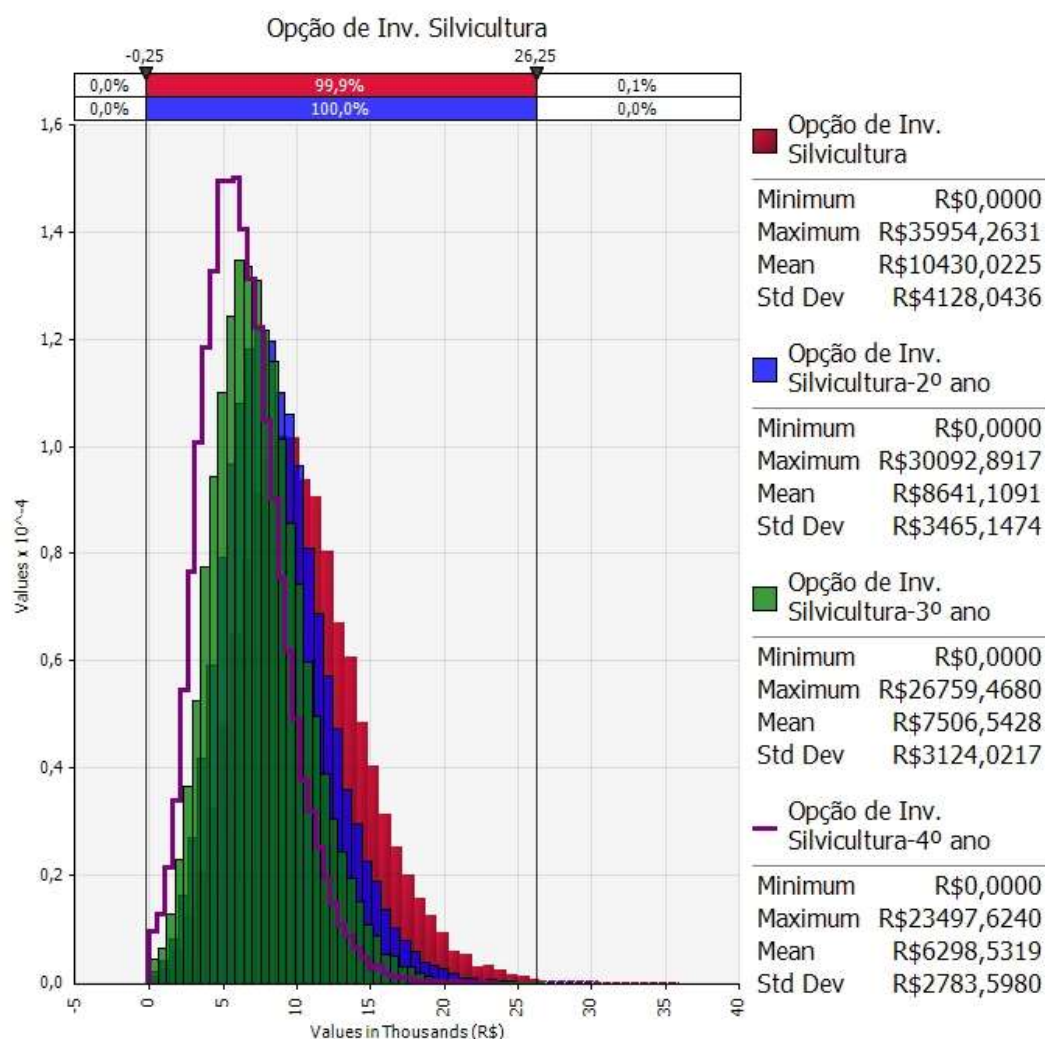


Figura 25- Resultados da SMC neutra ao risco para opção de investir em projeto silvipastoril

Fonte: Elaboração Própria

A Figura 25 representa o valor da opção de investimento em manejo silvipastoril ( $Opt_s$ ), analisadas individualmente<sup>35</sup> e separadamente, sendo obtidas as médias de R\$ 10.430,02, R\$ 8.641,10, R\$ 7.506,54 e R\$ 6.298,53, para os investimentos imediato, 2º, 3º e 4º anos, respectivamente. Assim, o valor ótimo proporcionado por esta opção é de R\$ 10.430,02, com desvio de R\$ 4.128,04, considerando a possibilidade de adiamento do investimento. Ou seja, para este cenário, a regra de decisão ótima seria o investimento imediato em um sistema produtivo silvipastoril, proporcionando, em média, um acréscimo de R\$ 10.430,02 - valor acima do que seria esperado pela pecuária de corte. Um ponto importante a ser observado é a redução do desvio-padrão conforme se prorroga a decisão de investimento. Isto pode ser explicado pela diminuição dos cenários de maior

<sup>35</sup> Considerada apenas a opção analisada e a manutenção na pecuária de corte.

incerteza (menor tempo com investimentos em madeira), uma vez que a volatilidade obtida para o preço do gado é a menor entre as variáveis de decisão.

Outro item que merece destaque é a existência de um valor mínimo igual a zero para o atraso da opção de investir em manejo silvipastoril, em especial, no quarto ano (vencimento da opção), caracterizando a existência de um cenário onde a opção de manter a pecuária de corte é a escolha ótima, dadas as condições de preços das variáveis de decisão.

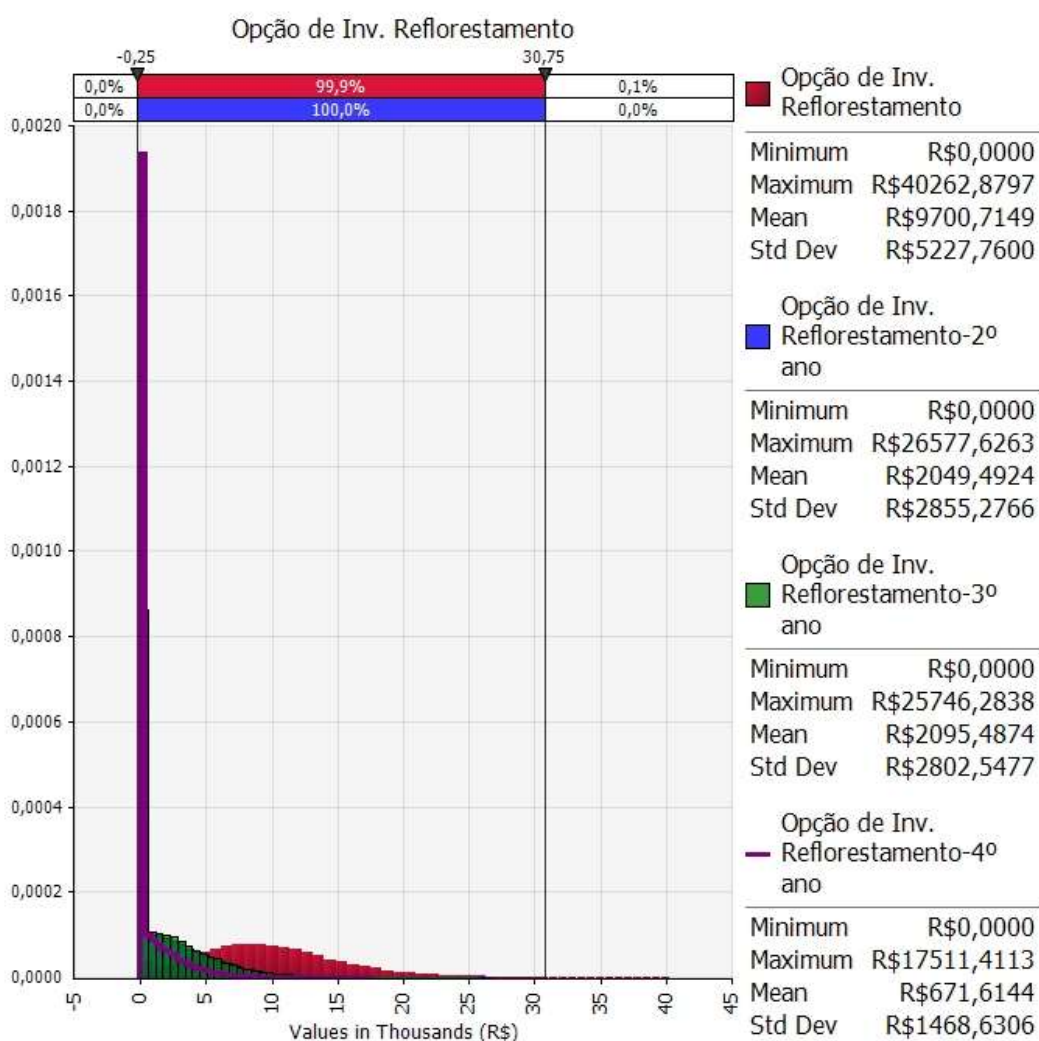


Figura 26- Resultados da SMC neutra ao risco para opção de investir em reflorestamento  
Fonte: Elaboração Própria

A Figura 26 representa o valor da opção de investimento em reflorestamento ( $Ot_r$ )<sup>36</sup>, onde são obtidas as médias de R\$ 9.700,71, R\$ 2.049,49, R\$ 2.095,48 e R\$ 671,61, para os investimentos imediato, 2º, 3º e 4º anos, respectivamente,

<sup>36</sup> A opção de investimento em floresta no 2º ano está sobreposta pela opção de investimento no 3º ano.

salientando que o desvio padrão também se mostrou superior (R\$ 5.227,76) ao maior resultado pela imissão alternativa (R\$ 4.128,04), caracterizado, principalmente, pelo desvio padrão em relação ao preço da madeira ser maior caso comparado ao gado. Verifica-se, também, o decaimento do desvio padrão (mesmo maiores que aqueles observados no manejo silvipastoril) em função da prorrogação da decisão de investimento. Assim, o ótimo valor proporcionado por esta opção é de R\$ 9.700,71, com desvio de R\$ 5.227,76, para o investimento imediato em floresta. Semelhante ao observado para a opção de investimento em manejo misto, também é observado o valor de mínimo igual a zero para a postergação do investimento em floresta até o período 4, exibindo a existência da opção de manutenção da bovinocultura de corte.

Com base nos resultados obtidos para as opções de investimento em ambos os sistemas produtivos (Figura 25 e 26), e na utilização da equação de valoração da opção de *switch-use* (Eq. 40), os valores possíveis para a opção são exibidos na Figura 27, ressaltando que o valor médio da mesma é superior ao valor de qualquer cenário encontrado anteriormente.

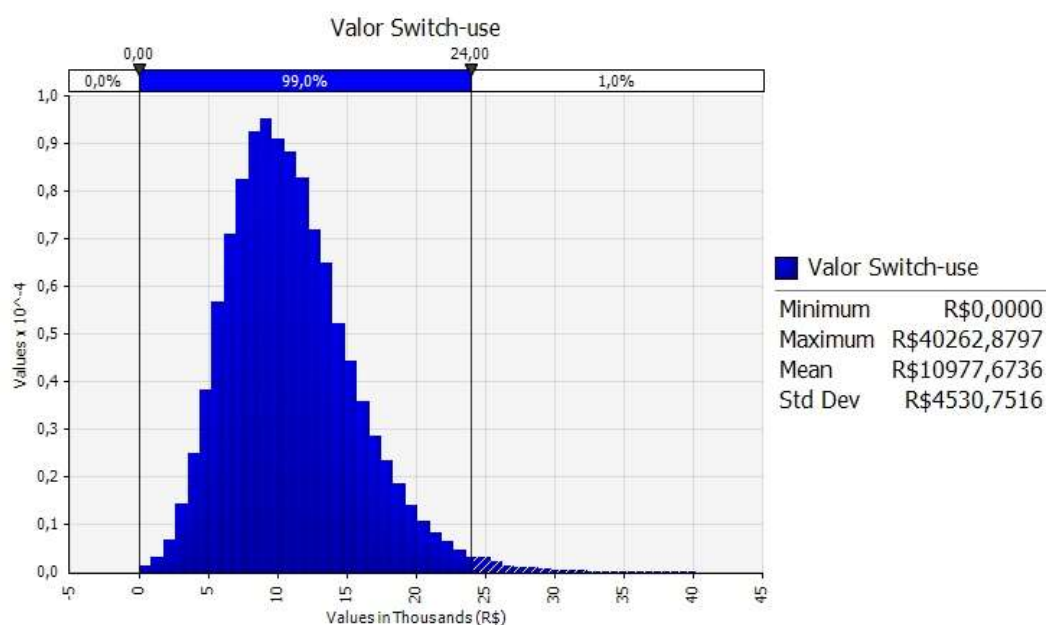


Figura 27- Resultados da SMC neutra ao risco para a opção de Switch-use da terra  
Fonte: Elaboração Própria

O fato mencionado anteriormente, em que a média é maior que o valor observado em qualquer opção isoladamente, reflete a propriedade de opções

*subaditivas*<sup>37</sup>, dado que o problema envolve escolhas compostas, reforçando a ideia de que existem cenários onde cada opção pode ser exercida, incluindo a de manutenção em gado de corte. Assim, caso seja considerada a possibilidade de venda ou aluguel da propriedade, os resultados mostram que a existência das opções agrega valor ao empreendimento.

Considerando os preços atuais, a regra de decisão ótima é de investir em um manejo silvipastoril imediatamente, no instante 0, uma vez que tal atitude gera o maior resultado médio entre as opções analisadas.

Mesmo não sendo a decisão ótima, a opção de aguardar e verificar qual caminho os preços irão seguir é viável, principalmente para o investimento na silvicultura, devido ao rápido crescimento em diâmetro da árvore tornando-a adequada aos preços de madeira tipo DAPM já aos 51 meses, conforme a Tabela 4.

Para a opção de reflorestamento, a mesma se torna menos valiosa, pelo mesmo motivo apresentado anteriormente, sendo reforçada pelo rebaixamento do valor da madeira devido ao seu diâmetro, uma vez que uma floresta nas características adotadas não cresce, em diâmetro, o suficiente para ser classificada como madeira com  $DAP > 20 \text{ cm}$ <sup>38</sup>. É importante salientar que não foram encontradas provas expressivas do contrário, ou metodologias de desbaste que garantam o diâmetro elevado para uma floresta com menos de 12 anos. Ou seja, a decisão de aguardar, para o reflorestamento, faz com que na expiração do horizonte de tempo a madeira não seja vendida como produto de maior valor comercial (madeira tipo DAPM). Caso o horizonte de planejamento (12 anos) seja estendido, a opção de investir posteriormente em reflorestamento deverá se tornar mais valiosa.

## 6.2

### Análise de Sensibilidade

Nesta seção são analisados os resultados das opções em reflorestamento ou em manejo silvipastoril, dada a variação nas despesas e de mudanças na média de longo prazo.

---

<sup>37</sup> O exercício de uma opção substitui outra.

<sup>38</sup> Não foram encontradas provas na literatura relacionada ao reflorestamento que sustentem o contrário.

### 6.2.1

#### **Variação dos custos de produção**

Para este tópico foi desenvolvido um algoritmo de repetição da SMC<sup>39</sup>, em VBA, para a obtenção dos valores das opções (média das simulações).

A Figura 28 representa os resultados médios para as simulações em condições idênticas às adotadas na simulação neutra ao risco, efetuadas na seção anterior, para a opção de investimento em reflorestamento, variando os custos de produção da pecuária de corte e do próprio cultivo de árvores.

Ainda na Figura 28 é possível observar o resultado máximo da simulação, aproximadamente R\$ 15.000 para a opção de investimento imediato, com o cenário de redução nos custos de manutenção da floresta e respectivo aumento na pecuária, resultando também em um valor mínimo, opção de investir no 4º ano, de R\$ 52,61 para o cenário oposto. É observado também, que não há cenário onde o tomador de decisão seja indiferente (R\$ 0,00), em média, ou o investimento seja inviável, através da variação dos custos de produção.

O padrão de comportamento observado para a opção é obtido devido à estrutura de custos utilizada (independência da faixa de preço do insumo produzido), representando um decaimento/crescimento muito próximo ao linear. A introdução de dependência da despesa com o preço do insumo ou a introdução de variáveis de decisão aos custos<sup>40</sup>, deverá mudar de maneira significativa o formato da curva, resultando em análises completamente diferentes das descritas aqui, dadas as novas interações entre o valor da opção e custos.

Na Figura 28 é conveniente notar o toque que ocorre entre as superfícies de investimento no 2º e 3º ano, ou seja, a depender de como caminhe o custo de produção, há uma valoração na espera do investimento, situação que já ocorre no cenário sem variação, conforme observado na Figura 26, onde o investimento no 3º ano supera financeiramente a opção de investimento no 2º ano.

---

<sup>39</sup> Código que coloca a simulação pelo processo neutro ao risco em loop variando ordenadamente os custos de produção dos fluxos de caixa elaborado.

<sup>40</sup> O autor sugere a introdução da variável preço do bezerro ou boi magro aos custos, dado que os mesmos também são cotados na bolsa de valores de São Paulo (BM&FBOVESPA) e estão presentes (de forma significativa) aos custos de operação da pecuária de corte.

Para a análise do manejo silvipastoril, a Figura 29 representa os resultados obtidos pela variação dos custos de produção, obtendo um valor máximo de aproximadamente R\$ 23.000 e mínimo de R\$ 840,14 para a opção de investimento imediato e 4º ano, respectivamente. Não é observada, também, o cenário onde o tomador de decisão seja indiferente, ou o investimento seja inexecutável. Na Figura 29 é conveniente notar a sobreposição da curva para postergar o investimento, caso haja um aumento no custo de manutenção do manejo silvipastoril e redução de despesas no cenário da bovinocultura de corte.

Ao analisar as opções de investimento imediato em ambos os sistemas produtivos, a Figura 30 mostra o contato das superfícies no momento em que a opção de investimento em reflorestamento passa a ser superior financeiramente ao consórcio de árvores e gado de corte. Tal cenário ocorre com grau mais elevado no instante em que os custos de produção da pecuária de corte diminuem em conjunto com o aumento nos custos de produção das demais atividades, aumentando, assim, a diferença entre as possibilidades de imissão. Tal sobreposição é explicada devido à maior sensibilidade à variação nos custos para o manejo silvipastoril, como pode ser observado no grau de inclinação da curva. Assim, em cenários favoráveis ao *switch-use* da terra, há um grande aumento na diferença entre os valores das opções de investimento.

A Figura 31 representa o gradiente de variação do valor entre as opções de investimento (diferença entre as curvas obtidas na Figura 30) em silvicultura frente ao reflorestamento, onde em cor verde são representados os valores onde o modelo misto é melhor quando comparado à alternativa. Em amarelo são representados os valores próximos a 0, onde ambas estão próximas da equivalência, e em vermelho, estão representados o segmento onde o projeto florestal é melhor frente à outra alternativa. Assim, a inversão de preferência ocorre, principalmente, em cenários onde os custos de produção são menores que 22% na pecuária de corte.



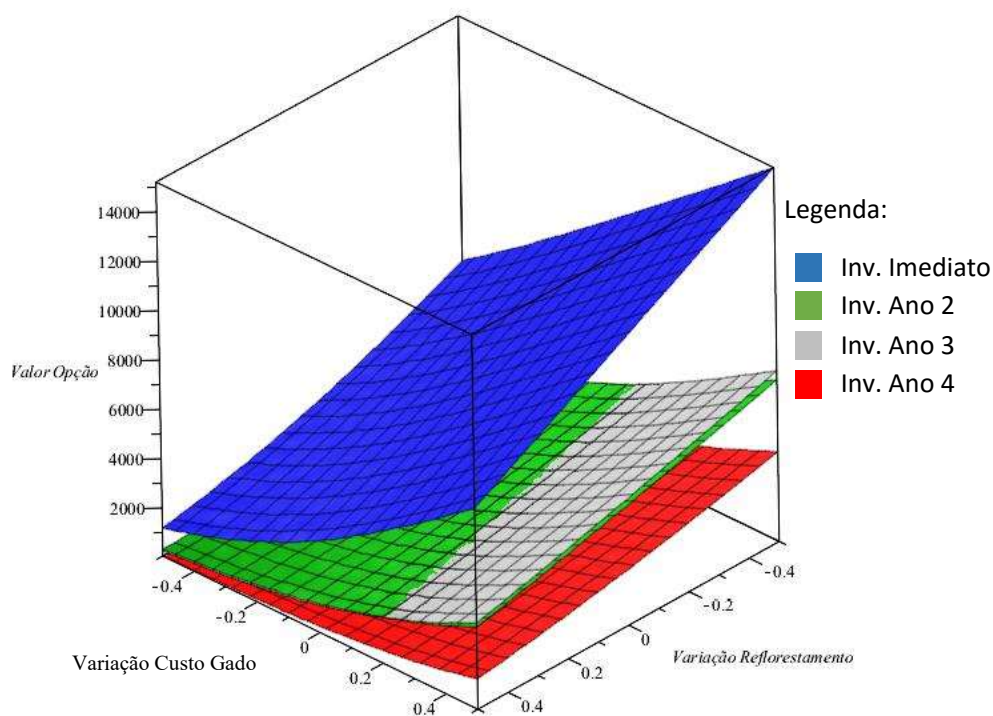


Figura 28- Análise sensibilidade da opção de investimento em reflorestamento através da variação de custos  
Fonte: Elaboração Própria

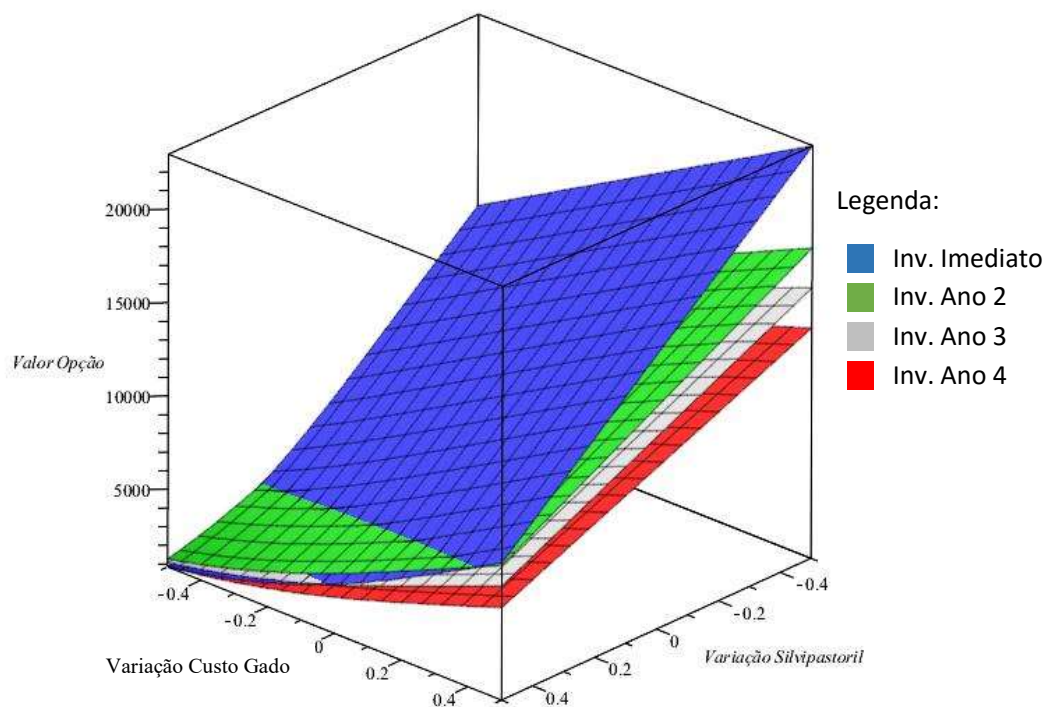
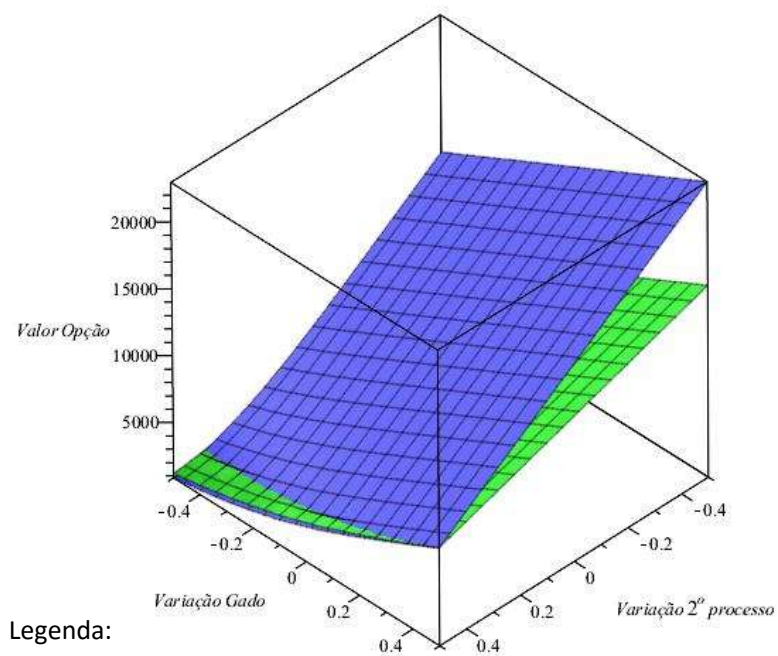


Figura 29- Análise sensibilidade da opção de investimento em manejo silvipastoril através da variação de custos  
Fonte: Elaboração Própria



Legenda:

- Silvipastoril
- Reflorestamento

Figura 30- Sobreposição de curvas para as opções de investimento em reflorestamento e manejo silvipastoril  
Fonte: Elaboração Própria

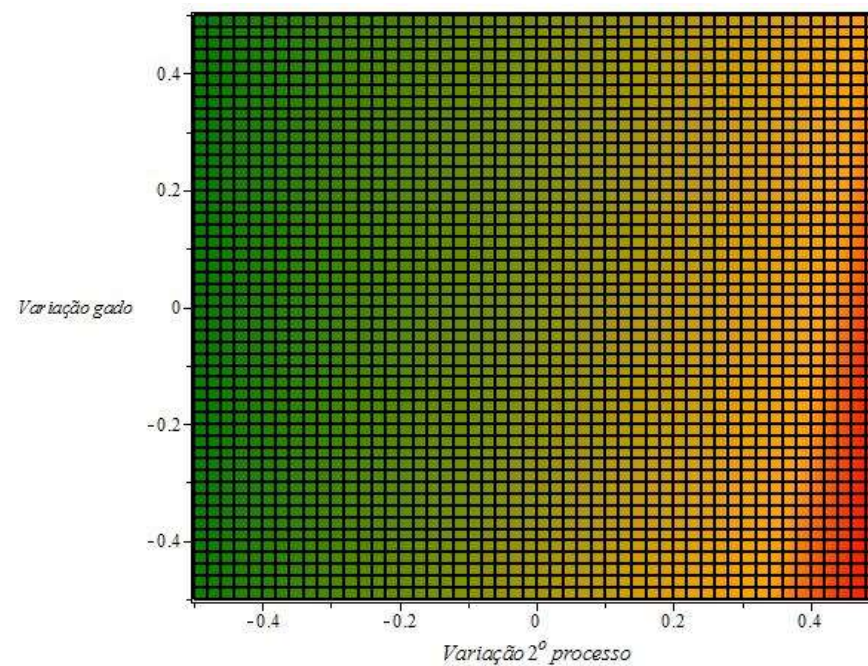


Figura 31- Campo de densidade de resultados da subtração das opções  
Fonte: Elaboração Própria

### 6.2.2

#### **Variação das médias do longo prazo ( $\bar{P}$ )**

Nesta seção são avaliadas as variações nos resultados das opções através da variação nas médias de longo prazo ( $\bar{P}$ ) das variáveis de decisão, utilizando a metodologia semelhante à seção anterior. O *Range* de preços utilizados para a análise de sensibilidade corresponde ao intervalo:

- Gado: [R\$ 57,12; R\$ 171,12];
- Madeira – DAPM: [R\$ 43,26; 163,26];
- Madeira – DAPP: [21,63; 91,63].

Como são estudadas três variáveis de decisão, o processo de análise foi subdividido em etapas par a par, buscando a comparação de todos os resultados, que estão demonstrados a seguir.

#### 6.2.2.1

##### **Análise para variação Preços do Gado e Madeira-DAPM**

Nesta seção são analisadas as variações sobre o valor das opções, dada a variação na média de longo prazo sobre o preço do gado e da madeira tipo DAPM, mantendo preço da madeira tipo DAPP constante.

A Figura 32 apresenta os resultados obtidos para a opção de investimento em reflorestamento, onde é possível verificar o toque entre as opções de exercício imediato e de postergar o projeto, ou ponto de gatilho. Assim, caso o valor da média de longo prazo para o preço da madeira tipo DAPM seja inferior a R\$ 80,00/st, o investimento imediato em floresta passa a ser menos proveitoso e, caso o preço médio do gado aumente, o investimento se torna inviável. Para os cenários onde a opção de aguardar e investir se torna mais valiosa (redução da média para a madeira), passa a ser sugestiva a análise do exercício de corte antecipado, dada a redução na margem de ganho proporcionado pela espera de crescimento, em diâmetro, das árvores. A baixa sensibilidade das opções de investimento em anos posteriores é explicada pelo rebaixamento da floresta na categoria de preço.

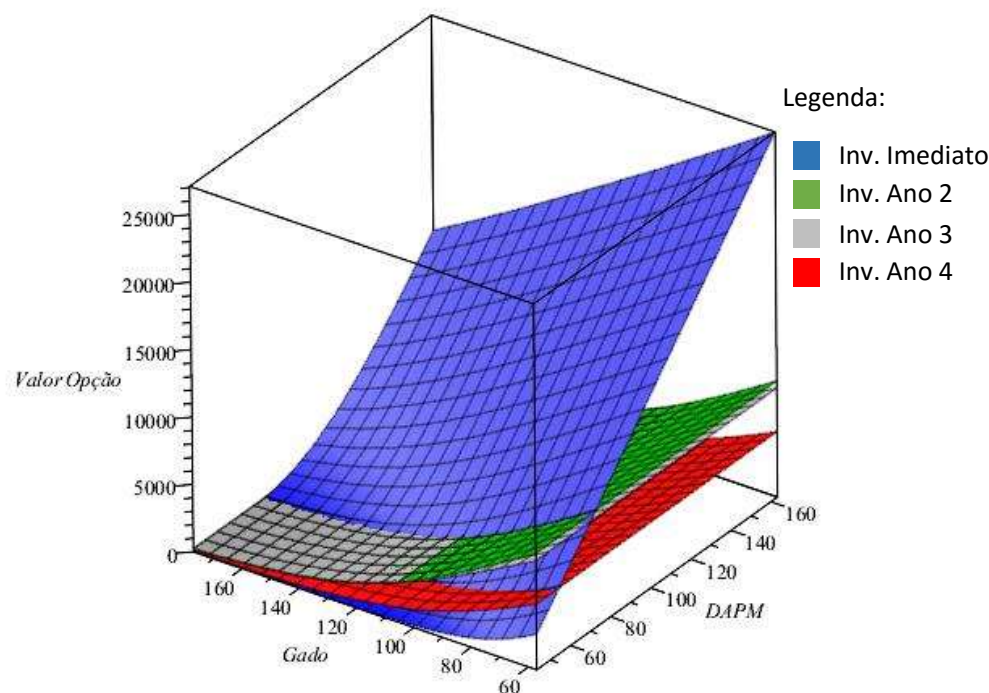


Figura 32- Curvas para opção de reflorestamento - Média de Longo Prazo  
Fonte: Elaboração Própria

A Figura 33 representa o comportamento da opção de investir em manejo silvipastoril, sendo exibida a existência da zona de contato entre as opções de investimento imediato e exercício posterior em parte do *range* de valores para o preço do gado, que é acentuada pela redução no preço da madeira, diminuindo substancialmente o valor da opção. Contudo, semelhante ao citado anteriormente, caso haja uma redução significativa na média de preço da madeira DAPM, faz-se necessário a análise do corte antecipado das árvores, além da mesma não sofrer influência direta de variações de preços da madeira tipo DAPP, haja vista o rápido crescimento das florestas. O formato das superfícies gerados pela análise ocorre devido à metodologia produtiva do manejo silvipastoril, uma vez que o mesmo mantém o nível de produção da pecuária tradicional, acrescentando a produção de madeira, fazendo com que o modelo se torne significativamente mais sensível às variações no preço deste bem.

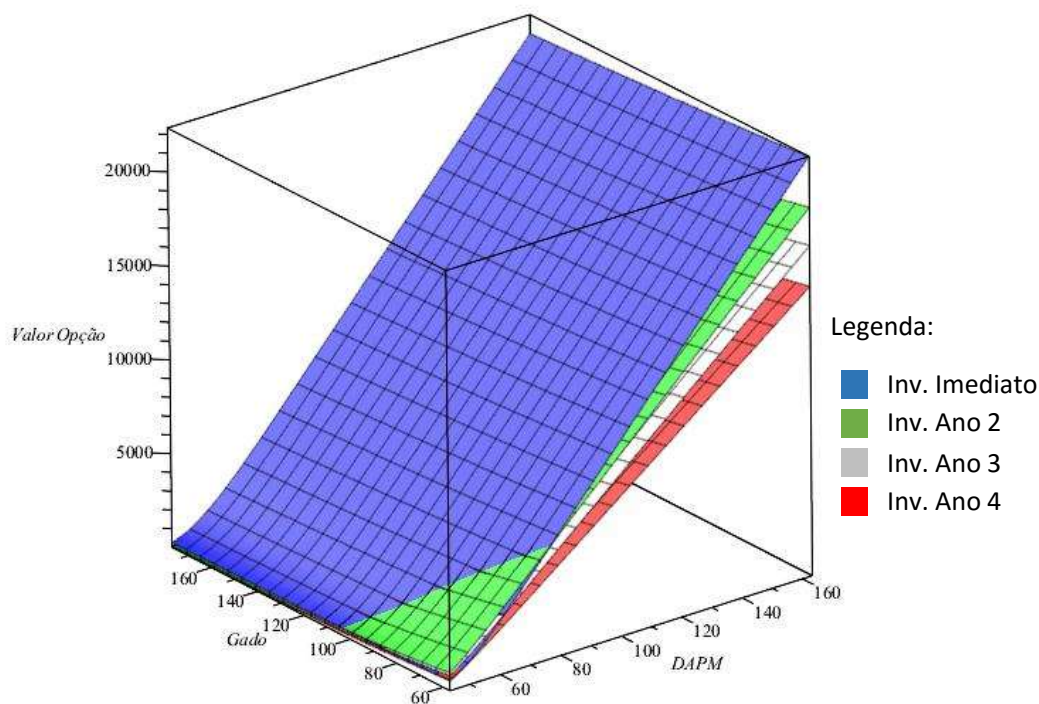


Figura 33- Curvas para opção de manejo silvipastoril - Média de Longo Prazo  
Fonte: Elaboração Própria

Analisando investimentos imediato em manejo silvipastoril e reflorestamento, a sobreposição das superfícies (Figura 34) revela a existência de uma zona de contato, que ocorre quando a média de longo prazo para o preço do gado atinge valor aproximado de R\$ 70,00/@. Para valores inferiores, a opção de investimento imediato em reflorestamento é vantajosa e independente da faixa de preço da madeira, pois a desvalorização do gado reduz o valor proporcionado pelo manejo combinado, resultando em um aumento no valor das opções florestais. Outra característica está na inviabilidade de investimento imediato em floresta para situações onde a média de preço da madeira tipo DAPM seja inferior a R\$ 80/st, caso semelhante ocorre com o manejo misto para preço de madeira inferiores a R\$ 50/st.



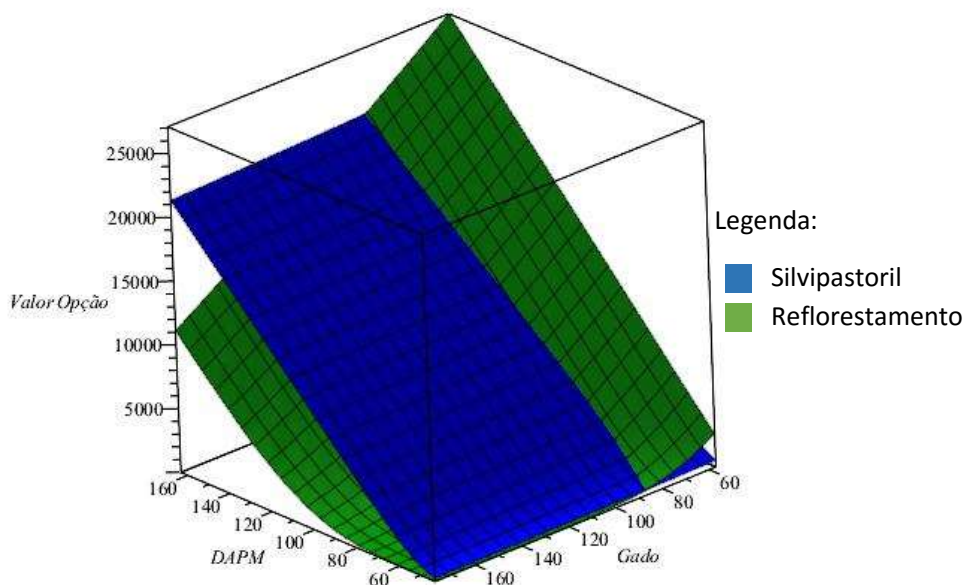


Figura 34- Sobre posição de curvas - Média de Longo Prazo  
Fonte: Elaboração Própria

Assim, pode-se notar a grande importância da estrutura de custos nas decisões sobre este tipo de investimento, assim como a margem de ganho (diferença entre as médias de longo prazo da madeira DAPM e DAPP), proporcionada pela espera de crescimento da floresta, pois acaba tornando mais preciosa a venda antecipada da madeira a preços DAPP, mesmo sendo classificada como um produto de menor valor agregado, pois a mesma é responsável pela explicação da grande maioria de alteração da decisão padrão encontrada originalmente. Conforme pode ser observado na Figura 17, onde em um determinado momento da série histórica de preços o valor financeiro da madeira DAPP ficou superior à madeira DAPM, tornando inviável, naquele momento, criar florestas com ciclo de cortes longos.

#### 6.2.2.2

##### **Análise para variação Madeira-DAPP**

Para este segmento será adotada uma análise única<sup>41</sup>, pois a alteração nesta variável de decisão afeta unicamente o investimento em reflorestamento, não ocasionando alterações significativas no comportamento das opções de investir em manejo silvipastoril ou manutenção da bovinocultura.

<sup>41</sup> Comparação entre as variações do preço do gado com madeira-DAPP e preço da madeira-DAPP.

A Figura 35 apresenta a variação no valor das opções de investir em reflorestamento dada a variação nas médias de longo prazo do boi gordo e da madeira tipo DAPP. Onde fica clara que na situação de valorização do preço do produto florestal, ocorre o aumento substancial no valor da opção de investimento em períodos posteriores, sobre a vantagem de se investir em florestas de ciclo curto, conforme foi abordado anteriormente. Assim, para valores superiores a R\$ 80/st é vantajoso o atraso do investimento até o terceiro ano, não sendo verificados cenários onde o exercício do investimento na expiração seja o recomendado.

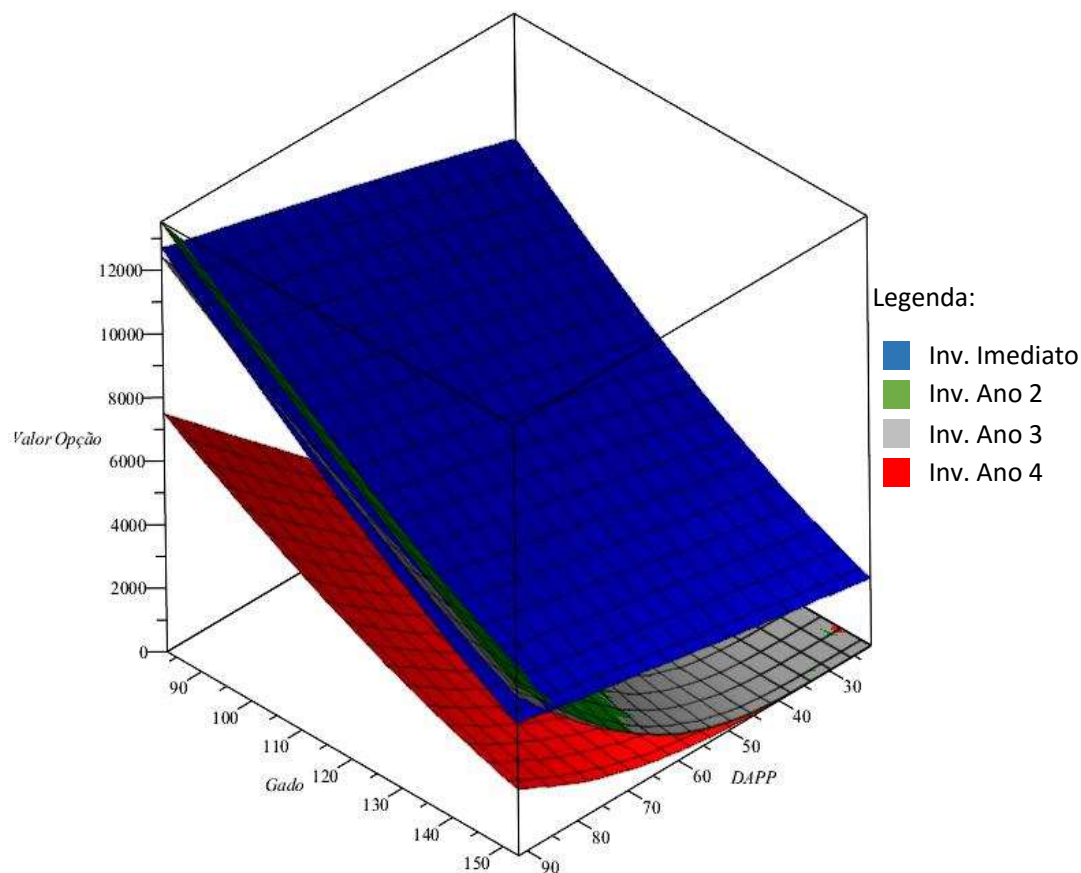


Figura 35- Curvas para opção de Reflorestamento - Média de Longo Prazo –DAPP e gado  
Fonte: Elaboração Própria

A Figura 36 exibe os resultados da sobreposição das superfícies geradas para as opções de investimento imediato em reflorestamento e manejo silvipastoril, onde, para cenários de baixa nos preços de gado combinado com a elevação nas médias de preço da madeira-DAPP, a opção de se investir imediatamente em manejo silvipastoril se mostra inferior.

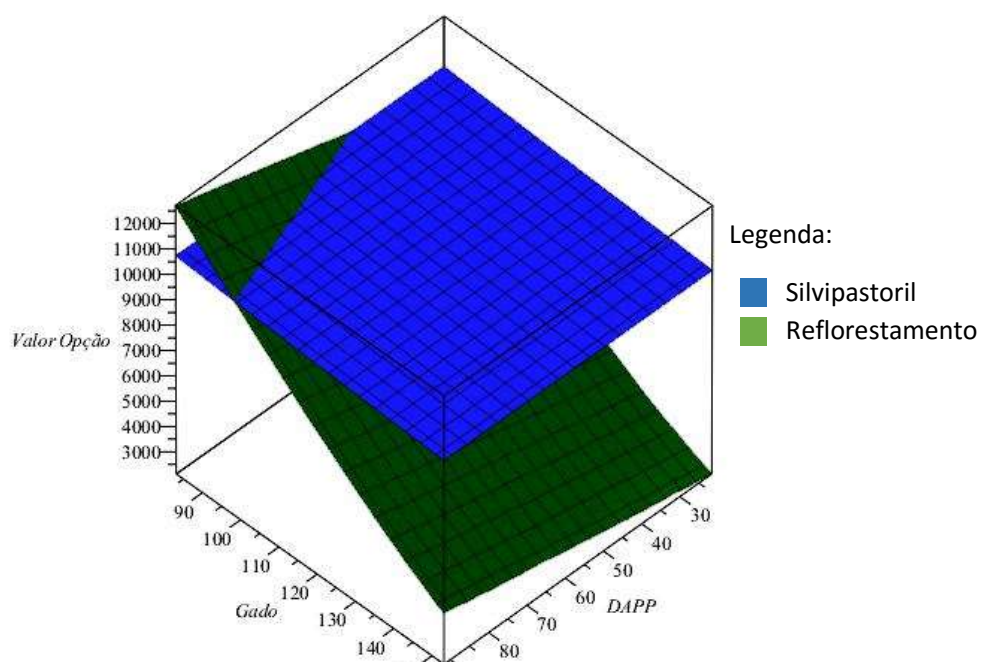


Figura 36- Sobreposição de curvas - Média de Longo Prazo –DAPP e gado  
Fonte: Elaboração Própria



7.

## CONCLUSÃO

Esta dissertação descreveu uma situação onde o produtor rural precisa tomar a decisão entre a manutenção no setor pecuarista ou investir no setor florestal ou, ainda, investir em manejo misto de produção. As escolhas podem ser feitas no instante inicial da produção ou anualmente até o quarto período, considerando um horizonte de tempo de 12 anos. Nesse sentido, foi proposta uma nova abordagem para o problema de decisão de investimento através da utilização da teoria de opções reais. Assim, foi desenvolvido um modelo de fluxo de caixa para uma propriedade genérica de 1 hectare, uma aplicação prática à realidade do setor no Brasil, dada a representatividade deste setor na economia.

A formulação matemática do problema exibe um considerável grau de dificuldade devido à existência de diversas fontes de incertezas técnicas e econômicas no setor, que exigiam um cauteloso refinamento em sua elaboração, elevando substancialmente a complexidade do problema. Há, ainda, uma limitação do uso de parâmetros técnicos utilizados, recomendando-se, portanto, cautela em sua aplicação para análise de parâmetros estrangeiros, devido à rentabilidade diferenciada encontrada nos outros países. Vale ressaltar que, apesar de se tratar de um problema com aplicação do VPL, a incorporação das incertezas representa um avanço na modelagem deste tipo de situação e, também, na literatura sobre o tema.

A análise das variáveis de decisão e dos preços dos produtos finais apontou para adoção do movimento de reversão à média, sendo válido apenas pelo teste da razão de variância, resultado comumente encontrado na literatura, podendo também ser explicado pela natureza de *commodity* dos produtos, enquanto que o teste da raiz unitária de Phillips-Perron não consegue rejeitar a hipótese de adoção do MGB. Entretanto, ressalta-se a necessidade de verificação da série histórica do preço da madeira, haja vista o comportamento anômalo apresentado pela mesma no teste da Razão de Variância na Figura 18. Tal resultado foi atribuído a problemas ou limitações da série devido seu mercado consumidor não amplamente conhecido, uma vez que o preço da madeira não é cotado da bolsa de valores brasileira (BM&FBOVESPA).

Como resultado final, foi obtido que o melhor investimento é o manejo silvipastoril, sendo explicado pelo seu potencial biológico de melhoramento da área produtiva, sendo capaz de manter ou melhorar a produção de gado. Além disso existe a floresta para ser vendida, aumentando assim a renda final. O atraso no investimento foi considerado na análise, porém o mesmo não se mostrou superior a imissão imediata, muito explicado pelo limite tempo imposto no modelo (12 anos) que reduz o volume final da floresta para a opção de postergar. Em outras palavras, caso o horizonte seja estendido, a opção de atrasar o investimento passará a ter um valor significativamente maior. O investimento em reflorestamento feito imediatamente também é uma opção viável – ainda que inferior ao manejo silvipastoril. O resultado combinado das opções se mostrou superior à análise individual. Isso indica que estas são opções *subaditivas*. Porém, não se consegue obter a rejeição da opção de manutenção da pecuária, devido à presença de cenários onde tal escolha seja ótima.

Buscando contrapor tais resultados, a análise de sensibilidade realizada sob as mesmas condições (número de simulações e neutralidade ao risco) indicou a existência de intercessões de resultados, o que representa a indiferença entre ambas opções de investimento imediato. Para acréscimos superiores a 40% nas despesas ocorre inversão da escolha ótima, assim o reflorestamento passar a ser a decisão que maximiza o valor presente do produtor rural. Observa-se também o padrão de comportamento das superfícies devido a inexistência de incertezas relacionadas à estrutura de custos utilizadas. Para a mesma análise não foram encontrados cenários com variações significativas para as opções de atrasar o investimento, exceto para o investimento no terceiro período em reflorestamento para casos onde os custos de produção da pecuária de corte cresçam mais de 20%, e para investimento em manejo silvipastoril no segundo período para casos onde os custos da mesma sejam acrescidos 40% ou mais.

A próxima análise se baseou na alteração da média de longo prazo das variáveis de decisão. Primeiramente foram analisados os resultados para alteração na média de preços para o gado e madeira-DAPM, que impactam todas as opções. Dada uma diminuição no preço da madeira, a opção de investir imediatamente se torna menos valiosa e quando a média atinge o preço de R\$ 60,00/st, a opção de atrasar o investimento se torna mais valiosa, decaindo com o aumento da média de

preço do boi gordo. A valoração da opção de atraso ocorre devido à proximidade de preços entre DAPM e DAPP, reduzindo a atratividade pela espera de crescimento da madeira, para que a mesma seja classificada em uma classe superior de preços.

Para o cenário silvipastoril ocorre uma situação semelhante, onde a desvalorização no preço da madeira diminui o valor da opção de investimento imediato, fazendo com que a espera ou a manutenção da pecuária seja valorizada, sendo significativamente influenciada pela estrutura de custos elevada nos anos iniciais do manejo. Analisando sob a ótica da variação nas médias de longo prazo do preço do gado, o aumento conjunto de ambas as variáveis analisadas faz com que a opção seja valorizada. O mesmo vale em caso de redução dos preços do gado. Conclui-se que o valor da opção de investimento ao manejo silvipastoril é atribuído principalmente à variação de na média de longo prazo do preço da madeira-DAPM, devido à influência menos significativa da outra média de longo prazo analisada, não foi avaliada a possibilidade de corte antecipado da floresta e venda da madeira e reinício do ciclo (análise do tempo ótimo de corte).

Para a análise com a variação da média de longo prazo do preço da madeira-DAPP foi observada a ínfima influência do mesmo sobre o valor da opção de imissão em manejo silvipastoril, haja vista que esta variável é empregada somente para a opção de reflorestamento no momento da venda da madeira obtida com o desbaste. Para valores, na média de longo prazo da madeira-DAPP superiores a R\$ 80/st, foi observado o aumento na opção de postergar o investimento em floresta, pois o crescimento nesta variável de decisão reduz o interesse dos produtores em manter as florestas em pé objetivando o corte do produto com diâmetro elevado.

## 7.1

### **Sugestões para trabalhos posteriores**

Por se tratar de um estudo com aplicação de uma metodologia diferenciada, os campos para aplicações futuras são vastos. Entre elas destacam-se a inclusão de novas variáveis de decisão. Neste sentido, são sugeridas como oportunidades de desenvolvimento os seguintes trabalhos futuros:

- Aprimoramento das funções de custo de produção, com a inclusão de variáveis como o preço do boi magro, que também é cotado em bolsa, ou a variação nos insumos necessários para a silvicultura;
- Utilização de um modelo no qual a média de longo prazo seja também uma variável estocástica (fonte de incerteza), ao invés de ser uma constante;
- Elaborar análise de investimento considerando o mercado de créditos de carbono;
- Avaliar a opção de exercício antecipado do corte das árvores no manejo silvipastoril;
- Estender o horizonte de planejamento, para melhor visualização a análise da opção de postergar o investimento, principalmente para a silvicultura;
- Utilização de outros processos estocásticos, sugerindo principalmente a utilização do modelo de dois fatores e/ou movimento de reversão com saltos (*jumps*);
- Modelar o problema como uma árvore trinomial recombinante;
- Aplicar metodologia das diferenças finitas implícitas e explícitas;
- Modelar o problema como uma Opção Americana;
- Aplicação de Algoritmos Genéticos, estendendo os problemas de simulação para problemas de simulação com otimização associada.

## 8.

**Referências bibliográficas**

ALVES, François Lopes. **Características de Eucalipto e de Braquiária em sistema Silvipastoril**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-UFRRJ. Departamento de Engenharia Florestal. Seropédica. 33 p. 2013

AUIBE, F. A. L. **Modelos Quantitativos em Finanças: com Enfoque em commodities**. Editora Bookman. Porto Alegre. 438 p. 2013

AZEVEDO, Ana Lucia. **Com um boi por hectare, pecuária extensiva degrada cerrado**. Jornal eletrônico O Globo. 16/09/2015. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/com-um-boi-por-hectare-pecuaria-extensiva-degrada-cerrado-17490426>>. Acessado em: 10/09/2015.

BARAN, Flavio D. **Avaliação de uma Floresta de Eucaliptos na Presença de um Mercado de Certificados para Emissões de Carbono: Uma Abordagem por Opções Reais**. Dissertação Mestrado-Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Departamento de Engenharia Industrial. Rio de Janeiro, RJ. 2005.

BARBOSA, Fabiano Alvim; GRAÇA, Décio Souza; ANDRADE, Venício José; CEZAR, Ivo Martins. **Realidade econômica da pecuária de corte brasileira na última década**. 19/06/2014. BeefWorld. Disponível em: <<http://www.beefworld.com.br/noticia/realidade-economica-da-pecuaria-de-corte-brasileira-na-ultima-decada>>. Acessado em: 23/06/2015.

BARBOSA, Fabiano Alvim. **Viabilidade econômica de sistemas de produção de bovinos de corte em propriedades nos estados de Minas Gerais e da Bahia**. Tese Doutorado-Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Escola de Veterinária. 2008. 137p.

BASTIAN PINTO, C. L. **Modelagem de opções reais com processos de reversão à média em tempo discreto: uma aplicação na indústria brasileira de etanol**. Tese de Doutorado-Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Departamento de Engenharia Industrial. 2009.

BERTOLANI, F.; NICOLIELO, Norival; CHAVES, Raul. **Manejo de Eucalyptus sp para serraria: A Experiência da Duratex S.A.** Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria. Botucatu/SP. 1995.

BESSEMBINDER, Hendrik; COUGHENOUR, Jay F.; SEGUIN, Paul J.; SMOLLER, Margaret M. **Mean Reversion in Equilibrium Asset Prices: Evidence from the Future Term Structure.** The Journal of Finance. Vol. 50. No. 1, pp. 361-375. Mar. 1995

BRASIL. Lei Nº 9.393, de 19 de Dezembro de 1996. **Regulamentação do Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural – ITR.** Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9393.htm#art11](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9393.htm#art11). Acessado em: 15/01/2016.

CARDOSO, Samuel de Oliveira. **Análise de Investimento de Capital na Indústria Brasileira de papel e celulose por Meio da Teoria das Opções Reais: O caso da Fibria Celulose S.A.** Dissertação Mestrado-Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Departamento de Engenharia Industrial. Rio de Janeiro, RJ. 2014.

CHLADNÁ, Zuzana. **Determination of optimal rotation period under stochastic wood and carbono prices.** Forest Policy and Economics. Pg. 1037-1045. 2009.

COELHO, Vitor Cezar Miessa. **Avaliação do manejo da produção econômica de madeira Pinus taeda L. com características qualitativas superiores.** Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2010.

COPELAND, Thomas E.; WESTON, Fred; SHASTRI, Kuldeep. **Financial Theory and Corporate Policy.** Pearson Addison Wesley. 4º Ed. 2005.

CORDEIRO, I. M. Castro Coimbra; et al. **Análise Econômica dos sistemas de cultivo com Schizolobium parahyba var. amazonicum (Huber ex Ducken) Barneby (Paricá) E Ananas comosus var. erectifolius (L. B. Smith) Coppus & Leal (Curauá) no município de Aurora do Pará (PA), Brasil.** Revista de la Facultad de Agronomía Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. Vol. 26. Pg. 243-265. 2009.

COUTINHO FILHO, José Luiz Viana. *Et al.* **Produção de carne bovino contemporâneos, machos e fêmeas, terminados em confinamento.** *Revista Brasileira de Zootecnia*. V 35. n 5. Pg. 2043-2049. 2006.

DENG, Yu. **Investment Decison Analysis of Alberda Cattle Industry: A Real Options Approach.** Dissertação de Mestrado. University of Alberta. Agricultural and Resouce Economics. 117p. 2006.

DIAS. M. A. G. **Análise de Investimento com opções reais: teoria e prática com aplicações em petróleo e em outros setores.** Volume 1. Rio de Janeiro: Interciência. 358p. 2014.

DIAS. M. A. G. **Análise de Investimento com opções reais: teoria e prática com aplicações em petróleo e em outros setores.** Volume 2. Rio de Janeiro: Interciência. 358p. 2015.

DIXIT, Avinash K.; PINDYCK, Robert S. **Investment under uncertainty.** Princeton, N. J.: Princeton University Press. 468p. 1994.

DIXIT, Avinash K.; PINDYCK, Robert S. **The Options Approach to Capital Investment.** Havard Business Review. Maio de 1995.

EBOLI, Ivo Pera. **Modelo de comparação entre rendimentos obtidos com plantios de eucalipto com manejo convencional e com manejo para uso múltiplo.** EMATER/MG. 2008.

FEDERAÇÃO DE AGRICULTURA DO ESTADO DO PARANÁ. **Preços da Arroba do boi gordo chegaram ao pior nível dos últimos 50 anos.** Boletim informativo nº 940, semana 18 a 24 de dezembro de 2006. Disponível em: <<http://www.faep.com.br/boletim/bi940/bi940pag13.htm>>, Acessado em: 13/04/2015.

FREY, Gregory E.; et al. **A real options to assess the role of flexibility in forestry and agroforestry adoption and disadoption in the Lower Mississippi Alluvial Valley.** *Agricultural Economics*. V 44. Pg. 73-91. 2013

GASTALDI, Heitor L. Gut; MINARDI, Andrea M. A. F. **Opções Reais em Investimentos Florestais.** *Insper Working Paper*. 34p. 2012.

GJOLBERG, Ole. GUTTORMSEN, G. **Real options in the forest: what if prices are mean-reverting?** *Forest Policy and Economics*. Pg. 13-20. 2002.

GRADO, S. C.; HOVERMALE, C. H.; LOUIS, G. St. **A financial analysis of a silvopasture system in southern Mississippi.** *Agroforestry Systems*. Pg. 313-322. Kluwer Academic Publishers. 2001.

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. **Econometria Básica.** 5º Ed. AMGH. Porto Alegre. 924 p. 2012

HAHN, W. J.; DYER, J.S. **Discrete Time Modeling of Mean-Reverting Stochastic Processes for Real Option Valuation.** *European Journal of Operational Research*, v. 183, n. 2, p.p. 534-548, Jan, 2008.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2015.** Disponível em: [http://iba.org/images/shared/iba\\_2015.pdf](http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf). Acessado em: 03/01/2016. 80p. 2015.

INSLEY, Margaret. **A Real Options Approach to the Valuation of a Forestry Investment.** *Journal of Environmental Economics and Management*. V 44. 471-492. Elsevier Science. 2002.

KHAJURIA, Rajender Prasad. **Three Essays on Real Options analysis of forestry investments under stochastic timber prices.** University of Toronto. 125p. 2008.

KLOCK, Umberto. **Medição de Madeira.** Universidade Federal do Paraná. Engenharia Industrial Madeireira. Notas de Aula. 2013.

KULATILAKA, N. **The Value of Flexibility: the Case of a Duel-Fuel Industrial Steam Boiler.** *Financial Management*, v. 33, p. 255-240, 1993.

LAUGHTON, D., JACOBY, H. **Reversion, timing options, and long-term decision making.** *Financial Management* 33, 225–240, 1993.

MEDEIROS, A.L.; MONTEVECHI, J. A. B. **Modelagem da equação de previsão do preço da arroba de boi gordo através da regressão linear múltipla.** XII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil, 7 a 9 de Novembro de 2005.

MENDONÇA, Cristiana Lubrano de. **Teoria das opções reais: aplicação em parcerias público-privadas (PPP), um estudo de caso em sistemas**



**metroviários.** Dissertação Mestrado-Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2014.

MORCK, Randall; SCHWARTZ, Eduardo; STANGELAND, David. **The Valuation of Forestry Resources under Stochastic Prices and Inventories.** Journal of Financial and Quantitative Analysis. Vol. 24. Nº 4. 1998.

MORETTIN, Pedro A.; TOLON, Clélia M. **Análise de Séries Temporais.** 2º Ed. São Paulo. Editora Blücher. 2006.

MÜLLER, M. Dias; SALES, Thiago T.; PACIULLO, Domingos S. C.; BRIGHENTI, Alexandre M.; CASTRO, Carlos R. T. **Equações de Altura, Volume e Afilamento para Eucalipto e Acácia Estabelecidos em sistema silvipastoril.** Revista Floresta. Curitiba/PR, V. 44, n. 3, p. 473-484, Jul/Set, 2014.

NASCIMENTO, C. Caldas do. **O valor da opção do carro Flex por região geográfica do Brasil: uma aplicação do TOR com MRM.** Dissertação mestrado-Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Departamento de Engenharia Industrial. Rio de Janeiro, RJ. 2012.

NASCIMENTO, Sebastião. **Pecuária “Salva a lavoura” e sustenta o PIB do agronegócio.** Revista Globo Rural. 24 de Março de 2015. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/Colunas/sebastiao-nascimento/noticia/2015/03/pecuaria-salva-lavoura-e-sustenta-o-pib-do-agronegocio.html>. Acessado em: 01/04/2015

OLIVEIRA, Tadário Kamel de; MACEDO, Renato L. G.; VENTURIN, Nelson; HIGASHIKAWA, Emílio Manabu. **Desempenho Silvicultural e Produtivo de Eucalipto sob diferentes arranjos espaciais em sistema Agrosilvipastoril.** Pesquisa Florestal Brasileira. Colombo. n 60. 2009.

PAINEL FLORESTAL. **Relatório indica tendência de queda nos preços da madeira mundiais no 3º trimestre.** 07 de Dezembro de 2012. Disponível em: <http://www.painelflorestal.com.br/noticias/internacional/relatorio-indica-tendencia-de-queda-nos-precos-da-madeira-mundiais-no-3-trimestre>. Acessado em: 01/07/2015.

PINDYCK, R. S. **The Long Run Evolution of Energy Prices**. The Energy Journal, v. 20, n. 2, p.p. 1 - 27, 1999. Acessado em 29/06/2015. Disponível em: [http://web.mit.edu/rpindyck/www/Papers/Long-Run\\_Evolution.pdf](http://web.mit.edu/rpindyck/www/Papers/Long-Run_Evolution.pdf).

PORTAL BRASIL. **Rebanho bovino brasileiro cresce e chega a 212,3 milhões de cabeças de gado**. 09 de Outubro de 2015. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/10/rebanho-bovino-brasileiro-cresce-e-chega-a-212-3-milhoes-de-cabecas-de-gado>>. Acessado em: 09/11/2015.

POTTER, Michal E. **Capital disadvantage: American's failing capital investment system**. Havard Business Review. 1992. Disponível em: <https://hbr.org/1992/09/capital-disadvantage-americas-failing-capital-investment-system/ar/1>>. Acessado em: 09/02/2015.

RAMOS, A. P. S.; BASTIAN-PINTO, Carlos de L.; OZORIO, Luiz de M.; BRANDÃO, Luiz E. T. **Avaliação da flexibilidade gerencial na pecuária de corte com a teoria de opções reais**. XXXVII EnANPAD. Rio de Janeiro. 2013.

SAMANEZ, C.P., FERREIRA, L.R., NASCIMENTO, C.C., COSTA, L.A., BISSO, C.R. **Evaluating the economy embedded in the brazilian ethanol-gasoline flex-fuel car: A real options approach**. Applied Economics, 46 (14), 2014.

SAMANEZ, C.P; LEVI, S.HG. **Avaliação de projetos e orçamentação de capital: teoria de opções reais vs simulação monte carlo**. Revista de Economia e Administração, V1, N.1, Jan/Mar. 2002.

SANTOS, Sibela da Silva; GRZEBIELUCKAS, Cleci. **Sistema Silvipastoril com eucalipto e pecuária de corte: uma análise de viabilidade econômica em uma propriedade rural em Mato Grosso/Brasil**. Custos e Agronegócio. V. 10, N. 3, Jul/Set. 2014.

SCHWARTZ, Eduardo S.; TRIGEORGIS, Lenos. **Real options and investment under uncertainty: Classical readings and recent contributions**. London : MIT Press, 871p., 2001

SIPP, Alisiane Mara. **Análise de viabilidade econômica de bovinos de corte em uma propriedade rural**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade

Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento de Ciências e Engenharia. 2011.

SMIT, Han T. J.; TRIGEORGIS, Lenos. **Strategic investment: real options and games**. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2004.

STAINBACK, G. Andrew; ALAVALAPATI, Janaki R. R. **Restoring longleaf pine through silvopasture practices: an economic analysis**. Forest Policy and Economics. Volume 6. Issue3-4. Pg. 371-378. 2004

TRIGEORGIS, Lenos. **Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation**. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

VALE, Rodrigo Silva do. **Agrossilvicultura com Eucalipto como alternativa para o desenvolvimento sustentável da Zona da Mata de Minas Gerais**. Tese de Doutorado-Universidade Federal de Viçosa (UFV). Viçosa, MG. 2004.