

UFRRJ
INSTITUTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

DISSERTAÇÃO

**A Aplicação do Método “Opções Reais” em Estudos
de Produção Animal**

Deygiane Theodoro Xavier

2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**A Aplicação do Método “Opções Reais” em Estudos de Produção
Animal**

DEYGIANE THEODORO XAVIER

Sob a Orientação do Professor
Afonso Aurélio de Carvalho Peres

Co-orientação da Professora
Glaudiane Lilian de Almeida

e Co-orientação do Professor
Carlos Augusto Brandão de Carvalho

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra** no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal.

Seropédica, RJ
Agosto de 2019

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

X3a Xavier, Deygiane Theodoro, 1993-
A Aplicação do Método "Opções Reais" em Estudos de
Produção Animal / Deygiane Theodoro Xavier. -
Seropédica, 2019.
44 f. : il.

Orientador: Afonso Aurélio de Carvalho Peres.
Coorientadora: Gláudiane Lillian de Almeida.
Coorientador: Carlos Augusto Brandão de Carvalho.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Pós-Graduação em Zootecnia,
2019.

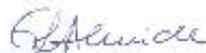
1. Viabilidade econômico-financeira. 2. Teoria de
opções reais. 3. Bovinocultura. I. Peres, Afonso
Aurélio de Carvalho, 1973-, orient. II. Almeida,
Gláudiane Lillian de -, coorient. III. Carvalho,
Carlos Augusto Brandão de -, coorient. IV
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Pós
Graduação em Zootecnia. V. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

DEYGIANE THEODORO XAVIER

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de Concentração em Produção Animal.

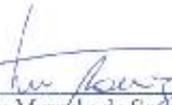
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 07/08/2019



Gláudiane Lillian de Almeida, Dr^a, UFRJ
(Presidente)



André Moraes Moysa, Dr. UFRJ



Paulo Marcelo de Souza, Dr. UFRJ

DEDICO

Aos meus pais, Carlos Antônio e Denisia
Aos meus irmãos Júnior e Eliza
Ao meu companheiro Fabio Luiz

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou
sobre aquilo que todo mundo vê.”
Arthur Schopenhauer*

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Carlos Antônio Xavier e Denisia do Carmo Theodoro Xavier, pelos valores transmitidos, pela esperança em mim depositada e pelo incentivo.

Aos meus irmãos Júnior e Eliza, pelo companheirismo e amizade.

Ao meu companheiro Fabio Luiz, pela paciência, carinho e incentivo que sempre me ofereceu.

Ao meu orientador Afonso Aurélio de Carvalho Peres, pela confiança, orientação técnica e profissional.

A minha co-orientadora Glaudiane Lilian de Almeida, pelos ensinamentos e empenho dedicado à elaboração do trabalho.

Ao meu co-orientador Carlos Augusto Brandão de Carvalho, pela confiança depositada a mim desde a graduação e pela orientação.

A todos meus amigos, os de perto e de longe, que transformaram essa caminhada mais leve.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

XAVIER, Deygiane Theodoro. **A Aplicação do Método “Opções Reais” em Estudos de Produção Animal**. 2019. 43p Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Instituto de Zootecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; Seropédica, RJ, Brasil, 2019.

Em qualquer atividade com fins lucrativos o planejamento e a gestão desempenham papel determinante no sucesso ou insucesso da mesma. O método de fluxo de caixa descontado é o mais utilizado na verificação da viabilidade de projetos. Porém, a eficiência desse método vem sendo fortemente questionada uma vez que, sua aplicação pode induzir a decisões de investimentos equivocadas, por não levar em consideração duas características importantes, que são a irreversibilidade e a flexibilidade da decisão de investir. Neste contexto a Teoria de Opções Reais (TOR) aparece na literatura como auxílio ao fluxo de caixa descontado quando se realizam os estudos de viabilidade econômico-financeira de projetos de investimento. Com o intuito de aplicar esses conceitos esse trabalho tem como objetivo analisar Teoria de Opções Reais (TOR) sobre um sistema de produção bovina leiteira, analisada anteriormente por Peres (2006), baseado no uso de pastagem de capim-Mombaça usando diferentes fontes de suplementação volumosa. Os dados de informações econômicas dos sistemas foram obtidos durante o período de outubro de 2003 a setembro de 2005. A composição dos dez anos subsequentes foi realizada, a partir dos desempenhos produtivos e reprodutivos apresentados, considerando o descarte de vacas e a aquisição de novas matrizes ao longo do tempo. Os dados foram atualizados pelo IGP- DI. Foram utilizados os indicadores VPL, TIR e a análise de sensibilidade da metodologia tradicional. Com o auxílio desses, foi avaliado o valor da flexibilidade de expansão que o projeto apresenta. Essa flexibilidade foi avaliada utilizando a Teoria das Opções Reais em tempo discreto. Para isso foi utilizada a metodologia proposta por Copeland & Antikarov (2001). O resultado da análise da opção de expansão apresentou aumento nos valores dos projetos em 6,89% e 19,76% para os sistemas suplementados com aveia-preta e silagem de sorgo, respectivamente. Os resultados obtidos para os valores presentes líquidos expandidos (VPLs expandido) para os sistemas analisados foram de R\$ 141.642,39 e 58.013,07 para os sistemas suplementados com aveia-preta e silagem de sorgo, respectivamente.

Palavras-chave: Bovinocultura, Teoria de opções reais, Viabilidade econômico-financeira.

ABSTRACT

XAVIER, Deygiane Theodoro. **The Application of the "Real Options" Method in Animal Production Studies.** 2019. 43p Dissertation (MS degree in Animal Science). Institute of Animal Science. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; Seropédica, RJ, Brazil, 2019.

In any for-profit activity, planning and management play a key role in its success or failure. The discounted cash flow method is the most used method to verify the viability of projects. However, the efficiency of this method has been strongly questioned since its application may lead to wrong investment decisions, as it does not take into account two important characteristics, which are the irreversibility and flexibility of the investment decision. In this context the Real Options Theory (TOR) appears in the literature as a discounted cash flow aid when conducting economic-financial feasibility studies of investment projects. In order to apply these concepts, this paper aims to analyze Real Options Theory (TOR) on a dairy cattle production system, previously analyzed by Peres (2006), based on the use of Mombaça grass pasture using different sources of supplementation. bulky. The economic information data from the systems were obtained from October 2003 to September 2005. The composition of the following ten years was based on the productive and reproductive performances presented, considering the culling of cows and the acquisition of new breeders. over time. Data were updated by IGP-DI. The NPV, IRR indicators and sensitivity analysis of the traditional methodology were used. With their help, the value of the expansion flexibility that the project presents is evaluated. This flexibility was evaluated using the discrete-time Real Options Theory. For this, the methodology proposed by Copeland & Antikarov (2001) was used. The result of the expansion option analysis showed an increase in the project values by 6.89% and 19.76% for the systems supplemented with black oats, cane and sorghum silage, respectively. The results obtained for the expanded net present values (expanded NPV) for the analyzed systems were R\$ 141,642.39 and R\$ 58,013.07 for the systems supplemented with black oat, forage and sorghum silage, respectively.

Key words: Bovine farming, Theory of real options, Economic-financial feasibility.

ÍNDICES DE TABELAS

Tabela 1. Taxa de lotação média (TLM, animais/ha), carga animal média (CAM, U.A./ha) e a Produção de leite média diária (PLMD, kg/vaca/dia) de vacas leiteiras em pastagem de capim-Mombaça, durante a estação chuvosa.....	18
Tabela 2. Taxa de lotação média (TLM, animais/ha), carga animal média (CAM, U.A./ha) e a Produção de leite média diária (PLMD, kg/vaca/dia) de vacas leiteiras em pastagem de capim-Mombaça, durante a estação seca.....	19
Tabela 3. Valor presente líquido, em reais (R\$), dos sistemas de produção, para as taxas de desconto de 6, 8,10 e 12 % ao ano.....	20
Tabela 4. Taxa interna de retorno, em %, obtida para cada sistema de produção.	20
Tabela 5. Classificação dos três itens mais sensíveis do fluxo de caixa dos sistemas suplementados com aveia-preta ou silagem de sorgo, em reais (R\$), quando submetidos a uma taxa de desconto de 6% ao ano e desvalorização de 10% no sentido desfavorável.	21
Tabela 6. Produção de leite tipo B, em litros, do módulo 1 para os sistemas suplementados com aveia-preta e silagem de sorgo.....	21
Tabela 7. Série do preço de comercialização do leite no estado de São Paulo, para o período de janeiro de 2005 a dezembro de 2018.	22
Tabela 8. Valor presente líquido tradicional, valor da opção e valor presente líquido expandido, para os sistemas de produção, em R\$.	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Movimentos de um ativo pelo modelo binomial.	13
Figura 2. Movimentos de uma opção de compra de um período.	14
Figura 3. Movimentos de uma opção de venda de um período.	14
Figura 4. Árvore binomial de um período.	15
Figura 5. Árvore binomial dois períodos.	16
Figura 6. Árvore de eventos do sistema suplementado com aveia-preta, para o período de 12 anos.	25
Figura 7. Árvore de decisão do sistema suplementado por aveia-preta, para o período de 12 anos.	25
Figura 8. Árvore de eventos do sistema suplementado com silagem de sorgo, para o período de 12 anos.	26
Figura 9. Árvore de decisão do sistema suplementado com silagem de sorgo, para o período de 12 anos.	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Análise de Investimentos com Base nos Indicadores Tradicionais	3
2.1.1 Valor presente líquido (VPL)	3
2.1.2 Taxa interna de retorno (TIR)	4
2.1.3 <i>Payback</i> descontado	4
2.1.4 Relação benefício/custo	5
2.1.5 Análise de Sensibilidade	5
2.2 Problemas na Análise Tradicional de Viabilidade Econômico-financeira	6
2.3 Análise de Investimentos com Base na Metodologia de Opções Reais em Tempo Discreto	7
2.3.1 Opções financeiras	7
2.3.2 Opções reais	8
2.3.3 Classificação das opções reais	9
a) Opção de abandono	9
b) Opção de adiamento	10
c) Opção de expansão	10
d) Opção de mudança	11
e) Opção de contração	11
f) Opção de investimento por estágios (Time-to-build option)	11
g) Opção de mudança de uso (Inputs ou Outputs)	11
2.3.4 Técnicas de apreçamento de opções	12
2.3.5 Modelo de Black e Scholes	12
2.3.6 Modelo binomial	13
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Caracterização da Pesquisa	17
3.2 Coleta de Dados	17
3.3 Caracterização do Sistema	17
3.4 Indicadores Zootécnicos	18
3.5 Análise de Dados	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5 CONCLUSÃO	29
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 INTRODUÇÃO

O produtor rural passa por dificuldades para permanecer competitivo no mercado brasileiro caracterizado pela grande concorrência e pelas oscilações sofridas no preço de venda do produto. Como estratégia para tornar seu produto competitivo, o produtor necessita administrar as variáveis que estão sob seu controle, com gerenciamento dos custos e ganhos de escala. Nesse sentido, a administração rural se mostra uma importante ferramenta, pois através dela o produtor passa a avaliar sua atividade economicamente, conhecer os detalhes e utilizar, de maneira inteligente e econômica, os fatores de produção, aliando informações zootécnicas com informações econômicas.

Os indicadores econômicos de uma atividade podem ser obtidos por meio das análises de “Custo de Produção” e “Viabilidade Econômico-Financeira”. Segundo Peres et al. (2016), utiliza-se a análise de custo de produção, quando se deseja informações de uma atividade já em andamento, analisando dados reais levantados juntos a atividade. Quando a intenção é planejar uma atividade, por um período de longo prazo, a análise da viabilidade econômico-financeira é mais indicada.

Ao analisar o custo de produção de uma atividade podem-se utilizar metodologias distintas: o Custo Operacional de Produção proposto por Matsunaga et al. (1976), o Custo Total como tradicionalmente descrito por Hoffmann (1987) que divide os custos em fixos e variáveis ou o Custo de Produção e Análise de Rentabilidade conforme apresentado por Lopes & Carvalho (2002). Após o levantamento das saídas, entradas, do capital imobilizado e a determinação da depreciação dos bens, identifica-se os custos fixos e os custos variáveis. A partir destas informações é possível determinar o custo operacional efetivo, custo operacional total e o custo total (componentes do custo de produção) e, a partir destes determinar as medidas de resultados econômicos (receita ou renda bruta, margem bruta, margem líquida, resultado, lucratividade e rentabilidade).

A análise de viabilidade econômico-financeira de uma proposta de investimento permite identificar os principais indicadores econômicos de rentabilidade, o Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno, bem como estimar o tempo de recuperação do capital investido (*payback* descontado) e o Custo anual equivalente. Para isto, utiliza-se da construção de um fluxo de caixa, que considera todas as entradas e saídas previstas na atividade, sendo este submetido à influência de diferentes taxas de desconto, taxas estas escolhidas, considerando uma taxa mínima de atratividade definida pelo investidor. E ainda, podem-se realizar as análises de Sensibilidade e Risco da atividade, com o objetivo de conhecer os itens que mais influenciam nos resultados dos indicadores VPL e TIR e a probabilidade de insucesso da atividade, diante das oscilações de preços ocorridas no mercado, respectivamente.

Entretanto, Dixit & Pindyck (1994) relataram que a metodologia tradicional não reconhece a importância qualitativa e quantitativa das implicações da interação entre a irreversibilidade, a incerteza e a escolha do tempo real para alcançar os indicadores estimados, o que pode explicar algumas falhas nesta metodologia. Copeland et al. (2000) afirmaram que a análise do fluxo de caixa descontado tende a subestimar o valor de um projeto porque ela é ineficaz para capturar adequadamente os benefícios da flexibilidade operacional e outros fatores estratégicos como investimentos subsequentes. Sendo assim, as flexibilidades são importantes e devem ser incorporadas na análise do projeto. Para tanto, vem sendo proposta uma abordagem alternativa, fundamentada na teoria de opções financeiras. Essa nova abordagem é chamada de “Teoria de Opções Reais”.

A Teoria de Opções Reais é o valor da opção de investir, contemplando a flexibilidade gerencial na avaliação de investimentos podendo ser calculada através dos métodos de precificação de opções, que são ferramentas promissoras na análise de questões estratégicas (NARDELLI, 2009).

Segundo Dixit & Pindyck (1994), os principais conceitos associados a teoria de Opções Reais são a irreversibilidade, a incerteza e a flexibilidade de se alterar a estratégia inicial do projeto. A Teoria de Opções Reais, segundo Nardelli (2009), é a melhor abordagem para se avaliar projetos que possuam opções operacionais e estratégicas significativas, alegando que ela consegue integrar estratégia e finanças.

É neste cenário que se insere este trabalho, que procura mostrar a aplicação da Teoria de Opções Reais no ambiente pecuário. Isso porque na pecuária, questões pertinentes para esta teoria são de praxe, entre elas a oscilação de preços das matérias-primas, dos produtos, dos insumos e de volume de produção por conta das condições climáticas e de mercado. Estas são incertezas associadas naturalmente a qualquer projeto agropecuário, que trazem opções de adiamento, abandono, contratação, expansão, dentre outros, que são o foco de precificação da Teoria de Opções Reais.

São objetivos analisar a viabilidade da utilização da Teoria de Opções Reais (TOR) para expansão da produtividade um sistema de pecuária leiteira, baseado no uso de pastagem de capim-Mombaça, suplementada com aveia-preta ou silagem de sorgo.

São Objetivos específicos caracterizar o sistema de produção de pecuária leiteira com a identificação dos indicadores zootécnicos e econômicos, identificar o item de maior influência nos resultados econômicos do sistema e levantar o histórico de ocorrência dos preços praticados no mercado, realizar o levantamento de dados econômicos do sistema de produção, aplicar o método da Teoria de Opções Reais (TOR) de expansão no sistema de produção, identificando o comportamento financeiro, diante das oscilações de preços ocorridas no mercado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Análise de Investimentos com Base nos Indicadores Tradicionais

Na análise da viabilidade econômico-financeira, os indicadores econômicos de rentabilidade, Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) são os mais indicados para o investidor esclarecer-se sobre o investimento que deseja realizar ou a tecnologia que deseja implantar. São obtidos mediante a geração de um fluxo de caixa, que considera as entradas e saídas. Sobre esse fluxo de caixa, considera-se uma dada taxa de desconto. A taxa de desconto é definida como sendo o custo de capital ou o custo de oportunidade utilizado para uma análise de retorno. Na definição das possíveis taxas de desconto aplicadas, adota-se o uso de uma taxa mínima de atratividade (TMA), taxa esta que o investidor espera que o capital investido tenha remuneração superior (BLANK & TARQUIN, 2008).

A partir do fluxo de caixa descontado é possível a obtenção de alguns indicadores. Os principais indicadores econômicos serão descritos a seguir.

2.1.1 Valor presente líquido (VPL)

O VPL serve para avaliar a viabilidade econômica de cada sistema de produção, sendo considerado um critério de avaliação mais rigoroso e isento de falhas (CONTADOR, 1988). Corresponde à soma algébrica dos valores do fluxo de caixa do sistema de produção, atualizado a uma dada taxa de desconto no período em avaliação.

O cálculo do VPL reflete as preferências entre consumo presente e consumo futuro e a incerteza associada aos fluxos de caixa futuros. O processo por meio do qual os fluxos de caixa são ajustados a esses fatores chama-se desconto, e a magnitude desses fatores é refletida na taxa de desconto usada (custo do capital). O processo de desconto converte os fluxos de caixa futuros em valores presentes, pois fluxos de épocas diferentes não podem ser comparados nem agregados enquanto não forem colocados em uma mesma época (SAMANEZ, 2002).

De acordo com Dantas (1996), se o sistema de produção apresentar $VPL \geq 0$, será possível cobrir os custos de implantação e manutenção do sistema e remunerar o capital investido a uma taxa igual ou superior à taxa de desconto (TMA). Além disso, um VPL positivo significa que o investimento inicial está sendo recuperado e proporcionando uma proteção adicional que pode ser esperada se as estimativas do fluxo de caixa estiverem corretas e a alternativa de empreendimento completar seu prazo (SAMANEZ, 2009). Por outro lado, os projetos que apresentarem VPL negativo indicam que estes não pagam a taxa mínima de atratividade (TMA).

Porém, essa análise não considera a possível conexão entre um projeto a ser exercido hoje com outros a serem realizados no futuro. Um investimento não viável hoje pode, entretanto, representar um caminho para outros investimentos no futuro. Neste sentido, o valor de um investimento não é função apenas de seu fluxo de caixa futuro, mas poderá depender também de oportunidades resultantes de outros projetos (KESTER, 1984).

Existem também projetos que no ajuste dos riscos e na mensuração dos benefícios gerados podem apresentar VPL negativo, mas são projetos que poderão trazer uma imagem positiva para a empresa.

Em resumo, o VPL leva em consideração o valor do dinheiro no tempo. Para uma tomada de decisão, este não deve ser o único indicador avaliado para que o investidor decida pelo investimento. Recomenda-se sempre uma análise conjunta dos indicadores técnicos e econômicos inerentes ao investimento, onde quando analisados de forma conjunta, permitem ao investidor uma tomada de decisão mais consistente. Porém, o Valor Presente Líquido depende da determinação do custo de capital e é um conceito de mais difícil assimilação pelos empresários se comparada a Taxa Interna de Retorno.

2.1.2 Taxa interna de retorno (TIR)

Segundo Samanez (2002), a TIR é a taxa de retorno esperada do projeto de investimento, seu objetivo é encontrar uma taxa intrínseca de rendimento.

Ela é chamada de interna, pois não depende de taxas oferecidas no mercado que são utilizadas no VPL, no entanto é dependente dos fluxos de caixa do projeto e é preferida pelos empresários, pois estes podem avaliar o projeto a partir de taxas percentuais.

A empresa estará sendo viável quando gera caixa suficiente para remunerar o investimento a uma TIR igual ou superior ao custo de capital. Porém, se a TIR for maior que o custo de oportunidade do capital da empresa (taxa de retorno mínima exigida para os projetos de investimentos), significa que a empresa estará aumentando seu capital ao aceitá-lo. Caso contrário, deve ser rejeitado (NARDELLI, 2009). A TIR serve para o investidor conhecer a atratividade do investimento que pretende realizar, frente as outras oportunidades disponíveis no mercado. Analisar a rentabilidade financeira obtida frente aquela obtida, quando se define a taxa mínima de atratividade desejada.

2.1.3 Payback descontado

O *Payback* representa o período de tempo necessário para recuperação do investimento realizado no projeto e é um dos métodos mais utilizados nas decisões de investimento de longo prazo de acordo com Lemes Júnior et al. (2005). Para os autores, o *Payback* é um método fácil, bastante utilizado, onde as empresas costumam priorizar alternativas com curto período de recuperação do capital investido. Quando uma empresa estabelece o período máximo para o retorno do investimento, elas procuram reduzir o risco e valorizar a liquidez.

O *Payback* é chamado de *Payback* descontado quando é considerada taxa de desconto aplicada sobre o fluxo de caixa, ou seja, se considera o valor do dinheiro no tempo.

Para calculá-lo é necessário obter o fluxo de caixa acumulado, ou seja, o somatório de todos os fluxos de caixa da sua projeção do início ao fim. Normalmente, os primeiros meses são negativos e depois com o acúmulo de resultado positivo, esse valor torna-se positivo. A resposta vai ser obtida em função da composição do fluxo de caixa, de acordo com a unidade de tempo, podendo ser em anos, meses ou dias.

2.1.4 Relação benefício/custo

Esta relação indica quanto se espera ganhar por unidade de capital investido. A hipótese implícita em seu cálculo é que os recursos liberados ao longo da vida útil do projeto são reinvestidos à taxa mínima de atratividade (TMA) (SOUZA & CLEMENTE, 2004).

Segundo os mesmos autores a relação benefício/custo é a razão entre o valor presente do fluxo de benefícios esperado do projeto e o valor presente do investimento necessário para realizá-lo.

O investimento é considerado viável se apresentar a relação $B/C > 1$, tendo o seu VPL positivo, e quanto maior esta relação, mais atraente será o projeto. Caso contrário, se o projeto apresentar o $B/C < 1$, será inviável, não se aconselhando, a sua realização, visto que terá o seu VPL negativo.

Segundo Souza & Clemente (2001) o principal objetivo desta metodologia está na possibilidade de comparação entre os custos e benefícios associados aos impostos de estratégias alternativas, em termos de seus valores monetários, permitindo definir prioridades e adotar primeiro as estratégias cujos benefícios líquidos são mais elevados.

2.1.5 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade consiste em uma técnica que indica o quanto o VPL de um projeto varia em resposta à mudança de uma determinada variável, mantendo as outras variáveis constantes. Na análise, cada variável é alterada em pontos percentuais específicos acima do valor esperado para as saídas e abaixo para os valores dos itens de entradas, com os outros fatores mantidos constantes (WESTON & BRIGHAM, 2000). Pode-se também ser aplicado um duplo choque, ou seja, altera-se simultaneamente um determinado ponto percentual para as entradas e para as saídas, acontecendo desta forma um choque bilateral (SAMANEZ, 2002). Porém o mais recomendado é o uso do choque unilateral. Desta forma, a atividade sofrerá uma desvalorização percentual individual, sempre no sentido desfavorável ao produtor. A partir desses valores serão classificados os VPL's obtidos, identificando os itens de maior impacto econômico negativo nos resultados do investimento. Recomenda-se que a desvalorização de cada item seja na ordem de 10% sobre o preço médio do item de produção.

Através dessa análise, é possível observar de que maneira as variações ocorridas em uma das variáveis do empreendimento poderão influenciar sua viabilidade econômico-financeira. Além disso, permite determinar em que medida um erro ou modificação de uma das variáveis, incide nos resultados. Conforme Ross et al.(2002) através dessa análise, é possível detectar as áreas nas quais o risco de previsão é particularmente sério, de tal forma que é conveniente buscar informações adicionais referentes a essas áreas. Segundo Peres (2006) conhecer as variáveis com maior peso na determinação dos resultados do projeto é de extrema importância, pois, ao identificar os itens que devem ser estudados com maior cuidado, pode-se evitar que erros em subestimativas venham proporcionar grandes consequências.

2.2 Problemas na Análise Tradicional de Viabilidade Econômico-financeira

A análise financeira tradicional vem sofrendo inúmeras críticas, principalmente pelos profissionais responsáveis pela elaboração do planejamento estratégico das empresas. Estes profissionais argumentam que a grande preocupação com a análise financeira favorece os investimentos de curto prazo, porém os VPL's em investimentos de longo prazo são punidos pela incerteza e pela demora do recebimento de fluxos de caixa futuros (NARDELLI, 2009).

Segundo Brandão et al. (2006), a metodologia tradicional não consegue capturar a flexibilidade dos administradores para tomarem decisões ao longo da vida do projeto e conseguirem mapear, ao longo desta, riscos até então desconhecidos ou resultados diferentes dos previstos originalmente.

Brennan & Schwartz (1985) enfatizaram que a o cálculo do VPL foi formulado, originalmente, para investimentos com fluxos de caixa fixos e predeterminados. No entanto, ressaltaram que para utiliza-lo na avaliação de ativos reais, ou projetos sujeitos a risco, é necessária a aceitação implícita de duas suposições. A primeira delas é que os fluxos de caixas futuros podem ser representados por valores predeterminados ou por valores esperados. O que não é acertado, pois é desprezada a probabilidade de ocorrência dos mesmos e é ignorado o fato de serem incertos.

A segunda é a de que a taxa de desconto é conhecida, constante e depende somente do perfil de risco do projeto (BRENNAN & SCHWARTZ, 1985). No entanto, ela varia em função do tempo de vida remanescente do projeto e da lucratividade do mesmo, considerando que um maior ou menor lucro provoca alterações no grau de alavancagem operacional. Todavia, como a geração de caixa é incerta, a taxa de desconto também se torna, variável e incerta.

Hayes et al. (1988) criticaram a maneira como a maioria das empresas elaboram projeções dos fluxos de caixa futuros de seus projetos. Consideram "mecânica" a abordagem adotada, isto porque elas avaliam somente as consequências claramente associadas à decisão de investimento inicial, ignorando as consequências de decisões futuras. Para os autores, a metodologia tradicional presume uma análise projeto a projeto, cada um com sua própria exigência de capital. Não sendo capaz considerar a mutualidade entre diferentes projetos. Além disso, mesmo que as análises tradicionais projetem demandas, preços e custos corretamente, e considerem diversas sequências de investimentos possíveis, elas falham por não conseguirem captar as possibilidades de aprendizado e as opções de ações futuras proporcionadas por estas sequências. Estas possibilidades, segundo Myers (1987), podem fazer com que uma empresa aceite VPLs pequenos, ou até mesmo negativos, caso a implementação do mesmo seja indispensável para que a empresa tenha acesso a futuras oportunidades de negócio financeiramente vantajosas.

Essa é a realidade da análise de viabilidade econômico-financeira de projetos agropecuários, pois com a aplicação dessas análises convencionais ignoram-se as possibilidades de decisões futuras, causadas pelas incertezas inerentes ao agronegócio, tais como variação de preços e de volume de produção.

Estas questões foram discutidas por Brennan & Schwartz (1985), que definiram este problema como de avaliação da flexibilidade gerencial. A abordagem tradicional pode ser caracterizada como fixa, por ignorar a possibilidade de adoção de decisões gerenciais. Tais decisões como a alteração dos níveis de produção, o adiamento do início das operações, a expansão ou redução de capacidade, o encerramento das atividades, entre outras, poderão sem

dúvida, serem tomadas após o início do projeto, observando as condições de mercado que se verificarem no decorrer de sua vida útil. Segundo Myers (1987), os métodos de precificação de opções são ferramentas promissoras, na análise de questões estratégicas, especialmente a da interdependência sequencial entre projetos.

Trigeorgis & Mason (1987) mostraram que a aplicação da Teoria de Opções Reais (TOR) gera o *VPL expandido* o qual é o resultado da soma do VPL tradicional a um prêmio de opções proporcionado pelas oportunidades de flexibilidade gerencial. Os autores também apresentaram e analisaram diversos tipos de flexibilidades, tais como: opção de adiar, de expandir ou de contrair o empreendimento, opção de suspender temporariamente sua operação ou de abandoná-lo, dentre outras. Concluíram que o VPL tradicional por ignorar as opções do empreendimento, pode subestimar projetos.

No entanto, pode ser adequado aceitar projetos cujo VPL estático é negativo, se o prêmio da opção existir e compensar esse valor. A incerteza, as altas taxas de juros e horizonte de investimento de longo prazo são efeitos negativos sobre o VPL tradicional, porém podem ser compensados pelo valor das opções proporcionado pela flexibilidade gerencial. Os trabalhos de Myers (1987) e Trigeorgis & Mason (1987) mostraram que as limitações da utilização da técnica tradicional na avaliação de investimentos têm fundamento. Deste modo, a originalidade trazida pela TOR é a de indicar que o valor de um investimento pode ser quantificado pelo valor da opção que a flexibilidade gerencial proporciona ao investimento.

2.3 Análise de Investimentos com Base na Metodologia de Opções Reais em Tempo Discreto

No ano de 1973, Fisher Black e Myron Scholes publicaram um artigo onde apresentaram pela primeira vez, uma metodologia capaz de avaliar, de forma satisfatória, opções financeiras. Quatro anos depois, Myers (1977) relacionou esses conceitos aos investimentos reais, chegando à teoria das “Opções Reais”

2.3.1 Opções financeiras

De acordo com Hull (1998), a partir de 1973, quando as opções de ações foram, inicialmente, negociadas em bolsa de valores, os mercados de opções cresceram significativamente, surgindo uma demanda crescente por técnicas para uma avaliação mais exata do seu valor.

Uma opção é um contrato que dá a seu titular o direito, mas não a obrigação de comprar ou vender determinado ativo a um preço acordado anteriormente em ou até determinada data. Desta forma, quem possui a opção a usará apenas se esta decisão lhe for vantajosa (ROSS et al., 2002).

As opções financeiras são, geralmente, classificadas de acordo com a possibilidade de exercício antecipado. Enquanto as opções europeias só podem ser exercidas na data de vencimento, as opções americanas podem ser exercidas em qualquer momento até seu vencimento (HULL, 1998).

As opções são divididas em opções de compra e opções de venda. Uma opção de compra (C) dá ao seu titular o direito de comprar o ativo subjacente pagando o preço de exercício (X). Uma opção de venda (P) dá ao seu titular o direito de vender o ativo subjacente para receber o preço de exercício (X). O direito de comprar ou vender é obtido pelo comprador da opção mediante o pagamento de um prêmio ao vendedor.

A opção de compra só será exercida se o preço do ativo (S) supera o preço de exercício (X), caso contrário, a opção não será exercida, apresentando valor nulo (COPELAND & ANTIKAROV, 2001).

Para uma opção de compra, seu fluxo de caixa na data zero é o valor do prêmio e na data final será o máximo entre zero e a diferença entre os preços do ativo e de exercício ($S - X$). Se $S > X$ a opção será exercida, tendo fluxo de caixa diferente de zero no vencimento. Para se ter lucro é necessário que o ativo esteja valendo mais que a soma entre o preço de exercício e o valor atualizado do prêmio pago.

Diferentemente, uma opção de venda será exercida quando o preço de exercício (X) superar o preço do ativo (S), caso contrário apresentará valor nulo e não será exercida (COPELAND & ANTIKAROV, 2001).

Na opção de venda o fluxo de caixa na data zero é o valor do prêmio e na data final será o máximo entre zero e a diferença entre os preços de exercício e do ativo ($X - S$). Se $S < X$ a opção será exercida, possuindo fluxo de caixa diferente de zero na data de vencimento. Para se ter lucro é necessário que o ativo esteja valendo menos que a diferença entre o preço de exercício e o valor atualizado do prêmio pago.

2.3.2 Opções reais

A expressão “Opções Reais” foi, inicialmente, utilizada por Myers (1977), criando uma nova abordagem de análise de investimentos. Myers descreveu em seus estudos a analogia entre as oportunidades de expansão de uma empresa e a precificação de contratos de opções de compras financeiras, desenvolvidos por Merton em 1973.

A Teoria de Opções Reais (TOR) é uma metodologia para avaliação de ativos reais, como projetos de investimento, que leva em conta as flexibilidades operacionais e gerenciais ao longo da vida útil do projeto (CASTRO, 2000). No entanto, o grande diferencial da TOR é que ela valoriza a flexibilidade para reagir a eventos incertos, sendo seu ponto central a valorização do resultado líquido do projeto, considerando as incertezas (SAITO et al., 2010). Segundo os mesmos autores, a flexibilidade gerencial proporciona à empresa verificar o melhor momento de investir, de forma que ela possa maximizar os lucros e minimizar as perdas.

O modelo pode ser aplicado para vários tipos de investimentos. O investimento em recursos naturais, que se assemelha com os agropecuários, surgiu pelo ambiente se submeter aos preços de *commodities*, de alta volatilidade, investimentos de longo prazo, o que resultou em estimativas com maiores e melhores valores de opções (TRIGEORGIS, 2005). O autor comenta algumas aplicações para o mercado de *commodities* como petróleo, minerais, mercado agroindustrial e outros, e todos mostraram que a TOR forneceu melhores resultados que o modelo tradicional.

a) Conceitos fundamentais: irreversibilidade, incerteza e timing

Para Dixit & Pindyck (1994), investimentos são o ato de incorrer em custos imediatos na expectativa de futuros ganhos. A maioria das decisões de investimentos tem em comum importantes características que devem ser consideradas: irreversibilidade, incerteza e tempo - *timing*, bem como suas interações.

Todo projeto tem a característica de ser irreversível, ou seja, em caso de desistência, não é possível recuperar todo o montante empreendido. Dixit & Pindyck (2001), afirmaram

que, quando uma empresa realiza um investimento irreversível, está desistindo da possibilidade de aguardar novas informações que possam afetar positivamente seu valor. Desta forma, para Dixit & Pindyck (1994), a maioria dos custos de investimento é um custo perdido. Logo, a irreversibilidade faz com que a espera tenha valor somente quando a probabilidade de insucesso é significativamente baixa e que o investimento irreversível deve ser feito. A espera é reversível, com exceção nos investimentos do tipo “agora ou nunca”.

A incerteza sobre o futuro é a segunda característica importante na decisão de investir. Para Amran & Kulatilaka (2000), a incerteza cria oportunidades de investimento, ampliando as possibilidades de atingir ganhos maiores. Para Faulkner (1996) uma opção é equivalente ao nível de incerteza correspondente.

Segundo Nardelli (2009), na literatura sobre opções reais, a incerteza muitas das vezes é abordada como sinônimo de risco. O risco é uma variável aleatória que possui uma distribuição de probabilidade conhecida, ou que pode ser mensurado de alguma outra forma, enquanto a incerteza não apresenta esta distribuição. No entanto, se uma modelagem permitir a obtenção da distribuição de probabilidade ou, o que é mais comum, atribui-se probabilidades subjetivas às variáveis, deste modo risco e incerteza têm o mesmo sentido.

A última questão estratégica a ser analisada deve ser quanto ao “*timing*” do investimento. Isso significa que todo o investimento pode ser adiado, desde que os benefícios gerados por adiá-lo sejam maiores do que os custos do adiamento. Para projetos com cenários desfavoráveis, há possibilidade de esperar por novas informações ou melhores condições em uma data futura.

Portanto, a escolha do melhor momento também é fundamental para aprimorar a decisão de investimento, considerando-se que a boa administração está mais ligada a tomar decisões no momento certo do que tomar as decisões corretas (COPELAND & TUFANO, 2004). Existem, então, várias possibilidades dentro de um investimento, como a de adiar, expandir, contrair, abandonar, entre outras.

2.3.3 Classificação das opções reais

O conhecimento sobre as possibilidades envolvidas em um projeto é de grande relevância quando se pretende aperfeiçoá-lo. Os gestores se deparam, frequentemente, com decisões sobre o momento certo de investir, de abandonar, de expandir a capacidade dentre outras.

Os projetos de investimento podem apresentar opções reais simples, ou combinações entre elas, dependendo da situação e flexibilidade de cada empreendimento. Assim, Copeland & Antikarov (2001) classificaram tais opções em opção de diferimento, abandono, contração, expansão, conversão e, também, opções sobre opções denominadas e compostas. Existe ainda uma gama mais extensa de opções, propostas por Dixit & Pindyck (1994), Trigeorgis (1996), Copeland & Antikarov (2001) e Damodaran (2002) que classificaram as opções em categorias apresentadas a seguir.

a) Opção de abandono

A adesão a opção de abandono ocorre quando o produto sofre forte redução na comercialização ou observa-se em seu processo produtivo há presença de algum problema irremediável. Nestas condições, a gerência faz a opção de abandonar o projeto a fim de evitar perdas ainda maiores.

A opção pode ser exercida com o projeto em curso caso a capitalização seja fracionada ao longo do projeto não se concentrando em uma despesa inicial, criando assim opções para desistência em qualquer fase de execução.

Dixit & Pindyck (1994) ressaltaram uma importante interpretação, que reflete exatamente a opção de abandono, onde as empresas que desistem ou param de produzir, devido as operações realizadas estarem gerando prejuízo em meio aos investimentos que estão realizando.

b) Opção de adiamento

Nesta opção, permite-se o adiamento do investimento por determinado período de tempo, com o intuito de obter novas informações para o projeto, reduzindo as incertezas. Em indústrias de extração de recursos naturais, por exemplo, o adiamento é uma opção valiosa, devido á alta incerteza e o longo horizonte de investimento na atividade.

Trigeorgis (1988) salientou que o direito de adiar o projeto tem um valor positivo, mesmo que o VPL do projeto, se realizado agora, seja negativo. Tal direito permite ao gestor esperar e só investir no projeto caso o VPL se torne positivo, sem haver a correspondente obrigação (de investir) se o cenário oposto ocorrer.

O projeto que pode ser adiado tem mais valor do que o mesmo sem a flexibilidade do adiamento (NARDELLI, 2009). Isto porque o adiamento permite que o investidor se beneficie de movimentos vantajosos ao valor do projeto (como a melhora de preço do produto a ser gerado), e evite perdas caso cenários desfavoráveis ocorram. Se a decisão for investir imediatamente, o investidor exerce a opção e incorrerá a um custo de oportunidade igual ao valor da opção.

Por outro lado, a opção pode ser exercida no ano seguinte, caso a taxa de atratividade do projeto aumente. Neste caso, a empresa deve sempre comparar o custo de adiar com os benefícios de esperar alguma informação nova para financiar a decisão de investir.

Para Kemna (1993), a opção de adiamento exerce impacto nas decisões sobre análise de investimento, uma vez que pode mudar tais decisões significativamente, caso o valor da opção de esperar seja levado em consideração.

É importante ressaltar que ao abandonar investimentos agropecuários o produtor estará também abandonando o capital imobilizado na propriedade, tais como curral, benfeitorias, ordenhadeira, maquinas e equipamentos. Motivo este, que faz com que muitos produtores permaneçam na atividade mesmo que as condições do mercado não estejam favoráveis.

c) Opção de expansão

Esta opção assemelha-se a opção de compra, onde se adquire uma parte adicional do projeto, devendo-se pagar por isto o preço de exercício. É exercida em situações em que os preços, ou outras variáveis de mercado se revelem mais favoráveis do que inicialmente previsto. Nestes casos, os gestores podem acelerar a instalação do projeto, ou também, expandir a escala de produção, incorrendo num investimento incremental. Ainda, considerando que um projeto, ou uma opção de investir, são afetados pela incerteza (TRIGEORGIS, 2005). A opção de expansão pode apresentar uma importância estratégica, especialmente se ela permite à empresa captar futuras oportunidades de crescimento.

d) Opção de mudança

A opção de mudança consiste em mudar as operações de um projeto, e pode consistir tanto em opções de compra como de venda. Como por exemplo, reiniciar operações quando um projeto está pausado corresponde a uma opção americana de compra.

Por outro lado, interromper as operações quando surgem condições prejudiciais é correspondente a uma opção americana de venda. O custo de reiniciar as operações pode ser considerado como o preço de exercício da opção de compra (ou venda). Copeland & Antikarov (2001) ilustraram essa situação com um exemplo cuja operação pode ser ativada ou desativada dinamicamente, ou alternada entre dois locais distintos. Tal projeto pode valer mais do que o que não possui flexibilidade.

e) Opção de contração

A operação de contrair a escala de produção de um projeto é equivalente a uma opção americana de venda. Esta opção pode ser valiosa no caso de introdução de novos produtos em um mercado incerto (COPELAND et al.,2000).

Esta opção é exercida quando as condições do mercado se tornam desfavoráveis, neste caso a empresa pode operar abaixo da capacidade ou diminuir a escala de produção, economizando, assim, parte das saídas de investimentos planejadas (NARDELLI, 2009).

f) Opção de investimento por estágios (Time-to-build option)

Nesta opção, os investimentos são realizados em etapas, com uma série de desembolsos. Esta ação cria opções valiosas em qualquer estágio, como, por exemplo, adiar a exploração de algum recurso natural, caso o preço do mesmo esteja muito baixo, ou até mesmo abandonar o investimento. Assim, cada estágio pode ser visto como uma opção sobre o valor dos estágios subsequentes, estando sujeito a saídas necessárias para executar a próxima etapa, podendo, assim, ser entendido e avaliado similarmente a opções compostas (PINDYCK, 1993).

Essa opção é valiosa em todas as indústrias intensivas de pesquisa e desenvolvimento, e em indústrias de capital intensivo e de longo desenvolvimento (GRENADIER, 1995).

g) Opção de mudança de uso (Inputs ou Outputs)

Esta opção pode ser exercida por empresas que tem a possibilidade de modificar entradas ou saídas de capital. Esta flexibilidade do processo pode ser atingida através da tecnologia e através da relação com vários fornecedores, podendo, desta forma, alterar entre eles caso os preços relativos mudem.

Esta flexibilidade pode estar presente tanto no produto quanto no processo. O produto capacita a empresa a alterar entre suas saídas/produtos finais (*outputs*), sendo mais valiosa em indústrias como automobilísticas, eletrônicas, farmacêuticas e de brinquedos, onde a diferenciação e diversidade dos produtos são importantes e a demanda pelo produto é volátil. Nestes casos, a instalação de uma capacidade mais flexível pode ser valiosa, para se adquirir a habilidade de alterar a escala de produção em resposta às mudanças de demanda do mercado (NARDELLI, 2009).

2.3.4 Técnicas de apreçamento de opções

2.3.5 Modelo de Black e Scholes

Este modelo representa uma significativa contribuição para a área de finanças, ao mostrar como os preços das opções podem ser determinados. Black & Scholes (1973) propuseram um modelo para apreçamento de opções que não utiliza restrições quanto às preferências individuais em relação ao risco.

O modelo de Black & Scholes considera que o valor das opções depende de cinco variáveis: valor do ativo subjacente sujeito a risco, preço de exercício, prazo de vencimento da opção, desvio padrão (volatilidade) do valor do ativo subjacente sujeito ao risco e taxa de juros livre de risco ao longo da vida da opção. O principal diferencial desse modelo é que ele não envolve qualquer variável que seja afetada pela preferência de risco dos investidores. Assim, se as preferências de risco não entram na equação, pode-se, simplesmente, assumir que todos os investidores estejam num mundo neutro a risco e a solução da equação não será afetada. Isto exemplifica num princípio geral importante da precificação de opções, conhecido como avaliação neutra em relação ao risco.

Black & Scholes (1973) chegaram as seguintes equações para valorizar opções de compra e venda europeia:

$$C = S_0 N(d_1) - X e^{-rT} N(d_2) \quad (1)$$

$$P = X e^{-rT} N(-d_2) - S_0 N(-d_1) \quad (2)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)r}{\sigma\sqrt{T}} \quad (3)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)r}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (4)$$

Onde:

C (*Call*): valor da opção de compra sobre o ativo;

P (*Put*): valor da opção de venda do ativo;

S_0 : valor presente do ativo subjacente;

X: preço de exercício da opção;

T: tempo até o vencimento da opção;

r: taxa de juros nominal contínua, projetada até o vencimento da opção;

e: base dos logaritmos naturais, constante = 2,71828;

N(.): função de probabilidade cumulativa de uma variável normal padronizada;

d_1 e d_2 : variáveis unitárias normais;

Apesar deste modelo servir de base para avaliar opções reais, ele apresenta algumas limitações. A fórmula não pode ser usada para avaliar opções compostas e assume que a variância da taxa de retorno sobre o ativo é constante, o que não ocorre, uma vez que ela depende do preço do ativo e da maturidade da opção.

Brandão (2002) também assinalou que os ativos financeiros, o principal objeto da modelagem de Black & Scholes, tem como umas das principais características serem investimentos passivos e desta forma, os preços dos ativos não são influenciados por ações tomadas pelos investidores. No caso de ativos reais, os fluxos de caixa futuros podem ser afetados por ações tomadas pelos investidores do projeto, alterando o resultado final.

2.3.6 Modelo binomial

Cox et al. (1979) desenvolveram uma modelagem para precificação de opções com base em uma modelagem binomial, apesar de ter sido criada para avaliar opções financeiras, pode ser usada para modelar e apreçar alternativas nos investimentos em ativos reais. Uma das vantagens deste modelo é que ele não se limita a opções europeias podendo ser estendida às opções americanas, além de suportar várias fontes de incerteza e de ser usado também para precificação de opções compostas (HULL, 1998).

Este modelo tem como princípio básico discretizar o processo estocástico em tempo e estado contínuo proposto por Black e Scholes para, posteriormente, empregar a técnica de programação dinâmica, a fim de determinar o valor da opção.

O mesmo assume que a taxa de juros é constante, podendo emprestar ou tomar emprestado a esta mesma taxa livre de risco e o preço do ativo segue um processo multiplicativo binomial em períodos discretos. Assim, para cada período, o ativo poderá assumir dois valores distintos no tempo. Estes movimentos são descritos como ascendentes e descendentes pelo fato de representarem um valor maior e outro menor que o anterior (NARDELLI, 2009).

Supondo que o preço do ativo no tempo t seja S , que existam os valores u e d , estes quais representam as taxas de retorno em que o valor do ativo adquire um movimento ascendente ou descendente respectivamente (Figura 1). Cada uma dessas movimentações tem suas probabilidades de realização que podem ser apresentadas como p e $(1-p)$.

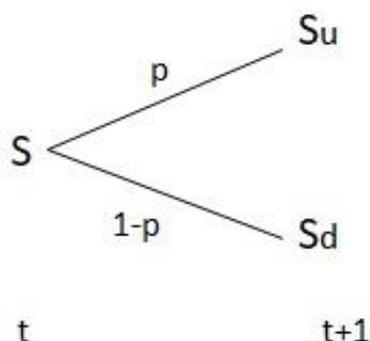


Figura 1. Movimentos de um ativo pelo modelo binomial (Hull, 1998).

Em uma opção de compra, C_u e C_d representam o valor da opção ao final de um período, quando o preço do ativo é S_u e S_d , respectivamente (Figura 2). Sendo X o preço de exercício da opção, os possíveis valores para a opção serão: $C_u = \text{Max} [S_u - X, 0]$ e $C_d = \text{Max} [S_d - X, 0]$: onde, Cox et al. (1979) mostraram que, para se determinar o valor exato de uma opção C , é necessário que se tenha: preço de exercício X , preço do ativo subjacente S ; a média dos movimentos de subida u e de descida d no preço do ativo subjacente e a taxa de juros ($r = 1 + r_f$), sendo r_f a taxa livre de risco.

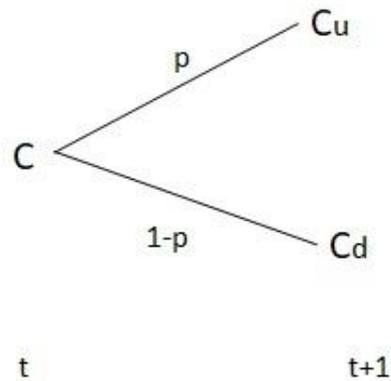


Figura 2. Movimentos de uma opção de compra de um período (Hull, 1998).

Em uma opção de venda, P_u e P_d representam o valor da opção ao final de um período, quando o preço do ativo é S_u e S_d , respectivamente (Figura 3). Sendo X o preço de exercício da opção, os possíveis valores para a opção serão: $P_u = \text{Max} [S_u - X, 0]$ e $P_d = \text{Max} [S_d - X, 0]$: onde, Cox et al. (1979) mostraram que, para se determinar o valor exato de uma opção P , é necessário que se tenha: preço de exercício X , preço do ativo subjacente S ; a média dos movimentos de subida u e de descida d no preço do ativo subjacente e a taxa de juros ($r = 1 + r_f$).

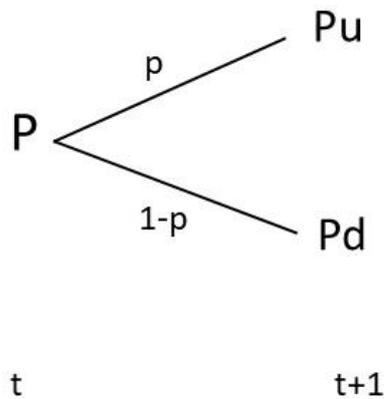


Figura 3. Movimentos de uma opção de venda de um período (Hull, 1998).

Cox et al. (1979) utilizaram o modelo binomial para definir uma fórmula para apreamento de opções (Figura 4).

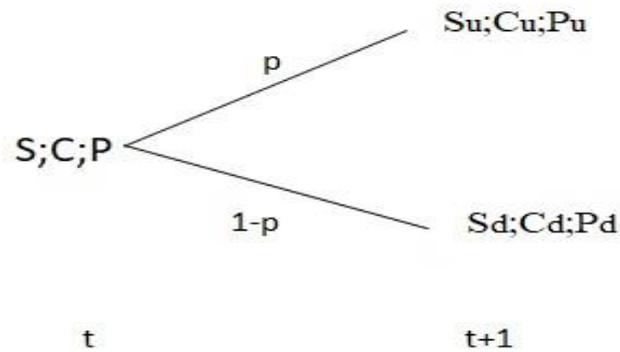


Figura 4. Árvore binomial de um período (Hull, 1998).

Os respectivos valores das opções de compra C e venda P foram descritos pela árvore, conforme apresentado na Figura 4, e são representados pelas fórmulas 5,6,7 e 8:

$$C_u = \text{Max}(S_u - X, 0) \quad (5)$$

$$C_d = \text{Max}(S_d - X, 0) \quad (6)$$

$$P_u = \text{Max}(X - S_u, 0) \quad (7)$$

$$P_d = \text{Max}(X - S_d, 0) \quad (8)$$

Quando existe mais de um período, a avaliação de uma opção de compra pelo modelo binomial é uma extensão direta da fórmula para um período. Desta forma, é possível avaliar equações com grande número de períodos.

No caso de S se deslocar para cima com um fator multiplicativo u, o retorno é dado por:

$$f_u = \Delta S u + B e^{rT} \quad (9)$$

onde Δ são as unidades do ativo-objeto e B unidades de dívida livre de risco.

No caso de S se deslocar para baixo com um fator multiplicativo d, o retorno da carteira é dado por:

$$f_d = \Delta S d + B e^{rT} \quad (10)$$

onde r é a taxa de juros livre de risco.

Os retornos da opção (f_u e f_d) em sua data de vencimento são $\text{Max}(S_T - X; 0)$ se opção de compra e $\text{Max}(X - S_T; 0)$ se opção de venda, onde X representa o exercício da opção. As duas equações podem ser resolvidas para as duas incógnitas, obtendo-se os valores de Δ e B. O valor atual da opção é dado por:

$$f = \Delta S + B \quad (11)$$

Na Figura 5, pode-se observar a árvore binomial considerando dois períodos e o valor da opção de compra no tempo t. Para calcular, em t, o valor de uma opção de compra, deve-se calcular o valor S_u e S_d no tempo t + 1. Seguindo a mesma lógica, estes são dependentes dos valores de S_{uu} , S_{ud} e S_{dd} em t + 2.

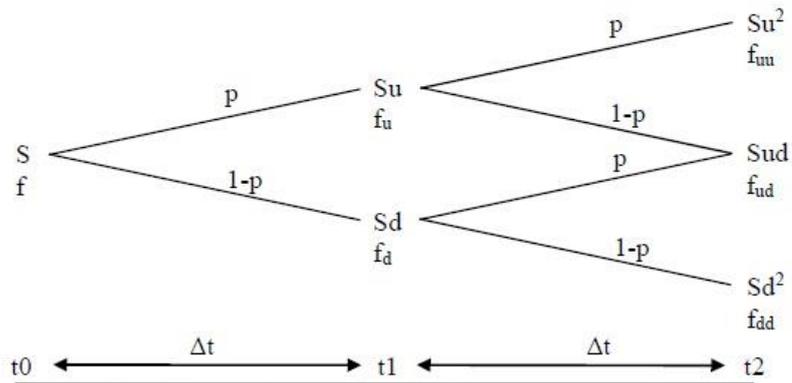


Figura 5. Árvore binomial dois períodos (Hull, 1998).

O modelo binomial é definido pelas equações seguintes, obtidas através da generalização do modelo de passo único para vários passos:

$$f = e^{-r\Delta t} [pf_u + (1 - p)f_d] \quad (12)$$

$$p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d} \quad (13)$$

Hull (1998) afirmou que o valor da opção, na data atual, é o seu valor futuro (tanto em u quanto em d) considerando suas respectivas probabilidades de ocorrência, descontada a taxa livre de risco. O conceito de neutralidade ao risco leva em conta que, como o risco associado aos movimentos ascendentes e descendentes do ativo já foi considerado no cálculo de u e d , o valor da opção independe da preferência pelo risco dos investidores.

Cox et al. (1979) apresentam outra importante ligação referente à estimativa dos valores de u e d , que se fundamentam no desvio-padrão da taxa de retorno do ativo σ , no número n de intervalos ou períodos até a expiração no tempo t .

A probabilidade p não aparece nas fórmulas para o cálculo de u e d , pois as diferentes visões dos diversos investidores quanto às probabilidades que acreditam com relação ao movimento de subida ou descida da ação não influenciará o valor da opção.

Como este modelo é adequado à precificação de opções americanas a árvore deve ser analisada recursivamente, andando-se para trás a partir da data de exercício. Em cada um dos nós anteriores, o retorno do exercício imediato é comparado com o valor naquele nó de se manter a opção e o maior deles é escolhido.

A execução de um modelo de opções reais começa na determinação do ativo-objeto da opção sendo pratica comum utilizar o Valor Presente (VP) do projeto como ativo-objeto, uma vez que este é considerado a melhor estimativa não tendenciosa do preço de mercado do projeto em análise.

O valor da flexibilidade gerencial somado ao valor presente líquido do projeto é chamado de valor presente líquido expandido.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Pesquisa

O estudo teve base em uma pesquisa investigativa, na qual foi aplicada a ferramenta de Engenharia Econômica: Teoria de Opções Reais (TOR) utilizando a opção de expansão em dados de estudos já realizados na área de produção animal, de acordo com a metodologia proposta por Paddock et al. (1988).

Foi realizada, neste trabalho, uma pesquisa de campo, através de um estudo de caso, já que o tema central (Teoria de Opções Reais) se encontra em desenvolvimento, e ainda não há muitas informações e trabalhos a respeito da aplicação de Opções Reais em projetos pecuários.

Para o desenvolvimento do estudo de caso, foi realizada uma coleta de dados quantitativos obtidos durante a pesquisa exploratória e documental. A pesquisa teve base em dados coletados de um projeto agropecuário, onde foi analisada a expansão da capacidade produtiva da propriedade. Estas informações servirão de subsídio numérico para a construção do modelo de aplicação da Teoria das Opções Reais, que representa o tratamento dos dados deste trabalho.

3.2 Coleta de Dados

Primeiramente, foi selecionado um trabalho que analisou a viabilidade econômica de um sistema de produção aplicado a Zootecnia, na área de bovinocultura de leite, realizado por Peres (2006). A partir deste trabalho, foi realizado um levantamento de informações econômicas e do fluxo de caixa que foi utilizado na caracterização do sistema de produção escolhido.

3.3 Caracterização do Sistema

Os dados foram obtidos junto ao Pólo Regional Vale do Paraíba, pertencente a Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), localizado na cidade de Pindamonhangaba, SP, no período compreendido entre outubro de 2003 e setembro de 2005. Foi avaliado um sistema de produção para vacas em lactação manejadas em pastagem de capim-Mombaça recebendo diferentes fontes de suplementação volumosa, durante a época seca do ano, sendo pastagens de aveia-preta e silagem de sorgo, fornecida no cocho, diariamente. Inicialmente, o sistema de produção continha 60 vacas leiteiras, em estágio de lactação, separadas em dois lotes de produção, sendo 36 vacas manejadas na estação chuvosa e 24 vacas, na estação seca, nos dois primeiros anos de avaliação. A composição do fluxo de caixa para os dez anos subsequentes foi realizada, a partir dos desempenhos produtivos e reprodutivos apresentados, considerando o descarte de vacas e a aquisição de novas matrizes ao longo do tempo. Sobre os preços do fluxo de caixa foi aplicado o Índice Geral de Preços - Disponibilidade interna (IGP-DI), publicado pelo Banco Central do Brasil (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2019) para o respectivo período de coleta e avaliação, permitindo assim atualizar monetariamente os preços para o mês de maio de 2019.

A área experimental compreendia em 11,4 ha de pastagem. Na estação chuvosa, a área foi dividida em 3 subáreas com 19 piquetes cada. Adotou-se o pastejo rotacionado, com ciclos de pastejo de 38 dias, sendo 36 dias de descanso e 2 dias de ocupação. Os animais

permaneceram nos piquetes por 48 horas, com acesso as áreas de sombra e descanso, bebedouros e cochos para suplementação mineral. Na estação seca, o manejo adotado foi de pastejo rotacionado, com ciclos de 57 dias, sendo 56 dias de descanso e 1 dia de ocupação. Nessa época do ano o pastejo foi realizado a noite. Durante o dia, as animais foram separados em diferentes lotes sendo suplementados com aveia-preta e silagem de sorgo, entre as ordenhas da manhã e da tarde. Durante o período de fornecimento da suplementação volumosa, os animais tinham acesso à água e às áreas de descanso e sombra. No momento das ordenhas diárias, todos os animais receberam 1 kg de ração concentrada, no cocho.

Com o objetivo de obter maior homogeneidade entre os animais do experimento, foram adotados parâmetros na escolha e seleção, seguindo a metodologia proposta por PIMENTEL-GOMES (2000). Os parâmetros foram: animais de mesma raça, mesmo grau de sangue, com período reprodutivo entre 3^a e 5^a cria, peso vivo e produções leiteiras semelhantes. E ainda, adotou-se produções médias entre 8 e 12 kg de leite/vaca/dia e as vacas escolhidas apresentaram mesmo estado fisiológico.

Segundo Peres (2006), após a escolha dos animais, verificou-se o estado reprodutivo de cada vaca e o escore de condição corporal.

Cada animal foi submetido ao diagnóstico reprodutivo, identificando o estágio de gestação e o ciclo ovariano. Em função das informações obtidas pela palpação retal, aplicou-se o tratamento de sincronização do cio, mediante a aplicação de 1 ml de prostaglandina, na parede lateral da vulva do animal. Posteriormente, observou-se a manifestação do cio no campo durante o período de 72 horas. Quando detectado o cio, a vaca era coberta por um reprodutor da raça holandesa. Os animais cobertos foram separados em pastos de capim-braquiária, recebendo suplementação concentrada com o intuito de melhorar o escore de condição corporal para o momento do parto. Esse manejo proporcionou concentrar a parição das vacas experimentais para o período que antecede a condução do experimento e obter no momento da avaliação maior homogeneidade de vacas em produção.

Na estação chuvosa, avaliou-se o desempenho produtivo e reprodutivo das vacas manejadas nas três subáreas da área experimental em 12 vacas em cada. O sistema de produção avaliado compreendeu a pastagem de capim-Mombaça com fornecimento de ração concentrada.

Para a estação chuvosa foram avaliados dois sistemas de alimentação volumosa para vacas leiteiras mantidas em pastagem de capim Mombaça suplementado com aveia-preta ou silagem de sorgo. Todos os animais receberam ração concentrada.

Os dados de desempenho produtivo e reprodutivo obtidos durante as duas estações foram utilizados para a composição do fluxo de caixa, na análise financeira.

3.4 Indicadores Zootécnicos

Os índices de desempenho produtivo de vacas leiteiras do ecótipo Mantiqueira manejadas em pastagem de capim-Mombaça, usados para a composição do rebanho no fluxo de caixa, durante a estação chuvosa, são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Taxa de lotação média (TLM, animais/ha), carga animal média (CAM, U.A./ha) e a Produção de leite média diária (PLMD, kg/vaca/dia) de vacas leiteiras em pastagem de capim-Mombaça, durante a estação chuvosa.

Variável	Média +/- desvio-padrão
TLM	3,16
CAM	3,24
PLMD	12,2 ± 2,2

Fonte: Adaptado de PERES (2006)

Os índices de desempenho produtivo de vacas leiteiras do ecótipo Mantiqueira manejadas em pastagens de capim-Mombaça, recebendo diferentes fontes de suplementação volumosa, usados para a composição do rebanho no fluxo de caixa, durante a estação seca, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Taxa de lotação média (TLM, animais/ha), carga animal média (CAM, U.A./ha) e a Produção de leite média diária (PLMD, kg/vaca/dia) de vacas leiteiras em pastagem de capim-Mombaça, durante a estação seca.

Variável	Aveia-preta	Silagem de sorgo
TLM	0,96	1,67
CAM	0,97	1,70
PLMD	13,9± 2,9 a	11,8 ± 2,2 b

Médias seguidas das mesmas letras nas linhas entre os sistemas de produção são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, a 5 % de probabilidade.

Fonte: Adaptado PERES (2006).

3.5 Análise de Dados

Para se analisar os dados do projeto da unidade agropecuário, foram calculados, por Peres (2006), os indicadores: Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna De Retorno (TIR) e a Análise de Sensibilidade.

Para o cálculo do VPL foram aplicadas taxas de desconto sobre fluxo líquido mensal de cada sistema. As taxas adotadas foram 6, 8,10 e 12 % ao ano (Tabela 3). A equação 14 mostra a forma do cálculo do VPL, segundo Samanez (2002):

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+K)^t}, \quad (14)$$

Onde:

FC = fluxo de caixa no período t;

VPL= valor presente líquido;

I = investimento inicial;

n = número de fluxos;

t = período de análise;

K= taxa de desconto.

Tabela 3. Valor presente líquido, em reais (R\$), dos sistemas de produção, para as taxas de desconto de 6, 8, 10 e 12 % ao ano.

Taxa de desconto (%)	Aveia-preta	Silagem de sorgo
6	R\$ 132.509,84	R\$ 48.439,97
8	R\$ 79.387,12	R\$ 8.179,75
10	R\$ 35.323,80	-R\$ 25.098,63
12	-R\$ 1.458,11	-R\$ 52.776,42

Fonte: PERES (2006)

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos, para a taxa interna de retorno (TIR). Matematicamente, a TIR é uma taxa hipotética de desconto que anula o VPL, ou seja, é aquele valor de i que satisfaz a equação 15.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (15)$$

Em que:

VPL = Valor presente líquido;

FC = fluxo de caixa no período t ;

I = investimento inicial;

n = número de fluxos;

t = período de análise;

i = taxa de desconto.

Precisa-se, através dessa fórmula, tornar o valor presente das entradas igual ao valor presente das saídas para isso é necessário encontrar o valor que torne a equação igual a zero.

Tabela 4. Taxa interna de retorno, em %, obtida para cada sistema de produção.

Aveia-preta	Silagem de sorgo
11,91 %	8,46 %

Fonte: PERES (2006).

Uma vez calculado o VPL e a TIR dos sistemas de produção avaliados, usou-se as melhores estimativas dos fluxos de caixa para saber qual a sensibilidade do valor obtido em relação à determinada variável. Para a realização da análise de sensibilidade (Tabela 5) considerou-se uma variação de 10%, sempre no sentido desfavorável, em cada item que compõem o fluxo de caixa, determinando assim um novo VPL. Deste modo, foi possível observar qual item apresentou maior efeito sobre o indicador de resultado econômico do sistema, isto é, o VPL.

Tabela 5. Classificação dos três itens mais sensíveis do fluxo de caixa dos sistemas suplementados com aveia-preta ou silagem de sorgo, em reais (R\$), quando submetidos a uma taxa de desconto de 6% ao ano e desvalorização de 10% no sentido desfavorável.

Sistema	Categoria	Variação
Aveia-preta	Preço de venda do leite	-R\$95.441,62
	Preço de compra das matrizes	-R\$ 12.014,34
	Preço de compra das terras (culturas)	-R\$ 5.623,80
Silagem de Sorgo	Preço de venda do leite	-R\$ 88.182,59
	Preço de compra das matrizes	-R\$ 12.014,33
	Aluguel de máquinas e implementos agrícolas	-R\$ 6.103,00

Fonte: Adaptado PERES (2006)

Com base nos dados calculados por Peres (2006), em relação à viabilidade econômico-financeira do projeto que considera o VPL e a TIR, os sistemas se apresentaram viáveis por apresentarem VPL maior que zero (Tabela 3). Os sistemas também se mostraram atrativos para investimento por apresentarem TIR (Tabela 4) maior que a Taxa Mínima De Atratividade (TMA) considerada pelo autor, que teve como base os rendimentos financeiros obtidos com a caderneta de poupança para o período de avaliação, a qual apresentou uma rentabilidade de 6% a.a. A Análise de Sensibilidade realizada pelo autor (Tabela 5) revelou que independente do sistema avaliado, o preço de venda do leite produzido foi o item de maior influência nos resultados dos indicadores econômicos de rentabilidade VPL e TIR, quando submetido a uma desvalorização dos preços em 10%, ou seja, foi o item que mais poderá influenciar negativamente na viabilidade econômico-financeira dos sistemas avaliados.

Para o cálculo dos valores das opções será utilizado o Modelo Binomial através do Método de Probabilidade Neutra ao risco. Foi calculada a Opção de Expansão e para avaliar as opções foi utilizada a metodologia de Copeland & Antikarov (2001).

Para esta análise foram considerados dois módulos. O projeto original (módulo 1) possui em média cerca de 15.780,11 e 14.637,33 litros de leite tipo B, para os sistemas de aveia-preta, e silagem de sorgo, respectivamente, para os 12 anos (Tabela 6).

Tabela 6. Produção de leite tipo B, em litros, do módulo 1 para os sistemas suplementados com aveia-preta e silagem de sorgo.

Ano	Sistemas de Produção	
	Aveia- preta	Silagem de Sorgo
01	9.718,67	8.229,60
02	17.160,30	15.948,37
03	16.542,30	15.444,37
04	15.428,10	14.475,17
05	16.272,77	15.068,43
06	16.259,77	15.183,17
07	14.572,02	13.619,08
08	15.486,22	14.282,50
09	17.178,88	15.975,17
10	16.359,88	15.156,17
11	14.227,45	13.141,53
12	17.124,30	15.920,58

Fonte: Adaptado PERES (2006)

O módulo 2, no entanto, visou a análise da expansão do projeto inicial em 100% na capacidade produtiva do leite. Para isso alguns itens do fluxo de caixa foram dobrados, tais como: número de matrizes, área de pastejo, área para culturas, itens referentes à alimentação, reprodução, sanidade, ordenhadeira mecânica e etc. Os itens referentes aos produtos de venda também foram dobrados, como venda de bezerras e bezerros, venda de vacas de descarte, de touro, burro, cavalo e esterco de curral. Porém com a mesma infraestrutura, ou seja, benfeitorias, máquinas, equipamentos e a mão-de-obra não foram alterados, maximizando seu uso na propriedade. Isso porque a estrutura da fazenda estava sendo subutilizada.

Ainda para o segundo módulo foram considerados os mesmos indicadores zootécnicos de produção, mesma qualidade de pastagem e de manejo, assim como o mesmo grupo genético de animais.

Calculou-se o investimento inicial total, que ficou em torno de R\$ 245.845,40 para o sistema suplementado com aveia-preta, e R\$ 215.653,88 para o sistema suplementado com silagem de sorgo, suficiente para benfeitorias, máquinas e equipamentos para o módulo 1 (PERES, 2006).

Foi utilizado o VPL do projeto a uma taxa de 6% de desconto ao ano, sem flexibilidades (Tabela 3). Posteriormente, foi identificada a principal incerteza do projeto, que ao analisar os resultados da análise de sensibilidade (Tabela 5), foi identificada como sendo a variação sofrida no preço do leite. Essa volatilidade foi calculada a partir da série histórica de preços do leite do estado de São Paulo no período de janeiro de 2005 a dezembro de 2018 (Tabela 7) obtidas junto ao CEPEA da ESALQ/USP. Essa série foi deflacionada pelo índice do IGP-DI.

Tabela 7. Série do preço de comercialização do leite no estado de São Paulo, para o período de janeiro de 2005 a dezembro de 2018.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
2005	0,511	0,503	0,519	0,582	0,583	0,545	0,491	0,491	0,474	0,454	0,364	0,408
2006	0,391	0,403	0,425	0,47	0,486	0,488	0,506	0,514	0,504	0,501	0,491	0,475
2007	0,452	0,479	0,517	0,534	0,59	0,62	0,68	0,753	0,754	0,702	0,654	0,633
2008	0,618	0,645	0,665	0,705	0,73	0,757	0,743	0,718	0,677	0,614	0,608	0,602
2009	0,598	0,601	0,603	0,618	0,649	0,697	0,774	0,772	0,743	0,695	0,628	0,592
2010	0,589	0,592	0,632	0,719	0,748	0,712	0,705	0,698	0,706	0,706	0,708	0,711
2011	0,715	0,714	0,735	0,768	0,805	0,833	0,855	0,854	0,874	0,874	0,860	0,839
2012	0,812	0,811	0,811	0,825	0,834	0,816	0,808	0,824	0,835	0,842	0,850	0,855
2013	0,840	0,836	0,858	0,884	0,922	0,971	1,003	1,029	1,037	1,040	1,022	0,968
2014	0,940	0,920	0,946	0,997	1,032	1,039	1,042	1,041	1,028	1,021	0,994	0,945
2015	0,906	0,886	0,898	0,944	0,975	1,009	1,032	1,048	1,041	1,034	1,018	1,011
2016	0,995	1,007	1,039	1,091	1,146	1,196	1,357	1,547	1,513	1,423	1,286	1,242
2017	1,232	1,248	1,269	1,290	1,310	1,325	1,314	1,259	1,189	1,120	1,112	1,092
2018	1,071	1,095	1,151	1,194	1,278	1,342	1,500	1,536	1,519	1,510	1,456	1,351

Elaborado pelo autor.

Com auxílio do programa computacional MS- Excel[®] foi calculada a volatilidade dos preços do leite da seguinte maneira:

- Calculou-se o logaritmo neperiano entre o resultado do período sobre o resultado do período anterior;
- Depois, foi calculada a média ponderada do logaritmo neperiano para um mesmo período;
- Posteriormente, calculou-se o desvio-padrão dos resultados da média ponderada, em todo período considerado;
- E por último o desvio-padrão encontrado foi anualizado, multiplicando pela raiz quadrada de 12, conforme demonstrado em Hull (2005).

Este desvio-padrão anualizado é a volatilidade usada para a construção da árvore, e, posteriormente, o cálculo do valor da opção.

A partir dessa estimativa é possível a construção da árvore de eventos. Com este parâmetro, são calculados os valores de u e d , que são necessários para calcular as variações em cada um dos movimentos esperados (ascendentes e descendentes). As fórmulas utilizadas para o cálculo são as seguintes:

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (16)$$

$$d = \frac{1}{u} \quad (17)$$

O cálculo da opção foi realizado de trás (12º ano) para frente (ano 1). No último período, o valor do fluxo de caixa foi o máximo entre o valor da opção e zero, assim, para cada célula da última coluna, conforme descrito nas fórmulas 18 e 19:

$$\text{Max} [S_u - X, 0] \quad (18)$$

$$\text{Max} [S_d - X, 0] \quad (19)$$

Quando o Valor Presente do projeto calculado no nó correspondente da árvore de eventos for maior do que o valor investido, a opção deverá ser exercida, caso contrário a opção terá valor igual a 0 e não deverá ser exercida.

Para cálculo dos nós dos períodos anteriores ao último, foram calculados os valores de probabilidade de ocorrência dos movimentos ascendentes (p) e dos movimentos descendentes ($1-p$) conforme ilustrado nas fórmulas 20 e 21.

$$p = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d} \quad (20)$$

$$1 - \left(\frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d} \right) \quad (21)$$

Seguiu-se o cálculo da seguinte forma: o valor do fluxo de caixa do ano correte mais o valor do ativo no caso de sucesso (S_u) multiplicado pela sua probabilidade neutra ao risco p somado ao valor do ativo no caso de insucesso (S_d) multiplicado por $1-p$. Os valores de S são, então, descontados a taxa livre de risco, que neste caso foi considerada como 6,5% , valor este corresponde a taxa Selic (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2019) para o ano de 2019, conforme apresentado pela fórmula 22.

$$(S_u * p) + (S_d * (1 - p)) / (1 + r) \quad (22)$$

Depois de percorridas todas as etapas descritas anteriormente, pode-se, finalmente, quantificar o valor do VPL incluindo as flexibilidades existentes, obtido através da fórmula 23.

$$\text{VPL expandido} = \text{VPL tradicional} + \text{Valor da Opção} \quad (23)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a construção da Teoria de Opções Reais foi adotado como valor do ativo subjacente sujeito a risco o valor presente líquido (VPL) para cada sistema avaliado. Esse valor serviu de comparação com os outros valores gerados nas árvores de decisão.

Assumi-se como principal incerteza para os sistemas o preço de comercialização do leite, que como demonstrado na Tabela 5 foi o item de maior impacto na viabilidade dos sistemas.

A volatilidade (σ) foi determinada em 17,14%. A partir dessa volatilidade e da taxa livre de risco (r) a qual foi a taxa Selic que apresentou o valor de 6,50% a.a. (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2019) foram calculados os valores de u e d , obteve-se 1,19 e 0,84, para os sistemas suplementados com aveia-preta e silagem de sorgo, respectivamente. E as probabilidades neutras ao risco do movimento ascendente (p) de 64% e do movimento descendente ($1-p$) de 36%. As variáveis acima foram utilizadas para construção das árvores, para o cálculo da Opção de Expansão, para o horizonte de doze anos.

O valor do investimento para a decisão de expansão foi determinado em R\$ 369.308,36 e R\$ 308.068,24 para a expansão dos sistemas suplementados com aveia-preta e silagem de sorgo, respectivamente.

A figura 6 apresenta a árvore de eventos para o sistema suplementado com aveia-preta, calculado no período de 12 anos, a partir, dos movimentos ascendentes e descendentes.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
												103,63
											87,31	
										73,56		73,55
									61,97		61,97	
								5,22		52,21		52,20
							43,98		43,98		43,98	
						37,06		3,71		37,06		37,05
					31,22		31,22		31,22		31,22	
				26,30		26,30		26,30		26,30		26,30
			22,16		22,16		22,15		22,16		22,16	
		18,67		18,67		18,67		18,67		18,67		18,66
	15,73		15,73		15,73		15,73		15,72		15,73	
<u>13,25</u>		<u>13,25</u>		<u>13,25</u>		<u>13,25</u>		<u>13,25</u>		<u>13,25</u>		<u>13,25</u>
	11,16		11,16		11,16		11,16		11,16		11,16	
		9,41		9,41		9,40		9,40		9,40		9,41
			7,92		7,92		7,92		7,92		7,92	
				6,68		6,67		6,68		6,68		6,68
					5,62		5,62		5,62		5,62	
						4,73		4,73		4,74		4,74
							3,99		3,99		3,99	
								3,36		3,36		3,36
									2,83		2,83	
										2,39		2,39
											2,01	
												1,69

Figura 6. Árvore de eventos do sistema suplementado com aveia-preta, para o período de 12 anos (valores em R\$ x 10.000,00).

O resultado dessa árvore, ainda sem flexibilidade, deverá ser igual ao resultado calculado no VPL.

Conforme apresentado na árvore de eventos, em condições totalmente propícias para que o VPL do projeto saísse de R\$ 132.509,84 e atingisse o máximo da probabilidade e de volatilidade, o retorno do projeto pode chegar a R\$ 1.036.300,00, no 12º ano.

Os valores gerados pela árvore de eventos foram comparados, nó a nó, com a árvore de decisão gerada (Figura 7), em que os valores dos últimos nós, no ano 12 foram calculados utilizando a taxa de juros livre de risco – SELIC – 6,5%.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
												66,70	
											52,63		
										40,99		36,63	
									25,89		27,29		
								16,95		3,09		15,28	
							11,42		3,77		9,31		
						7,85		3,43		5,67		0,13	
					5,46		2,78		3,45		0,08		
				3,83		2,11		2,10		0,05		0,00	
			2,68		1,54		1,28		0,03		0,00		
		1,88		1,09		0,78		0,02		0,00		0,00	
	1,31		0,76		0,48		0,01		0,00		0,00		
0,91		0,52		0,29		0,006		0,00		0,00		0,00	
	0,35		0,18		0,004		0,00		0,00		0,00		
		0,11		0,002		0,00		0,00		0,00		0,00	
			0,001		0,00		0,00		0,00		0,00		
				0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
					0,00		0,00		0,00		0,00		
						0,00		0,00		0,00		0,00	
							0,00		0,00		0,00		
								0,00		0,00		0,00	
									0,00		0,00		
										0,00		0,00	
											0,00		
												0,00	
													0,00

Figura 7. Árvore de decisão do sistema suplementado por aveia-preta, para o período de 12 anos (valores em R\$ x 10.000,00).

O valor da opção para essa análise foi de R\$ 9.132,55. Obtendo desta forma, a seguinte equação resolvida:

$$VPL \text{ expandido} = VPL \text{ tradicional} + \text{Valor da Opção}$$

$$VPL \text{ expandido} = 132.509,84 + 9.132,55$$

$$VPL \text{ expandido} = 141.642,39$$

Para o sistema suplementado com silagem de sorgo, a árvore de eventos (Figura 8) foi calculada usando o VPL no valor de R\$ 48.439,97 onde o projeto pode chegar ao valor de R\$ 378.844,30, no 12º ano.

Segundo Joaquim et al. (2015) a disposição binomial dos valores na árvore de eventos impossibilita visualizar os demais valores possíveis de ocorrer dentro do intervalo entre o mínimo e o máximo da variável selecionada.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
												37,88
											31,92	
										26,89		26,89
									22,65		22,65	
								19,09		19,09		19,09
							16,08		16,08		16,08	
						13,55		13,55		13,55		13,55
					11,41		11,41		11,41		11,41	
				9,61		9,61		9,61		9,61		9,61
			8,10		8,10		8,10		8,10		8,10	
		6,82		6,82		6,82		6,82		6,82		6,82
	5,75		5,75		5,75		5,75		5,75		5,75	
<u>4,84</u>		<u>4,84</u>		<u>4,84</u>		<u>4,84</u>		<u>4,84</u>		<u>4,84</u>		<u>4,84</u>
	4,08		4,08		4,08		4,08		4,08		4,08	
		3,44		3,44		3,44		3,44		3,44		3,44
			2,90		2,90		2,90		2,90		2,90	
				2,44		2,44		2,44		2,44		2,44
					2,06		2,06		2,06		2,06	
						1,73		1,73		1,73		1,73
							1,45		1,45		1,45	
								1,23		1,23		1,23
									1,04		1,04	
										0,87		0,87
											0,73	
												0,62

Figura 8. Árvore de eventos do sistema suplementado com silagem de sorgo, para o período de 12 anos (valores em R\$ x 10.000,00).

Através dos valores da árvore de eventos e da taxa mínima de atratividade chegou-se a árvore de decisão (Figura 9) para o sistema em questão. O valor da opção para essa análise foi de R\$ 9.573,10. Obtendo, desta forma, o seguinte VPL expandido:

$$\text{VPL expandido} = \text{VPL tradicional} + \text{Valor da Opção}$$

$$\text{VPL expandido} = 48.439,97 + 9.573,10$$

$$\text{VPL expandido} = 58.013,07$$

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
												28,64	
											23,24		
										18,74		17,65	
									12,19		13,98		
								8,48		2,46		9,84	
							6,23		3,29		7,40		
						4,74		3,27		5,40		4,31	
					3,66		2,88		3,85		2,74		
				2,84		2,36		2,70		1,73		0,37	
			2,19		1,86		1,87		1,10		0,27		
		1,68		1,42		1,26		0,69		1,37		0,00	
	1,28		1,05		0,87		0,44		0,08		0,00		
0,96		7,69		5,84		0,27		0,05		0,00		0,00	
	0,55		3,90		0,17		0,03		0,00		0,00		
		0,26		1,09		0,02		0,00		0,00		0,00	
			0,068		0,01		0,00		0,00		0,00		
				0,007		0,00		0,00		0,00		0,00	
					0,00		0,00		0,00		0,00		
						0,00		0,00		0,00		0,00	
							0,00		0,00		0,00		
								0,00		0,00		0,00	
									0,00		0,00		
										0,00		0,00	
											0,00		
												0,00	
													0,00

Figura 9. Árvore de decisão do sistema suplementado com silagem de sorgo, para o período de 12 anos (valores em R\$ x 10.000,00).

Em resumo, segundo as árvores de eventos o retorno do projeto pode chegar no 12º a R\$ 1.036.346,58 e R\$ 378.844,30 para os sistemas suplementados com aveia- preta e silagem de sorgo, respectivamente. Desta forma, a árvore de eventos representa a evolução do valor presente líquido (ativo subjacente) ao longo do horizonte de tempo fornecendo então o VPL que o ativo subjacente pode assumir.

As células das árvores de decisão (Figuras 7 e 9) que estão com valor “zero” representam a ação do produtor em não realizar a ação de expansão da capacidade produtiva dos sistemas na hipótese dos preços não suportarem os gastos previstos. Por outro lado, segundo Santos & Jurca (2013), significa considerar o investimento como um direito onde o produtor pode ou não realizá-lo.

Ainda, em relação a árvore de avaliação da opção (árvore de decisão), o valor obtido no primeiro nó é o valor da opção. Este valor somado ao VPL tradicional, ou seja, ao VPL sem flexibilidade, resulta no VPL expandido. Esses valores estão descritos na Tabela 8 abaixo.

Tabela 8. Valor presente líquido tradicional, valor da opção e valor presente líquido expandido, para os sistemas de produção, em R\$.

Sistemas	VPL Tradicional	Valor da Opção	VPL Expandido
Aveia-preta	132.509,84	9.132,55	141.642,39
Silagem de Sorgo	48.439,97	9.573,10	58.013,07

A opção de expansão gerou um aumento de 6,89% e 19,76% para os sistemas analisados, respectivamente, constatando a alegação de que o projeto que pode ser expandido tem mais valor do que o mesmo sem flexibilidade.

O sistema suplementado com silagem de sorgo foi aquele que obteve maior aumento no valor do investimento (19,76%) após a inclusão da TOR. Esse aumento pode ser atribuído ao menor valor de VPL tradicional (R\$ 48.439,97) e por requerer um menor investimento (R\$ 94.414,36) para implantar a expansão da capacidade produtiva do sistema. Entretanto, o sistema que apresentou maior VPL expandido foi aquele suplementado com aveia-preta (R\$ 141.642,39) por também apresentar um maior VPL tradicional (R\$ 132.509,84).

Ao realizar a análise da TOR, ficou evidente que os sistemas têm condições de ter suas capacidades produtivas expandidas mantendo a mesma infraestrutura. Desta forma, pode-se afirmar que o modelo de Opções Reais utilizado para complementar a análise tradicional permite avaliar a viabilidade de implantação do projeto com base em informações mais completas, levando em consideração a presença de incertezas e as flexibilidades gerenciais.

5 CONCLUSÃO

O estudo concluiu que ao incluir o valor da opção de expansão aumentaram-se os valores dos projetos em 6,89% e 19,76% para os sistemas suplementados com aveia-preta e silagem de sorgo, respectivamente, quando comparado com o modelo tradicional. Evidenciando que os sistemas apresentarão maior viabilidade financeira, se suas capacidades produtivas forem expandidas.

Pode-se destacar que a Teoria de Opções Reais, por ampliar a capacidade de mensuração do real valor da atividade da pecuária leiteira, pode ser aplicada em estudos de gerenciamento de risco da atividade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMRAM, M., KULATILAKA, N. (2000). Strategy and Shareholder Value Creation: The Real Options Frontier, Bank of America. **Journal of Applied Corporate Finance**, vol. 13, p. 8-21, 2000.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxa Selic**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/taxaselic>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

BLACK, F.; SCHOLES, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. **Journal of Political Economy**, v. 81, p. 637-54, 1973.

BLANK, L.; TARQUIN, A. **Engenharia econômica**. São Paulo: MCGRAW-HILL, 2008. 780p.

BRANDÃO, C. **Aquisição da Pegasus Telecom pela Telemar: Aplicação da Análise por Opções Reais para avaliar opções de expansão e de abandono**. 2006. 95f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Instituto de Administração, Faculdades IBMEC, Rio de Janeiro. 2006.

BRANDÃO, L. **Uma aplicação da teoria das Opções Reais em tempo discreto para avaliação de uma concessão rodoviária no Brasil**. 2002. 85 p. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) – Instituto de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro. 2002.

BRENNAN, M. J.; SCHWARTZ, E. S. Evaluating Natural Resource Investments. **Journal of Business**. v. 58, p. 135-157, 1985.

CASTRO, A. L. **Avaliação de Investimento de Capital em Projetos de Geração Termoeletrica no Setor Elétrico Brasileiro Usando a Teoria das Opções Reais**. 2000. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Instituto de Engenharia Industrial. Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro. 2000.

CEPEA/ESALQ. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Consulta ao banco de dados CEPEA/ESALQ – USP**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/consultas-ao-banco-de-dados-do-site.aspx>>. Acesso em: 3 dez. 2018.

CONTADOR, C.R. **Avaliação social de projetos**. São Paulo: Atlas, 1988.

COPELAND, T., TUFANO, P. A. (2004). Real-World Way to Manage Real Options. **Harvard Business Review**, v. 82, p. 90-99, 2004.

COPELAND, T.; ANTIKAPAROV V. **Opções Reais - Um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos**. Rio de Janeiro, RJ: Campus, 2001.

COPELAND, T.; KOLLER, T.; MURRIN, J. (2000). **Valuation – Measuring and managing the value of companies**. New York: Wiley & Sons. 2000. 811p.

COX, J.; ROSS, S.; RUBINSTEIN, M. Option Pricing: a simplified approach. **Journal of Financial Economics**, v. 7, p. 229-264, 1979.

DAMODARAN, A. **Finanças corporativas aplicadas**. Porto Alegre: Bookman, 2002. 576p.

DANTAS, M. **A lógica do capital-informação: a fragmentação dos monopólios e a monopolização dos fragmentos num mundo de comunicações globais**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. 262p.

DIXIT, A. K., PINDYCK, R. S. The options approach to capital investment. In: SCHWARTZ, E. S.; TRIGEORGIS, L. (Ed.) **Real Options and investment under uncertainty: classical readings and recente contributions**. Cambridge: The MIT Press, 2001.p. 63-76.

DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. **Investment under uncertainty**. New Jersey: Princeton University Press, 1994.488 p.

FAULKNER, T. W. Applying 'Options Thinking' To R&D Valuation: Research Technology Management. **Finance Journal**, v. 39, p. 50-56, 1996.

GRENADIER, S. The persistence of real estate cycles. **Journal of Real Estate Financial Economic**, v. 38, p. 207-331, 1995.

HAYES, R. H.; WHEELWRIGHT, S. C.; CLARK; K. B. **Dinamic Manufacturing: Creating The Learning Organization**. New York: The Free Press, 1988. 252p.

HOFFMANN, R.; SERRANO, O.; NEVES, E.M.; MENDES THAME, A.C.; CAMARGO ENGLER, J.J. **Administração da empresa agrícola**. São Paulo: Pioneira, 1987.325 p.

HULL, J. C. **Fundamentos dos Mercados Futuros e de Opções**. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros, 2005. 597p.

HULL. J. **Opções, futuros e outros derivativos**. Porto Alegre: Bookman. 1998. 994p.

JOAQUIM, M. S.; SOUZA, A. N.; SOUZA, S.N.; PEREIRA, R.S.; ANGELO. H. Aplicação da teoria das opções reais na análise de investimentos em sistemas agroflorestais. **Cerne**, v. 21, p. 439-477, 2015.

KEMNA, A. G. Z. (1993). Case Studies on Real Options. **Financial Management**, v. 22, p.259-70, 1993.

KESTER, W. C. Today's Options for Tomorrow's Growth. **Harvard Business Review**, v.62, p. 477-481, 1984.

LEMES JUNIOR, A. B. L.; RIGO, C. M.; CHEROBIM, A. P. M. S. **Administração Financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras**. Rio de Janeiro: Campus, 2005. 954p.

LOPES, M.A.; CARVALHO F.M. **Custo de produção do gado de corte: relatório do ano de 2002**. Lavras: UFLA, 2002. 47p. (Boletim Agropecuário, 47). Disponível em: <<http://livraria.editora.ufla.br>>. Acesso em 24 abr. 2019.

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P.F.; TOLEDO, P.E.N. **Metodologia de custo de produção utilizado pelo IEA**. São Paulo: Agricultura, V.23, p.123-139, 1976.

MERTON, R. C. Theory of rational option pricing. **Bell Journal of Economics and Management Science**, v. 4, p. 141-83. 1973.

MYERS, S. C. Determinants of Corporate Borrowing. **Journal of Financial Economics**, v. 5, p. 147-175, 1977.

MYERS, S. C. Finance Theory and Financial Strategy. **Midland Corporate Finance Journal**, v.5, n. 1, p. 6-13, 1987.

NARDELLI, P. M. **Análise de um Projeto Agroindustrial utilizando a Teoria de Opções Reais**. 2009. 81p. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Estratégia em Negócios). Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Departamento de Ciências Administrativas e Contábeis, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

PADDOCK, J.; SIEGEL, D.; SMITH, J. Option valuation on claim son physical assets: the case of offshore petroleum leases. **Quarterly Journal of Economics**, v.103, p.479-508, 1988.

PERES, A.A.C. **Viabilidade técnica e econômica de sistemas de produção a pasto para vacas em lactação sob manejo rotacionado**. 2006. 181p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

PERES, A.A.C.; ALMEIDA, G.L.; BESERRA, V.A. A utilização de técnicas de engenharia econômica na avaliação de empreendimentos e tecnologias. In: CARLI, A.A. de; SANTOS, F.S. dos; SEIXAS, M.W.de. (Org). **A Tecnologia em Prol do Meio Ambiente: a partir de uma análise multidisciplinar**. Volta Redonda: Lumen Juris, 2016. 292p.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Gráfica e Editora Degaspari, 2000. 477p.

PINDYCK, R.S. (1993). Investments of uncertain cost. **Journal of Financial Economics**, v.34, p. 53-76, 1993.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J. E. **Administração Financeira**. São Paulo: Atlas, 2002. 1072p.

SAITO, M. B; TÁVORA JR, J. L.; OLIVEIRA, M. R. G. A teoria das opções reais: uma aplicação a projetos de investimento em inovação tecnológica considerando-se o valor da flexibilidade gerencial. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO TECNOLOGIA. 7, 2010. Pernambuco. **Anais**. Resende, RJ: Seget, 2010. 1-12.

SAMANEZ, C. P. **Engenharia econômica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 210 p.

SAMANEZ, C. P. **Matemática Financeira: Aplicações à Análise de Investimentos**. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 288p.

SANTOS, D. F. L.; JURCA, F. L. Análise de investimento em confinamento bovino no centro-oeste brasileiro: um estudo de caso. **Custos e agronegócio**, v. 9, p. 129 – 161, 2013.

SOUZA, J. M. DE, CARDOSO, S., OLÍVIO, C., GUTH, O. **Desempenho de vacas leiteiras com pastagem de aveia e silagem de milho**. nº 24. Ijuí: Cooperativa Regional Triticola Serrana Ltda - COTRIJUÍ, 04p. (Comunicado técnico). 1990.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações**. São Paulo: Atlas, 2001. 200p.

SOUZA, A; CLEMENTE, A. **Decisões Financeiras e Análise de Investimento**. São Paulo: Atlas, 2004. 200p.

TEIXEIRA, J.C. **Alimentação de bovinos leiteiros**. Lavras: Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão - FAEPE, 1997. 217p.

TRIGEORGIS, L. Making use of Real Options Simple: an overview and applications in flexible/modular decision making. **The Engineering Economist**, v. 50, p. 25-53, 2005.

TRIGEORGIS, L. Conceptual Options Framework for Capital Budgeting, **Advances in Futures and Options Research**. V. 3.1988, p.145-167, 1988.

TRIGEORGIS, L. **Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation**. Cambridge: The MIT Press, 1996. 406p.

TRIGEORGIS, L., MASON, S. P. Valuing Managerial Flexibility. **Midland Corporate**, V. 5, p. 14-21, 1987.

WESTON, J. F.; BRIGHAM, E. F. **Fundamentos da administração financeira**. São Paulo: Pearson, 2000. 781p.