

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“Júlio de Mesquita Filho”**

**Juliana Borba de Moraes Farinelli**

**FLEXIBILIDADE GERENCIAL E DIVERSIFICAÇÃO DE CULTURAS  
NA PROPRIEDADE RURAL CANAVIEIRA**

Jaboticabal  
2017

# **Juliana Borba de Moraes Farinelli**

## **FLEXIBILIDADE GERENCIAL E DIVERSIFICAÇÃO DE CULTURAS NA PROPRIEDADE RURAL CANAVIEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como exigência parcial para obtenção do grau de Mestre em Administração.

Área de concentração: Gestão de Organizações Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. David Ferreira Lopes Santos

Jaboticabal  
2017

Farinelli, Juliana Borba de Moraes  
F225f Flexibilidade gerencial e diversificação de culturas na propriedade rural canavieira / Juliana Borba de Moraes Farinelli. -- Jaboticabal, 2017  
x, 134 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017  
Orientador: David Ferreira Lopes Santos  
Banca examinadora: Timóteo Ramos Queiroz, Marcelo Augusto Ambrozini, José Antonio de Souza Rossato Júnior  
Bibliografia

1. Opções reais. 2. Carteira agrícola. 3. Agronegócio. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 338.43:633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –  
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

**Juliana Borba de Moraes Farinelli**

**FLEXIBILIDADE GERENCIAL E DIVERSIFICAÇÃO DE CULTURAS NA  
PROPRIEDADE RURAL CANAVIEIRA**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para obtenção do grau de Mestre em Administração no Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Estadual Paulista.

Jaboticabal, julho de 2017.

---

Prof. Dr. David Ferreira Lopes Santos (Orientador)

Professor Assistente Doutor, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista.

---

Prof. Dr. Timóteo Ramos Queiroz (Examinador Interno)

Professor Assistente Doutor, Faculdade de Ciências e Engenharia, Câmpus de Tupã, Universidade Estadual Paulista.

---

Prof. Dr. Marcelo Augusto Ambrozini (Examinador Externo)

Professor Doutor, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.

---

Dr. José Antonio de Souza Rossato Júnior (Parecerista Externo)

Diretor da Cooperativa Agroindustrial, COPLANA, Jaboticabal São Paulo.

“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos”.

(Marcel Proust)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me dar força e perseverança para trilhar minha carreira profissional e acadêmica.

A minha filha Marina fonte de inspiração e força na superação dos obstáculos e desafios de minha jornada. Pela parceria, companheirismo e amor.

Ao meu marido Rogério pelo incentivo a minha carreira profissional e acadêmica, pela parceria profissional e matrimonial, onde não faltaram paciência e carinho.

A minha mãe Mirian por ser meu exemplo de mulher, me ensinando o respeito ao próximo e a viver com dignidade. Por nunca me faltar uma palavra de incentivo, por nunca deixar de acreditar em mim.

As minhas irmãs Camila e Fernanda pela amizade, confiança, pelos conselhos e parceria. Bem como pelo incentivo e torcida para com minha vida acadêmica e profissional.

Ao meu pai Nivaldo pelo incentivo aos estudos e aos ensinamentos sobre a sociedade e o meio cooperativo, fundamentais na minha trajetória profissional.

Ao professor Dr David Ferreira Lopes Santos, a quem na qualidade de orientador, quero prestar o devido reconhecimento e manifestar o meu apreço por toda contribuição, pela disponibilidade sempre manifestada, paciência e por todas as orientações, as quais foram imprescindíveis para elaboração deste trabalho.

A professora Dra Carolina Fernandes pela parceria neste trabalho, bem como sua pronta disponibilidade, o que foi fundamental para execução da dissertação de forma realista e aplicada.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro ao projeto (Processo nº 2011/06491-0) referente ao experimento agrônômico, objeto de estudo deste trabalho.

## RESUMO

A diversificação de culturas confere benefícios à propriedade rural quanto à redução do risco do negócio e aos proventos agronômicos no ambiente produtivo. Na atividade canavieira a diversificação de culturas pelo sistema de rotação ou sucessão agrícola ainda é um paradigma para o produtor rural, principalmente devido ao ciclo produtivo da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) distinto das culturas anuais que induzem o produtor a manter a cultura entre 4 a 6 anos para diluir o investimento da implantação. Por conseguinte o plantio de outra cultura é realizado nas áreas de reforma de canavial apenas ao final do ciclo da cana. Esta pesquisa questiona esse paradigma ao utilizar a teoria de opções reais para capturar o valor da flexibilidade gerencial em diversificar a produção como forma de minimizar o risco e aumentar os resultados do empreendimento rural utilizando a opção de troca entre as culturas de cana e soja, considerando um modelo polinomial combinando a volatilidade de mercado com a volatilidade da produtividade. Para tanto, tomou-se como base um experimento agrícola realizado ao longo de 7 anos, com diferentes sistemas de sucessão com cana, instalado e conduzido em uma propriedade rural na Região de Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Diante dos resultados pode-se deferir que o sistema de sucessão soja/crotalária/soja/cana foi o que obteve melhor desempenho agronômico e econômico-financeiro e, a diversificação de culturas por meio da teoria do portfólio devolveu uma maior valorização a atividade, numa divisão de área em 44% de cana e 56% de soja. Esse perfil de área demonstrara viabilidade financeira pelo ponto de equilíbrio. A partir da teoria das opções reais, tomando como base os riscos agronômicos e de mercado em uma abordagem polinomial, verificou-se um maior retorno do investimento com a flexibilidade de substituição da cana com soja (*Glycine max*), quando alcançou o valor de R\$ 1.601.952 em detrimento a R\$ 1.229.88 quando não aplicado. A aplicação da opção troca de cultura foi possível logo no segundo corte da cana, um cenário totalmente novo para a realidade da região de Jaboticabal/SP.

**Palavras-chaves:** Espécies de cobertura, Carteira agrícola, Agronegócio, Opções reais, Desempenho econômico-financeiro

## ABSTRACT

Diversification of crops confers benefits to rural property in reducing business risk and agronomic revenues in the productive environment. In sugar cane crop diversification by the rotation system or agricultural succession is still a paradigm for the rural producer, mainly due to the productive cycle of sugarcane (*Saccharum spp*) distinct from the annual crops that induce the producer to maintain the crop Between 4 and 6 years to dilute the deployment investment. Consequently, the planting of another crop is carried out in the areas of sugar cane reforestation only at the end of the cane cycle. This research questions this paradigm when using the real options theory to capture the value of managerial flexibility in diversifying production as a way to minimize risk and increase the results of the rural enterprise using the exchange option between cane and soybean crops, considering A polynomial model combining market volatility and productivity volatility. For this, an agricultural experiment was carried out over 7 years, with different sugarcane succession systems, installed and conducted in a rural property in the Jaboticabal Region, São Paulo, Brazil. In view of the results, it can be inferred that the succession system soybean / crotalaria / soybean / cane was the one that obtained the best agronomic and economic-financial performance and, the diversification of cultures through the theory of the portfolio returned a greater value to the activity, in a Division of area in 44% of sugarcane and 56% of soybean. These area quantities demonstrated financial viability at the Point of Equilibrium. Based on the real options theory, based on the agronomic and market risks in a polynomial approach, there was a higher return on investment with the flexibility of substitution of cane with soybean (*Glycine max*) when it reached the value of R\$ 1,601,952 instead of R\$ 1,229.88 when not applied. The application of the culture exchange option was possible in the second sugarcane cut, a totally new scenario for the region of Jaboticabal / SP.

**Keywords:** Species of coverage, Agricultural portfolio, Agribusiness, Real options, Economic and financial performance.

## LISTA DE ABREVIATURAS

ATR	Açúcar Total Recuperável
CCT	Corte, Carregamento e Transporte
CTT	Corte, Transbordo e Transporte
CATI	Coordenadoria de Assistência Técnica Integral
CAPM	Capital Asset Pricing Model
CMPC	Custo Médio Ponderado de Capital
COPLANA	Cooperativa Agroindustrial
CV	Custo Variável
CVL	Custo Volume Lucro
EBTIDA	<i>Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization</i>
EDR	Escritório de Desenvolvimento Regional
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização da Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FCA	Fluxo de Caixa Anual Equivalente
FCAO	Fluxo de Caixa Anual Operacional
FCD	Fluxo de Caixa Descontado
FCO	Fluxo de Caixa Operacional
IAC	Instituto Agrônômico de Campinas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Instituto de Economia Agrícola
IR	Imposto de Renda
LAIR	Lucro antes do Imposto de Renda
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
MGB	Movimento Geométrico Browniano
MRM	Movimento de Reversão a Média
PE	Ponto de Equilíbrio
PIB	Produto Interno Bruto
QE	Quantidade de Equilíbrio
RA	Regional Agrícola
RB	REceita Bruta
RL	Receita Líquida
ROI	<i>Return on Investment</i>
SOCICANA	Associação dos Fornecedores de Cana da Região de Guariba
SRS	<i>Short Croppice Rotation</i>
TCH	Toneladas de Colmos por hectare
TOR	Teoria das Opções Reais
ÚNICA	União da Indústria de cana-de-açúcar
VBP	Valor Bruto dos principais Produtos Agropecuários
VP	Valor Presente

VPL	Valor Presente Líquido
WACC	<i>Weighted Average Cost of Capital</i>

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Ciclo produtivo da cana-de-açúcar com três cortes	29
Figura 2. Diagrama Ilustrativo do Fluxo de Caixa Livre	46
Figura 3. Ilustração Custo-Volume-Lucro	51
Figura 4. Quanto maior a incerteza e a flexibilidade de reação mais valorosa as opções	57
Figura 5. Etapas da aplicação da Teoria das Opções Reais	60
Figura 6. Árvore binomial de três períodos	70
Figura 7. Árvore quadrimomial de dois períodos	71
Figura 8. Modelagem do preço do ATR pelo MGB	105
Figura 9. Modelagem da produtividade baseada na distribuição de limites	105
Figura 10. Árvore de eventos do Fluxo de Caixa da cana-de-açúcar	106
Figura 11. Árvore de decisão – Opção troca de cultura, cana por soja	108

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Composição do setor Agronegócio com base no Produtor Interno Bruto (PIB)	21
Gráfico 2. Valor bruto dos principais produtos agropecuários no Brasil	22
Gráfico 3. Distribuição do valor bruto dos principais produtos agropecuários no Brasil	23
Gráfico 4. Evolução da área plantada e produção de grãos no Brasil	24

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1. Calendário agrícola dos sistemas de plantio de cana-de-açúcar	29
Quadro 2. Classificação do ambientes de produção de cana-de-açúcar, variedades correspondentes e potencial produtivo	32
Quadro 3. Calendário agrícola da cultura da soja	33
Quadro 4. Esquema de rotação de culturas	37
Quadro 5. Esquema de sucessão de culturas	37
Quadro 6. Características distintas das opções reais em relação às opções financeiras	56
Quadro 7. Modelos de valoração de opções reais presentes na literatura referente à rotação de culturas	75
Quadro 8. Operações agrícolas e recomendações agronômicas Área A	79
Quadro 9. Operações agrícolas e recomendações agronômicas Área B	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Área de produção em hectares dos principais cultivos agrícolas do EDR de Jaboticabal comparados com Estado de SP	25
Tabela 2. Quantidades de plantas em produção dos principais cultivos frutícolas do EDR de Jaboticabal comparados com o Estado de SP	27
Tabela 3. Perfil do produtor rural canavieiro na região de Jaboticabal/SP	27
Tabela 4. Produtividade média da cultura da soja nos diferentes sistemas de sucessão na safras 2008/2009 e 2009/2010	81
Tabela 5. Produtividade média de colmos por hectare da cultura da cana-de-açúcar após diferentes sistemas de sucessão – Safras 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014	81
Tabela 6. Produtividade média de ATR por tonelada de cana após diferentes sistemas de sucessão – Safras 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014	82
Tabela 7. Custos fixos anuais da propriedade rural	84
Tabela 8. Pacote tecnológico da propriedade rural e a depreciação	85
Tabela 9. Itens que compõem a taxa mínima de atratividade – WACC EUA	89
Tabela 10. Itens que compõem a taxa mínima de atratividade – WACC BR	90
Tabela 11. Fluxo de caixa do sistema de sucessão soja/cana – Área A	91
Tabela 12. Fluxo de caixa do sistema de sucessão soja/cana – Área B	92
Tabela 13. Fluxo de caixa do sistema de sucessão soja/pousio/soja/cana – Área A	93
Tabela 14. Fluxo de caixa do sistema de sucessão soja/pousio/soja/cana – Área B	93
Tabela 15. Fluxo de caixa do sistema de sucessão soja/milheto/soja/cana – Área A	94
Tabela 16. Fluxo de caixa do sistema de sucessão soja/milheto/soja/cana – Área B	95
Tabela 17. Fluxo de caixa do sistema de sucessão soja/crotalária/soja/cana – Área A	96
Tabela 18. Fluxo de caixa do sistema de sucessão soja/crotalária/soja/cana – Área B	96
Tabela 19. Comparação dos sistemas de sucessão agrícola pelo Fluxo de caixa anual equivalente, Fluxo de caixa anual operacional e ROI	97
Tabela 20. Carteira da lavoura – Diversificação da propriedade rural	99
Tabela 21. Ponto de equilíbrio – Diversificação do propriedade rural	99
Tabela 22. Fluxo de caixa da propriedade rural diversificada pela carteira mínima de variância	101
Tabela 23. Comparação da propriedade rural diversificada com a propriedade com monocultivo	101
Tabela 24. Movimentos de subida e descida do ATR e suas probabilidades	104

Tabela 25. Movimento de subida e descida de TCH e suas probabilidades	104
Tabela 26. Fluxo de caixa da cana-de-açúcar em quatro cortes	107
Tabela 23. Fluxo de caixa da cana-de-açúcar - Opção troca de cultura	109

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	21
<b>2.1 Agronegócio</b> .....	21
2.1.1 <i>O Agronegócio no Brasil</i> .....	21
2.1.2 <i>A Agricultura na Região de Jaboticabal/SP</i> .....	26
2.1.3 <i>A Cultura da Cana-de-açúcar</i> .....	29
2.1.3.1 <i>Ambiente de Produção para Cana-de-açúcar</i> .....	32
2.1.4 <i>A Cultura da Soja</i> .....	33
2.1.5 <i>Sistemas de Plantio e Espécies de Cobertura</i> .....	35
2.1.6 <i>Diversificação: Sistemas de Rotação e Sucessão de Culturas</i> .....	37
<b>2.2 Análise de Investimento</b> .....	40
2.2.1 <i>Carteira Mínima de Variância e o Modelo CAPM</i> .....	40
2.2.2 <i>Análise de Investimento no Agronegócio</i> .....	44
2.2.3 <i>Fluxo de Caixa Descontado e Análise Custo Volume Lucro (CVL)</i> .....	45
2.2.4 <i>Teoria das Opções Reais</i> .....	54
2.2.4.1 <i>Opções Financeiras e Opções Reais</i> .....	56
2.2.4.2 <i>Flexibilidade Gerencial</i> .....	58
2.2.4.3 <i>Aplicação da TOR</i> .....	59
2.2.4.4 <i>O Movimento Geométrico Browniano</i> .....	62
2.2.4.5 <i>Modelos Binomial e Polinomial</i> .....	67
2.2.4.6 <i>Opções Reais e Diversificação de Culturas</i> .....	75
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	78
<b>3.1 Características do Experimento Agrícola</b> .....	78
<b>3.2 Premissas e Fontes para Elaboração do Fluxo de Caixa</b> .....	83
<b>3.3 Mensuração da Volatilidade e Flexibilidade</b> .....	87
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	90
<b>4.1 Retorno Ajustado ao Risco e WACC</b> .....	90
<b>4.2 Fluxos de Caixa dos Sistemas de Sucessão Agrícola</b> .....	92
<b>4.3 Diversificação da Propriedade Rural: Carteira Agrícola, Ponto de Equilíbrio e Fluxo de Caixa</b> .....	99

<b>4.4 Teoria das Opções Reais – Opção Troca de Cultura .....</b>	<b>105</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>112</b>
<b>5.1 Contribuições Gerenciais .....</b>	<b>116</b>
<b>5.2 Limitações e Trabalhos Futuros .....</b>	<b>118</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>119</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O conceito de diversificação pode ser entendido em seu sentido estrito associado à multifuncionalidade, como o exercício simultâneo de várias atividades desempenhadas por um único agente (BEZABIH e SARR, 2012; FIGUEIREDO *et al.*, 2014). A diversificação torna-se uma condição indispensável à sobrevivência e à competitividade dos territórios rurais na medida em que garante à biodiversidade, gerando renda através de novas oportunidades de negócio (SANTOS, 2010; SILVA e FERNANDES, 2014).

A adoção de práticas agrícolas de diversificação de culturas, a exemplo dos sistemas de rotação e sucessão, conferem ao estabelecimento rural benefícios agronômicos devido a maior estabilidade física e química do solo (SEBEN JUNIOR, CORÁ e LAL, 2014; CALONEGO e ROSOLEM, 2011; SILVA e FERNANDES, 2014), a quebra do ciclo de pragas e doenças (LEANDRO e ASMUS, 2015), o impacto produtivo positivo da cultura subsequente (AMBROSANO *et al.*, 2013; LACERDA *et al.*, 2015), entre outros. O que reporta ao ecossistema agrícola uma maior sustentabilidade e consequente redução dos impactos ambientais (BARETTA *et al.*, 2015; MUSSHOF, 2012).

No âmbito econômico-financeiro a diversificação de culturas pode se traduzir em reduções nos custos para a cultura subsequente, uma vez que representa diminuição no uso de fertilizantes e dos demais insumos, na possibilidade dos empresários rurais terem maior volume de capital e possível estabilidade econômica (OLIVEIRA, PEREIRA e VIEIRA, 2012), além de reduzir o risco agregado dos empreendimentos (BEZABIH e SARR, 2012).

Por outro lado, a expansão do portfólio de culturas é uma atividade complexa que envolve fatores técnicos, operacionais e financeiros da empresa rural, uma vez que esta afeta o planejamento produtivo em diferentes modos, além de requerer mais investimentos em capital fixo e trabalho específico (OLIVEIRA, PEREIRA e VIEIRA, 2012), com efeito, demanda-se uma análise de investimento que considere tais particularidades em meio à flexibilidade da maior amplitude de escolha do que plantar.

Salienta-se, ainda, que a atividade agrícola é permeada de incertezas, principalmente no que concerne: i) a volatilidade dos preços das *commodities*; ii) as diferenças de produtividade, dada as diferentes opções tecnológicas, aos ambientes de produção, a intempéries climáticas e o surgimento e flutuação de pragas e doenças e; iii) o custo dos insumos (ROCHMAN e SALVADOR, 2013; NARDELLI e MACEDO, 2011).

As técnicas de análise de investimento usuais para o setor agrícola são compiladas das finanças corporativas, em especial, associadas ao Fluxo de Caixa Descontado (FCD) por meio da estimativa do Valor Presente Líquido (VPL) (BONACIM *et al.*, 2013; SANTOS e JURCA, 2013). Porém, as limitações desta abordagem diante de projetos de investimentos com incertezas que permitem a flexibilidade gerencial são reportadas na literatura que, indica o uso da Teoria das Opções Reais (TOR) como a técnica mais robusta na valoração de projetos com estas características (PINDYCK, 1993; BRANDÃO e DYERS, 2009), inclusive para investimentos no agronegócio (BONACIM, *et al.*, 2013; SANTOS e JURCA, 2013; REGAN, *et al.*, 2015).

Na literatura, Reeson, Rudda e Zhub (2015), Yemshanov *et al.* (2015) e Li, Tseng e Hu (2015), aplicaram a TOR para análise da mudança do uso da terra, na conversão da agricultura convencional em sistemas florestais. Rochman e Salvador (2013) correlacionaram a prática da rotação e sucessão de culturas com o preço da terra na região Centro-Oeste do Brasil, a incerteza adotada foi o preço das *commodities*. Neste mesmo segmento, Musshoff (2012) e Wolbert-Haverkamp e Musshoff (2014) analisaram a viabilidade econômica da rotação de espécies arbóreas de ciclo curto, o que denominam de *Short Rotation Coppice* (SRC) frente à agricultura convencional, ambos os estudos realizados na Alemanha.

A escassez de literatura que aborde as aplicações da TOR como instrumento de análise de investimento e tomada de decisão ao empresário ou produtor rural no processo de sucessão ou rotação de culturas foi confirmada após revisão bibliográfica sistematizada nas bases de dados *Web of Science*, SCOPUS, SPELL, Ph@thernon (UNESP) e Google Acadêmico onde foram reportados, somente, cinco artigos e destes apenas um têm como escopo o Brasil, que atualmente é o segundo maior produtor agrícola do mundo (Anuário da Agricultura Brasileira - AGRIANUAL, 2015). Em adição, não foram encontrados estudos no setor canavieiro em que o país é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (SHIKIDA, 2014; UNICA, 2015).

A compreensão da importância da diversificação associada com sucessão ou rotação de cultura da cana-de-açúcar é um dos desafios gerenciais e acadêmicos para o setor (SOAREZ *et al.*, 2011; OLIVEIRA, PEREIRA e VIEIRA, 2012).

Há dificuldade de planejamento e gerenciamento de mais de uma cultura associada à cana-de-açúcar uma vez que o ciclo produtivo desta última demanda uma média de quatro a seis cortes (seis anos), diferente das culturas de grãos que são anuais (DERPSCH, ROTH, SIDIRAS e KÖPKE, 1991; SOARES *et al.*, 2016).

Diante disso, a diversificação de culturas é o grande paradigma para o empresário rural canavieiro, o qual no cotidiano limita-se ao cultivo apenas de cana-de-açúcar e o emprego da sucessão de culturas com amendoim, soja e adubo verde somente nas áreas de renovação de canaviais (SOARES *et al.*, 2016).

Essa situação é recorrente para os pequenos e médios produtores (área inferior a 100 hectares - ha) que quando decidem investir, somente, na cultura canvieira ficam restritos, ao longo de seis anos, das incertezas que envolvem o preço da *commodity* e a produtividade.

Segundo os dados da União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA, 2015), o Estado de São Paulo é responsável sozinho por aproximadamente 60% da produção nacional de cana-de-açúcar e de seu processamento. Além disso, de acordo com a Associação dos Fornecedores de Cana da Região de Guariba (SOCICANA, 2016), a qual contempla a região de Jaboticabal, mais de 42,03% do volume de cana-de-açúcar entregue na região advém de pequenos e médios produtores rurais, compondo-se de mais de 1.046 fornecedores de cana, o que corresponde a mais de 90% dos associados.

A delimitação proposta neste tema encerra a questão que motivou essa pesquisa: Qual o impacto econômico-financeiro da diversificação de culturas na propriedade rural canvieira, situada na região Jaboticabal/SP, mediante a otimização do portfólio de culturas e a flexibilidade gerencial?

Para alcançar a resposta desse problema de pesquisa, utilizou-se como base um experimento agrícola de diversificação de culturas com cana-de-açúcar financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processo nº 2011/06491-0). O objetivo do estudo foi verificar a influência de quatro diferentes sistemas de sucessão agrícola sobre os atributos químicos e físicos do solo e, também quanto ao impacto destes sistemas na produtividade da cana-de-açúcar num ciclo de quatro cortes.

O experimento agrícola retrata a realidade do produtor rural na região de Jaboticabal/SP, uma vez que foi instalado e conduzido em uma propriedade agrícola a partir da estrutura tecnológica do produtor rural, contemplando duas safras agrícolas de grãos e todo o ciclo produtivo da cana-de-açúcar, no caso quatro cortes.

A fim de responder o problema da atual pesquisa e com base no experimento agrícola descrito postularam-se os seguintes objetivos:

- 1) Avaliar qual sistema de sucessão com cana-de-açúcar possui melhor desempenho econômico-financeiro.

2) Propor a diversificação da propriedade agrícola, a partir da minimização do risco do produtor e levando em consideração as limitações de engenharia agrônômica envolvidos na formação de um portfólio.

3) Estruturar um modelo de opções reais que incorpore as flexibilidades gerenciais em realizar a opção de troca pela cultura da soja ao longo do ciclo produtivo da cana-de-açúcar, considerando as incertezas de preço e produtividade desta última cultura.

Neste sentido, este estudo está organizado em mais quatro seções subsequentes. Na próxima, apresenta-se a fundamentação teórica do estudo que permitiu a proposição dos modelos de análise explorados na pesquisa empírica. A terceira seção discute os materiais e métodos que balizaram a pesquisa e delimitaram a extensão e aplicação dos resultados. A quarta seção, apresenta os resultados da pesquisa e propõem uma discussão com a literatura abordada. Por último, relatam-se as considerações e implicações deste estudo. As referências encerram o trabalho.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Agronegócio

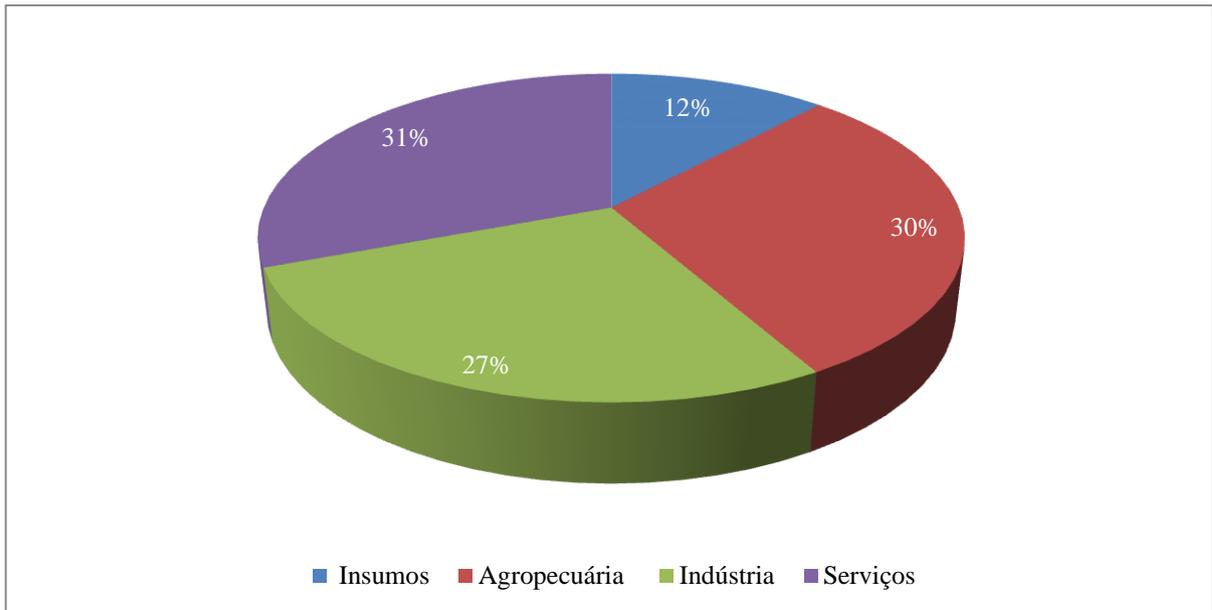
Esta seção num primeiro momento elucida o agronegócio no Brasil por meio de sua importância econômica e apresenta suas principais características. Na sequência destaca a região de Jaboticabal-SP, onde se localiza a propriedade rural analisada no presente trabalho, com ênfase para a atividade agrícola e perfil dos produtores rurais da região.

São apresentadas também, de forma sucinta, as características agronômicas das culturas envolvidas nos sistemas de sucessão agrícola deste trabalho: cultura da soja, cana-de-açúcar e espécies de cobertura. A seção se encerra com a abordagem sobre diversificação de culturas por meio dos sistemas de rotação e sucessão de culturas.

#### 2.1.1 O Agronegócio Brasileiro

O agronegócio pode ser definido como a soma das operações de produção e distribuição de suprimentos agrícolas, processamento e distribuição de produtos agrícolas e itens produzidos a partir deles (DAVIS e GOLDBERG, 1957 apud ROCHMAN e SALVADOR, 2013). Desta forma, a visão do agronegócio perpassa a propriedade agrícola e pecuária e, abrange tanto os fornecedores destes produtores quanto toda a cadeia de distribuição destes produtos e alguns de seus clientes, dado que alguns itens são produzidos utilizando insumos da agropecuária (CORRÊA, KLIEMANN NETO e DENICOL, 2016; ROCHMAN e SALVADOR, 2013), conforme Gráfico 1.

No Brasil, o agronegócio é um dos setores mais importantes para a economia, correspondendo em 2015 a 21,35% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional e estimado a 23% em 2016, segundo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (CEPEA, 2016). Além disso, enquanto todos os setores econômicos do país, demonstraram queda no número de empregos formais em 2015, o setor agropecuário dentro do agronegócio, exibiu crescimento de 0,9% em novos postos de trabalho (Instituto de Economia Agrícola – IEA, 2016).



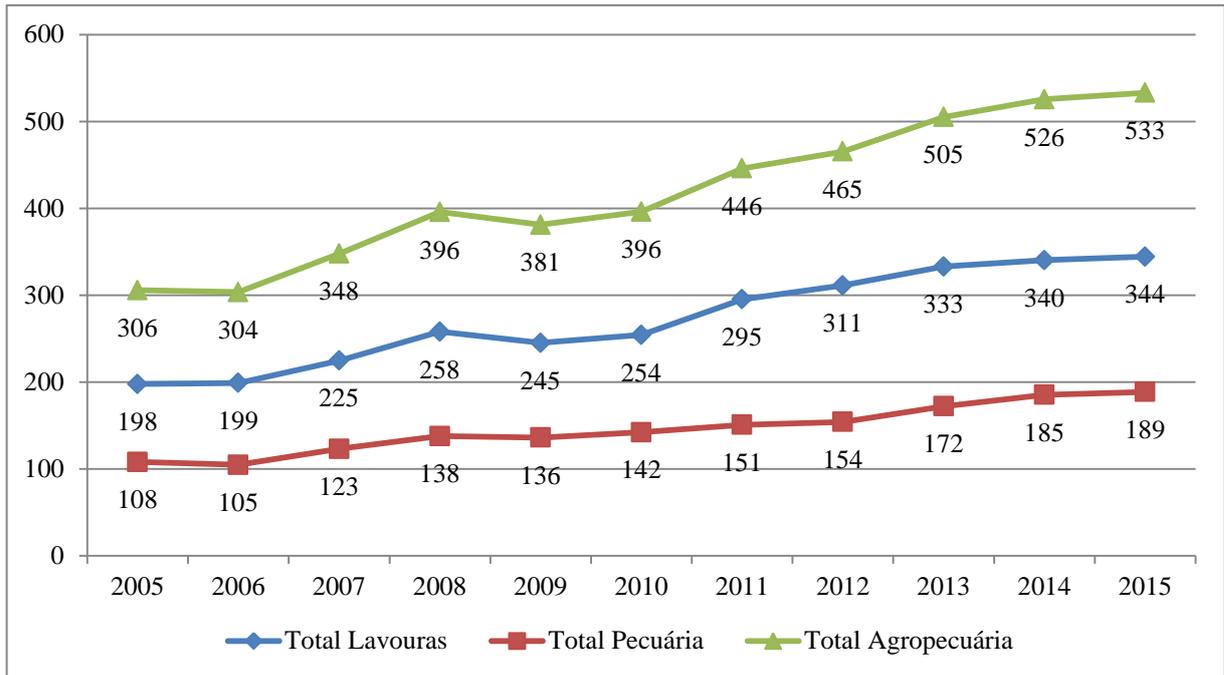
**Gráfico 1.** Composição do setor do agronegócio com base no PIB

Fonte: Elaborado pela autora. Dados: Cepea (2016).

No ano de 2016 o PIB do agronegócio cresceu 4,48% em relação a 2015, onde o setor agrícola teve um incremento de 5,77% e o pecuário de 1,72%. Em relação aos quatro segmentos do agronegócio todos obtiveram acréscimos com destaque para o segmento primário (“dentro da porteira) com crescimento de 6,44%, posteriormente serviços com 4,50% e indústria 2,85% (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA, 2016).

Segundo Cepea (2016), as culturas agrícolas obtiveram um bom desempenho em 2016, com crescimento no faturamento anual, a exemplo das culturas da: banana com crescimento de 52,09%; batata 10,34%; café 18,41%; cana-de-açúcar 18,00%; feijão 19,48%; laranja 42,47%; mandioca 112,53%; milho 17,14%; soja 1,95% e; trigo 26,90%.

No que concerne o segmento primário, em consonância com a inferência anterior, o valor bruto dos principais produtos agropecuários (VBP) encontram-se em expansão, correspondendo num total de R\$ 533,1 bilhões em 2015, com divisão de R\$ 344,4 milhões para o total das lavouras e R\$ 188,7 milhões para pecuária (Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA, 2016), conforme exposto no Gráfico 2.



**Gráfico 2.** Valor bruto dos principais produtos agropecuários no Brasil.  
Fonte: Elaborado pela autora. Dados: MAPA (2016).

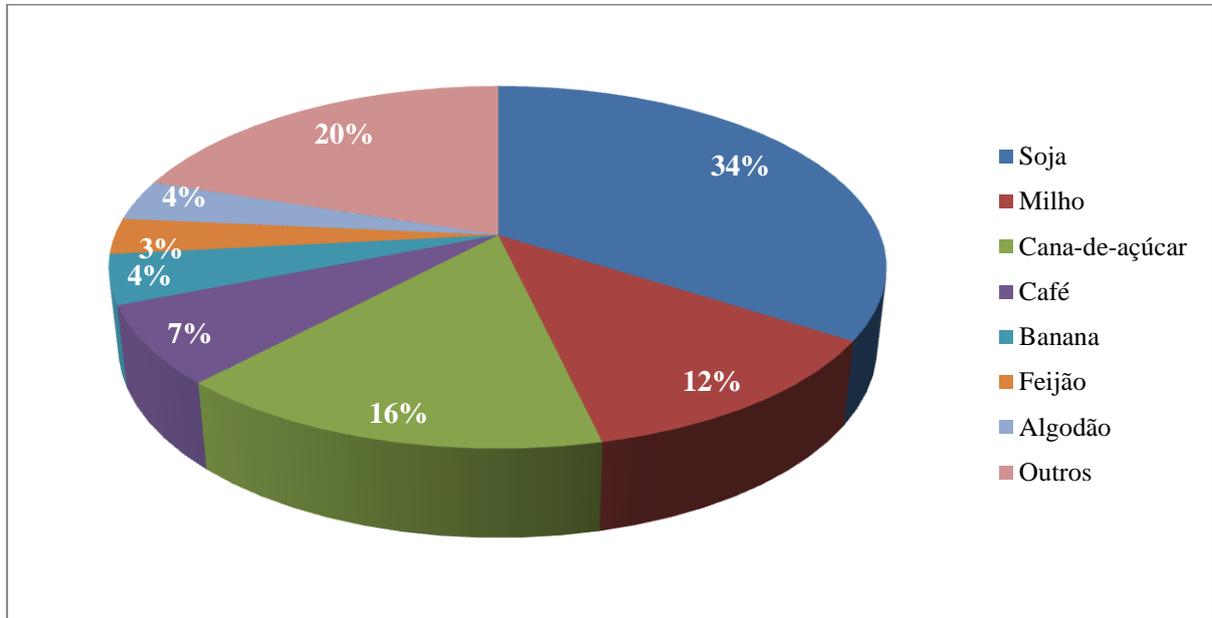
Por se tratar de um país muito extenso e possuir uma variedade climática e de solo muito ampla, o Brasil possui vocação natural para o desenvolvimento de determinadas culturas quando comparado a outras regiões do planeta (ROCHMAN e SALVADOR, 2013). Dentre os principais produtos agrícolas produzidos no país os que possuem maior notoriedade em termos de VBP são a soja correspondendo a cerca de 34% da produção nacional e a cana-de-açúcar 16% (Ministério da Agricultura e Pecuária - MAPA, 2016), como exposto no Gráfico 3.

Atualmente, a área plantada de grãos estimada para a Safra 2016/17 é 59,7 milhões de hectares (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2016), correspondente a cerca de 6,87% de toda a extensão territorial do Brasil, estimada em 8.515.767 km<sup>2</sup> (IBGE, 2011). A cultura da soja e do milho correspondem juntas por cerca de 90% do que é produzido, sendo o Brasil o segundo maior produtor do mundo e maior exportador de soja, atrás em produção dos Estados Unidos (CONAB, 2016).

A área plantada com cana-de-açúcar na safra 2015/16 foi em torno de 8,7 milhões de hectares, correspondente a cerca de 1,0% do território nacional e o Brasil posiciona-se como o maior produtor mundial de cana, e maior exportador de açúcar (CONAB, 2016).

Segundo relatório da Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura (FAO/ONU, 2015) nos últimos vinte anos, o setor agrícola brasileiro cresceu

significativamente em produtividade e na expansão e consolidação de novas fronteiras agrícolas nas regiões Centro-Oeste e Norte.

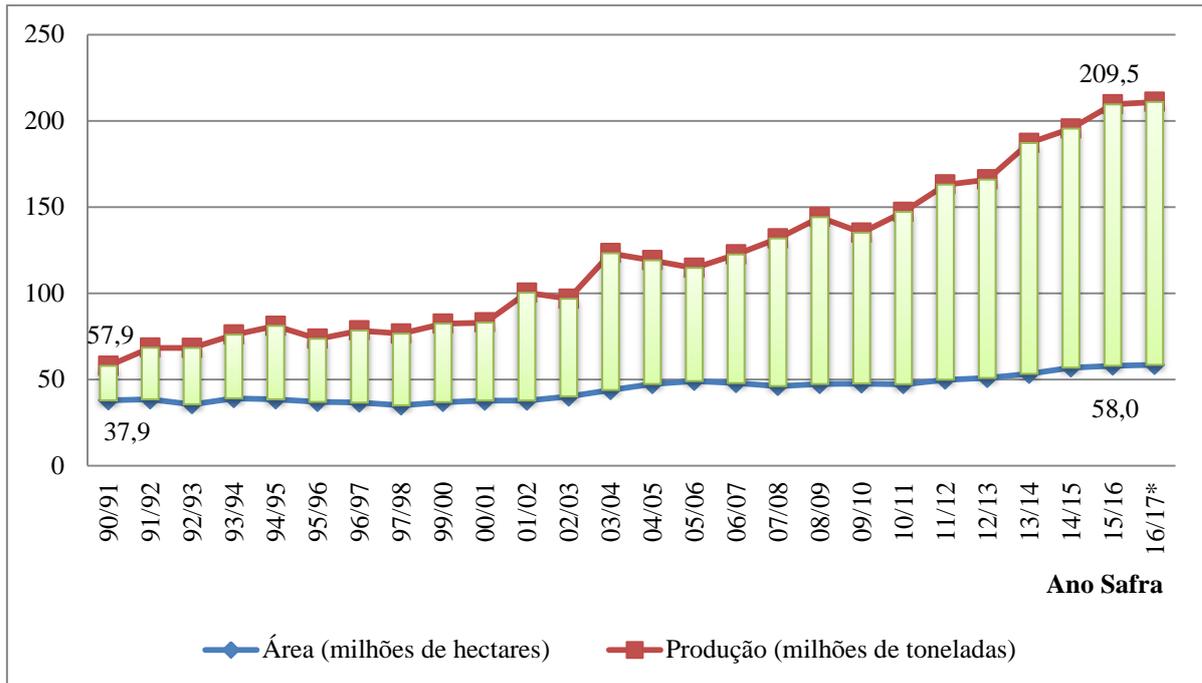


**Gráfico 3.** Distribuição do valor bruto dos principais produtos agropecuários no Brasil.

Fonte: Elaborado pela autora. Dados: MAPA (2016).

A evolução da área plantada, mantendo-se todas as demais condições, naturalmente deveria refletir em um aumento proporcional da produção total do país. Entretanto, percebe-se que o aumento da produção do país foi muito maior do que a área plantada (ROCHMAN e SALVADOR, 2013), exposto assim no Gráfico 4.

Diante do Gráfico 4, verifica-se que na safra 1990/1991 eram necessários 0,66 hectares para se produzir uma tonelada de grãos, no entanto, na safra 2015/2016 a quantidade de área reduziu para 0,28 hectares. Em termos de proporção, neste mesmo período, as áreas com grãos aumentaram 53% e a produção 262%. Salienta-se ainda, que o valor de área é superestimado uma vez que no mesmo hectare pode-se produzir mais de uma cultura no mesmo ano agrícola.



**Gráfico 4.** Evolução da área plantada e produção de grãos no Brasil.  
Fonte: Elaborado pela autora. Dados: CONAB (2016).

Esta evolução da produção em contraste com a área plantada pode ser explicada pelo avanço da tecnologia relacionada à agricultura, como: o melhoramento genético; o desenvolvimento de produtos químicos mais eficientes; a agricultura de precisão (DEMATTE *et al.*, 2014); o desenvolvimento de técnicas de manejo como sistemas de rotação e sucessão de culturas (AMBROSANO *et al.*, 2014) e; aos sistemas integrados (COSTA *et al.*, 2012); o que repercutiu num consequente aumento da produtividade.

### 2.1.2 A Agricultura na Região de Jaboticabal/SP

A região de Jaboticabal localiza-se no noroeste do Estado de São Paulo, este é composto por quinze Regionais Agrícolas (RA), onde se encontram as sedes da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI). As RAs encontram-se subdivididas em 40 Escritórios de Desenvolvimento Rural (EDR), dentre eles está o EDR de Jaboticabal.

O EDR de Jaboticabal congrega os municípios de: Borborema, Cândido Rodrigues, Dobrada, Fernando Prestes, Guariba, Ibitinga, Itápolis, Monte Alto, Santa Ernestina, Taiacu, Taquaritinga e Vista Alegre do Alto. E em consonância com o perfil agrícola do Estado de

São Paulo, o cultivo da cana-de-açúcar também é predominante na região de Jaboticabal, bem como o cultivo de frutíferas tropicais e grãos (FIGUEIRA e BORGES, 2014), conforme observado nas Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1.** Área de produção em hectares dos principais cultivos agrícolas do EDR Jaboticabal comparados com Estado de São Paulo.

Principais Cultivos Agrícolas - EDR Jaboticabal	Áreas em produção (ha)			
	Estado de São Paulo	EDR Jaboticabal	Participação do Cultivo no EDR Jaboticabal	Participação EDR Jaboticabal no Estado SP
Amendoim das águas	105.627,05	16.070,00	4,63%	15,21%
Cana p/ indústria	5.605.732,54	265.116,20	76,46%	4,73%
Mandioca para mesa	14.326,50	1.076,00	0,31%	7,51%
Milho verde	415.434,49	8.680,00	2,50%	2,09%
Milho (safrinha)	363.884,50	3.636,00	1,05%	1,00%
Milho irrigado	45.890,26	1.028,00	0,30%	2,24%
Soja	717.946,40	4.508,00	1,30%	0,63%
Eucalipto	821.785,82	1.356,10	0,39%	0,17%
Pastagem cultivada	5.925.079,74	30.423,90	8,77%	0,51%
Outros	4.257.273,90	14.831,10	4,28%	0,35%
<b>Total de Áreas</b>	<b>18.272.981,20</b>	<b>346.725,30</b>	<b>100,00%</b>	<b>1,90%</b>

Fonte: Elaborado pela autora. Dados: IEA (2015).

O Estado de São Paulo é responsável por um terço do PIB agroindustrial do Brasil: é o maior produtor de suco de laranja do mundo e destaca-se na produção nacional de frutas e legumes; é também um grande produtor de cana-de-açúcar, laranja, milho, café, amendoim e soja, demonstrando assim sua grande variedade e qualidade em produção e heterogeneidade de produtores (MAPA, 2014).

Segundo dados do Instituto de Economia Agrícola (IEA), a cana-de-açúcar arrecadou R\$ 23,89 bilhões no ano de 2015, que correspondem a 37,4% do valor total dos produtos agropecuários produzidos no Estado de São Paulo. As principais regiões produtoras responsáveis por 54,4% da produção total paulista em 2015 foram: Barretos, Orlandia, Ribeirão Preto, Jaboticabal, São José do Rio Preto, Araraquara, Presidente Prudente, Jaú, Andradina e Assis (IEA, 2015)

Na região de Jaboticabal o cultivo de cana-de-açúcar, corresponde a cerca de 76,5% de toda área agrícola destinada ao cultivo de espécies de interesse econômico (Tabela 1), e outras espécies como: grãos, espécies florestais, hortícolas e pastagens, exceto as frutíferas

que encontram-se na Tabela 2. Em sequência têm-se as áreas de pastagem ocupando 8,77% das áreas, o cultivo do amendoim safra das águas ocupando 4,63% (Tabela 1) principalmente em áreas de reforma de canavial, como ocorre também com a cultura da soja (BARBOSA, HOMEM e TARSITANO, 2014; BOLONHEZI, MUTTON e MARTINS, 2007), a qual ocupa em menor proporção 1,30% das áreas agrícolas da região.

Em relação ao Estado de São Paulo a região de Jaboticabal é proeminente também no cultivo de amendoim, onde cerca de 15,0% do total de área cultivada do Estado advém da região de Jaboticabal. A região também se destaca, neste sentido, pelo cultivo de mandioca destinada para mesa (7,51%) e a cana-de-açúcar corresponde a 4,73% do total de área em relação ao Estado de São Paulo, (Tabela 1).

No ramo frutícola a principal espécie cultivada é a laranja que corresponde a 63,3% do total de pés de frutas em produção da região. Na sequência tem-se limão (16,78%), manga (11,31%) e goiaba para indústria (3,59%), (Tabela 2).

A região de Jaboticabal também se sobressai no Estado de São Paulo, não somente pelo amendoim e a cana-de-açúcar, mas também na produção de frutas tropicais. Sua participação principal em relação ao Estado de São Paulo é pelas culturas: da manga 59,06%, na proporção de pés em produção na região em detrimento ao Estado; goiaba para indústria com 57,43%; goiaba para mesa 36,96%; mamão havaí 16,33%; tangerina 14,34%, dentre outras em menor proporção (Tabela 2).

Em relação à estrutura fundiária na região de Jaboticabal há um predomínio de pequenos e médios produtores rurais (IBGE, 2006). Não obstante, segundo dados da Associação dos Fornecedores de Cana de Guariba (SOCICANA), que abrange a região de Jaboticabal o perfil da maioria dos fornecedores de cana-de-açúcar associados, do total de 1.161 produtores, são pequenos e médios produtores conforme a Tabela 3.

Os municípios do Estado de São Paulo são regulamentados pela Lei nº 8.629 de 25 de fevereiro de 1993, que classifica a propriedade rural em: i) pequena - área de 1 a 4 módulos fiscais; ii) média - superior a 4 módulos fiscais até 15 módulos; iii) grandes – superior a 15 módulos fiscais. Para Jaboticabal 1 módulo fiscal corresponde a 14 hectares (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, 2014).

**Tabela 2.** Quantidades de plantas em produção dos principais cultivos frutícolas do EDR Jaboticabal comparados com Estado de São Paulo.

Principais Cultivos Agrícolas - EDR Jaboticabal	Plantas em produção (nº de pés)			
	Estado de São Paulo	EDR Jaboticabal	Participação do Cultivo no EDR Jaboticabal	Participação EDR Jaboticabal no Estado SP
Abacate	670.738,00	26.570,00	0,24%	3,96%
Goiaba para mesa	552.863,00	204.312,00	1,85%	36,96%
Goiaba para indústria	690.764,00	396.700,00	3,59%	57,43%
Laranja	162.571.761,00	6.999.930,00	63,30%	4,31%
Limão	7.478.926,00	1.855.138,00	16,78%	24,80%
Mamão	716.600,00	14.000,00	0,13%	1,95%
Mamão havaí	24.500,00	4.000,00	0,04%	16,33%
Manga	2.118.295,00	1.250.970,00	11,31%	59,06%
Murcote	1.042.404,00	83.570,00	0,76%	8,02%
Poncã	2.085.440,00	147.700,00	1,34%	7,08%
Tangerina	487.717,00	69.932,00	0,63%	14,34%
Outros	30.906.241,00	5.900,00	0,05%	0,02%
<b>Total de plantas</b>	<b>209.346.249,00</b>	<b>11.058.722,00</b>	<b>100,00%</b>	<b>5,28%</b>

Fonte: Elaborado pela autora. Dados: IEA, 2015.

**Tabela 3.** Perfil do produtor canavieiro na região de Jaboticabal

Estrato (ton)	Estimativa tamanho área (ha)*	Perfil do produtor	Nº Fornecedores	Produção (ton)	% Cana
< 1.000	< 14	pequeno	365	185.550,48	2,89%
1.000 - 6.000	14 – 80	peq. - médio	564	1.529.421,32	23,79%
6.000 - 12.000	80 – 160	médio	117	986.683,99	15,35%
12.000 - 25.000	160 – 335	médio - grande	75	1.269.144,57	19,74%
25.000 - 50.000	335 – 670	grande	23	812.514,86	12,64%
50.000 - 100.000	670 - 1.340	grande	14	960.928,05	14,95%
> 100.000	> 1.340	grande	3	685.494,06	10,66%
<b>Total</b>			<b>1.161</b>	<b>6.429.737,33</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Elaborado pela autora. Dados: SOCICANA (2016); CONAB (2016).

\*Estimativa produtividade de cana-de-açúcar safra 2015/2016 Estado de São Paulo – 74, 75 ton/ha.

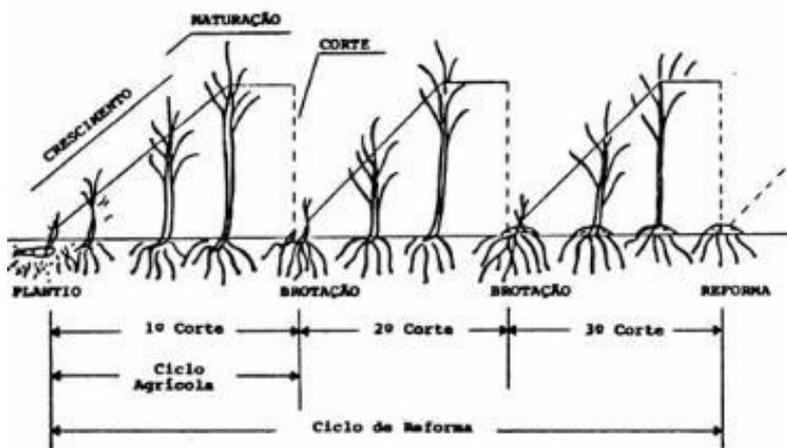
De acordo com os dados da SOCICANA mais de 42,03% do volume de cana-de-açúcar produzido na região de Jaboticabal advém de pequenos e médios produtores rurais, compondo-se de mais de 1.046 fornecedores de cana, o que corresponde a mais de 90% dos

associados. No entanto, a outra parcela produtiva, praticamente metade do volume produzido de cana-de-açúcar concentra-se nos grandes produtores rurais que somam pouco mais de 40 fornecedores, cerca de 10% dos associados (Tabela 3).

### 2.1.3 A Cultura da Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) é a cultura exótica mais antiga do Brasil, chegando ao país logo após o descobrimento em 1502 (CESNIK e MIOCQUE, 2004). Trata-se de uma cultura semi-perene uma vez que seu ciclo produtivo pode perdurar até 6 cortes com colheita mecanizada. Pertence a família Poaceae, representadas pelo milho, sorgo, arroz e muitas outras gramíneas (SILVA e FERNANDES, 2014; EMBRAPA, 2010).

As condições climáticas favoráveis para cultivo da cana-de-açúcar condiz com clima quente e úmido na primavera-verão, e temperaturas amenas e baixo índice pluviométrico no outono-inverno, quando permite um crescimento vegetativo vigoroso da planta, e oferece condições adequadas para a maturação e a colheita (Figura 1) (MARIN e NASSIF, 2013).



**Figura 1.** Ciclo produtivo da cana-de-açúcar com três cortes.  
Fonte: Rodrigues (1995).

Em relação ao plantio de cana-de açúcar existem dois sistemas que se diferem quanto à sua época: i) sistema de plantio de ano e meio e; ii) sistema de plantio de ano, conforme Quadro 1.

Ano 1							Ano 2								
jan	fev	mar	maio	jun	jul	ago	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	Dez
plantio ano e meio							colheita cana ano e meio								
			plantio de ano					colheita de ano							

**Quadro 1.** Calendário agrícola dos sistemas de plantio de cana-de-açúcar.

Fonte: Elaborado pela autora

Agronomicamente o plantio de ano e meio é mais favorável ao desenvolvimento da cultura, pois apresenta boas condições de temperatura e umidade o que possibilita a brotação rápida e redução da incidência de doenças nos toletes, além disso, a planta possui pleno desenvolvimento uma vez que a colheita sucederá um ano e meio após o plantio (julho a dezembro) (MENESES e RESENDE, 2016).

Já no plantio de ano a produtividade da cultura é afetada uma vez que não se tem as condições climáticas ideais para brotação da cana, além do que o período de crescimento vegetativo também é reduzido. No entanto, é indicado para grandes áreas para plantio, onde uma segunda época de plantio facilita o gerenciamento e escalonamento do mesmo (MENESES e RESENDE, 2016). Este sistema é comumente utilizado nas áreas agrícolas de usinas sucroenergéticas, uma vez que estas também utilizam do resíduo das indústrias (torta de filtro e vinhaça) no intuito de suprir a umidade do solo deficiente para essa época de plantio e nutrientes.

Verifica-se que o período de entressafra da cana-de-açúcar (Quadro 1) é extenso de abril a junho, no entanto, como a cana-de-açúcar rebrota após a colheita o plantio de outra espécie agrícola é realizado somente quando o canavial é reformado (DERPSCH *et al.*, 1991; SOARES *et al.*, 2016).

A comercialização da cana-de-açúcar é realizada de duas formas: por meio de contrato realizado antecipadamente com a usina ou, através do mercado *spot*, ou seja, sem contrato antecipado, com entrega imediata da cana-de-açúcar e pagamento realizado à vista.

Comumente os produtores rurais, no intuito de reduzir riscos, firmam contratos de venda de cana com a usina após realização do plantio da cultura, esses contratos perduram por quatro a cinco anos ou até o “esgotamento da soqueira”, ou seja, até que a produtividade da cana-de-açúcar não seja suficiente para suprir os custos de produção e há necessidade de reformar o canavial. Ressalta-se que nestes contratos, para produtores que terceirizam a colheita com a usina o serviço prestado de corte, carregamento e transporte (CCT), ou mais atual, denominado corte, transbordagem ou transbordo e transporte (CTT) é descontado em

reais (R\$) por toneladas de cana (TCH), variando de acordo com a distância da propriedade rural com a usina e negociado em cada safra.

No estado de São Paulo as negociações entre os fornecedores de cana e as usinas sucroenergéticas é regulamentado pelo Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de SP (CONSECANA). Para o produtor rural que terceiriza a colheita o pagamento é dado pela Equação 1:

$$V = (ATR_{preço} \times TCH \times ATR_{qtd}) - CCT \quad (1)$$

Onde,

$ATR_{preço}$  = valor em reais do Açúcar Total Recuperável na quinzena em que a cana foi colhida

$TCH$  = Toneladas de Colmo por Hectares colhido na área do fornecedor

$ATR_{qtd}$  = quantidade de ATR da área do fornecedor, dada por kg de ATR por tonelada de cana.

Dependendo da usina o pagamento ao fornecedor é calculado pelo ATR real apenas ou pelo ATR relativo, a qual trata-se do *mix* de ATR da usina e de seus fornecedores (SOCICANA, 2014; CONSECANA, 2017), dado pela Equação 2:

$$ATR_{relativo} = ATR_{partida} + ATR_{real} - ATR_{quinzena} \quad (2)$$

Onde,

$ATR_{partida}$  = média das últimas 5 safras da usina

$ATR_{real}$  = do produtor rural na safra vigente

$ATR_{quinzena}$  = média do ATR apurado de toda cana industrializada pela usina na quinzena em que o produtor forneceu a cana.

No término da safra, até o dia 30 de novembro, o ATR de toda cana industrializada pela usina é calculado e recebe o nome de  $ATR_{fechamento}$  da safra. Este  $ATR_{fechamento}$  substitui o  $ATR_{partida}$  da usina e então o  $ATR_{relativo}$  é recalculado, e cada produtor passa a ter uma quantidade de ATR de maneira definitiva na safra em questão (SOCICANA, 2014; CONSECANA, 2017).

### 2.1.3.1 Ambiente de Produção para Cana-de-açúcar

O desempenho produtivo da cana-de-açúcar, assim como de outras culturas, depende de um somatório de fatores agronômicos e ambientais como: nutrição da planta, fatores fitossanitários e climáticos, manejo da cultura e o ambiente de produção onde está inserida (BARETTA *et al.*, 2015; ZILIO e LIMA, 2015).

O ambiente de produção é definido em síntese pela soma das interações dos atributos de superfície e principalmente de subsuperfície do solo, considerando-se, ainda o grau de declividade onde os solos ocorrem na paisagem, associadas às condições climáticas, o que define o potencial de produção de uma variedade de cana-de-açúcar (CAVALCANTE e PRADO, 2010).

De acordo com os ensaios realizados pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC) foram classificados dez ambientes de produção para a cultura da cana-de-açúcar, agrupados em: i) Ambientes Superiores - maiores produtividades; ii) Ambientes Médios – produtividades medianas e; iii) Ambientes Inferiores – produtividades regulares (CAVALCANTE e PRADO, 2010). Para cada ambiente de produção é indicado uma cultivar de cana que melhor se adequa a este e no qual expressa todo seu potencial produtivo (Quadro 2).

Ambientes de Produção	Classificação	Variedades	Produtividade média 5 cortes (TCH*)
Superiores	A1, A2, B1 e B2	Responsiva. P. ex.: CTC 4; SP 87-365	88 a 100 TCH
Médios	C1; C2 e D1	Estável. P.ex.: IAC SP 93 – 3046; RB 85-5054	76 a 88 TCH
Inferiores	D2; E1 e E2	Rústica. P.ex.: RB 85-5156;	68 a 76 TCH

**Quadro 2.** Ambiente de produção de cana-de-açúcar, sua classificação, variedades correspondentes e produtividade média.

Fonte: Elaborado pela autora.

\*Nota: TCH – Toneladas de colmo por hectare.

Os aspectos agronômicos de uma cultura não são importantes apenas para o manejo adequado da mesma, mas também servem de base para a gestão financeira do negócio, uma vez que estas questões refletem diretamente nos: i) custos variáveis da atividade: fertilizantes, defensivos, mudas ou sementes, mão de obra temporária, combustível entre outros; ii) custos

fixos: mão-de-obra fixa, manutenção de máquinas e implementos entre outros e; iii) no período do projeto: ciclo da cultura. E assim, com compreensão dos aspectos agrônômicos, estes podem ser melhores adequados na otimização econômica-financeira do negócio.

#### 2.1.4 A Cultura da Soja

A soja (*Glycine max*) é uma planta originária da China, faz parte da Família das Fabaceae (leguminosas), assim como a ervilha, o feijão e a lentilha. Trata-se de uma cultura anual uma vez que seu ciclo produtivo pode perdurar de 3 a 4 meses (EMBRAPA, 2007) (Quadro 3).

Atualmente, a maior parcela de soja produzida no Brasil é geneticamente modificada (transgênica), o que requer menor quantidade de herbicidas e/ou inseticidas e consequentemente, há redução do custo de produção, bem como da quantidade de impurezas e de umidade nos grãos colhidos (FRANCO *et al.*, 2015).

Em relação às condições climáticas a cultura da soja necessita de disponibilidade hídrica, principalmente, em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração- enchimento de grãos e temperatura média de 30°C (EMBRAPA, 2007). Deste modo, seu plantio ocorre na safra de verão (plantio de setembro a dezembro e colheita fevereiro a maio), conforme Quadro 3.

Ano 1			Ano 2											
out	Nov	dez	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
plantio				colheita				entressafra			plantio			

**Quadro 3.** Calendário agrícola da cultura da soja.

Fonte: Elaborado pela autora. De acordo com: Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) do MAPA para Safra 2017/2018 – Município de Jaboticabal/SP.

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) é um instrumento de política agrícola e gestão de riscos na agricultura. O estudo é elaborado de acordo com metodologia validada pela EMBRAPA e tem com o objetivo de minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos adversos e permite a cada município identificar a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solo e ciclos de cultivares. Além disso,

determinados agentes financeiros condicionam a concessão do crédito rural à observância aos indicativos do ZARC (MAPA, 2017).

O período de entressafra da cultura da soja (junho, julho e agosto) é destinado à recuperação do solo, pela prática de pousio onde a área fica sem cultivo algum, porém muito mais exposta à erosão do solo ou através do plantio de outra cultura, como milho safrinha, por exemplo, adubos verdes e espécies de cobertura, como crotalária e o milheto, num esquema de sucessão ou rotação de culturas (ROCHMAN e SALVADOR, 2013; SILVA e FERNANDES, 2014).

A comercialização da soja é realizada por meio de contratos futuros, onde se tem a possibilidade de “travar” preço antes da colheita ou no mercado *spot*, sendo o preço pago por saca de 60 kg. A venda pode ser negociada diretamente com as indústrias alimentícias e agropecuárias quando se tem um grande volume de produção ou em cooperativas agrícolas, uma opção para os pequenos e médios produtores rurais.

#### *2.1.5 Sistemas de plantio e espécies de cobertura*

A agricultura trata-se da prática milenar do cultivo de espécies vegetais, onde o ecossistema natural é modificado em um agroecossistema, provocando alterações profundas nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (OADES, 1984).

Dentre os principais sistemas de preparo do solo na agricultura, tem-se: i) o mais tradicional sistema de preparo convencional e o ii) sistema de semeadura direta (DERPSCH *et al.*, 1991). No primeiro sistema tem-se o um intenso revolvimento do solo por implementos, como grades, arados e sulcadores, com objetivo de eliminar plantas daninhas e melhorar as propriedades físicas e químicas do solo, possibilitando manter ou até melhorar o seu potencial produtivo. Por outro lado, notou-se que o intenso revolvimento do solo para implantação das culturas, coincide geralmente com elevadas precipitações e aumenta a possibilidade de ocorrência de processos erosivos, tanto os causados pela água da chuva, como a erosão eólica em locais de ventos fortes (VOLK, COGO e STRECK, 2004).

Diante deste contexto e com a necessidade de resolver os problemas causados nas áreas agrícolas por este sistema, desenvolveu-se o sistema de semeadura direta, o qual foi introduzido na região Sul do Brasil, no início da década de 1970, como um manejo conservacionista dos solos cultivados, que controlava os processos erosivos e adaptava-se

bem ao clima regional, permitindo o cultivo de espécies de outono/inverno, mantendo o solo com cobertura vegetal (SOARES *et al.*, 2011).

No sistema de semeadura direta preconiza-se a semeadura direta sobre os resíduos vegetais de culturas anteriores, com o mínimo de revolvimento no solo, com o objetivo de mantê-lo com a máxima cobertura possível durante todo o ano. Este sistema tem como princípio básico a utilização de coberturas vegetais em sucessão ou consorciadas e na manutenção dos seus resíduos vegetais sobre a superfície do solo, em rotação de culturas, permitindo maior diversidade biológica (SOARES *et al.*, 2016). A eficácia desse sistema está relacionada com a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais produzidos pelas plantas de cobertura e pelas culturas de verão (SATURNINO e LANDERS, 1997).

O desempenho dos sistemas conservacionistas, especialmente do sistema de semeadura direta, depende em grande parte da massa de resíduo vegetal deixada sobre o solo, da sua taxa de decomposição e da percentagem de cobertura do solo promovido por este material vegetal. Mesmo que em pequena quantidade os resíduos podem reduzir substancialmente a erosão hídrica em relação ao solo descoberto (BERTOL *et al.*, 1998).

Segundo Souza e Melo (2000), a maior parte dos nutrientes das plantas encontra-se nos resíduos vegetais exercendo função estrutural ou como substância de reserva. Parte deste estoque de nutrientes torna-se disponível para as plantas em um intervalo curto de tempo, contribuindo com a elevação da produtividade das culturas subsequentes, resultando assim em uma ciclagem biológica dos nutrientes e tende a maior sustentabilidade do sistema agrícola.

Deste modo, a utilização de plantas de cobertura associadas à rotação e/ou sucessão das culturas é uma das alternativas para o manejo sustentável dos solos (DAROLT, 1998), onde, a decomposição dos resíduos culturais destas plantas favorece a ciclagem de nutrientes, a agregação, o armazenamento da água, manutenção ou incremento dos teores de matéria orgânica do solo quando comparados aos monocultivos e, com isso promovem efeitos positivos na fertilidade do solo (BOER *et al.*, 2007).

Os sistemas de sucessão e rotação de culturas em sistemas de semeadura direta podem tanto envolver espécies com valor comercial como: soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*), sorgo (*Sorghum bicolor*), cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), feijão (*Phaseolus vulgaris*), algodão (*Gossypium spp*), dentre outras, como espécies destinadas apenas a cobertura do solo e manutenção da palhada, como: crotalária (*Crotalaria spp*), milheto (*Pennisetum spp*), feijão guandu (*Cajanus cajan*), mucuna (*Mucuna spp*), dentre outros.

No trabalho realizado por Ambrosano *et al.* (2014) na avaliação da produção de cana-de-açúcar, em três ciclos agrícolas consecutivos, após pré cultivo de espécies de cobertura, houve um incremento de 25% na produtividade de colmos de cana e de 23% em açúcar, na média de três cortes, em relação a testemunha sem adubo verde.

Silva e Fernandes (2014), com experimento similar, porém com a inserção da cultura da soja em sistemas de sucessão agrícola, não verificaram diferença na produtividade de cana-de-açúcar no primeiro corte em nenhuma das sequências de culturas. No entanto, na área testemunha com soja/pousio/soja (sem espécies de cobertura) houve impacto negativo em determinados atributos do solo.

Salomé, Sakai e Ambrosano (2007) verificaram a viabilidade econômica da produção da cana-de-açúcar em sistema de rotação com espécies de cobertura: amendoim IAC-Tatu, amendoim IAC-caiapó, crotalária júncea IAC-2, mucuna-preta, soja IAC-17, feijão-mungo-M146, girassol IAC-Uruguai e testemunha (sem espécies de cobertura). Pela análise dos tratamentos observou-se que o plantio de girassol, soja, amendoim caiapó foram os que apresentaram maior renda líquida, porém os custos de produção do girassol são elevados podendo ser arriscado seu plantio em áreas sem aptidão para a cultura. Os autores inferem ainda que custo da utilização de espécies de cobertura é relativamente baixo e promove aumentos significativos no TCH e de ATR em pelo menos dois cortes.

### *2.1.6 Diversificação: Sistemas de Rotação e Sucessão de Culturas*

A diversificação de culturas é a prática de organizar o sistema produtivo de modo que sejam produzidas mais de uma cultura em uma mesma propriedade agrícola. Segundo Bezabih e Sarr (2012) a instabilidade do mercado agrícola em países emergentes, bem como a dificuldade do produtor rural em lidar com terceiros instigam a busca por estratégias “dentro da porteira” que reduzam o risco do negócio, a exemplo da diversificação de culturas.

Os cultivos anuais e contínuos no mesmo local conferem com o passar do tempo, o declínio da produtividade das culturas e tornam o ambiente e o solo mais propício à multiplicação de pragas e doenças (SILVA e FERNANDES, 2014; DERPSCH *et al.*, 1991).

A adoção de práticas agrícolas de diversificação de culturas, a exemplo dos sistemas de rotação e sucessão, além de diversificarem o risco do negócio, conferem ao estabelecimento rural benefícios agrônômicos devido a maior estabilidade física e química do

solo (SEBEN JUNIOR, CORÁ e LAL, 2014; CALONEGO e ROSOLEM, 2011; SILVA e FERNANDES, 2014), a quebra do ciclo de pragas e doenças (LEANDRO e ASMUS, 2015), o impacto produtivo positivo da cultura subsequente (AMBROSANO *et al.*, 2013; LACERDA *et al.*, 2015), entre outros. O que reporta ao ecossistema agrícola uma maior sustentabilidade e consequente redução dos impactos ambientais (BARETTA *et al.*, 2015; MUSSHOF, 2012).

Derpesch *et al.*, (1991) definem o conceito de rotação de culturas como um sistema de sucessão ordenado de diferentes culturas num espaço de tempo, na mesma área, desde que uma mesma cultura não seja implantada no mesmo local em duas safras (mesmas) seguidas. O Quadro 4 ilustra o esquema de rotação de culturas.

Diferente do sistema de rotação o de sucessão uma mesma cultura pode se repetir na mesma safra subsequente, conforme Quadro 5. A sequência de cultivos também pode ser alterada e inserida outras culturas.

Ano safra 1		Ano safra 2		Ano safra 3		Ano safra 4	
Primavera/ Verão	Outono/ Inverno	Primavera/ Verão	Outono/ Inverno	Primavera/ Verão	Outono/ Inverno	Primavera/ Verão	Outono/ Inverno
Cultura A	Cultura C	Cultura B	Cultura D	Cultura A	Cultura C	Cultura B	Cultura D

**Quadro 4.** Esquema de rotação de culturas.

Fonte: Elaborado pela autora.

Ano safra 1		Ano safra 2		Ano safra 3		Ano safra 4	
Primavera/ Verão	Outono/ Inverno	Primavera/ Verão	Outono/ Inverno	Primavera/ Verão	Outono/ Inverno	Primavera/ Verão	Outono/ Inverno
Cultura A	Cultura C						

**Quadro 5.** Esquema de sucessão de culturas.

Fonte: Elaborado pela autora.

Dentro do sistema de rotação e sucessão de culturas comumente alterna-se o plantio de leguminosas, como soja, feijão, amendoim e crotalária, com gramíneas, como milho, sorgo, cana-de-açúcar e milheto dado que essa combinação de cultivos maximiza a produção e a sustentabilidade do sistema agrícola (BOLONHEZI, MUTTON e MARTINS, 2007; AMBROSANO *et al.*, 2013).

Ambrosano *et al.* (2013), num experimento agrícola com cana-de-açúcar cultivada em sucessão com adubos verdes em duas localidades do Estado de São Paulo, Piracicaba e Tietê, considerando a média geral da produtividade de colmos de cana nas duas localidades,

verificaram que a adubação verde em pré-cultivo da cana-planta proporcionou aumento na produtividade de 23,7% (19,72 t ha<sup>-1</sup>) comparado à omissão dessa prática. Duarte Júnior e Coelho (2008) em um experimento similar, de cana-de-açúcar cultivada em sucessão de adubos verdes, porém em dois sistemas de plantio direto e convencional no Estado do Rio de Janeiro, verificaram que o sistema de plantio direto com emprego das leguminosas em cobertura, contribui para a cana-de-açúcar obter produtividade 37% superior ao preparo convencional do solo com a vegetação espontânea incorporada.

No entanto, apesar dos benefícios da diversificação de culturas, a expansão do portfólio agrícola é uma atividade complexa que envolve fatores técnicos, operacionais e financeiros da empresa rural, uma vez que esta afeta o planejamento produtivo em diferentes modos, além de requerer mais investimentos em capital fixo e trabalho específico (OLIVEIRA, PEREIRA e VIEIRA, 2012), com efeito, demanda-se uma análise de investimento que considere tais particularidades em meio à flexibilidade da maior amplitude de escolha do que plantar.

Concomitante, a diversificação em cana-de-açúcar apesar da literatura reportar os benefícios da rotação e/ou sucessão de culturas seja pelo plantio de adubos verdes (AMBROSANO *et al.*, 2014), soja (DINARDO-MIRANDA, 2001) ou amendoim (BOLONHEZI, MUTTON e MARTINS, 2007), ainda é um grande paradigma para o empresário rural canavieiro.

Este fato transcorre tanto pela dificuldade de planejamento e gerenciamento de mais de uma cultura associada à cana-de-açúcar uma vez que o ciclo produtivo desta última demanda uma média de quatro a seis cortes (seis anos), diferente das culturas de grãos que são anuais (DERPSCH *et al.*, 1991; SOARES *et al.*, 2016). E também pelo fato da diversificação requerer mais investimentos em capital fixo e trabalho específico (OLIVEIRA, PEREIRA e VIEIRA, 2012; BEZABIH e SARR, 2012).

Além disso, quando os produtores rurais decidem em investir na cultura canavieira, em especial pequenos e médios produtores, há necessidade de uma escala produtiva em torno de 90 hectares para sua viabilidade econômica (SANTOS *et al.*, 2016) e assim ficam expostos ao longo de seis anos (ciclo produtivo cana-de-açúcar), as incertezas que envolvem o preço da *commodity* e a produtividade (BEZABIH e SARR, 2012; BOLONHEZI, MUTTON e MARTINS, 2007).

Oliveira, Pereira e Vieira (2012) em um estudo empírico analisaram a adoção da rotação de grãos em áreas de reforma de canavial em três mesoregiões do Estado de São Paulo: Bauru, Piracicaba e Ribeirão Preto por meio da aplicação de questionários. Neste estudos os autores verificaram: i) agentes que não realizam a rotação, ii) agentes que realizam a rotação de forma independente (autoprodução) e iii) agentes que realizam a rotação baseado em terceiros. Em termos gerais concluem que há intenção de adotar a rotação por parte dos agentes, desde que isso não prejudique a janela de plantio de cana e não implique em custos mais elevados para investimentos em ativos específicos, pois é uma cultura diversa. Entre os casos que adotam a rotação de culturas, esta prática é realizada pelo próprio agente, investindo assim nos bens necessários, ou por meio da terceirização. Sendo o primeiro caso observado com maior afinco na mesorregião de Ribeirão Preto, na rotação com soja. Nas outras regiões, à preferência em obter os ganhos da atividade, mas não há disposição para aprender a atividade e dedicar-se ativamente na rotação, portanto, terceirizam o plantio para grãos nas áreas de reforma de cana.

## **2.2 Análise de Investimento**

Nesta seção abordam-se os fundamentos da análise de investimento que compuseram o presente trabalho. Uma vez que o estudo perfaz da diversificação de culturas na propriedade canavieira o primeiro fundamento destina-se a projeção da carteira da lavoura, por meio da teoria da Carteira Mínima de Variância e o *Capital Asset Pricing Model* (CAPM), posteriormente enfatizam-se os fundamentos clássicos da análise de investimento: Fluxo de Caixa Descontado (FCD) por meio da técnica do Valor Presente Líquido (VPL) e a análise Custo-Volume-Lucro (CVL), expondo aplicação destes no setor agrícola e suas limitações. E por fim, o cerne do trabalho, a análise de investimento segundo a Teoria das Opções Reais, desde sua origem e fundamentos e em sequência as etapas de sua aplicação.

### *2.2.1 Carteira Mínima de Variância e o Modelo CAPM*

A diversificação representa o comportamento de destinar os recursos financeiros para investimento em diferentes ativos, a fim de reduzir o risco envolvido individualmente em

cada ativo (MARTINS, 2009). Neste sentido, a utilização de uma carteira de investimento objetiva a proposição do maior retorno com o menor risco possível, ou seja, uma carteira “ótima” ou “eficiente” (CASTRO, CALVAS e KNOKE, 2015).

Harry Markowitz (1952) precursor da teoria do portfolio ou da carteira de investimento demonstrou em seu artigo intitulado "*Portfolio selection*", um sistema de seleção de carteiras eficientes em que ponderaria a relação risco e retorno e a importância da diversificação da carteira com o intuito de reduzir o risco total (MARKOWITZ, 1952).

Com isso, o autor inferiu que é mais interessante possuir carteiras de dois ou mais ativos do que investir em um ativo individual, uma vez que, o risco de um ativo financeiro é medido pelo seu desvio-padrão de forma isolada e torna-se diferente quando esse ativo é incluído em uma carteira (CASTRO, CALVAS e KNOKE, 2015).

Esta diferença ocorre porque há correlação entre as movimentações de diversos ativos financeiros. Neste sentido, o modelo de Markowitz também conseguiu demonstrar o quanto o risco de um ativo individual impacta no retorno total de uma carteira (CASTRO *et al.*, 2013).

No intuito de propor uma maneira de mensurar o risco de uma carteira, este autor faz o uso da equação do risco (desvio-padrão) da uma carteira com “n” ativos como exposto na Equação 3 (MARKOWITZ, 1952):

$$\sigma^2 = \sum_{x=1}^n W_x^2 \sigma_x^2 + \sum_{x=1}^n \sum_{y=1}^n W_x W_y cov_{x,y} \quad (3)$$

Onde,

$\sigma^2$  = variância da carteira

$W_x$  = peso (proporção) do ativo  $i$  no portfólio

$n$  = número total de ativos no portfólio

$cov_{x,y}$  = covariância entre os retorno  $x$  e  $y$

A covariância e o coeficiente linear de Pearson (medida padronizada da covariância) podem ser calculados conforme Equações 4 e 5 (ASSAF NETO, 2014).

$$COV_{(x,j)} = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{n-1} \quad (4)$$

$$r_{x,y} = \frac{cov(x,y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (5)$$

Onde,

$r_{x,y}$  = coeficiente de correlação linear de Pearson entre os ativos  $x$  e  $y$ .

Com este modelo à medida que o investidor diversifica sua carteira, escolhendo ativos com correlação negativa, ele consegue reduzir, ou até eliminar (pelo menos na teoria) o risco diversificável (risco não sistemático) (ASSAF NETO, 2014; CASTRO *et al.*, 2013).

Segundo Ross, Jafe e Westerfield (2002), o risco não diversificável (sistemático) ou de mercado é aquele que afeta vários ativos de uma vez, cada qual com uma intensidade específica; já o risco diversificável (não sistemáticos) é aquele cujos efeitos são observados em um único ativo ou em um reduzido número de ativos. Gonçalves (2005) os define como: risco sistemático sendo a consequência do sistema político, econômico e social e das características de mercado, como taxas de juros e câmbio, que permeiam todas as instituições e impactam-nas de forma indiscriminada. E o não sistemático, também chamado risco próprio, resultado dos aspectos financeiros, da administração e do setor de atuação, sendo específico à posição de cada instituição financeira no mercado.

No âmbito agrícola a teoria do portfólio é aplicada na determinação da carteira agrícola em sistemas de diversificação, a exemplo do estudo de Martins (2009) e Dill, Souza e Borba (2010), em que o risco consistiu da volatilidade dos preços das *commodities* agrícolas empregadas na diversificação “dentro da carteira”. Santos, Botelho Filho e Soares (2008) simularam os efeitos da diversificação sobre o risco de retorno em uma carteira composta de soja, milho e feijão armazenados no Centro-Oeste, verificando as porcentagens financeiras alocadas nos produtos e a redução na variância do retorno esperado em relação à estratégia de armazenar apenas soja. Calvas *et al.* (2013) e Castro, Calvas e Knoke (2015), aplicaram o modelo em projetos de otimização do uso da terra, na comparação de sistemas agrícolas convencionais com sistemas conservacionistas e orgânicos diversificados.

Posteriormente a Markowitz, a partir dos trabalhos de William Sharpe (1964), John Lintner (1965) e Jack Treynor (1962), no intuito de analisar e dimensionar o risco e retorno dos ativos ou portfólios desenvolveu-se um modelo de precificação de ativos denominado *Capital Asset Pricing Model* – CAPM (GASPAR, SANTOS e RODRIGUES, 2014; DA, GUO e JAGANNATHAN, 2012). Este modelo fundamenta-se na hipótese de mercado eficiente numa derivação da teoria de portfolio de Markowitz (1952) (a diversificação do risco e a seleção de carteira), tendo em vista a relação risco-retorno dos ativos (MARTINS, 2009).

No modelo CAPM há uma estreita relação entre risco e retorno, de forma que, quanto maior o risco de um investimento, isto é, quanto maior a probabilidade de insucesso, maior será o retorno exigido para que seja realizado tal investimento.

Este modelo pressupõe que o custo de capital corresponde à taxa de rentabilidade exigida pelos investidores como compensação pelo risco de mercado ao qual estão expostos. Considera que, num mercado competitivo, o prêmio de risco varia proporcionalmente ao risco não diversificável denominado Beta “ $\beta$ ” (NOVAK, 2015).

Por sua vez, o coeficiente “ $\beta$ ” é expresso pelo quociente entre a covariância do retorno do ativo com o retorno do portfólio composto por todos os ativos no mercado dividido pela variância do mercado (portfólio) (SHARPE, 1964), conforme Equação 6.

$$\beta_{im} = \frac{Cov(k_i, k_m)}{Var(k_m)} \quad (6)$$

Onde,

$k_i$  = retorno do ativo

$k_m$  = retorno do mercado ou do portfólio

O coeficiente Beta “ $\beta$ ” mede o risco sistemático (não diversificável) tanto para os ativos individuais como para as carteiras. Quanto maior o beta, maior o prêmio de risco, e consequentemente, o retorno exigido também é maior. O Coeficiente Beta revela o grau de influência das variações globais do mercado na evolução da cotação dessa ação ou carteira de ações, medindo assim o seu risco sistemático (MARKOVITZ, 1952; SHARPE, 1964).

Na sua forma simples o CAPM prevê que o prêmio de risco esperado dado pelo retorno esperado acima da taxa isenta de risco, que é proporcional ao risco não diversificável,

“ $\beta$ ”, ou seja, o modelo CAPM liga o risco sistemático ao retorno para todos os ativos (GITMAN, 2004), conforme Equações 7 e 8.

$$k_i - R_f = (k_m - R_f)\beta_i \quad (7)$$

Onde,

$R_f$  = taxa livre de risco.

Ao isolar  $k_i$  e assumir o risco não-diversificável, obtém-se:

$$k_i = R_f + \beta_i \cdot (k_m - R_f) \quad (8)$$

Onde,

$(k_m - R_f)$  = prêmio por risco.

O modelo do CAPM exposto trata-se da versão estática, ou seja, o risco sistemático dos ativos não muda no decorrer do tempo. Fato este que repercutiu no desenvolvimento de outros modelos para precificação de ativos (FAMA e MACBETH, 1973; MERTON, 1973), no entanto, o CAPM estático no âmbito empresarial ainda é dominante, também para estimar o custo de capital próprio, uma vez que há suporte em resultados consistentes com testes empíricos para verificar a capacidade de aderência do modelo à economia real (BROTHERSON *et al*, 2013; TAMBOSI FILHO, COSTA JÚNIOR e ROSSETTO, 2006).

### 2.2.2 Análise de Investimento e o Agronegócio

Independente da atividade econômica e finalidade de negócio, todo empreendimento deve ter como objetivo a maximização da riqueza dos investidores no limite dos recursos naturais, sociais e nos princípios éticos que envolvem as relações comerciais (DAMODARAN, 2007; ASSAF NETO, 2014).

A criação de riqueza depende da forma como os empreendimentos alocam seus investimentos e organizam suas fontes de financiamento (GRAHAM e HARVEY, 2001). Por isso, a decisão sobre investimento é fundamental para a sustentabilidade de toda e qualquer

atividade econômica (SCHERER, 2014). Essa decisão está diretamente relacionada com as fontes que geram valor aos investimentos, operacionalizadas pelo fluxo de caixa (CORRÊA, KLIEMANN NETO e DENICOL, 2016).

Essa situação não é diferente no agronegócio cujas técnicas de análise de investimento acompanham àquelas utilizadas nas finanças corporativas, em especial, associadas a análise tradicional do Fluxo de Caixa Descontado (FCD) por meio da estimativa do Valor Presente Líquido (VPL) (BONACIM *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2016; MACHADO *et al.*, 2016; KOMAREK, LI e BELLOTTI, 2015) e também o uso de opções reais, quando há a extensão para o tratamento das incertezas que cercam as variáveis que sustentam o fluxo de caixa (ROCHMAN e SALVADOR, 2013; MUSSHOF, 2012; TUBETOV, MUSSHOF e KELLNER, 2012).

No entanto, segundo Lima *et al.* (2016), a margem de lucro da atividade agrícola “dentro da porteira” está cada vez mais reduzida, os autores apontam para o fato de que o aumento da produtividade deste ramo não acompanhou o aumento do seu PIB, vinculado, em parte, à globalização, que tende a determinar os preços domésticos dos produtos agropecuários em função dos preços internacionais e da taxa de câmbio vigente.

Em adição a este cenário econômico, as oscilações climáticas abruptas e o surgimento de novas pragas e doenças agrícolas também impactam negativamente à margem de lucro destes empreendimentos (SEO *et al.*, 2006; SANDERSON *et al.*, 2015), e os instiga a buscar novos sistemas produtivos seja através da integração (MARTHA-JÚNIOR, ALVES e CONTINI, 2011; PARIZ *et al.*, 2011) ou pela diversificação de culturas (ZHANG, 2012; KASEM e THAPA, 2011; BEZABIH e SARR, 2012; OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2014).

Por outro lado, a expansão do portfólio de culturas e atividades é um sistema que envolve fatores técnicos, operacionais e financeiros da empresa rural, uma vez que afeta o planejamento produtivo em diferentes modos, além de requerer mais investimentos em capital fixo e trabalho específico (OLIVEIRA, PEREIRA e VIEIRA, 2012; GAMEIRA, ROCCO e CAIXETA FILHO, 2016), com efeito, demanda-se uma análise de investimento que considere tais particularidades em meio à flexibilidade da maior amplitude de escolha do que plantar e/ou produzir.

### 2.2.3 Fluxo de Caixa Descontado e Análise Custo Volume Lucro (CVL)

O Fluxo de Caixa (FC) é uma ferramenta gerencial com propósito de viabilizar a gestão e o controle das entradas e saídas de caixa de uma empresa, através dos resultados financeiros em função do tempo e das ações da empresa (CORRÊA, KLIEMANN NETO e DENICOL, 2016).

Na atividade agrícola o FC possui características que exigem maior controle frente outras atividades econômicas. Lima *et al.* (2016) pontuam as seguintes distinções: i) ciclos de produção muito longos e discordantes com o prazo médio de pagamento dos fornecedores; ii) baixa taxa de ocupação dos ativos; iii) custos financeiros altos e; iv) compras não alinhadas com a projeção de vendas.

Neste sentido, o empresário rural pode mitigar o impacto negativo do fator econômico-financeiro vinculado à sua empresa através do aprimoramento das habilidades administrativas, que são determinadas pelo gerenciamento organizacional e a gestão do fluxo de caixa, atrelado a utilização correta dos recursos do seu empreendimento rural, tais como: terras, escolha da(s) cultura(s), insumos, máquinas agrícolas, mão de obra, infraestrutura, pesquisas, mercado, logística e transporte (PEREIRA *et al.*, 2015).

Por meio do controle de caixa pode-se empreender o fluxo de caixa descontado, que é uma técnica recorrente junto às decisões de investimento, em razão do efeito perceptível dos gastos expressos no caixa da empresa e por ter a capacidade de retornar ao investidor, ao mesmo tempo, informações relativas à: retorno, valor agregado e tempo (BONACIM *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2016).

Neste método, o valor de um determinado ativo está associado aos seguintes vetores: i) sua capacidade de geração de caixa; ii) o seu risco inerente; e iii) a vida útil do projeto (SANTOS e JURCA, 2013). Para tanto, calcula-se o fluxo de caixa livre para o investidor durante a vida útil do investimento, de modo que, os valores de cada período são descontados à taxa de juros que representa o mínimo retorno para o capital, comumente expresso pelo Custo Médio Ponderado de Capital (CMPC) ou *Weighted Average Cost of Capital* (WACC) (PEREIRA *et al.*, 2015). Ou seja, o fluxo de caixa é transcrito em Valor Presente.

A utilização de uma determinada taxa de desconto para os fluxos de caixa futuros, é a maneira de entender o princípio do valor do dinheiro no tempo. É através da mesma que o investidor consegue mensurar o quanto o investimento, naquele momento, é mais vantajoso

do que alocar os recursos em outro investimento/projeto no futuro. O cálculo do WACC é descrito pela Equação 9 (BROTHERSON *et al.*, 2013).

$$WACC = \left[ k_e \cdot \left( \frac{E}{D+E} \right) \right] + \left[ k_i \cdot \left( \frac{D}{D+E} \right) \right] \quad (9)$$

Onde,

$k_e$  = custo de oportunidade do capital próprio

E = capital próprio

$k_d$  = custo do capital de terceiros

D = capital de terceiros ou de dívida

Neste processo  $k_e$  descrito na Equação (10), é determinado pelo *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) (inferido na sessão 2.2.2), já o  $k_d$  é dado pela taxa de juros que a empresa pagará sobre sua dívida menos o benefício fiscal.

$$k_e = R_f + \beta \cdot [P] \quad (10)$$

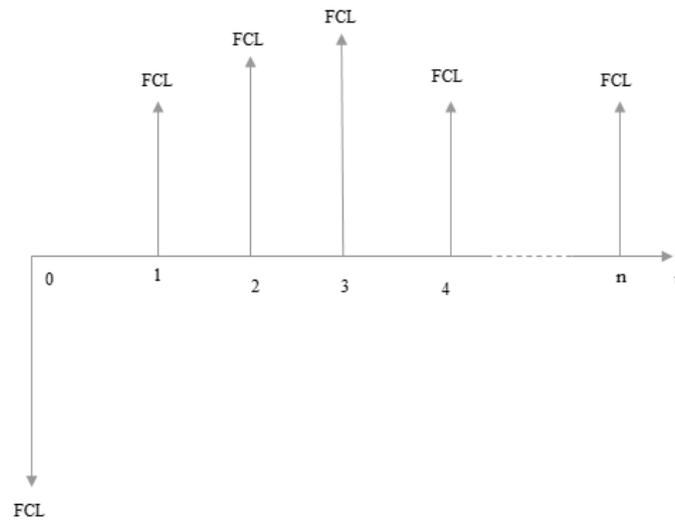
Onde,

$R_f$  = retorno do ativo livre de risco

$\beta$  = risco do negócio

P = prêmio de mercado

A Figura 2 ilustra a estrutura do fluxo de caixa. Já a Equação 11 discrimina a estrutura do cálculo do valor do investimento, a partir do desconto dos fluxos de caixa livres, ou seja, a equação do Fluxo de Caixa Descontado (MAESTRE-VALERO *et al.*, 2016).



**Figura 2.** Diagrama Ilustrativo do Fluxo de Caixa Livre  
 Fonte: Elaborado pela autora, com base em Gitman (2004).

$$FCD = \sum_{t=0}^{t=n} \frac{FCL_t}{(1+WACC)^t} \quad (11)$$

Onde,

$FCD$  = Fluxo de Caixa Descontado

$FCL$  = Fluxo de Caixa Livre

$WACC$  = *Weighted Average Cost of Capital*

$t$  = tempo de análise considerado

$n$  = vida útil do projeto

Quando há um investimento, conforme evidenciado na Figura 2, no momento zero, o processo decisório consiste em avaliar o valor do somatório da Equação 11 com a dimensão do investimento, a diferença entre o valor do ativo e o seu investimento correspondente é conhecido por Valor Presente Líquido (VPL), Equação 12, onde o investidor realizará o projeto, se e somente se, o VPL for positivo (ZILIO e LIMA, 2015).

$$VPL = \sum_{t=1}^{t=n} \frac{FCL_t}{(1+WACC)^t} - I_0 \quad (12)$$

Onde,

$VPL$  = Valor Presente Líquido

$FCL$  = Fluxo de Caixa Livre

$WACC$  = *Weighted Average Cost of Capital*

$t$  = tempo de análise considerado

$n$  = vida útil do projeto

$I$  = Investimento

Em trabalhos que envolvem o setor agrícola, verifica-se a utilização da estrutura sintetizada do Fluxo de Caixa Livre, a exemplo do estudo de Pereira *et al.* (2015), na análise do custo de produção e viabilidade econômica na implantação da cultura de cana-de-açúcar em uma propriedade rural localizada no município de Caarapó, Mato Grosso do Sul. Nos trabalhos de Santos *et al.* (2016), para aferição da viabilidade econômica do pivô central em cana-de-açúcar, e Costa *et al.* (2012) na avaliação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta.

Estrutura sintetizada do Fluxo de Caixa Livre:

- (+) Receita
- (-) Custos e Despesas
- (-) Depreciação
- (=) Lucro Antes do IR (LAIR)
- (-) Imposto de Renda (IR)
- (=) Resultado Líquido
- (+) Depreciação
- (=) Fluxo de Caixa Operacional (FCO)
- (-) Investimento
- (=) Fluxo de Caixa Livre (FCL)

Observa-se que a depreciação é computada de forma segregada aos custos, pois esta não gera efeitos no caixa, porém é uma despesa/custo dedutível do IR/CSLL e os gastos realizados na aquisição dos ativos fixos (máquinas, equipamentos, terrenos, edificações, etc.) são lançados nos investimentos, que em geral, para efeitos de análise, são computados no momento inicial do projeto (PEREIRA *et al.*, 2015).

Essa estrutura é prática para análise de investimentos incrementais ou para valoração de um ativo existente para fins estratégicos, todavia, torna-se insuficiente, neste formato, para decisões de curto prazo (LIMA *et al.*, 2016). Como aquela em que o produtor se encontra antes do início do plantio da safra (FRANCO *et al.*, 2015): O que plantar? Quanto plantar? Como plantar?

Esses questionamentos devem-se, em especial, ao investimento já realizado na propriedade (área, máquinas, benfeitorias, entre outros) que se constituem '*sunk costs*', ou seja, gastos já realizados que não se alterarão com o tipo de plantio ou mesmo se ele não for realizado (RYZHOVA *et al.*, 2015).

Concomitantemente, a liquidez dos investimentos em capital fixo do produtor rural não permite no cotidiano que ele explore o seu "custo de oportunidade" como preconiza a teoria, pois vender e comprar áreas de terra ou máquinas agrícolas (tratores, colheitadeiras, implementos, etc) não são transações comerciais rotineiras como vender e comprar grãos, sementes ou fertilizantes. Investir e/ou vender ativos fixos são decisões estratégicas e, por isso, não estão diretamente associadas ao que e quanto produzir na próxima safra, que se constitui uma decisão de nível tático (SANTOS *et al.*, 2016).

Salienta-se ainda, que é corriqueiro o rateio dos custos fixos por áreas médias como visto nos anuários (AGRIANUAL, 2015) ou por relatórios técnicos de entidades (p. ex. CONAB, SOCICANA, 2016) e nas pesquisas correntes estes são distribuídos conforme a área de cada produtor ou amostra pesquisada (MOREIRA e BOIZIO, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2014; BARBOSA, HOMEM e TARSITANO, 2014). Estes seguem a metodologia de Matsunaga *et al.* (1976), ao incluir nestes custos, além do custo econômico da depreciação do capital fixo, gastos desembolsáveis relativos a manutenção da área que devem ser sempre realizados para conservação do valor da terra.

Também, é comum a inclusão da despesa financeira no custo de produção e do custo de oportunidade da terra no valor do investimento (MATSUNAGA *et al.*, 1976). Segundo Santos *et al.* (2016), esses procedimentos podem trazer *vieses* que não representam a realidade dos produtores e da própria viabilidade econômica da cultura, tendo em vista, que o retorno do investimento deve estar associado somente ao resultado operacional da atividade.

De forma oposta, à análise de Custo-Volume-Lucro, prevê a segregação dos custos variáveis e fixos, de maneira a trazer ao produtor uma estrutura de análise que seja, igualmente, mais próxima e flexível à sua realidade (FRANCO, *et al.*, 2015).

O método do custeio direto ou custeio para decisão surgiu em resposta à dificuldade em ratear custos fixos nos produtos, que quando realizado, traz uma informação não verdadeira quanto a real contribuição de cada produto ou ativo para o resultado organizacional (CLEMENTE, GUTERVIL e TAFFAREL, 2010). A discussão do rateio dos custos fixos tornou-se fundamental à medida que as organizações se diversificaram e tornaram-se mais intensivas em capital fixo (CALLADO, ALBUQUERQUE e SILVA, 2007).

No caso da contabilidade fiscal de um produtor rural que utiliza toda a sua estrutura para a produção de uma única cultura, a técnica de custeio direto não interfere na apuração do seu custo, depois do investimento empreendido e a produção realizada. Por outro lado, para efeitos de tomada de decisão do que e quanto produzir, o produtor precisa de parâmetros que estejam associados ao impacto dos gastos no seu fluxo de caixa e na manutenção da sua riqueza; portanto, ele demanda elementos de análise que ultrapassem os limites dos rateios dos custos fixos/ha e estratifique o impacto na maximização da sua riqueza (SANTOS *et al.*, 2016).

Mediante os preceitos da análise CVL, o fluxo de caixa pode ser estruturado da seguinte forma:

- (+) Receita
- (-) Custos Variáveis Diretos
- (=) Margem de Contribuição Total
- (-) Custos Fixos Diretos e Indiretos
- (-) Depreciação
- (=) LAIR
- (-) IR/CSLL
- (=) Resultado Contábil
- (+) Depreciação
- (=) Fluxo de Caixa Operacional
- (-) Despesa Financeira real
- (=) Fluxo de Caixa para o Produtor
- (-) Depreciação e Custo da Terra
- (=) Fluxo de Caixa Econômico

Nesta estrutura, mais estratificada, alguns itens/indicadores precisam ser destacados para fins de fundamentação como: a margem de contribuição (MC), o ponto de equilíbrio (PE) ou quantidade de equilíbrio e o retorno do investimento (ROI).

A MC é um conceito da contabilidade gerencial para avaliação da capacidade do produto em agregar recursos à entidade, de modo a contribuir com a superação do custo fixo (RYZHOVA *et al.*, 2015). Neste sentido, a MC representa a quantidade de serviços ou produto vendido necessário para custear as despesas fixas e a quantidade de contribuição para formação do lucro (FRANCO *et al.*, 2015). Sua operacionalização se dá pela dissociação do custo fixo do custo do produto, onde a apuração deste custo não está associada à quantidade que será produzida, tendo em vista, que já se trata de um *sunk cost*. O cálculo da MC se dá pela seguinte Equação 13:

$$MC = RL - (CVt + DVt) \quad (13)$$

Onde,

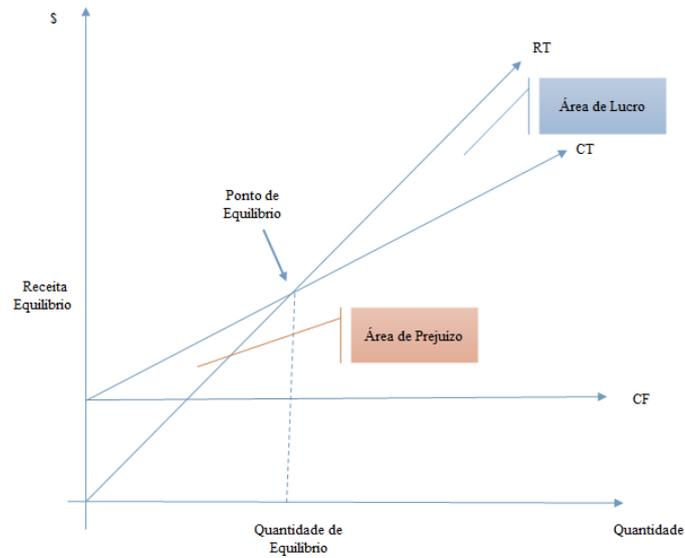
MC = Margem de Contribuição

RL = Receita Líquida

CVt = Custo Variável total

DVt = Despesa Variável total

O PE determina a situação em que o custo total iguala a receita (Figura 3). Trata-se de uma informação fundamental no processo decisório de qualquer atividade empresarial (MARTINS, 1998; BONACIM *et al.*, 2013). Os custos econômicos e financeiros podem ser incluídos neste método em função da sua natureza, de modo, a evidenciar a necessidade de área plantada (Equação 14) e/ou quantidade a ser produzida (Equação 15) para que os resultados operacionais, financeiros e econômicos sejam determinados. O PE extrapola a contabilidade de custos total prevista nos anuários que trazem os custos/ha (RYZHOVA *et al.*, 2015).



**Figura 3.** Ilustração Custo-Volume-Lucro  
 Fonte: Elaborado pela autora, com base em Braga (1995).  
 RT: Receita Total; CT: Custo Total; CF: Custo Fixo.

$$PE = \frac{CFt}{(RLa - CVa)} \quad (14)$$

Onde,

$PE$  = Ponto de equilíbrio

$CFt$  = Custo Fixo total

$RLa$  = Receita líquida unitária por área

$CVa$  = Custo variável unitário por área

$$PE = \frac{CFt}{(RLu - CVu)} \quad (15)$$

Onde,

$RLu$  = Receita Líquida unitária por saca

$CVu$  = Custo variável unitário por saca

No entanto, a análise do CVL não permite avaliar se o investimento realizado está sendo remunerado de forma equivalente ao seu risco. Portanto, se faz necessário avaliar de forma associada ao CVL o retorno do investimento (ROI – *Return on Investment*) (SANTOS *et al.*, 2016).

O ROI permite ao produtor analisar, em forma de taxa, se o retorno daquela produção é superior ao seu custo de oportunidade, que indica o nível de atratividade mínima do investimento, ou seja, trata-se do retorno que se esperaria ter em outros investimentos mais seguros que o atual. O seu cálculo está expresso na Equação 16.

$$ROI = \frac{\text{Fluxo de Caixa Operacional}}{\text{Investimento}} \quad (16)$$

Nesse sentido, a análise CVL em conjunto com os indicadores supracitados traz para o produtor rural parâmetros, no que diz respeito, ao quanto produzir, ao impacto dos gastos no seu fluxo de caixa e na manutenção da sua riqueza; ou seja, traz uma análise que ultrapassa os limites dos rateios dos custos fixos/ha, além de estratificar o impacto na maximização da sua riqueza.

Ryzhova *et al.* (2015), ao analisar diversos métodos de gestão de custos aplicados à propriedade agrícola na Europa, inferem que o método de custeio direto pode ser igualmente utilizado com o custo total tradicional de contabilidade como norteadores de desempenho destas empresas. No entanto, consideram a análise CVL essencial para planejamentos sobre lucro e tomada de decisões de curto prazo, ao determinar o equilíbrio entre custos variáveis e fixos, preço e volume de produtos fabricados (serviços), além de, permitir a organização do controle operacional sobre a segurança dos documentos contabilísticos.

No estudo sobre projeção e a aferição dos custos de produção, realizado por Clemente, Gutervil e Taffarel (2010), com 236 produtores familiares no sul do Brasil verificou-se que os itens de maior importância nos custos tendem a ser mais considerados na aferição dos resultados do que na decisão sobre as culturas e insumos a serem adotados, em decorrência principalmente da falta e dificuldade de sistematização das informações e, conseqüentemente de planejamento.

Callado, Albuquerque e Silva (2007), Franco *et al.* (2015) e Nascimento, Espejo e Panucci-Filho (2010) evidenciam que a aplicação da prática de análise CVL pode contribuir para gestão do processo produtivo de propriedades rurais fornecendo subsídios para controle

efetivo acerca dos recursos utilizados e dos resultados alcançados, ampliando o desempenho destas pequenas organizações.

No entanto, Bonacim *et al.* (2013) pontuam limitações teóricas da análise CVL, pela relação determinística que assume, além da desconsideração dos riscos operacionais e/ou econômicos e incertezas pertinentes a projeção futura do fluxo de caixa do projeto. Neste mesmo sentido, Rochman e Salvador (2013) e Musshoff (2012), expõem as limitações do método VPL, uma vez que este subestima sistematicamente oportunidades de flexibilização do investimento que permitem tal variação, segundo os autores, isto ocorre, pois o método é baseado somente em fluxos de caixas futuros esperados e, assim sendo, desconsidera o valor das opções de flexibilização presentes nos investimentos.

#### 2.2.4 Teoria das Opções Reais

A Teoria das Opções Reais (TOR) advém dos trabalhos seminais de Black & Scholes (1973) e Merton (1973) na compilação da metodologia das opções financeiras para solução de problemas de decisão de investimentos em ativos reais sob condições de incerteza.

Tourinho (1979) foi o pioneiro a utilizar a TOR, em estudos de reservas de recursos naturais. Cox, Ross e Rubinstein (1979) utilizaram a árvore binomial para apreçamento das opções e empregaram uma matemática mais simples que as equações estocásticas utilizadas por Black & Scholes (1973).

Posteriormente, houve uma série de publicações com o intuito de fortalecer a TOR no que tange a flexibilidade gerencial, a apuração de modelos quantitativos na aplicação da TOR e quanto às restrições dos métodos clássicos de análise de investimentos (BRENNAN e SCHWARTZ, 1985; MYERS, 1987; TRIGEORGIS e MANSO, 1987; HAYERS, WHEELWRIGHT e CLARK, 1988).

Em 1994, Dixit e Pindyck determinaram o pilar teórico da modelagem de opções reais, ao comprovarem possibilidade da opção de modificar o resultado do projeto ao longo da sua vida útil, contrapondo-se a metodologia clássica do VPL.

Em síntese a TOR possui aplicação de opções sobre ativos reais e permite capturar o valor das flexibilidades gerenciais, ou opções, existentes em diversos tipos de projetos. Consegue integrar o orçamento de capital e o planejamento estratégico, na busca pelo objetivo de maximizar o valor do empreendimento. Ela representa uma estrutura de decisão mais

adequada e mais completa, que auxilia no reconhecimento das opções reais implícitas e explícitas relativas ao investimento a ser feito, realçando o valor do projeto (MACEDO, 2003).

Copeland e Antikarov (2001) definem opção real como o método de solução do problema de se operar em um ambiente de incerteza. A opção é um direito, e não uma obrigação, de empreender uma ação a um custo predeterminado, por um período preestabelecido.

Para Dixit e Pindyck (1994), opção real é a flexibilidade que um gestor possui para tomar decisões de investimento, pois à medida que novas informações surgem, os mercados vão sendo modificados e, conseqüentemente, as incertezas sobre o fluxo de caixa. Estes acontecimentos fazem com que os gestores tenham condições de tomar decisões que possam influenciar positivamente o valor final de um projeto, ou mesmo minimizem as perdas.

#### *2.2.4.1 Opções Financeiras e Opções Reais*

A TOR enquanto derivação para cálculo das opções financeiras faz análogas as variáveis básicas do valor das opções reais em um projeto de investimento frente as variáveis de opções financeiras de compra (ROCHMAN e SALVADOR, 2013), conforme descrito por Copeland e Antikarov (2001), Souza Neto, Bergamini Júnior e Oliveira (2008):

- i) Ativo subjacente sujeito ao risco: nas opções financeiras é o valor mobiliário, da ação ou um ativo financeiro. Nas opções reais, trata-se de um projeto, um investimento ou uma aquisição. Se o valor do ativo subjacente aumenta, o mesmo acontece com o valor de compra de uma opção. Uma diferença importante entre opções reais e financeiras, segundo Copeland e Antikarov (2001), é que o detentor de uma opção financeira não pode afetar o valor do ativo subjacente. Mas, os executivos que operam um ativo real podem aumentar seu valor e, portanto, o valor de todas as opções reais que dele dependem;
- ii) Preço do exercício: nas opções financeiras é o valor da ação no momento de sua maturidade. Nas opções reais é o montante necessário que dever ser investido para realizar a opção;

- iii) Prazo de vencimento da opção: é o período no qual a opção está disponível. Para as opções financeiras esse prazo é negociado no momento da contratação; já nas opções reais depende das características do ativo subjacente ao risco;
- iv) Desvio padrão do valor do ativo subjacente sujeito ao risco: é a medida da volatilidade do ativo subjacente sujeito ao risco, ou seja, os riscos e as incertezas relativos ao retorno futuro esperado do investimento;
- v) Dividendos: no caso de opções reais, são os fluxos de caixa descontados futuros produzidos pelo projeto.

Francisco (2007) realiza a mesma comparação, no entanto, expõem as características distintas entre opções reais de investimento e opções financeiras de compra, conforme disposto no Quadro 6.

Opções financeiras	Opções reais
Curta maturidade (meses)	Longa maturidade (anos)
Impossibilidade de controlar o valor da opção com a manipulação do preço do ativo subjacente	Possibilidade de aumentar o valor da opção pela interferência pessoal
Valores usualmente pequenos	Valores podem ser representativos
Competitividade ou efeitos de mercado irrelevantes para o valor da opção	Fatores exógenos determinantes para o valor da opção
Comercializada há mais de uma década	Recém implementado em finanças corporativas, mas ainda não utilizado em planejamento financeiro pessoal
Usualmente solucionado com fórmulas fechadas e simulação/redução de variância em opções exóticas	Usualmente solucionado com fórmulas fechadas, equações diferenciais parciais e árvore binomial
Liquidez e informação para precificação no mercado	Não comercializável e sem referência no mercado
Ausência de impacto de ações ou hipóteses pessoais no valor da opção	Direcionamento do valor por ações gerenciais e hipóteses alternativas

**Quadro 6.** Características distintas das opções reais em relação às opções financeiras.

Fonte: Elaborado pela autora. Dados: Francisco, 2007, p. 22.

De forma didática Musshoff (2012), exemplifica a relação entre as opções financeiras com opções reais e o método clássico do VPL: O proprietário de uma opção, ou seja, o investidor (por exemplo, agricultor) tem o direito, mas não é obrigado a optar por comprar um ativo (por exemplo uma instalação de produção) com desenvolvimento incerto (Valor

Presente dos retornos do investimento) dentro de um período (duração da opção). A compra do bem é associada ao desembolso do investimento (gasto fixo). Na teoria de Investimento Clássica, o valor de um investimento no momento  $t$  é equivalente ao Valor Presente (VP) do Fluxo de Caixa Livre, portanto, a diferença entre o Valor Presente das receitas e o Valor Presente das despesas. Além disso, uma opção de investimento tem um valor contínuo que é similar ao valor descontado esperado do investimento na próxima oportunidade de investir. Investir imediatamente significa ganhar o valor intrínseco e, ao mesmo tempo, perder o valor contínuo. Em síntese um investidor racional só irá investir imediatamente se o valor intrínseco exceder o valor alternativo contínuo.

#### 2.2.4.2 Flexibilidade Gerencial

A flexibilidade gerencial consiste nas ações exercidas pelo empreendedor de acordo com as alterações dos cenários vivenciados no decorrer do projeto. Na Figura 4 verifica-se a relação entre a flexibilidade e a probabilidade de obter novas informações ao longo do tempo (COPELAND e ANTIKAROV, 2001). Quanto maior a incerteza e a flexibilidade de reação mais valorosa as opções reais.



**Figura 4.** Relação entre Flexibilidade e Incerteza. Fonte: Copeland e Antikarov (2001, p. 15).

A flexibilidade da administração em adaptar suas futuras ações em respostas às futuras alterações do mercado expande o valor da oportunidade do investimento pela melhoria do

potencial de ganhos, enquanto limita as perdas. Neste sentido, uma opção real é a flexibilidade que os investidores têm para tomar decisões em ativos reais.

Verifica-se que no setor agrícola a flexibilidade gerencial nas decisões é imprescindível, principalmente devido variação dos preços dos produtos agrícolas, da oscilação do volume de produção e de fatores ambientais. Nardelli e Macedo (2011) consideram os custos de produção em sistemas agropecuários, também como fonte de incertezas, pois os preços dos insumos específicos para agropecuária (sementes, adubos, defensivos e aluguel da terra) apresentam uma forte correlação com preço do produto a ser explorado. Em adição outros elementos tais como a falha ou sucesso na adoção de novas tecnologias e as quebras de safras agrícolas, motivados por problemas climáticos (incertezas naturais) e aumento da pressão de pragas e doenças, contribuem para incertezas e ações do produtor para alterar o curso do investimento.

Segundo Rochman e Salvador (2013), todo investimento está sujeito à flexibilidades, seja de forma explícita ou contida, sendo sempre possível utilizar o método de opções reais e obter um valor mais justo sobre o projeto em análise, já que em todo projeto há no mínimo a opção de abandono.

Crncan e Ranogajec (2015) e Copeland e Antikarov (2001) classificam as ações do investidor dentro do projeto a flexibilidade (opção) em:

- i) Investir: representa a opção mais básica, que é investir no projeto em análise;
- ii) Abandonar: pode-se abandonar o atual projeto no estágio em que ele atualmente se encontra, deixando de ter o retorno que atualmente está recebendo (seja ele lucro ou prejuízo);
- iii) Expandir: geralmente aplicado a opções de investimento em indústria, representa a opção de se investir no aumento de produção de determinado produto;
- iv) Reduzir: analogamente, representa a opção do empreendedor de reduzir a quantidade produzida de determinado produto;
- v) Postergar: compreende a opção do investidor em esperar mais algum tempo para realizar o investimento.
- vi) Alterar: o sistema produtivo, na utilização de outros insumos e/ou práticas, alterar o mix de produção.

Cada ação possui um valor predeterminado que se denomina preço de exercício, por um período já estabelecido.

### 2.2.4.3 Aplicação da TOR

A aplicação da TOR não rejeita a técnica do FCD uma vez que se trata de um FCD que capta as flexibilidades de tomada de decisão no decorrer do tempo (MUSSHOFF, 2012). Sendo assim, o primeiro passo para aplicação da TOR é a execução do cálculo do VPL do projeto, sem flexibilidades, por meio da metodologia tradicional do fluxo de caixa descontado à taxa ajustada ao risco, determinado desta forma, o VP do projeto (SONG, ZHAO e SWINTON, 2011).

Num segundo momento é necessário modelar (precificar) as incertezas que cercam o projeto, ou seja, aquelas que afetam o valor do ativo subjacente. Nos trabalhos de Rochman e Salvador (2015) que consideram o preço das *commodities* como incertezas do projeto, esses ajustam as modelagens em dois modelos basicamente: Movimento de Reversão a Média (MRM) e no Movimento Geométrico Browniano (MGB). Beck (2001) utiliza o modelo autoregressivo ARCH-M para modelar o comportamento dos preços das *commodities*. Nesta mesma linha, Saphores, Khalafe Pelletier (2002) e Khalaf, Saphorese Bilodeau (2003) desenvolvem modelos ARCH e GARCH adicionando *jumps* no processo e fazendo testes de aderência.

Bernard, Khalaf, Kichian, & McMahon (2006) comparam três diferentes tipos de modelo (i) modelos de passeio aleatório com efeitos autorregressivos com heterocedasticidade condicional generalizada (GARCH) com distribuição *t-student*, (ii) Jumps de difusão com distribuição de Poisson com efeitos GARCH com distribuição normal e *t-student* e (iii) modelos de reversão à média que permitem incerteza no preço a qual o preço reverte.

Segundo Santos e Jurca (2013), Brandão e Dyer (2013), Rodrigues *et al.* (2012), Rocha (2008) e Copeland e Antikarov (2001) o MGB é mais tradicional na literatura na modelagem das incertezas que cercam o ativo subjacente, uma vez que permite a adequação em modelos de valoração das opções.

Após a modelagem da incerteza do projeto, o terceiro passo é a valoração das opções. Os estudos iniciais neste processo faziam uso frequente do modelo desenvolvido por Black & Scholes, de forma a associar variáveis de opções reais às variáveis utilizadas no famoso modelo (LEUHRMAN, 1998; ROCHMAN e SALVADOR, 2013). Na literatura referente ao agronegócio encontram-se ainda mais dois métodos de valoração das opções reais: Simulações (Monte Carlo) (DU e HENNESSY, 2012; FREY *et al.*, 2013; OLORTEGUI, MARÇAL e MARTINS, 2012; RODRIGUES *et al.*, 2015) e Árvore de decisão (Modelo

binomial e polinomial) (NADOLNIAK, MIRANDA e SHELDON, 2010; SONG, ZHAO e SWINTON, 2011; NARDELLI e MACEDO, 2011; HEUMESSER *et al.* 2012; SANTOS e JURCA, 2013; KHALID, 2013).

Nardelli e Macedo (2011) e Miller e Park (2002) dividem as abordagens de valoração das opções reais de acordo com a forma que o tempo é considerado: i) de forma discreta – abordagens *lattice* multinominal, onde o ativo subjacente segue um processo estocástico discreto, multifuncional e multiplicativo ao longo do tempo de maneira a se obter uma “árvore”, a exemplo dos modelos binomial e polinomial e, ii) forma contínua – abordagens com equações de “solução fechada” (*closed-form*), a exemplo da Simulação de Monte Carlo.

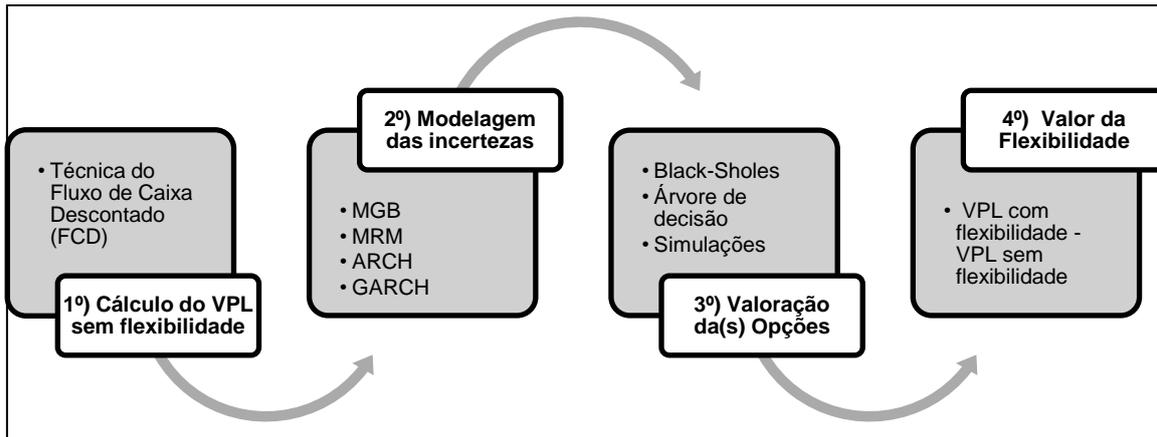
Na abordagem *lattice* o valor é resolvido recursivamente a partir dos “nós” finais das “árvores”. Este processo condiz com a flexibilidade da avaliação que se expõem de forma ilustrativa e didática, uma das vantagens dessa abordagem (MILLER e PARK, 2002).

Há diversos trabalhos que desenvolvem abordagens *lattice* na valoração de opções reais. Dentre estes, a abordagem binomial de Cox, Ross e Rubinstein (1979) a qual tem grande notoriedade e difusão. E apesar de originalmente ser concebida para avaliar opções financeiras, é empregada também para modelar e apreçar opções reais (NARDELLI e MACEDO, 2011).

A última etapa da TOR consiste na análise das opções reais, ou seja, na obtenção do valor da flexibilidade, sendo expresso pela diferença entre o VPL de um projeto com flexibilidade e o VPL sem flexibilidade (Equação 17).

$$\text{Valor Opção} = VPL_{\text{flexibilidade}} - VPL_{\text{tradicional}} \quad (17)$$

Verifica-se, portanto, que em síntese a aplicação da TOR dispõe de basicamente quatro etapas conforme Figura 5:



**Figura 5.** Etapas da aplicação da Teoria das Opções Reais

Fonte: Elaborado pela autora. Com base em: Copeland e Antikarov, 2001.

No presente estudo a valoração das opções segue o Modelo Polinomial derivado da abordagem binomial de Cox, Ross, & Rubinstein (1979), uma vez que possui mais de uma incerteza incidente no valor o ativo subjacente, preço da *commodity* e produtividade da cultura da cana-de-açúcar (BRANDÃO e DYERS, 2009). A escolha desse modelo deve-se a robustez do mesmo quando comparado com os modelos clássicos de Black & Scholes (1973) e Merton (1973), porém com estrutura voltada para precificação de uma opção americana, que melhor se enquadra para ativos reais (BAIDYA e CASTRO, 2001).

A modelagem da incerteza do preço segue o Movimento Geométrico Browniano (MGB), por assentar-se em um comportamento aderente a este modelo (Li, TSENG e HU, 2015). Sendo assim, na sequência aborda-se as características e equações implícitas ao MGB e ao Modelo Polinomial derivado de Cox, Ross, & Rubinstein (1979) e apresentado por Brandão e Dyers (2009).

#### 2.2.4.4 O Movimento Geométrico Browniano

O movimento geométrico browniano (MGB) trata-se de um processo estocástico aleatório contínuo, com origem em 1828 pelo botânico inglês Robert Brown a partir da observação de partículas de pólen imersas num líquido, as quais apresentavam um movimento permanente e errático. Posteriormente Einstein, em 1905, confere uma explicação para o fenômeno: o referido movimento decorre das constantes colisões das partículas com as moléculas no meio ambiente em que estão inseridas, portanto, considerado uma lei da física.

Em 1918, Wiener escreve matematicamente o movimento browniano, por isso é também conhecido como movimento de Wiener (SANTOS, 2004).

Um processo estocástico é uma variável que evolui no decorrer do tempo de forma incerta ou parcialmente incerta (FONSECA, 2006). Os processos estocásticos podem ser divididos em discretos e contínuos, sendo que o primeiro pressupõe que os valores de determinadas variáveis oscilem em determinados pontos no tempo e o segundo permite que as oscilações ocorram em qualquer instante de tempo. Apesar dos ativos financeiros seguirem um processo estocástico discreto, ou seja, as cotações variam conforme frações de preço e as variações dependem da ocorrência de negócios, os modelos contínuos se prestam muito bem para a maioria dos modelos utilizados em finanças (GONÇALVES e FERREIRA, 2008).

No âmbito agrícola, Stokes (2012) utiliza o MGB para modelar o comportamento do ativo financeiro terra em seu valor de uso, uma vez que este representa a renda capitalizada pelo imobiliário agrícola. Navarrete (2012), no estudo sobre rotação de colheita de pinus utiliza o MGB para precificação desta cultura. Rodrigues *et al.* (2015) utilizam da mesma modelagem para o preço do gás natural, o preço da amônia e o preço da ureia, comparando-o com o Movimento de Reversão a Média (MRM) para avaliação da opção de troca de produto final, amônia ou ureia, em uma fábrica de fertilizantes nitrogenados. Os autores inferem que a opção de troca de produto é mais valiosa nos casos em que se utilizou o MGB em relação aos casos em que foi utilizada MRM.

O MGB apresenta três importantes propriedades (GONÇALVES e FERREIRA, 2008):

- i) Os valores futuros do ativo subjacente assumem um processo de Markov, ou seja, a distribuição dos valores futuros do processo depende somente do seu valor atual, não sendo afetado pelos valores passados do processo, ou por qualquer outra informação;
- ii) Possui incrementos independentes, ou seja, a distribuição de probabilidades para a variação do processo ao longo do tempo é independente de qualquer outro intervalo de tempo (que não sobreponha o primeiro);
- iii) As variações de um processo no intervalo de tempo estudado (finito) tem distribuição normal e variância crescente linear com o intervalo de tempo.

Em acordo com o processo de Wiener, o movimento browniano ocorre num campo de probabilidade  $\{\Omega, f, P\}$  e é um processo estocástico real, onde,  $(B_t)_{t \geq 0}$ . O movimento possui quatro propriedades (DIXT e PINDYCK, 1994; SANTOS, 2004), a saber:

- i)  $E_p(B_t) = 0$ , ou seja, a esperança variável aleatória  $B_t$  é nula.
- ii)  $E_p(B_t^2) = t$ , isto é, a variância de  $B_t$  é  $t$ .
- iii)  $E_p[B_t B_s] = t \wedge s = \min\{t, s\}$ , isto é, a covariância de  $B_t$  e  $B_s$  é  $t \wedge s$ .
- iv)  $E_p[(B_t B_s)^4] = 3(t - s)^2, t, s \geq 0$ . Em particular  $E_p(B_t^4) = 3t^2$ .

Onde,

$E_p$  = espaço de probabilidade.

Chega-se, sem perda de generalidade, que  $0 \leq s < t < \infty$ . Então,  $B_t - B_s$  tem distribuição  $N(0, t - s)$ .

Onde,

$B_t = B_t - B_0$ .  $(P - q \cdot s)$  e a variância de  $B_t - B_0$  é  $t$ .

O movimento browniano definido anteriormente é conhecido usualmente como canônico, por que:

$$B_0 = 0, P - q \cdot s; E_p(B_t^2) = t$$

Segundo Santos (2004) a sua função densidade pode ser dada pela Equação 18:

$$f_{B_t}(x) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi t}}\right) \cdot e\left(\frac{-x^2}{2t}\right) \quad (18)$$

A equação 18 mostra que o movimento browniano é um processo estocástico em  $L^2(P)$ , isto é, para cada  $t \geq 0, B_t \in L^2(P)$ , espaço das funções  $f: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$   $f$  – mensuráveis tais que  $\|f\|^2_{L^2(P)} := \int_{\Omega} |f(w)|^2 dP(w) < \infty$  onde, a norma  $\|\cdot\|_{L^2(P)}$  é definida pela Equação 19:

$$|f|^2 L^2(P) := \int_{\Omega} |f(w)|^2 dP(w) < \infty \quad (19)$$

No caso do movimento browniano tem-se  $|B_t| L^2(P) = \sqrt{t} < \infty$  para qualquer  $t \geq 0$ . Para Santos (2004) a desvantagem de se trabalhar com o espaço definido em  $[L^2(P), | \cdot | L^2]$  tem a ver com o fato desse espaço não ser suficiente para a norma  $| \cdot | L^2(P)$ . Tal limitação pode ser superada completando o espaço  $L^2(P)$ , chegando assim no espaço de Hilbert  $L^2(P)$ . Por definição  $L^2(P)$  é denso em  $L^2(P)$ , tomando  $B_t$  como um representante de sua classe podemos concluir que  $B_t \in L^2(P)$ .

Deste modo, a função geradora do movimento browniano pode ser expressa pela Equação 20:

$$L_{B_t}(\lambda) = e^{\frac{\lambda^2 t}{2}} \quad (20)$$

Até o presente momento apresentou-se o aparato matemático que desenvolve e sustenta um movimento browniano incluindo sua função geradora (20).

Quando a modelagem matemática é aplicada nas finanças, entende-se que o movimento browniano se refere a um ativo real ou financeiro que segue um movimento aleatório  $B(t)$  a variação do valor do ativo é dado por  $\Delta B$  num intervalo de tempo  $\Delta t$ .

Assim, Rochman (1998) chega ao movimento geométrico browniano (MGB) definido pela Equação 21:

$$\Delta B = \varepsilon_t \cdot \sqrt{\Delta t} \quad (21)$$

Onde,

$\varepsilon$  = variável aleatória que apresenta desvio padrão 1 e uma distribuição normal com média 0.

À medida que o espaço temporal vai se tornando mais curto o processo vai assumindo a característica de tempo contínuo representado por  $dB$  (Equação 22):

$$dB = \varepsilon_t \cdot \sqrt{dt} \quad (22)$$

Chega-se ao processo estocástico browniano com tendência que pode ser ampliado conforme a Equação (23) (ROCHMAN, 1998):

$$dx = \alpha \cdot dt + \sigma \cdot dB \quad (23)$$

Onde,

$\alpha$  = parâmetro de crescimento (tendência)

$\sigma$  = variância

$x$  = processo estocástico de um ativo qualquer

O ativo poderá assumir valores distintos num determinado intervalo de tempo, então se pode definir o MGB com tendência pela Equação (24):

$$dx = \alpha \cdot x \cdot dt + \sigma \cdot x \cdot dB \quad (24)$$

Sendo o MGB um caso particular do teorema de Itô (DIXT e PINDYCK, 1994), o qual se trata de um cálculo estocástico para encontrar a diferencial de uma função de um tipo particular de processo estocástico contínuo  $x(t)$ . O MGB segundo Rochman (1998), representa-se pela seguinte Equação 25:

$$dx = a(x, t) \cdot dt + b(x, t) \cdot dB \quad (25)$$

Onde,

$a(x, t)$  = função não aleatória de tendência ( $\alpha \cdot x$ )

$b(x, t)$  = função não aleatória de variância ( $\sigma \cdot x$ )

O cálculo diferencial para uma função  $f(x, t)$  seguindo o teorema de Itô é definido pela Equação (26) (ROCHMAN, 1998):

$$df = \left[ \frac{\partial f}{\partial t} + a(x, t) \cdot \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{1}{2} \cdot b^2(x, t) \cdot \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right] \cdot dt + b(x, t) \cdot \frac{\partial f}{\partial x} \cdot dB \quad (26)$$

A equação 26 é utilizada como fundamento para precificação de ativos financeiros como ações, índices, opções financeiras, *commodities*, onde o espaço para tomada de decisão é muito pequeno (DIXT e PINDYCK, 1994).

Como o preço da grande maioria dos ativos não pode ser negativo, em especial o valor de uma empresa, ação ou commodity agrícola, os preços seguem uma distribuição lognormal (OLIVEIRA e PAMPLONA, 2012). Rochman (1998) apresenta a equação que descreve o processo geométrico browniano ( $S$ ) do preço de um ativo financeiro, Equações (27, 28, 29 e 30):

$$dS = \alpha \cdot S \cdot dt + \sigma \cdot S \cdot dB \quad (27)$$

$$\frac{\partial f}{\partial S} = 0, \frac{\partial f}{\partial S} = \frac{1}{S}, \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} = \frac{-1}{S^2} \quad (28)$$

$$df = \left[ 0 + \alpha \cdot S \cdot \frac{1}{S} + \frac{1}{2} \cdot (\sigma \cdot S)^2 \cdot \frac{-1}{S^2} \right] \cdot dt + \sigma \cdot S \cdot \frac{1}{S} \cdot dB \quad (29)$$

$$df = \left[ \alpha - \frac{\sigma^2}{2} \right] \cdot dt + \sigma \cdot dB \quad (30)$$

Na Equação (30) a média e a variância dentro de um intervalo de tempo  $t$  que sofre variação de valor em  $\log S$ .

Pode-se, ainda, projetar a equação acima para o tempo discreto Equação (31):

$$S_{t+1} = S_t \cdot e^{\left[ \left( \alpha - \frac{\sigma^2}{2} \right) \cdot \Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} \cdot \varepsilon_t \right]} \quad (31)$$

Em um ambiente neutro ao risco a tendência dada pela Equação (31) será igual à taxa livre de risco (MORITZ MAACK, 2012; ROCHMAN, 1998).

#### 2.2.4.5 Modelos Binomial e Polinomial

O valor de uma opção real é intrínseco a flexibilidade gerencial presente em um projeto. As empresas podem alterar os fluxos de caixa futuros de forma a maximizar os seus retornos e minimizar as perdas esperadas à medida que as incertezas são resolvidas ao longo do tempo, deste modo, como as flexibilidades possuem características de opções o método do FCD não consegue capturar esse valor, necessita-se assim do uso de métodos de apreçamento de opções (BRANDÃO e DYER, 2009).

O modelo binomial ou modelo de Cox, Ross e Rubinstein (1979), este último referindo-se aos seus autores, trata-se de um instrumento de avaliação de opções para o tempo discreto, onde o ativo (incerteza) só poderá assumir uma de duas alternativas de valor (BAIDYA e CASTRO, 2001).

Na literatura financista considera-se o modelo por árvore de decisões o mais adequado para avaliação de opções americanas (COPELAND e ANTIKAROV, 2001). Esse tipo de opção é a que mais se aproxima dos ativos reais, pois pressupõe a possibilidade para realização do exercício antes do prazo. Além disso, o modelo é capaz de captar todas as alterações de preço do ativo subjacente em cada momento (nó) da vida útil do investimento (SANTOS, 2004; NARDELLI e MACEDO, 2011).

Segundo Cox, Ross e Rubinstein (1979) o modelo binomial é um modelo teórico de distribuição de probabilidade que coloca como premissas (BAIDYA e CASTRO, 2001):

- i) para cada momento da vida útil do investimento há apenas dois valores do ativo subjacente;
- ii) não existe oportunidade para ganhos de arbitragem e;
- iii) o resultado de um evento não é condicionado pelo resultado do evento anterior.

Deste modo, o cerne do modelo binomial é que em cada intervalo de tempo  $\Delta t$ , o ativo subjacente valoriza-se, assumindo valor ascendente caracterizado por  $u(u > 1)$  e desvaloriza-se num valor descendente caracterizado por  $d(d < 1)$  (NARDELLI e MACEDO, 2011). Ao atribuir  $S_0$  como valor atual do ativo subjacente, o preço do mesmo para  $t = 1$ , é alçado por  $S_1 = S_0 \cdot u$ ; ou por  $S_1 = d \cdot S_0$  nas duas situações o preço da opção seria  $F_u$  e  $F_d$ , respectivamente (SANTOS, 2004).

Na ocorrência de um aumento no preço do ativo subjacente, o valor da carteira será (Equação 32).

$$S_0 \cdot u\Delta - F_u \quad (32)$$

E de forma oposta, se houver uma redução do preço do ativo subjacente, ter-se-á (Equação 33).

$$S_0 \cdot d\Delta - F_d \quad (33)$$

Logo, para que a carteira ofereça um retorno livre de risco as Equações 32 e 33 precisam ser iguais. Sendo assim,

$$\Delta = \frac{F_u - F_d}{S_{0u} - S_{0d}} \quad (34)$$

Deste modo, a taxa de variação do preço da opção em relação à variação do preço do ativo subjacente é compreendida por  $\Delta$  Marreco (2001) chega a seguinte definição, Equação (35):

$$S_0\Delta - F = (S_0 \cdot u\Delta - F_u) \cdot e^{-R_f \cdot T} \quad (35)$$

Ao substituir o  $\Delta$  obtido pela equação (34) e (35) de forma simplificada, chega-se a Equação (36).

$$F = e^{-R_f \cdot T} [\rho \cdot F_u + (1 - \rho) \cdot F_d] \quad (36)$$

Onde,

$$\rho = \frac{e^{-R_f \cdot T} - d}{u - d} \quad (37)$$

Nota-se que os valores " $u$ " e " $d$ " são definidos segundo a variabilidade e o retorno esperado do ativo subjacente. Hull (1997) expressa este evento como:  $\Delta t$  sendo o intervalo entre os nós que possuem os valores do ativo subjacente em cada momento da vida do investimento e, a probabilidade associada ao movimento ascendente " $u$ " dada por " $\rho$ ", não

obstante o movimento descendente "d" por  $1 - \rho$ . Sendo assim, o valor do ativo subjacente ao final do período será alcançado por  $S_0 \cdot e^{\mu\Delta t}$ , onde " $\mu$ " representa a remuneração esperada do ativo subjacente, por conseguinte o valor esperado considerando as probabilidades será delineado de acordo com a Equação 38.

$$\rho \cdot S_{0_u} + (1 - \rho) \cdot S_0 \cdot d \quad (38)$$

Igualando-se a Equação 38 a remuneração esperada do ativo subjacente, encontra-se a fórmula para calcular " $\rho$ " (Equação 39).

$$\rho = \frac{e^{\mu\Delta t} \cdot d}{u - d} \quad (39)$$

Subentendendo, que o valor de um determinado ativo segue um processo browniano, o seu retorno esperado pode ser calculado pela Fórmula 40, onde  $r_i$  é o retorno do ativo num período de tempo  $i + 1$ .

$$r_1 = \log\left(\frac{S_{i+1}}{S_i}\right) \quad (40)$$

O desvio padrão pode ser obtido conforme Equação 41.

$$\sigma = \frac{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2}}{(n-1)} \quad (41)$$

Como a unidade de medida padrão na avaliação das opções é um ano, em consonância com o movimento browniano, divide-se a fórmula do desvio padrão por  $\frac{1}{\sqrt{\Delta t}}$  ficando a volatilidade dos retornos em cada período de tempo expressa em  $\sigma \cdot \sqrt{\Delta t}$  (ROCHMAN e SALVADOR, 2013).

Para ajustar ao modelo binomial a volatilidade, igualam-se as variâncias do retorno do ativo a árvore (Equação 42).

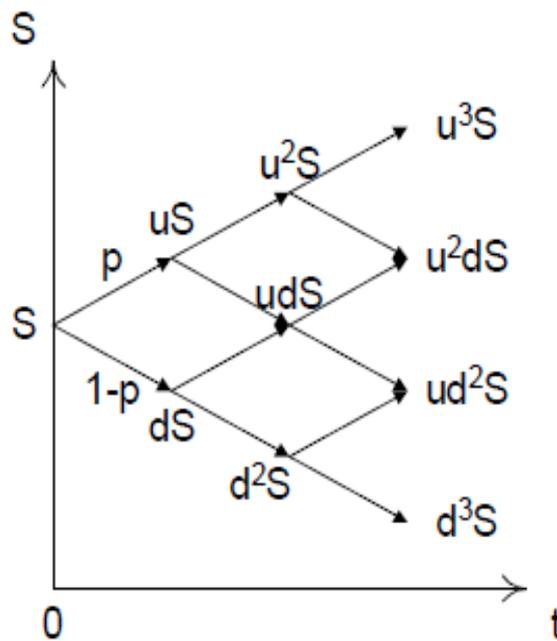
$$\rho \cdot u^2 + (1 - \rho) \cdot d^2 - [\rho \cdot u + (1 - \rho) \cdot d]^2 = \sigma^2 \cdot \sqrt{\Delta t} \quad (42)$$

Substituindo-se a Equação 38 na Equação 42 chega-se aos valores de "u" e "d", descritos nas Equações 43 e 44.

$$u = e^{\sigma \cdot \sqrt{\Delta t}} \quad (43)$$

$$d = e^{-\sigma \cdot \sqrt{\Delta t}} \quad \text{ou} \quad d = \frac{1}{u} \quad (44)$$

Como representação gráfica do modelo desenvolvido utiliza-se a árvore binomial conforme ilustrado pela Figura 6.

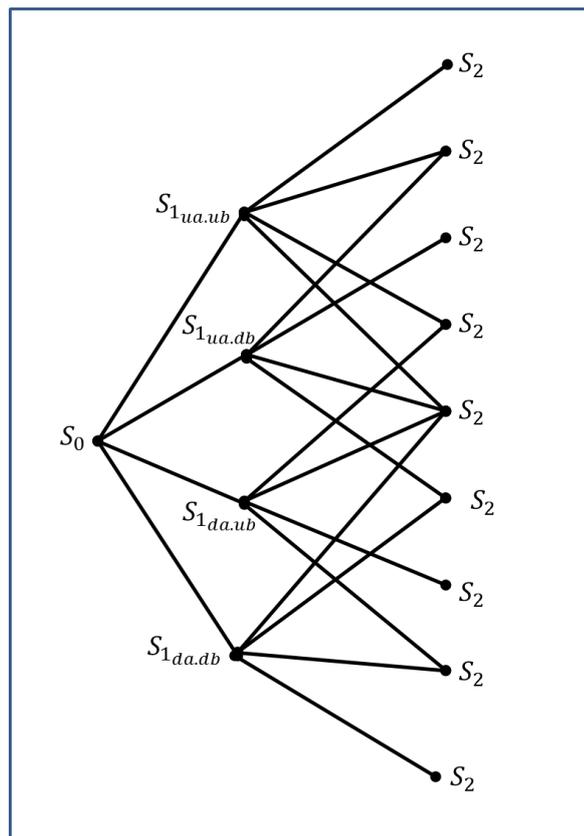


**Figura 6.** Árvore Binomial em três períodos. Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 6 mostra os possíveis valores de  $S$  ao longo de três intervalos de tempo, no entanto, poderia se perpetuar por mais períodos. Esta ilustração também é conhecida como árvore binomial multiplicativa, pois os valores futuros em cada período são distribuídos segundo a distribuição binomial e são proporcionais ao estado inicial (BAIDYA e CASTRO, 2001).

Ainda existem outros modelos por árvores de decisão derivados do binomial, há exemplo, do modelo quadrinomial também utilizado para avaliar projetos com flexibilidade gerencial diferindo-se quanto à quantidade de ativos, ao invés de apenas um ativo subjacente como no binomial, há dois ativos podendo estes estar correlacionados ou não correlacionados (COPELAND e ANTIKAROV, 2001; BRANDÃO e DYER, 2009).

A abordagem quadrinomial, estando às incertezas correlacionadas ou não, é representada por uma árvore binária com suas variáveis e quatro ramificações em cada nó (Figura 7) e é a generalização da árvore de eventos binomial que possui duas ramificações em cada nó (Figura 6). Para desenvolver a árvore, precisamos obter as estimativas dos desvios padrão anuais das variações percentuais do valor do ativo, quando influenciado por cada uma das incertezas,  $\sigma_1$  e  $\sigma_2$ , bem como a correlação entre elas,  $\rho_{1,2}$  (COPELAND e ANTIKAROV, 2001).



**Figura 7.** Árvore Quadrinomial em dois períodos. Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se que no primeiro período, "S" pode assumir quatro valores dados pelas combinações:

- i) Movimento ascendente do ativo subjacente  $a$  e do ativo subjacente  $b$ ;
- ii) Movimento ascendente do ativo subjacente  $a$  e descendente do ativo subjacente  $b$ ;
- iii) Movimento descendente do ativo subjacente  $a$  e ascendente do ativo subjacente  $b$ ;
- iv) Movimento descendente do ativo subjacente  $a$  e do ativo subjacente  $b$ .

A resolução do quadrinômio neste modelo se dá, portanto, por quatro equações (Equações 45, 46, 47 e 48):

$$mu_1u_2V_0 + (1 + r_f)B = C_{u_1u_2} \quad (45)$$

$$mu_1d_2V_0 + (1 + r_f)B = C_{u_1u_2} \quad (46)$$

$$md_1u_2V_0 + (1 + r_f)B = C_{u_1u_2} \quad (47)$$

$$md_1d_2V_0 + (1 + r_f)B = C_{u_1u_2} \quad (48)$$

Não obstante, os períodos que sucedem utilizam da mesma lógica na combinação dos valores assumidos pelos ativos subjacentes mediante a modelagem do movimento de subida e descida dos valores destes nos demais períodos.

Ao prosseguir-se no cálculo das probabilidades livre de risco em cada uma das ramificações do quadrinômio, pode-se aplicar a seguinte Equação, na obtenção do valor da flexibilidade (49):

$$C_0 = \frac{P_{u_1u_2}C_{u_1u_2} + P_{u_1d_2}C_{u_1d_2} + P_{d_1u_2}C_{d_1u_2} + P_{d_1d_2}C_{d_1d_2}}{(1+r_f)} \quad (49)$$

Ressalta-se que em ambas as situações, com incertezas correlacionadas ou não, a ilustração da árvore quadrinomial é a mesma, a diferenciação está nos movimentos de " $u$ " e " $d$ " de cada variável que podem ser utilizados de forma independente e a probabilidade neutra a risco de cada ramificação será igual ao produto das probabilidades livre de risco dessa ramificação, conforme cada uma das fontes de incerteza. O modelo de incertezas não correlacionadas gera quatro equações (Equação 50, 51, 52 e 53).

$$P_{u_1u_2} = P_{u_1u_2} \quad (50)$$

$$P_{u_1d_2} = P_{u_1d_2} \quad (51)$$

$$P_{d_1u_2} = P_{d_1u_2} \quad (52)$$

$$P_{d_1d_2} = P_{d_1d_2} \quad (53)$$

Brandão e Dyer (2009) propõem um método para avaliação de projetos com incertezas correlacionadas baseado nos conceitos de Copeland e Antikarov (2001) e nos conceitos de mercados parcialmente incompletos de Smith e Nau (1995). O método utiliza como técnica de análise o modelo por árvores de decisão, considerado pelos autores uma forma simples e intuitiva para valorar projetos de opções reais com problemas de correlação entre risco de naturezas distintas, abordados neste artigo através de um exemplo prático.

Rodrigues *et al.* (2015) utilizam de duas e três incertezas correlacionadas, preço da amônia e uréia e gás natural (principal matéria-prima para produção de fertilizantes) na avaliação da opção troca de produtor final em uma fábrica de fertilizantes nitrogenados. A modelagem das incertezas seguiu dois métodos MRM e MGB, os quais foram comparados, estimou-se o valor da opção troca de produto através da simulação de Monte Carlo. Verificou-se que esta opção é mais valiosa ao utilizar-se o MGB em relação ao MRM e ao se comparar o MRM com as variáveis preço da uréia e amônia e, posteriormente com as três variáveis (adicionado o gás natural), notou-se que o valor da opção troca é maior com o modelo mais realista que considera o gás natural como incerteza do negócio. Os autores também inferem que a consideração da opção troca é importante na avaliação da viabilidade do negócio. Uma das limitações deste trabalho é a não consideração do *timing* de troca do *output*.

Tzouramani e Mattas (2002) utilizaram de duas incertezas preço da *commodity* e produtividade da terra na avaliação de um projeto que considera adoção de novas tecnologias na plantação frente a tecnologias tradicionais. Os autores comparam a método VPL com a TOR, onde ambos apontam com preferíveis a adoção de novas tecnologias, no entanto, a TOR evidenciou que a melhor opção para o investidor seria adiar o investimento, assim sendo, a adoção das opções reais tende a agregar valor ao investimento agrícola e de forma geral para os setores com alto grau de incerteza.

Du e Hennsy (2008) partindo de uma premissa que após fechado o contrato de arrendamento o produtor rural tem a opção de plantar milho ou soja e que esta flexibilidade de plantação pode ser como uma opção real, que deve ser refletida no valor do arrendamento pago ao proprietário da terra (valor subestimado pelos métodos tradicionais do VPL). Aplicam a TOR com a opção de espera na escolha entre o plantio de soja e milho. Os autores consideram como fonte de incerteza os preços da soja, do milho e do fertilizante (insumo das plantações), além da produtividade da terra considerando a plantação de soja e milho.

Ressalta-se que a função do custo de produção da soja é homogênea e independente do preço do fertilizante nitrogenado, uma vez que esta cultura possui alta capacidade de fixação de nitrogênio dependendo muito pouco da aplicação deste insumo. Já o custo do milho segue uma função de Cobb-Douglas, relacionada ao preço do fertilizante nitrogenado, uma vez que a cultura do milho é altamente exigente em nitrogênio. A receita esperada pelas safras são avaliadas através do uso de variáveis de estado para todas as fontes de incertezas estando estas correlacionadas (preço da soja, milho e fertilizantes). Em síntese os autores concluem que com a abordagem das opções reais o valor do arrendamento foi superior em 11%.

Resultado similar foi encontrado por Rochman e Salvador (2013), no trabalho com precificação de terrenos agrícolas, comparando-se também o VPL com a TOR. Este trabalho tem como flexibilidade a escolha entre as culturas a ser plantadas em cada uma das safras futuras, soja, milho e rotação entre as duas culturas, com a opção de troca a cada ano. A incerteza adotada foi o preço das duas *commodities*, através da dinâmica com saltos determinísticos. Os resultados demonstram que a abordagem das opções reais, ao considerar flexibilidade gerencial em escolher a cultura a ser plantada a cada safra agrega significativamente valor à opção de compra do terreno, e conseqüentemente ao valor do terreno em si, considerando ainda, todos os cenários simulados de taxa de inflação e produtividade da terra.

Livigston, Roberts e Zhang (2015) também utilizam das incertezas de preço da soja, milho e do fertilizante nitrogenado, considerando ainda os efeitos agrônômicos da rotação de culturas e da monocultura sobre a produtividade. O objetivo dos autores é a escolha de uma sequência ótima de cultivos de soja e milho a partir destas premissas. Para tanto, desenvolvem uma metodologia com base na programação dinâmica, inferindo que os modelos estáticos de aversão a risco não conseguem captar as particularidades dos cultivos agrícolas (flexibilidade e incertezas).

Wolbert-Haverkamp e Musshoff (2014), no estudo realizado na Alemanha utilizam da teoria das opções reais e propõem um modelo para a análise da rotação de culturas com espécies florestais de ciclo curto comparada ao cultivo tradicional de centeio. Os autores consideram a rotação de ciclo curto uma alternativa econômica para os agricultores de centeio, dado a baixa exigência em insumos e tratamentos culturais, no entanto, ainda há baixa adesão. Neste sentido, o trabalho propõe a TOR como ferramenta para auxílio da aferição do gatilho de conversão da cultura tradicional para o novo sistema, adotando com incerteza a

Margem Bruta (MB) do sistema de rotação de ciclo curto (SRC) e a MB do canteio, as quais seguem o MGB. Neste estudo o principal fator que influencia os resultados é o grau de incerteza, a extensão da incerteza é determinada pela diferença entre as MB do SRC e do canteio, sendo esta definida pelo desvio padrão do valor absoluto alterações dos valores da MB do canteio, do SRC e do canteio e a correlação entre as MB.

#### 2.2.4.6 Opções reais e diversificação de culturas

Na literatura há uma escassez de artigos que abordem a TOR como instrumento de análise de investimento e tomada de decisão para o produtor rural no processo de sucessão ou rotação de culturas, confirmada a partir da revisão bibliográfica sistematizada em bases de dados nacionais e internacionais, *Web of Science*, SCOPUS, SPELL, Ph@atemon (UNESP) e Google Acadêmico.

Neste processo de revisão sistematizada, buscou-se artigos publicados no período de 2010 a 2017 que continham no título, resumo e/ou palavras-chaves os seguintes *strings* de busca “*real options*” e “*crop rotation*”. Após triagem, foram reportados somente cinco artigos e destes apenas um têm como escopo o Brasil (Quadro 7), que atualmente é o segundo maior produtor agrícola do mundo (Anuário da Agricultura Brasileira – AGRIANUAL, 2015).

Neste contexto, é pertinente relatar a aptidão agrônômica dos países de clima tropical assim como o Brasil, aos sistemas de rotação e sucessão de culturas uma vez que dada as suas condições edafoclimáticas é possível o plantio de mais de uma cultura de interesse econômico no mesmo ano agrícola, diferente dos países de clima temperado, caracterizando-se por invernos rigorosos, o que limita ao plantio de uma só cultura em cada ano agrícola.

Na literatura não se encontrou trabalhos com aplicação da TOR em sistemas de rotação ou sucessão com cana-de-açúcar, nem no referido período (2010 a 2017), como também nos anos anteriores. Os artigos envolvendo o setor canavieiro com aporte a teoria das opções reais envolvem análise de projetos na indústria sucroenergética (SANTOS, REBELATO e RODRIGUES, 2012; DIAS, BASTIAN-PINTO, *et al.*, 2011).

Autores	Descrição	Culturas envolvidas	Modelagem da(s) incerteza(s)	Valoração das Opções Reais
LIVINGSTON, M.; ROBERTS, M. J.; ZHANG, Y. (2015)	Análise da sucessão de culturas soja-milho, sob incertezas de preços dos fertilizantes e produtividade. Estados Unidos.	Soja e Milho	Modelo autoregressivo	Programação dinâmica
MUSSHOFF, O. (2012)	Análise da viabilidade econômica da rotação de espécies florestais de ciclo curto frente à agricultura convencional. Fazenda no norte da Alemanha.	Espécies florestais de ciclo curto	MGB, MAB e MRM	Simulações
WOLBERT-HAVERKAMP, M.; MUSSHOFF, O. (2014)	Análise do <i>timming</i> de conversão do cultivo tradicional de centeio para o sistema de rotação de culturas com espécies florestais de ciclo curto. Alemanha.	Espécies florestais de ciclo curto e centeio	MAB	Simulações (MUSSHOFF, 2012)
DU, X. e HENNESSY, D. A. (2012)	Avaliação do valor do arrendamento de terras agrícolas, com a flexibilidade de plantio de soja e milho. Iowa, Estados Unidos.	Soja e Milho	Multivariado GARCH	Monte Carlo
ROCHAMN, R. R.; SALVADOR, P. E. (2013)	Precificação de terrenos agrícolas a partir da escolha dos cultivo futuros de soja, milho e a rotação entre estas duas culturas. Brasil.	Soja e Milho	Saltos determinísticos (Oztukel e Wilmott, 1998)	Simulações

**Quadro 7.** Modelos de valoração das opções reais presentes na literatura referente à rotação de culturas. Nota: MGB – Movimento Geométrico Browniano; MAB – Movimento Aritmético Browniano; MRM – Movimento de Reversão a Média.

Fonte: Elaborado pela autora.

“Da porteira para dentro”, Zilio e Lima (2015) utilizaram do método do VPL e da TOR na aferição da atratividade dos canaviais paulistas. Para tanto, analisaram dois projetos de investimento em cana-de-açúcar nas regiões de Piracicaba e Sertãozinho e a opção de prosseguir na atividade canavieira valorando-a de acordo com modelo de redes binomiais aditivas em função da volatilidade do preço da cana. Os resultados demonstram a viabilidade da cultura nas duas regiões agrícolas pelos dois métodos de análise de investimento, considerando uma área de 76 hectares.

Santos (2010) avaliou a viabilidade técnica e econômica do sistema de rotação de culturas: crotalaria/cana, soja/cana e amendoim/cana por meio da metodologia tradicional de análise de investimento (a exemplo do VPL). Para tanto, realizou um estudo de caso, em uma usina localizada no interior do Estado de São Paulo, que possui área de aproximadamente 4.500 ha destinada anualmente à rotação de cultura. O autor enfatiza a importância do sistema e rotação de culturas energéticas com alimentares como forma de minizar a competição por

terras agricultáveis no país. Neste trabalho, traçam-se três cenários: i) cana em rotação com crotalária; ii) cana em rotação com 50% soja e 50% amendoim e; iii) cana em rotação 50% soja e 50% amendoim sendo os tratores e implementos alugados. Todos os cenários são viáveis, todavia o pior desempenho constou da rotação da cana com crotalária, salientando que não houve a comercialização dos grãos do adubo verde, os outros dois cenários apresentaram resultados muito similares.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Para alcançar a resposta da pergunta que motivou esse estudo, a pesquisa se desenvolveu em 5 etapas:

1<sup>a</sup>) Envolveu a análise agrônômica do melhor sistema de sucessão de culturas com a cana a partir de um amplo experimento em uma das principais regiões produtoras de cana do Brasil.

2<sup>a</sup>) Compreendeu a análise econômica e financeira de cada sistema de produção com vistas a identificação da melhor estrutura de sucessão de culturas.

3<sup>a</sup>) Aplicou-se o modelo da teoria de portfólio para determinar a melhor estrutura de diversificação para áreas de soja e cana de açúcar com o objetivo de minimizar o risco.

4<sup>a</sup>) Projetou-se para área de plantio de cana o valor presente da cultura considerando como incertezas não correlacionadas o preço e a produtividade gerando uma árvore para o uso de opções reais considerando o modelo polinomial.

5<sup>a</sup>) Avaliou-se a flexibilidade gerencial em substituir a cultura da cana de açúcar por soja.

Esta pesquisa possui caráter exploratório, no sentido de proporcionar uma visão acerca de determinado fato (GIL, 1999). Com natureza aplicada, a qual possui a finalidade da aplicação de leis, teorias e modelos na descoberta de soluções ou no diagnóstico para realidade (SALOMON, 1991). Utiliza abordagem quantitativa no tratamento dos dados por meio de técnicas estatísticas intrínsecas à ciência econômico-financeira (RICHARDSON, 1999).

Para melhor compreensão da seção, esta foi subdividida em outras três sessões: i) Características do experimento agrícola; ii) Premissas e fontes para elaboração do Fluxo de Caixa e; iii) Mensuração da Volatilidade e Flexibilidade.

#### 3.1 Características do Experimento Agrícola

O experimento agrícola foi conduzido em duas áreas de reforma de canal de uma propriedade agrícola, no período de fevereiro de 2009 a julho de 2014, financiado pela FAPESP (Processo nº 2011/06491-0). A primeira área denominada “Área A”, possui

Ambiente de produção do tipo A para cana-de-açúcar, uma vez que o solo da área classifica-se como Latossolo Vermelho eutroférico. A segunda área, “Área B”, situa-se em Ambiente de produção C com solo do tipo Latossolo Vermelho ácrico.

O histórico das propriedades consta de mais de 25 anos de colheita mecanizada de cana-de-açúcar, anteriormente, a esse período as colheitas eram manuais. O clima predominante na região do estudo é Aw de acordo com a classificação de Köppen e a temperatura média do mês mais quente e mais frio são 22°C e 18°C, respectivamente, com época chuvosa de outubro a março e seca de abril a agosto.

O objetivo do experimento era avaliar o impacto dos sistemas de sucessão agrícola na produção de cana-de-açúcar em quatro cortes e também o impacto destes nos atributos físicos e químicos do solo. O experimento abrangeu quatro tratamentos, com sistemas de sucessão agrícola no período de reforma de canavial e cinco repetições. Os sistemas de sucessão agrícola no período de reforma foram: i) soja / milho /soja (SMS); ii) soja / crotalária / soja (SCS); iii) soja / pousio / soja (SPS) e; iv) um ano agrícola de soja (S).

Nos Tratamentos SMS, SCS e SPS, as duas safras de soja (cultivar Codetec 216 RR) foram cultivadas em: 1ª safra - outubro de 2008 (semeadura convencional) a fevereiro de 2009 (colheita) e; 2ª safra - outubro de 2009 (semeadura direta) a fevereiro de 2010 (colheita). No tratamento S, o qual envolveu apenas uma safra de soja, o cultivo, com semeadura convencional foi realizado em outubro de 2009 a fevereiro de 2010.

O período intercalar de março a setembro 2009, nos tratamentos SMS e SCS, semeou-se as espécies de cobertura milho e crotalária respectivamente, em plantio direto. No tratamento SPS o período intercalar foi destinado ao pousio, com *roguing* periódico, a fim de controlar as plantas daninhas. O atraso de um ano entre o tratamento S e os outros tratamentos (SMS, SCS e SPS) foi condicionado pela necessidade de obter a primeira colheita de cana-de-açúcar, assim como as colheitas subsequentes no mesmo período dos sistemas de sucessão (quatro tratamentos), para possibilitar comparações estatísticas dos resultados agronômicos. Uma vez que em todos os tratamentos posteriormente efetuou-se o plantio cana-de-açúcar.

O plantio de cana-de-açúcar nas propriedades foi realizado em fevereiro de 2010, sob a palhada de soja, com as cultivares: SP 87-365 na Propriedade A e RB 83-5054 na Propriedade B. O ciclo produtivo da cana nas fazendas perdurou por quatro cortes consecutivos, ou seja, quatro colheitas (julho de 2011/2012/2013/2014).

As conduções das lavouras em cada fazenda seguiram as seguintes operações e recomendações agronômicas, conforme descrito nos Quadros 8 e 9. A principal diferença entre as áreas no que concernem as recomendações agronômicas está relacionada com a adubação na cultura da cana-de-açúcar, tanto em semeadura quanto em cobertura sendo esta última operação realizada apenas na Área B.

<b>Data</b>	<b>Descrição</b>
<i>Destruição da soqueira da cana-de-açúcar e preparo do solo para o próximo ciclo</i>	
04/06/2008	Grade aradora (32 polegadas) para destruição da soqueira
05/06/2008	Grade intermediária (28 polegadas) para destruição da soqueira
08/06/2008	Aplicação de vinhaça (100 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
30/07/2008	Aplicação de calcário dolomítico, PRNT 95%, (3500 kg ha <sup>-1</sup> )
02/08/2008	Aplicação de fosfato reativo natural com 29% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (960 kg ha <sup>-1</sup> )
06/08/2008	Grade aradora (32 polegadas) para incorporação dos corretivos
11/08/2008	Aplicação de gesso (1 t ha <sup>-1</sup> )
13/08/2008	Subsolagem (45 cm de profundidade)
11/09/2008	Grade intermediária (28 polegadas), para eliminar alguns restos de soqueira
03/10/2008	Herbicida pré-emergente: Trifluralina (2 L ha <sup>-1</sup> ) e Spider (0,042 kg ha <sup>-1</sup> )
03/10/2008	Grade niveladora (22 polegadas) para incorporação dos herbicidas
<i>Cultura da soja em 2008 e em 2009</i>	
30/10/2008	Plantio Convencional de soja: Variedade Codetec 216 (70 kg ha <sup>-1</sup> )
11/10/2009	Plantio Direto de soja: Variedade Codetec 216 (70 kg ha <sup>-1</sup> )
30/10/2008	Tratamento de sementes (dose para 100 Kg de semente): Fungicida Protreat (0,200 L),
11/10/2009	Inoculante Masterfix pó (0,400 Kg) e Inoculante Masterfix líquido (0,400 L)
	Adubação: 300 Kg ha <sup>-1</sup> da fórmula 03-30-10
22/11/2008	1ª Pulverização: adubo foliar Profol Comol (0,250 L ha <sup>-1</sup> ) e inseticida Curyom 550 CE
02/11/2009	(0,150 L ha <sup>-1</sup> )
19/12/2008	2ª Pulverização: fungicida Piori Xtra (0,300 L ha <sup>-1</sup> ), inseticida Orthene 750 (0,600 kg ha <sup>-1</sup> )
26/11/2009	e óleo mineral Nimbus (0,600 L ha <sup>-1</sup> )
09/01/2009	3ª Pulverização: fungicida Piori Xtra (0,300 L ha <sup>-1</sup> ), inseticida Engeo Pleno (0,200 L ha <sup>-1</sup> ) e
18/12/2009	óleo mineral Nimbus (0,600 L ha <sup>-1</sup> )
24/02/2009	Colheita de soja
27/01/2010	
<i>Cultura da Crotalária e Milheto</i>	
28/02/2009	Plantio de crotalária (30 kg ha <sup>-1</sup> ) e milheto (15 kg ha <sup>-1</sup> )
23/07/2009	Colheita de milheto
14/08/2009	Colheita de crotalária
	Não foram utilizados insumos para milheto e crotalária
<i>Cultura da cana-de-açúcar</i>	
	Plantio de cana-de-açúcar: Variedade SP 87-365
16/02/2010	Adubação: 670 kg ha <sup>-1</sup> da fórmula 00-18-18 e adubo hormonal Stimulate (0,500 L ha <sup>-1</sup> )
	Inseticida: Regent (0,250 kg ha <sup>-1</sup> )
17/02/2010	Herbicidas: Sinerge (5,0 L ha <sup>-1</sup> ), Boral (1,50 L ha <sup>-1</sup> )
	Não foi realizada adubação de cobertura
03/06/2011	1º corte mecanizado de cana-de-açúcar
13/07/2011	Herbicida: Boral (1,50 L ha <sup>-1</sup> )
14/07/2011	Aplicação de uréia (250 kg ha <sup>-1</sup> )
17/07/2011	Aplicação de vinhaça (120 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
<i>Os insumos utilizados nos cortes seguintes foram os mesmos</i>	

**Quadro 8.** Operações agrícolas e recomendações agronômicas Área A.

Fonte: Experimento Agrícola.

<b>Data</b>	<b>Descrição</b>
<i>Destruição da soqueira da cana-de-açúcar e preparo do solo para o próximo ciclo</i>	
21/07/2008	Grade aradora (32 polegadas) para destruição da soqueira
22/07/2008	Grade intermediária (28 polegadas) para destruição da soqueira
23/07/2008	Aplicação de vinhaça (120 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
16/08/2008	Aplicação de fosfato reativo natural com 29% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (980 kg ha <sup>-1</sup> )
18/08/2008	Aplicação de calcário dolomítico, PRNT 95%, (1000 kg ha <sup>-1</sup> )
18/08/2008	Grade aradora (32 polegadas) para incorporação dos corretivos
18/08/2008	Aplicação de gesso (1 t ha <sup>-1</sup> )
20/08/2008	Subsolagem (45 cm de profundidade)
22/09/2008	Grade intermediária (28 polegadas), para eliminar alguns restos de soqueira
06/10/2008	Herbicida pré-emergente: Trifuralina (2 L ha <sup>-1</sup> ) e Spider (0,042 kg ha <sup>-1</sup> )
06/10/2008	Grade niveladora para incorporação dos herbicidas
<i>Cultura da soja em 2008 e em 2009</i>	
	Plantio de soja: Variedade Codetec 216 (70 kg ha <sup>-1</sup> )
01/11/2008	Tratamento de sementes (dose para 100 Kg de semente): Fungicida Protreat (0,200 L), Inoculante
05/10/2009	Masterfix pó (0,400 Kg) e Inoculante Masterfix líquido (0,400 L) Adubação: 300 Kg ha <sup>-1</sup> da fórmula 03-30-10
25/11/2008	1ª Pulverização: adubo foliar Profol Comol (0,250 L ha <sup>-1</sup> ) e inseticida Curyom 550 CE (0,150 L ha <sup>-1</sup> )
30/10/2009	
19/12/2008	2ª Pulverização: fungicida Priori Xtra (0,300 L ha <sup>-1</sup> ), inseticida Orthene 750 (0,600 kg ha <sup>-1</sup> ) e óleo
25/11/2009	mineral Nimbus (0,600 L ha <sup>-1</sup> )
10/01/2009	3ª Pulverização: fungicida Priori Xtra (0,300 L ha <sup>-1</sup> ), inseticida Engeo Pleno (0,200 L ha <sup>-1</sup> ) e óleo
16/12/2009	mineral Nimbus (0,600 L ha <sup>-1</sup> )
28/02/2009	Colheita de soja
16/01/2010	
<i>Cultura do milho e da Crotalária</i>	
04/03/2009	Plantio de crotalária (30 kg ha <sup>-1</sup> ) e milho (15 kg ha <sup>-1</sup> )
27/07/2009	Colheita de milho
18/08/2009	Colheita de crotalária
	Não foram utilizados insumos para milho e crotalária
<i>Cultura da cana-de-açúcar</i>	
	Plantio de cana-de-açúcar: Variedade RB 83-5054
13/02/2010	Adubação: 400 kg ha <sup>-1</sup> da fórmula 03-30-10 e adubo hormonal Stimulate (0,500 L ha <sup>-1</sup> ) Inseticida: Regent (0,500 kg ha <sup>-1</sup> )
18/02/2010	Herbicidas: Sinerge (5,0 L ha <sup>-1</sup> ), Boral (1,50 L ha <sup>-1</sup> )
26/04/2010	Adubação de cobertura: 100 kg ha <sup>-1</sup> da fórmula 00-00-60
13/06/2011	1º corte mecanizado de cana-de-açúcar
24/06/2011	Herbicida: Boral (1,50 L ha <sup>-1</sup> )
27/06/2011	Aplicação de uréia (250 kg ha <sup>-1</sup> )
28/06/2011	Aplicação de vinhaça (120 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )
<i>Os insumos utilizados nos cortes seguintes foram os mesmos</i>	

**Quadro 9.** Operações agrícolas e recomendações agrônômicas Área B

Fonte: Experimento Agrícola.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com cinco repetições, as avaliações para ambos ambientes de produção consistiram em diversas características químicas e estabilidade dos agregados dos solos. Bem como a produtividade das culturas de soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e cana-de-açúcar (TCH e ATR), descritas nas Tabelas 4, 5 e 6.

**Tabela 4.** Produtividade média da cultura da soja nos diferentes sistemas de sucessão nas safras 2008/2009 e 2009/2010.

Sistemas de Sucessão	Produtividade Média Soja ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	
	Área A	Área B
<b>Safra 2008/2009</b>		
soja/milheto/soja	3.631,01	3.742,67
soja/crotalária/soja	3.595,85	3.678,51
soja/pousio/soja	3.577,07	3.691,43
<b>Safra 2009/ 2010</b>		
soja/milheto/soja	3.761,67	3.746,38
soja/crotalária/soja	3.892,79	3.779,36
soja/pousio/soja	3.558,71	3.899,67
Soja	3.759,10	3.691,53

Fonte: Elaborado pela autora. Dados: Experimento agrícola.

**Tabela 5.** Produtividade média de colmos por hectare da cultura da cana-de-açúcar após os diferentes sistemas de sucessão - Safras 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014.

Sistemas de Sucessão	Produtividade Média de cana Área A (TCH)				Média do Ciclo Produtivo
	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	
soja/milheto/soja	147,93	108,40	77,70	70,93	101,24
soja/crotalária/soja	148,58	104,31	118,39	82,41	113,42
soja/pousio/soja	157,88	131,63	101,73	66,33	114,39
Soja	149,68	105,77	89,60	74,07	104,78
<b>Produtividade Média de cana Área B (TCH)</b>					
soja/milheto/soja	134,00	144,34	75,40	87,80	110,39
soja/crotalária/soja	150,52	115,67	82,57	92,43	110,30
soja/pousio/soja	145,83	129,40	68,47	92,93	109,16
Soja	140,35	98,70	71,50	91,27	100,46

Fonte: Elaborado pela autora. Dados: Experimento agrícola.

**Tabela 6.** Produtividade média de ATR por tonelada de cana-de-açúcar após os diferentes sistemas de sucessão - Safras 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014.

Quantidade média de ATR por tonelada de cana Área A (kg/ton)					
Sistemas de Sucessão	Safras				Média do Ciclo Produtivo
	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	
soja/milheto/soja	146,59	139,78	144,83	148,90	145,03
soja/crotalaria/soja	137,96	139,77	143,24	144,93	141,48
soja/pousio/soja	142,99	135,28	149,97	148,02	144,07
Soja	144,01	140,57	140,04	149,60	143,56
Quantidade média de ATR por tonelada de cana Área B (kg/ton)					
soja/milheto/soja	137,47	144,34	149,44	150,37	145,41
soja/crotalaria/soja	137,92	145,35	147,92	162,16	148,34
soja/pousio/soja	147,21	145,78	149,74	158,42	150,29
Soja	149,15	143,09	154,48	157,35	151,02

Fonte: Elaborado pela autora. Dados: Experimento agrícola.

Para ambas as culturas a produtividade não se diferiu significativamente de acordo com a análise estatística, bem como as produtividades entre os ambientes de produção. No entanto, o sistema com pousio apesar de apresentar produtividade equivalente e até superior aos outros tratamentos, possui alguns aspectos negativos quanto aos atributos do solo. Os resultados agrônômicos podem ser melhor compreendidos nos trabalhos de Silva e Fernandes (2014), Truber e Fernandes (2014) e Viziolli (2014).

### 3.2 Premissas e Fontes para Elaboração do Fluxo de Caixa

As análises de investimentos deste trabalho constam de dois modelos:

- i) FCD, na avaliação dos sistemas de sucessão agrícola e posteriormente para avaliação da propriedade diversificada, sendo que esta última assume os preceitos da carteira mínima de variância ao determinar a proporção das culturas (soja e cana-de-açúcar) em função da série histórica de preços (abril de 2006 a julho de 2016) das *commodities* (soja saca de 60kg e cana-de-açúcar preço do ATR por tonelada de cana (R\$ por kg de ATR/ton)), conforme Equação 54, e o ponto de equilíbrio para estimar a quantidade de área viável para o plantio de cada cultura.

$$w_2 = \frac{(\sigma_1^2 - \rho_{2,1} \times \sigma_2 \times \sigma_1)}{\{(\sigma_2^2 + \sigma_1^2) - [2 \times (\rho_{2,1} \times \sigma_2 \times \sigma_1)]\}} \quad (54)$$

Onde,

$w_2$  = proporção área soja (%)

$\sigma$  = desvio padrão dos preços cana-de-açúcar (1) e soja (2)

$\rho_{2,1}$  = correlação preços soja e cana-de-açúcar

Para aferição do melhor desempenho econômico-financeiro dos sistemas de sucessão considerou-se também os preceitos agrônômicos de sustentabilidade dos sistemas de cultivos.

- ii) TOR, na avaliação da parcela da propriedade destinada à cana-de-açúcar, com aplicação da flexibilidade de alternar o cultivo no decorrer do ciclo produtivo da cana-de-açúcar (4 cortes), ou seja, com a opção troca de cultura.

Uma vez que os dois métodos de análise partem da estruturação do fluxo de caixa, as premissas básicas para compor este são:

- i) Estrutura do Fluxo de Caixa: estrutura estratificada com base na análise CVL, conforme exposto na Fundamentação teórica, seção 2.2.3.
- ii) Tamanho de área – propriedade agrícola: 227,5 hectares, sendo 227 destinado ao cultivo agrícola e 0,5 hectares as instalações (benfeitorias).
- iii) Previsão de receitas: o preço das *commodities* foi determinado no momento da comercialização, ou seja, assumiu-se que o investidor não utilizou de mecanismos de *hedge*. Para tanto, os preços foram cotados no IEA de acordo com o mês e ano da colheita e, para projeção futura das culturas travou-se o último preço cotado (soja – fevereiro/2016 e cana-de-açúcar junho/2016). A produtividade das culturas de cana-de-açúcar e soja decorrem dos dados do experimento (Tabelas 4, 5 e 6 da sessão anterior). As informações de colheita e pós-colheita são da propriedade rural: cana-de-açúcar - CCT R\$ 21,00 por tonelada de cana e fundo rural de 2,3% sob a receita bruta; soja: fundo rural 2,3% e dedução de qualidade dos grãos 3% ambos sob a receita bruta. As produtividades dos adubos verdes (milheto e

crotalária) foram estimadas pelo IEA de acordo com a média do Estado de São Paulo, uma vez que no experimento agrônomico não foram mensurados estes dados.

- iv) Estimação dos custos: os custos fixos foram obtidos mediante informações do pacote tecnológico da propriedade rural (Tabelas 7 e 8). Já os custos variáveis obtidos dos dados do experimento agrícola (Quadros 8 e 9 da seção anterior), sendo o consumo de óleo diesel e lubrificantes determinados segundo metodologia de Pacheco (2010).

**Tabela 7.** Custos fixos anuais da propriedade rural.

<b>CUSTOS FIXOS (R\$)</b>	
<b>A. Manutenção de tratores e implementos</b>	
Trator 120 cv	4.500,00
Trator 110 cv MF 4292 - Mod. 2012	2.500,00
Trator 105 cv MF 292 - Mod. 2002	1.300,00
Trator 65 cv Ford 4610 - Mod. 1988	500,00
Distribuidora de Calcário	750,00
Tanque	720,00
Grade aradora	120,00
Grade niveladora	60,00
Grade intermediária	360,00
Subsolador	540,00
Cultivador/Adubadora	150,00
Aplicador sphenophorus	540,00
Pulverizador de barras	180,00
Guincho	360,00
Semeadora 7 linhas	1.080,00
	<b>Subtotal</b>
	<b>13.660,00</b>
<b>B. Funcionários</b>	
Administrador Rural (Pro labore)	52.800,00
Trabalhador Rural	11.040,00
Encargos Trabalhistas	42.184,53
	<b>Subtotal</b>
	<b>106.024,53</b>
<b>D. Seguros</b>	
Trator 120 cv	1.540,00
Trator 110 cv	1.274,48
Trator 105 cv	524,76
Trator 65 cv	125,95
	<b>Subtotal</b>
	<b>3.465,19</b>
<b>E. Tributos e Taxas</b>	
ITR	570,00
SENAR	230,06
Sincato Rural	499,32
Contribuição Sindical Agricultor Familiar	40,00
	<b>Subtotal</b>
	<b>1.339,38</b>
<b>Total de Custos Fixos Desembolsáveis (R\$)</b>	<b>124.489,10</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

- v) Depreciação: calculou-se a depreciação de acordo com as taxas da receita federal e o pacote tecnológico da propriedade rural e suas instalações (Tabela 8).
- vi) Imposto de Renda: calculou-se este item por meio do Lucro Real no valor de 24% sob o Resultado Operacional (Lucro antes do Imposto de Renda – LAIR), acrescido de 10% quando este valor (dos 24%) excede R\$ 300.000,00.

**Tabela 8.** Pacote tecnológico da propriedade rural e a depreciação.

Item	Valor (R\$)	Vida útil		Depreciação (R\$)
Trator 120 cv	150.000,00	4	25%	28.125,00
Trator 110 cv	125.000,00	4	25%	23.437,50
Trator 105 cv	65.000,00	4	25%	12.187,50
Trator 65 cv	25.000,00	4	25%	4.687,50
Distribuidora de Calcário	25.000,00	10	10%	2.250,00
Tanque	7.000,00	10	10%	630,00
Grade aradora	24.000,00	10	10%	2.160,00
Grade niveladora	22.000,00	10	10%	1.980,00
Grade intermediária	31.500,00	10	10%	2.835,00
Subsolador	18.000,00	10	10%	1.620,00
Cultivador/Adubadora	28.000,00	10	10%	2.520,00
Aplicador sphenophorus	20.000,00	10	10%	1.800,00
Pulverizador de barras	12.140,00	10	10%	1.092,60
Guincho	12.000,00	10	10%	1.080,00
Semeadora 7 linhas	36.000,00	10	10%	3.240,00
Benfeitorias	250.000,00	25	4%	9.600,00
<b>Total (R\$)</b>	<b>850.640,00</b>			<b>99.245,10</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

- vii) Custo Econômico: dado pelo investimento total a uma taxa livre de risco, atribuída a esta o CDI real do período a 5,79%.
- viii) Taxa mínima de atratividade: calculada pelo WACC adotando-se as seguintes premissas: i) 80% do investimento em benfeitorias, tratores e implementos financiado pelo BNDES a uma taxa efetiva de 8,44%; ii) os 20% restantes deste investimento mais o valor da terra adquiridos com capital próprio do produtor rural. Salienta-se que o preço da terra foi estipulado pela média da região, em R\$ 100.000,00 o valor do alqueire (medida correspondente a 2,42 hectares ou 24.200 m<sup>2</sup>). Os insumos foram 100% financiados a uma taxa de custeio real de 6,65%, valor da taxa em conformidade com da Cooperativa Agroindustrial local (COPLANA).

- ix) Custo do capital próprio: utilizou-se um modelo adaptado do *Capital Assets Pricing Modelling* (CAPM). A adaptação consiste no cálculo do prêmio de risco da cultura. Em função das assimetrias de mercado na definição dos preços das *commodities* no Brasil, não se encontrou confiabilidade estatística para o uso do beta enquanto medida do risco sistemático de cada cultura e carteira de culturas. Deste modo, utilizou-se, o mercado norte americano como referência para as premissas do CAPM adicionando o risco Brasil para se determinar o retorno exigido para o mercado brasileiro, considerando: i) taxa livre de risco real do T-Bond (0,24% a.a.); ii) o retorno histórico de mercado foi o Standard&Poor's 500 (S&P 500) (5,25% a.a.) para o período de 1994 a 2016. O risco do Brasil foi tomado do Índice dos Mercados Emergentes (EMI) (339,8 pts). O resultado foi o retorno exigido para o risco de mercado brasileiro foi de 7,08% a.a. O risco anual do Índice S&P 500 (14,95%) foi então comparado com os riscos anuais dos preços das culturas sendo 18,18% para soja e 20,71% para cana. Sendo assim, a variação do risco de cada cultura frente ao Índice S&P 500 foi adicionado ao retorno exigido de cada cultura, por representar o risco excedente a uma das principais carteiras de mercado do mundo.

### 3.3 Mensuração da Volatilidade e Flexibilidade

As incertezas atribuídas à atividade canavieira foram preço e produtividade, uma vez que estas incidem diretamente na receita da propriedade e impactam o fluxo de caixa da atividade. Os dados para modelagem do ativo subjacente (variação do preço) partiram da série histórica de preços de ATR no estado de São Paulo disponibilizados pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA), sendo que este seguiu o Movimento Geométrico Browniano (MGB) (BRANDÃO e DYER, 2009).

A volatilidade da produtividade advém dos registros do experimento por toneladas de colmos por hectare (TCH) da propriedade, o qual foi modelado com base na distribuição de limites, uma vez que, apesar de oscilar em valores máximos e mínimos no decorrer do período do projeto; este possui aleatoriedade dentro de uma tendência de declínio.

Para valoração da opção troca de cultura adotou-se o modelo quadrinomial por árvore de decisão derivada de Cox, Ross e Rubistein (1979), uma vez que se têm duas incertezas: preço e produtividade. Neste processo, o projeto consta quatro períodos que duram 12 meses cada, coincidente com o ciclo da cana e, proporcionam receitas dadas por preço x quantidade (preço ATR x TCH x quantidade ATR por tonelada de cana), ressalta-se que a variação se deu no preço do ATR e TCH, a quantidade de ATR foi constante em 143 kg de ATR por tonelada de cana.

As probabilidades ascendentes foram determinadas pela Equação (5), sendo que o risco anual do preço do ATR " $\sigma_1$ " foi de 0,36% a.a. e da produtividade TCH " $\sigma_2$ " de 0,07% a.a. As probabilidades descendentes constam de  $1 - p_u$ .

$$P_u = \frac{e^{(\sigma * t) - d}}{(u - d)} \quad (5)$$

Onde,

$\sigma$  = risco do ativo subjacente

t = período

u = movimento ascendente do ativo subjacente

d = movimento descendente do ativo subjacente

Como as duas incertezas, preço e produtividade, não estão correlacionadas, as probabilidades das receitas foram determinadas pelo conjunto de quatro equações (Equação 6, 7, 8 e 9).

$$P_{u1u2} = P_{u1u2} \quad (6)$$

$$P_{u1d2} = P_{u1d2} \quad (7)$$

$$P_{d1u2} = P_{d1u2} \quad (8)$$

$$P_{d1d2} = P_{d1d2} \quad (9)$$

De acordo com o modelo Cox, Ross e Rubistein (1979) e sua derivação o valor presente do projeto é determinado pela multiplicação do fluxo de caixa pelas probabilidades em cada nó da árvore de eventos e dividido pela taxa livre de risco " $r_f$ " (Equação 10), neste caso, portanto, considera-se o valor presente dos ativos em flexibilidade. No presente projeto, de forma inovadora, a princípio projetaram-se as receitas nas árvores de eventos e deduziram-

se os custos variáveis (exceto o custo com implantação do canavial) e o imposto de renda, gerando assim as árvores os Fluxos de Caixas Livres em cada nó. Posteriormente calcularam-se as probabilidades de cada nó na árvore de eventos e assim gerou-se em uma tabela o Fluxo de Caixa Livre ponderado em cada ano, onde o valor do ano 0 foi substituído pelo custo da implantação do canavial.

$$C_0 = \frac{P_{u1u2}C_{u1u2} + P_{u1d2}C_{u1d2} + P_{d1u2}C_{d1u2} + P_{d1d2}C_{d1d2}}{(1+r_f)} \quad (10)$$

O Valor Presente do projeto foi determinado pelo método do Fluxo de Caixa Descontado calculado a partir dos Fluxos de Caixas Livres ponderados e optou-se pela utilização da taxa de desconto da carteira dada em 4,54%, ao invés da taxa livre de risco como proposto no modelo derivado de Cox, Ross e Rubistein (1979), por considerar a não abrangência do projeto de todas as incertezas implícitas a atividade agrícola.

Salienta-se ainda que a estrutura do Fluxo de Caixa Livre decorre da predileção pelo não rateio dos custos fixos, uma vez que estes são compartilhados para ambas as culturas, cana e soja e a finalidade do projeto é a determinação da substituição da cana-de-açúcar pela soja em qualquer período.

A flexibilidade foi aplicada quando o fluxo de caixa cana era inferior ao da soja e o valor total da flexibilidade consistiu no valor do projeto com a opção troca subtraído do valor do projeto sem a opção troca, calculados com a taxa de desconto da carteira, por considerar a não abrangência de todas as incertezas implícitas a atividade agrícola.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção apresentam-se os resultados obtidos no estudo. As subseções foram divididas em: i) risco da propriedade agrícola e taxa mínima de atratividade, pelo retorno ajustado ao risco e o WACC; ii) apresentação dos fluxos de caixas dos sistemas de sucessão agrícola e comparação dos mesmos pelo Fluxo de Caixa Anual Equivalente, Fluxo de Caixa Anual Operacional e ROI; iii) Carteira agrícola, ponto de equilíbrio e fluxo de caixa da propriedade diversificada e por fim; iv) aplicação da teoria das opções reais na apresentação da modelagem das incertezas, árvores de eventos e de decisão, valor do investimento, bem como o valor da flexibilidade.

### 4.1 Retorno Ajustado ao Risco e WACC

O sistema de diversificação de culturas através do cultivo em sucessão de soja e cana-de-açúcar denotou em uma taxa mínima de atratividade de 4,54% e, brasileira de 11,61% conforme exposto nas Tabelas 9 e 10. A metodologia aplicada para formulação destas taxas se embasa na constatação de uma baixa correlação dos ativos com o mercado tanto nacional quanto americano e também devido ao fato da carteira de investimento possuir menor risco frente a ambos os mercados.

**Tabela 9.** Itens que compõem a taxa mínima de atratividade – WACC EUA.

<b>Itens</b>	<b>Taxa</b>	<b>Valor em Reais</b>	<b>Participação</b>	<b>WACC -EUA</b>
Retorno ajustado ao risco	4,15%	9.570.954,45	88,97%	3,69%
BNDES Real	8,44%	680.512,00	6,33%	0,53%
Custeio Real	6,65%	505.797,44	4,70%	0,31%
Inflação EUA do período	2,20%			
<b>Total do Investimento</b>		<b>10.752.254,73</b>	<b>100,00%</b>	<b>4,54%</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

A diferença de valores entre a taxa americana e brasileira está relacionada principalmente ao retorno ajustado ao risco, no qual, o brasileiro é de 11,61% e o americano de 4,15% (Tabelas 9 e 10). Implícito a esta, está a superior inflação e o maior risco de mercado.

**Tabela 10.** Itens que compõem a taxa mínima de atratividade – WACC BR

Itens	Taxa	Valor em Reais	Participação	WACC - BR
Retorno ajustado ao risco	11,61%	9.570.954,45	88,97%	10,33%
BNDES Real	8,44%	680.512,00	6,33%	0,53%
Custeio Real	6,65%	505.797,44	4,70%	0,31%
Inflação Brasil do período	8,00%			
Total do Investimento		10.752.254,73	100,00%	<b>11,18%</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Borba e Bazzo (2009), na determinação do estágio econômico mais adequado para a reforma do canavial, por meio da análise de viabilidade econômica da atividade, durante ciclo de produção cana de açúcar calcularam a taxa mínima de atratividade por meio da taxa básica de juro da economia brasileira, Selic, em valor real com base no IGP-DI/FGV, anualizado no período da análise e com taxa real atual calculada pela meta inflacionária do Brasil, resultando no valor anual de 8,33%. Pereira *et al.*, (2015) para aferição dos custos de produção de cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso, estabeleceram uma taxa mínima de atratividade de 10%, a qual segundo os autores é comumente empregada em projetos agrícolas.

Pode-se inferir, no entanto, que as metodologias empregadas na literatura de projetos agrícolas, assim como as condições do mercado nacional, pelo Ibovespa, não refletem com parcimônia a realidade do empreendimento rural de *commodities* agrícolas, uma vez que pode estar superestimando o retorno ajustado ao risco e por consequência a sua taxa mínima de atratividade e subestimando a geração de valor da atividade agrícola. Além disso, a agricultura brasileira desempenha papel significativo no mercado internacional, sendo o Brasil o segundo maior exportador agrícola, o maior fornecedor de açúcar, suco de laranja e café e soja (FAO, 2015).

Deste modo, compreende-se que o mercado internacional Norte Americano retrata com maior afinco a realidade do meio agrícola no Brasil, principalmente das *commodities* agrícolas cana e soja. Concomitantemente este estudo abre uma discussão para o desenvolvimento de metodologias específicas para o setor agrícola de *commodities*, principalmente o que concerne da “porteira para dentro”.

## 4.2 Fluxos de Caixa dos Sistemas de Sucessão Agrícola

Os tratamentos do experimento agrícola geraram oito Fluxos de Caixa (Tabelas 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18), uma vez que se trata de quatro sistemas de sucessão de soja e espécies de cobertura com cana-de-açúcar em dois ambientes de produção. Observa-se que para todos os Fluxos de Caixa o custo fixo, a depreciação e o custo econômico partilham dos mesmos valores, pois todos os tratamentos possuem a mesma estrutura de produção.

Os tratamentos diferem-se quanto às receitas dada a diferença de produtividade dentre os tratamentos tanto para cana-de-açúcar quanto para soja, que apesar de não se diferirem significativamente de acordo com a análise estatística, impactaram a receita de seus respectivos Fluxos de Caixa. Quanto os custos variáveis em decorrência da quantidade de safras de soja, uma safra ou duas safras e também devido aos diferentes manejos na entressafra de soja (plantio de crotalária, milho ou pousio).

**Tabela 11.** Fluxo de Caixa Sistema de Sucessão Soja Cana – Área A

	VP	P. SOJA	C.SOJA/P.CANA	1ª Safra	2ª Safra	3ª Safra	4ª Safra
		0	1	2	3	4	5
Receita Bruta	7.147.658	-	1.164.264	2.495.471	1.721.279	1.452.634	1.282.833
Deduções	1.793.723	-	61.706	713.525	504.206	427.123	353.092
Receita Líquida	5.353.934	-	1.102.558	1.781.946	1.217.073	1.025.511	929.741
Custos Variáveis	2.057.440	396.486	1.118.630	204.756	236.841	234.346	-
Margem de Contribuição	3.296.495	- 396.486	- 16.072	1.577.190	980.232	791.165	929.741
Custos Fixos	670.401	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489
EBTIDA	2.626.094	- 520.975	- 140.561	1.452.701	855.743	666.676	805.252
Depreciação	479.641	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808
LAIR	2.146.453	- 620.220	- 239.806	1.353.456	756.498	567.431	774.444
Imposto de Renda	855.411	-	-	430.175	227.209	136.183	185.867
Receita Líquida	1.291.042	- 620.220	- 239.806	923.281	529.289	431.247	588.578
Depreciação	479.641	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808
FC Operacional	1.770.683	- 520.975	- 140.561	1.022.526	628.534	530.493	619.385
Custo Econômico	3.194.814	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256
FC Livre	- 1.424.130	- 1.114.231	- 733.818	429.270	35.278	- 62.764	26.129
FC Descontado		- 1.114.231	- 701.956	392.803	30.879	- 52.553	20.928

Fonte: Elaborado pela autora.

\*Nota: EBTIDA – *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*; LAIR – Lucro Antes do Imposto de Renda; FC – Fluxo de Caixa.

Para todos os tratamentos a média de produtividade em quatro cortes de cana-de-açúcar superou 100 TCH (sessão 3.1, Tabelas 5 e 6), estando acima da média nacional, de 76 TCH e, acima da média do Estado de São Paulo, de 81 TCH, ambos para as safras 2015/2016

(CONAB, 2016). Ocorrendo o mesmo para cultura da soja (sessão 3.1, Tabela 4), onde a média de cada tratamento superou 2.870 kg ha<sup>-1</sup>, valor médio da produtividade nacional e a média do Estado de São Paulo 3.316 kg ha<sup>-1</sup>, safra 2015/2016 (CONAB, 2016). Ambrosano *et al.*, (2014), inferem que a região de Ribeirão Preto, a qual contempla o município de Jaboticabal/SP, possui um histórico da prática de sucessão de culturas de grãos em reforma de canavial, obtendo por consequência resultados favoráveis em termos de produtividade.

**Tabela 12.** Fluxo de Caixa Sistema de Sucessão Soja Cana – Área B.

	VP	P. SOJA	C.SOJA/P.CANA	1ª Safra	2ª Safra	3ª Safra	4ª Safra
		0	1	2	3	4	5
Receita Bruta	7.144.783	-	1.143.336	2.423.437	1.635.018	1.278.717	1.662.612
Deduções	1.715.891	-	60.597	669.048	470.503	340.841	435.084
Receita Líquida	5.428.892	-	1.082.739	1.754.388	1.164.515	937.876	1.227.528
Custos Variáveis	2.097.736	376.317	1.174.225	207.160	239.669	237.461	-
Margem de Contribuição	3.331.156	- 376.317	- 91.486	1.547.228	924.846	700.415	1.227.528
Custos Fixos	670.401	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489
EBTIDA	2.660.755	-500.806	- 215.975	1.422.739	800.357	575.926	1.103.039
Depreciação	479.641	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808
LAIR	2.181.114	-600.051	- 315.220	1.323.494	701.112	476.681	1.072.231
Imposto de Renda	930.465	-	-	419.988	208.378	114.403	334.559
Resultado Líquido	1.250.649	- 600.051	- 315.220	903.506	492.734	362.277	737.672
Depreciação	479.641	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808
FC Operacional	1.730.290	- 500.806	- 215.975	1.002.751	591.979	461.522	768.480
Custo Econômico	3.194.814	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256
FC Livre	- 1.464.524	- 1.094.062	- 809.231	409.495	- 1.277	- 131.734	175.224
FC Descontado		- 1.094.062	- 774.095	374.708	- 1.118	- 110.302	140.347

Fonte: Elaborado pela autora.

\*Nota: EBTIDA – *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*; LAIR – Lucro Antes do Imposto de Renda; FC – Fluxo de Caixa.

Ambrosano *et al.*, (2013) em um trabalho realizado em duas regiões canavieiras, Tietê e Piracicaba, verificaram que o efeito do pré-cultivo de espécies de cobertura nas áreas de reforma do canavial promoveu benefícios em termos de aumento da produtividade da cana planta, com destaque o pré-cultivo com crotalária júncea, mucunas preta e verde, e feijão guandu. Neste estudo a crotalária proporcionou um aumento na produtividade de colmos de mais de 50% em relação à testemunha que não recebeu adição de material vegetal. A média geral da produtividade de colmos obtida nas duas localidades nos tratamentos com a adubação verde em pré-cultivo da cana-planta proporcionou aumento na produtividade de 23,7% (19,72 t ha<sup>-1</sup>) comparado à omissão dessa prática.

**Tabela 13.** Fluxo de Caixa Sistema de Sucessão Soja/Pousio/Soja/ Cana – Área A.

VP	C.SOJA/PO		C.SOJA/		1ª Safra	2ª Safra	3ª Safra	4ª Safra
	P.SOJA	/P.SOJA	P.CANA	P.CANA				
	0	1	2	3				
Receita Bruta	8.693.332	-	1.448.599	1.102.199	2.613.538	2.061.506	1.766.239	1.136.649
Deduções	1.941.677	-	76.776	58.417	752.614	627.480	484.947	316.195
Receita Líquida	6.751.655	-	1.371.823	1.043.783	1.860.924	1.434.025	1.281.292	820.454
Custos Variáveis	2.588.261	516.405	510.455	1.112.921	204.756	236.841	234.346	-
Margem de Contribuição	4.163.394	- 516.405	861.368	- 69.138	1.656.168	1.197.184	1.046.946	820.454
Custos Fixos	765.760	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489
EBTIDA	3.397.633	- 640.894	736.879	- 193.627	1.531.679	1.072.695	922.457	695.965
Depreciação	503.234	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808	30.808
LAIR	2.894.400	- 740.139	637.634	- 292.872	1.432.434	973.450	891.650	665.157
Imposto de Renda	1.199.773	-	186.796	-	457.028	300.973	273.161	196.153
Resultado Líquida	1.694.627	- 740.139	450.838	- 292.872	975.407	672.477	618.489	469.004
Depreciação	503.234	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808	30.808
FC Operacional	2.197.860	- 640.894	550.083	- 193.627	1.074.652	771.722	649.296	499.811
Custo Econômico	3.649.250	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256
FC Livre	-1.451.390	-1.234.150	- 43.173	-786.884	481.395	178.466	56.040	- 93.445
FC Descontado		-1.234.150	- 41.298	-720.021	421.361	149.426	44.884	- 71.591

Fonte: Elaborado pela autora.

\*Nota: EBTIDA – *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*; LAIR – Lucro Antes do Imposto de Renda; FC – Fluxo de Caixa.

**Tabela 14.** Fluxo de Caixa Sistema de Sucessão Soja/Pousio/Soja/ Cana – Área B

VP	C.SOJA/PO/		C.SOJA/		1ª Safra	2ª Safra	3ª Safra	4ª Safra
	P.SOJA	P.SOJA	P.CANA	P.CANA				
	0	1	2	3				
Receita Bruta	8.795.468	-	1.494.911	1.207.801	2.485.308	2.183.877	1.186.955	1.704.363
Deduções	1.860.128	-	79.230	64.013	695.172	616.850	326.396	442.997
Receita Líquida	6.935.340	-	1.415.681	1.143.788	1.790.136	1.567.028	860.558	1.261.365
Custos Variáveis	2.466.311	495.385	342.637	1.178.055	204.756	236.841	234.346	-
Margem de Contribuição	4.469.029	- 495.385	1.073.044	- 34.268	1.585.381	1.330.187	626.213	1.261.365
Custos Fixos	765.760	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489
EBTIDA	3.703.269	- 619.874	948.555	- 158.757	1.460.892	1.205.697	501.724	1.136.876
Depreciação	503.234	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808	30.808
LAIR	3.200.035	- 719.119	849.310	- 258.002	1.361.647	1.106.452	470.916	1.106.069
Imposto de Renda	1.285.694	-	258.765	-	432.960	346.194	130.111	346.063
Resultado Líquido	1.914.342	- 719.119	590.544	- 258.002	928.687	760.259	340.805	760.005
Depreciação	503.234	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808	30.808
FC Operacional	2.417.575	- 619.874	689.790	- 158.757	1.027.932	859.504	371.612	790.813
Custo Econômico	3.649.250	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256
FC Livre	- 1.231.675	- 1.213.130	96.533	- 752.013	434.676	266.248	- 221.644	197.557
FC Descontado		- 1.213.130	92.341	- 688.114	380.468	222.923	- 177.518	151.355

Fonte: Elaborado pela autora.

\*Nota: EBTIDA – *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*; LAIR – Lucro Antes do Imposto de Renda; FC – Fluxo de Caixa.

Os melhores resultados encontram-se nos tratamentos com duas safras de soja (Tabelas 13, 14, 15, 16, 17 e 18) em detrimento ao tratamento com uma safra de soja (Tabela 11 e 12), concomitantemente o desempenho produtivo em TCH (sessão 3.1, Tabelas 5) foi superior para os tratamentos com duas safras de soja. Santos (2010), na avaliação econômica de sistemas de cultivos de soja e amendoim com cana-de-açúcar, infere que o plantio de oleaginosas na reforma de canavial, além de promover a diversificação da renda reduz os elevados custos de produção do plantio da cana-de-açúcar. O custo de plantio da cana pode ser visualizado no presente trabalho pelo ano 1 do item custos variáveis (CV) (Tabelas 11 e 12) e ano 2 no mesmo item (Tabelas 13, 14, 15, 16, 17 e 18) dos Fluxos de Caixas dos Sistemas de Sucessão, nota-se que este é substancialmente maior que o valor do plantio de soja, no entanto, o ciclo produtivo da cana perdurou por quatro cortes.

**Tabela 15.** Fluxo de Caixa Sistema de Sucessão Soja/Milheto/Soja/ Cana – Área A.

	VP	C.SOJA/MI/ P.SOJA		C.SOJA/P. CANA	1ª Safra	2ª Safra	3ª Safra	4ª Safra
		0	1	2				
Receita Bruta	8.169.116	-	1.522.880	1.165.060	2.510.479	1.754.165	1.302.793	1.222.702
Deduções	1.736.652	-	77.933	61.748	705.182	516.743	370.396	338.123
Receita Líquida	6.432.464	-	1.444.946	1.103.312	1.805.297	1.237.422	932.398	884.579
Custos Variáveis	2.455.718	516.405	366.363	1.118.703	204.756	236.841	234.346	-
Margem de Contribuição	3.976.746	- 516.405	1.078.583	-15.392	1.600.541	1.000.581	698.052	884.579
Custos Fixos	765.760	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489
EBTIDA	3.210.986	- 640.894	954.094	- 139.881	1.476.052	876.092	573.563	760.090
Depreciação	503.234	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808	30.808
LAIR	2.707.752	-740.139	854.849	- 239.126	1.376.807	776.847	542.755	729.282
Imposto de Renda	1.119.592	-	260.649	-	438.114	234.128	154.537	217.956
Resultado Líquido	1.588.160	-740.139	594.200	- 239.126	938.693	542.719	388.218	511.326
Depreciação	503.234	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808	30.808
FC Operacional	2.091.394	- 640.894	693.445	- 139.881	1.037.938	641.964	419.026	542.134
Custo Econômico	3.649.250	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256
FC Livre	- 1.557.856	- 1.234.150	100.189	- 733.137	444.682	48.708	- 174.230	- 51.122
FC Descontado		- 1.234.150	95.838	- 670.842	389.226	40.782	- 139.544	- 39.167

Fonte: Elaborado pela autora.

\*Nota: EBTIDA – *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*; LAIR – Lucro Antes do Imposto de Renda; FC – Fluxo de Caixa.

Salomé, Sakai e Ambrosano (2007), no estudo sobre a viabilidade financeira da produção de cana-de-açúcar em sistema de sucessão espécies de cobertura, verificaram um melhor desempenho financeiro para os sistemas envolvendo soja e amendoim. Inferem também que o custo de cultivo de espécies de cobertura é relativamente baixo e que a adoção desta prática pode surtir benefícios produtivos para cultura subsequente no longo prazo, dado

a melhora dos atributos físicos e químicos do solo. Smith *et al.* (2017) relatam que os produtores rurais podem aumentar os níveis de produção e a rentabilidade de suas propriedades com a adoção de práticas intensivas de rotação de culturas, principalmente envolvendo leguminosas.

**Tabela 16.** Fluxo de Caixa Sistema de Sucessão Soja/Milheto/Soja/ Cana – Área B.

	VP	C.SOJA/		C.SOJA/ P.CANA	1ª Safra	2ª Safra	3ª Safra	4ª Safra
		P.SOJA	MI/P.SOJA					
		0	1	2	3	4	5	6
Receita Bruta	8.663.624	-	1.568.099	1.160.324	2.132.597	2.411.956	1.304.470	1.528.452
Deduções	1.876.870	-	80.330	61.497	638.778	688.069	359.432	418.543
Receita Líquida	6.786.754	-	1.487.769	1.098.827	1.493.819	1.723.888	945.039	1.109.909
Custos Variáveis	2.488.766	495.385	370.289	1.173.688	204.756	236.841	234.346	-
Margem de Contribuição	4.297.988	- 495.385	1.117.480	- 74.861	1.289.063	1.487.047	710.693	1.109.909
Custos Fixos	765.760	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489
EBTIDA	3.532.228	- 619.874	992.990	- 199.350	1.164.574	1.362.557	586.204	985.420
Depreciação	503.234	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808	30.808
LAIR	3.028.995	- 719.119	893.745	- 298.595	1.065.329	1.263.312	555.396	954.613
Imposto de Renda	1.240.169	-	273.873	-	332.212	399.526	158.835	294.568
Resultado Líquido	1.788.826	- 719.119	619.872	- 298.595	733.117	863.786	396.562	660.044
Depreciação	503.234	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808	30.808
FC Operacional	2.292.059	- 619.874	719.117	- 199.350	832.362	963.031	427.369	690.852
Custo Econômico	3.649.250	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256
FC Livre	- 1.357.191	- 1.213.130	125.861	- 792.606	239.106	369.775	- 165.887	97.596
FC Descontado		- 1.213.130	120.395	- 725.258	209.287	309.605	- 132.862	74.771

Fonte: Elaborado pela autora.

\*Nota: EBTIDA – *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*; LAIR – Lucro Antes do Imposto de Renda; FC – Fluxo de Caixa.

Em relação à margem de contribuição todos os tratamentos obtiveram valores positivos, ou seja, houve um ganho bruto sobre a receita para o pagamento dos custos fixos desembolsáveis e gerar lucro. Dentre os sistemas de sucessão com melhor desempenho foram: sucessão soja/pousio/soja/cana e soja/crotalária/soja/cana ambos em ambiente de produção C (área B), com valores em reais de R\$ 4.469.029 e R\$ 4.421.345, respectivamente (Tabelas 14 e 18). Os piores desempenhos, ainda em relação à margem de contribuição, foram: soja/cana num valor de R\$ 3.296.495 e soja/milheto/soja/cana R\$ 3.976.746, os dois em ambiente de produção A (área A) (Tabelas 11 e 15), vale ressaltar que os sistemas de sucessão soja/cana – área A e B possuem uma safra de soja a menos em detrimento aos demais tratamentos.

**Tabela 17.** Fluxo de Caixa Sistema de Sucessão Soja/Crotalária/Soja/ Cana – Área A.

	VP	C.SOJA/CR/		C.SOJA/	1ª Safra	2ª Safra	3ª Safra	4ª Safra
		P.SOJA	P.SOJA	P.CANA				
		0	1	2				
					3	4	5	6
Receita Bruta	8.686.304	-	1.527.331	1.205.670	2.373.065	1.687.858	1.963.249	1.382.720
Deduções	1.921.568	-	77.179	63.901	708.281	497.246	564.365	392.848
Receita Líquida	6.764.736	-	1.450.152	1.141.770	1.664.784	1.190.612	1.398.884	989.872
Custos Variáveis	2.471.735	516.405	379.534	1.122.439	204.756	236.841	234.346	-
Margem de Contribuição	4.293.001	- 516.405	1.070.618	19.331	1.460.028	953.771	1.164.538	989.872
Custos Fixos	765.760	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489
EBTIDA	3.527.241	- 640.894	946.129	- 105.158	1.335.539	829.282	1.040.049	865.382
Depreciação	503.234	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808	30.808
LAIR	3.024.007	- 740.139	846.884	- 204.404	1.236.294	730.037	1.009.241	834.575
Imposto de Renda	1.216.316	-	257.940	-	390.340	218.213	313.142	253.755
Resultado Líquido	1.807.691	- 740.139	588.943	- 204.404	845.954	511.825	696.099	580.819
Depreciação	503.234	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808	30.808
FC Operacional	2.310.925	- 640.894	688.188	- 105.158	945.199	611.070	726.907	611.627
Custo Econômico	3.649.250	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256
FC Livre	- 1.338.326	- 1.234.150	94.932	- 698.415	351.943	17.813	133.651	18.371
FC Descontado		- 1.234.150	90.809	- 639.070	308.053	14.915	107.043	14.075

Fonte: Elaborado pela autora.

\*Nota: EBTIDA – *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*; LAIR – Lucro Antes do Imposto de Renda; FC – Fluxo de Caixa.

**Tabela 18.** Fluxo de Caixa Sistema de Sucessão Soja/Crotalária/Soja/ Cana – Área B

	VP	C.SOJA/CR/		C.SOJA/	1ª Safra	2ª Safra	3ª Safra	4ª Safra
		P.SOJA	P.SOJA	P.CANA				
		0	1	2				
					3	4	5	6
Receita Bruta	8.759.303	-	1.560.806	1.170.539	2.403.353	1.946.399	1.413.986	1.735.213
Deduções	1.874.832	-	78.953	62.039	717.529	551.399	393.611	440.614
Receita Líquida	6.884.471	-	1.481.853	1.108.500	1.685.824	1.395.000	1.020.375	1.294.599
Custos Variáveis	2.463.126	495.385	342.587	1.174.628	204.756	236.841	234.346	-
Margem de Contribuição	4.421.345	- 495.385	1.139.266	- 66.127	1.481.068	1.158.159	786.030	1.294.599
Custos Fixos	765.760	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489
EBTIDA	3.655.585	- 619.874	1.014.777	- 190.617	1.356.579	1.033.670	661.540	1.170.110
Depreciação	503.234	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808	30.808
LAIR	3.152.351	- 719.119	915.532	- 289.862	1.257.334	934.425	630.733	1.139.302
Imposto de Renda	1.279.393	-	281.281	-	397.494	287.704	184.449	357.363
Resultado Líquido	1.872.958	- 719.119	634.251	- 289.862	859.840	646.720	446.284	781.939
Depreciação	503.234	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808	30.808
FC Operacional	2.376.192	- 619.874	733.496	- 190.617	959.085	745.965	477.091	812.747
Custo Econômico	3.649.250	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256	593.256
FC Livre	- 1.273.059	- 1.213.130	140.240	- 783.873	365.829	152.709	- 116.165	219.491
FC Descontado		- 1.213.130	134.149	- 717.266	320.207	127.860	- 93.038	168.160

Fonte: Elaborado pela autora.

\*Nota: EBTIDA – *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*; LAIR – Lucro Antes do Imposto de Renda; FC – Fluxo de Caixa.

Como os tratamentos se diferem em quantidade de períodos, onde o sistema de sucessão soja/cana possui uma safra a menos de soja em detrimento aos demais tratamentos, para efeito de comparação de seus desempenhos econômico financeiros calculou-se o Fluxo de Caixa Anual Equivalente, Fluxo de Caixa Operacional Equivalente e ROI, conforme Tabela 19.

No experimento agrícola os ambientes de produção e os tratamentos não se diferenciaram significativamente em termos de produtividade, de forma similar, também obtiveram pouca diferença em termos econômico-financeiros, com um limite de 0,73% entre o maior e o menor retorno (Tabela 19).

**Tabela 19.** Comparação do desempenho econômico-financeiro dos diferentes sistemas de sucessão agrícola.

Sistemas de Sucessão	Fluxo de Caixa Anual Equivalente	Fluxo de Caixa Anual Operacional	ROI (%)
S/C - Área A	- 324.757	403.785	3,94
S/C - Área B	- 333.968	394.573	3,85
S/P/S - Área A	- 281.756	426.668	4,16
S/P/S - Área B	- 239.103	469.321	4,58
S/M/S - Área A	- 302.425	406.000	3,96
S/M/S - Área B	- 263.470	444.955	4,34
S/C/S - Área A	- 259.807	448.617	4,38
S/C/S - Área B	- 247.137	461.287	4,50

Fonte: Elaborado pela autora.

\*Nota: S – Soja; P – Pousio; M – Milheto; C – Crotalaria; FC – Fluxo de Caixa.

As áreas B, as quais se situam em um ambiente de produção com classificação C, comparando-se os mesmos tratamentos tiveram desempenho econômico-financeiro superior as Áreas A, ambiente de produção do tipo A. Neste contexto, pode-se inferir que o cultivo prévio de soja e espécies de cobertura em áreas de cana favoreceu o desempenho do ambiente de produção C, uma vez que a produtividade em TCH (sessão 3.1, tabela 5) foi superior dessas áreas quando comparado com a literatura. Segundo Cavalcante e Prado (2010) Ambientes de produção C possuem uma produtividade média de 76 a 88 TCH.

O resultado negativo do Fluxo de Caixa Anual Equivalente para todos os tratamentos nos dois ambientes, está ligado ao alto custo da terra, bem como ao cenário agrícola desfavorável, tanto para soja quanto para cana-de-açúcar, vivenciado nas safras que compreendem o trabalho, safras 2007/2008 e 2008/2009, onde ocorreu o cultivo da soja e safra 2009/2010 à 2013/2014 o cultivo da cana-de-açúcar.

O sistema de sucessão que obteve o maior retorno do investimento e melhores resultados de Fluxo de Caixa Operacional e Econômico foi soja/pousio/soja/cana Área B (Tabela 19), porém este mesmo tratamento obteve resultados agrônômicos negativos em relação ao solo (SILVA e FERNADES, 2014; TRUBER e FERNANDES, 2014; VIZIOLLI, 2014), sendo este resultado superior previsto somente no curto prazo e não em longo prazo. Deste modo, o melhor desempenho levando em conta também a sustentabilidade da área produtiva encontra-se no sistema de sucessão soja/crotalária/coja/Cana Área B, corroborando com os trabalhos de Ambrosano *et al.*, (2014), os quais recomendam a crotalária no pré-plantio de cana-de-açúcar e com, Salomé, Sakai e Ambrosano (2007), onde verificaram maior renda líquida e menores custos de produção para a cultura da soja em sistemas de sucessão com cana-de-açúcar, posteriormente amendoim e girassol.

Num retorno a discussão sobre a taxa mínima de atratividade, caso fosse aplicada a taxa brasileira (11,18%) ao invés da americana (4,54%), o ROI do melhor tratamento (soja/crotalária/coja/Cana Área B) seria de 4,02% e o Fluxo de Caixa Anual Operacional de R\$ 41.639 uma visível diferença na agregação de valor para este sistema de produção.

A partir da aferição do melhor desempenho dentre os tratamentos, conferiu-se que a propriedade rural estudada adota-se a princípio o cultivo em área total (227 hectares) do sistema de produção soja/crotalária/soja, tomando como base os valores da área B. Dando assim continuidade a proposição dos estudos deste trabalho: diversificação agrícola da propriedade a partir da composição de um portfólio ideal com soja e cana-de-açúcar e, aplicação da opção troca de cultura no decorrer do ciclo produtivo da cana-de-açúcar.

### **4.3 Diversificação da propriedade rural: Carteira Agrícola, Ponto de Equilíbrio e Fluxo de Caixa**

A partir da valoração dos sistemas de sucessão e da identificação do melhor desempenho econômico-financeiro dentre estes, levando em consideração as questões agrônômicas, determinou-se a carteira da lavoura com base nos dados do sistema de sucessão soja/crotalária/soja/cana – Área B. Deste modo, obteve-se a diversificação da propriedade rural, com o menor risco não sistemático e melhor retorno, numa proporção de 56% destinado

ao cultivo da soja e 44% destinado ao cultivo da cana-de-açúcar, o que para a propriedade rural em questão consiste em 127 hectares de soja e 100 hectares de cana (Tabela 20).

**Tabela 20.** Carteira da Lavoura – Diversificação da propriedade rural

<b>Culturas</b>	<b>Proporção (%)</b>	<b>Área (hectares)</b>
Soja	56	127
Cana-de-açúcar	44	100
Área total	100	227

Fonte: Elaborada pela autora.

Salienta-se ainda que os ativos soja e cana possuem correlação de - 0,11, ou seja, são ativos com fraca correlação negativa, pois provavelmente os seus *market movers* são diferentes e portanto, não sofreram efeitos positivos e negativos juntos. Fator ideal para um portfólio, com maior redução da volatilidade bem como um melhor balanço entre risco e ganho.

Santos, Botelho Filho e Soares (2008) utilizaram da teoria do portfólio como estratégia de armazenagem de grãos: soja, milho e feijão, os autores verificaram que a diversificação dos produtos armazenados reduziu a variância da carteira em 66%, quando comparado com o armazenamento exclusivo de soja.

Dill, Souza e Borba (2010), na utilização da teoria do portfólio na composição de uma carteira agrícola na propriedade rural com culturas de verão: soja, milho e girassol, concluem que o modelo é aplicável a atividade agrícola como sinalizador e até mesmo para correção de desvios involuntários de técnicos/administradores ao definir um portfólio de culturas.

No entanto, também se faz necessário o aporte a ferramentas que demonstrem a viabilidade econômico-financeira da carteira agrícola estabelecida para propriedade rural, no presente trabalho esta viabilidade foi conferida pelo ponto de equilíbrio, conforme demonstrado na Tabela 21.

**Tabela 21.** Ponto de Equilíbrio – Diversificação da Propriedade rural.

<b>Culturas</b>	<b>PE Econômico (ha)</b>	<b>PE Operacional (ha)</b>
Soja/Crotalária/Soja/Cana	100	29
Soja/Crotalária/Soja/Crotalária	92	24

Fonte: Elaborado pela autora.

Verifica-se na Tabela 21 que o ponto de equilíbrio para as duas parcelas da propriedade rural (soja e cana) foi determinado a partir do sistema de sucessão que obteve o melhor desempenho econômico-financeiro e agrônômico, uma vez que foi projetado a priori o cultivo deste sistema (soja/crotalária/soja) em área total.

O portfólio estabelecido para a propriedade rural em questão (100 hectares de cana-de-açúcar e 127 de soja) é pertinente, uma vez que o ponto de equilíbrio econômico em hectares consiste em 100 hectares para o sistema com cana e 92 hectares para o sistema com soja (Tabela 21).

O Fluxo de Caixa da propriedade rural diversificada, seguindo os preceitos do método de custeio e, com os valores atualizados com início na safra 2014/2015 e projetados até a safra 2019/2020, encontra-se disposto na Tabela 22.

Com a diversificação da propriedade rural pautada na teoria do portfólio e com cenário mais favorável tanto para a cultura da soja quanto para cultura da cana-de-açúcar, o desempenho econômico-financeiro foi otimizado, repercutindo no valor positivo do Fluxo de Caixa Descontado de R\$ 268.250 (Tabela 22).

Na comparação da área manejada com soja/crotalária/soja/cana-de-açúcar (2 safras soja/crotalária e cana com 4 cortes), com a área de soja/crotalária em seis safras, observa-se uma maior receita líquida para a parcela com a sucessão de cultivos apenas com soja/crotalária, no valor de R\$ 6.496.830, bem como uma maior margem de contribuição R\$ 4.079.137, enquanto que a área de sucessão de cultivos incluindo a cana-de-açúcar obteve uma receita líquida de R\$ 3.929.017 e uma margem de contribuição de R\$ 2.543.132 (Tabela 22).

O melhor desempenho em termos de receita líquida e margem de contribuição da soja podem repercutir em equívocos por parte do produtor rural quanto à tomada de decisão na diversificação da propriedade agrícola, deste modo, comparou-se a propriedade estudada diversificada com uma simulação desta propriedade em monocultivo de soja e cana. Para tanto, calculou-se a taxa de desconto, o Fluxo de Caixa anual equivalente e operacional equivalente e, o retorno do investimento (Tabela 23).

**Tabela 22.** Fluxo de Caixa da Propriedade Diversificada de acordo com a carteira de variância mínima

		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
		VPL	0	1	2	3	4	5	6
Soja/Cana-de-açúcar	Receita Bruta	4.750.462	-	810.055	1.069.594	1.259.388	927.516	711.728	715.176
	Deduções	821.446	-	41.272	56.689	306.810	225.960	173.390	174.230
	Receita Líquida	3.929.017	-	768.783	1.012.906	952.578	701.556	538.338	540.946
	Custos Variáveis	1.385.885	257.494	344.076	579.299	96.219	110.874	115.032	-
	Margem de Contribuição	2.543.132	- 257.494	424.706	433.607	856.359	590.682	423.306	540.946
Soja/Crotalaria	Receita Bruta	6.848.961	-	1.028.770	1.398.178	1.398.178	1.398.178	1.398.178	1.398.178
	Deduções	352.131	-	52.416	71.994	71.994	71.994	71.994	71.994
	Receita Líquida	6.496.830	-	976.354	1.326.184	1.326.184	1.326.184	1.326.184	1.326.184
	Custos Variáveis	2.417.694	316.308	434.815	458.034	459.450	461.007	462.719	140.439
	Margem de Contribuição	4.079.137	- 316.308	541.539	868.149	866.734	865.177	863.464	1.185.744
Área Total	MC Total	6.622.268	- 573.802	966.246	1.301.757	1.723.093	1.455.859	1.286.771	1.726.690
	Custos Fixos	765.760	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489	124.489
	EBTIDA	5.856.508	- 698.291	841.756	1.177.268	1.598.604	1.331.370	1.162.282	1.602.201
	Depreciação	503.234	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808	30.808
	LAIR	5.353.275	- 797.536	742.511	1.078.022	1.499.359	1.232.125	1.131.474	1.571.394
	Imposto de Renda	1.936.739	-	222.454	336.528	479.782	388.922	354.701	504.274
	Resultado Líquido	3.416.536	- 797.536	520.057	741.495	1.019.577	843.202	776.773	1.067.120
	Depreciação	503.234	99.245	99.245	99.245	99.245	99.245	30.808	30.808
	FC Operacional	3.919.769	- 698.291	619.303	840.740	1.118.822	942.448	807.580	1.097.927
	Custo Econômico	3.651.119	593.560	593.560	593.560	593.560	593.560	593.560	593.560
	FC Livre	268.650	- 1.291.851	25.743	247.180	525.262	348.888	214.021	504.368
	FC Descontado		- 1.291.851	24.625	226.177	459.757	292.116	171.413	386.413

Fonte: Elaborado pela autora.

\*Nota: EBTIDA – *Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*; LAIR – Lucro Antes do Imposto de Renda; FC – Fluxo de Caixa.

**Tabela 23.** Comparação da propriedade diversificada com a propriedade com monocultivo.

Culturas	Proporção (%)	WACC (%)	FC. Anual	FC. Operacional	ROI (%)
			Equiv. (R\$)	Equiv. (R\$)	
Soja	100	10,67	-35.473	735.020	7,29
Cana	100	7,30	-327.701	429.481	4,26
Diversificação	Soja	56	4,54	52.153	760.940
	Cana	44			

Fonte: Elaborado pela autora.

Em consonância com a teoria do portfólio de Markowitz, a diversificação otimizou o desempenho da propriedade rural quando comparado com a opção de apenas uma cultura, ou seja, a propriedade diversificada condiz com uma menor taxa de desconto 4,54%, dado a redução do risco e um maior retorno 7,42%, contra 10,67% e 7,29% de taxa de desconto e

retorno respectivamente para soja e, 7,30% e 4,26% para cana, conforme discriminado na Tabela 23.

Para todas as opções monocultivo e diversificação o Fluxo de Caixa anual operacional foi positivo, no entanto, o Fluxo de Caixa anual equivalente torna-se negativo quando não há diversificação, demonstrando assim a importância da diversificação de culturas, determinada através da teoria do portfólio e condizente com o ponto de equilíbrio, tanto para redução do risco da atividade quanto para otimização do desempenho econômico-financeiro da propriedade rural.

Gameiro, Rocco e Caixeta Filho (2016) inferem que a diversificação no setor agropecuário não só gera ganhos à propriedade rural, mas também pode ser um fator de condição da viabilidade econômica, observam também que com a diversificação os custos fixos são diluídos, uma vez que determinadas máquinas e implementos, além da mão-de-obra, são destinados para ambas às atividades, além de ocorrer uma redução os custos de transação.

León-Herrera, Martínez-Damián e Garza-Bueno (2015) compararam o método proposto por Markowitz (1952) (média-variância) e o método proposto por Estrada (2008) (média-semivariância) para escolha de uma carteira agrícola concluem que não há diferenças significativas dentre os métodos, a carteira média é a mesma em ambos. Dill, Souza e Borba (2010), na utilização da teoria do portfólio para composição de uma carteira agrícola com culturas de verão: soja, milho e girassol, inferem que o modelo é aplicável à atividade agrícola como sinalizador e até mesmo para correção de desvios involuntários de técnicos/administradores ao definir um portfólio de culturas.

Neste contexto, tem-se que a escolha do portfólio de culturas para propriedade rural também está intrínseca a aversão ao risco por parte do produtor rural, a qual pode ser elevada ou não (DRAGICEVIC, LOBIANCO e LEBLOIS, 2016). Estes mesmos autores, na aplicação do modelo de média-variância para o planejamento do cultivo de espécies florestais na França, sendo as variáveis para mensuração do risco preço e produtividade, constataram que os gestores florestais preferem baixa variância a elevada produtividade, isto é, a sua aversão ao risco revelada é elevada, numa condição oposta isto levaria a alta especialização em determinadas espécies, um cenário improvável para realidade destes produtores.

No Brasil observa-se que a postura do produtor rural canavieiro tem sido distinta, uma vez que há uma mudança no uso terra, com aumento expressivo do cultivo da cana-de-açúcar,

em decorrência da expansão do mercado de biocombustíveis (FERREIRA FILHO e HORRIDGE, 2014; PEDROSA, SOUZA e TURETTA, 2016).

No entanto, o resultado do ponto de equilíbrio com duas safras de soja, cultivo de crotalária na entresafra de grãos e posterior plantio de cana com duração de quatro cortes, a área mínima para equilíbrio econômico é de 100 hectares e, para o cultivo de soja/crotalária/soja 92 hectares. Quando a propriedade produz somente cana ou soja em monocultivo esta quantidade de área já não é suficiente para suprir o custo econômico da atividade (Tabela 23). Corroborando com Borges (2013), o qual relata que o plantio de soja em áreas de reforma de canavial pode amortizar em até 40% os custos de implantação do novo canavial. No estudo sobre a viabilidade econômica da cana realizado por Santos *et al.*, (2016), também na região de Jaboticabal, o ponto de equilíbrio econômico resultou em 70 hectares.

Fatores estes que conferem maior risco, aos pequenos produtores canavieiros na região de Jaboticabal, uma vez que, a diversificação de culturas pautada na associação dos preceitos das teorias financistas e conhecimento agrônômico, traz a tona uma nova discussão sobre a diversificação de culturas como estratégia para pequenos produtores rurais, visto que para *commodities* agrícolas há uma limitação de escala de produção.

Para Schroth e Ruf (2014), dentre os fatores para adoção da diversificação de culturas estão: conhecimento e informações sobre opções de culturas alternativas, possibilidade de mensurar os riscos envolvidos, acesso ao mercado, disponibilidade de capital (acesso a crédito), planejamento e a maior propensão à inovação.

Observa-se que para os produtores de cana da região de Jaboticabal a diversificação de culturas é recorrente apenas nas áreas de reforma de canavial, sendo comumente realizado o plantio de outras culturas, a exemplo do amendoim e soja (SILVA e FERNANDES, 2014), pelo próprio produtor rural ou por terceiros (arrendamento), confirmando a postura de não aversão ao risco do produtor/empresário rural canavieiro, seja por exiguidade de informações ou não, mas não deixando de transcorrer sobre a importância do aporte a teoria do portfólio para o empreendimento canavieiro uma vez que resulta em melhores retornos e incide na viabilidade econômica do negócio.

#### 4.4 Teoria das Opções Reais – Opção Troca de Cultura

A aplicação da TOR inicia-se com a modelagem das incertezas de preço e produtividade da cana-de-açúcar, obtendo-se os valores para os movimentos de subida e descida de ATR e TCH e, suas respectivas probabilidades, conforme descrito nas Tabelas 24 e 25. A partir dessas informações a projeções destas variáveis foram dispostas nas árvores de evento, encontram-se dispostas nas Figuras 8 e 9.

**Tabela 24.** Movimentos de subida e descida do ATR e suas probabilidades

	Preço (ATR)	Probabilidade
u	1,23	0,46
d	0,81	0,54

Fonte: Elaborado pela autora.

**Tabela 25.** Movimentos de subida e descida do TCH e suas probabilidades

	Produtividade (TCH)	Probabilidade
u	1,15	0,72
d	0,87	0,28

Fonte: Elaborado pela autora.

A produtividade das culturas agrícolas é condicionada por fatores edafoclimáticos (solo e clima), fitossanitários (incidência de pragas e doenças) e pelo manejo da cultura (prescrições agrônômicas) (MARIN, JONES e BOOTE, 2016). Sendo, assim as variáveis preço e produtividade abordadas no trabalho, como ativos subjacentes para aplicação da TOR contemplam de forma ampla as incertezas que cercam as lavouras (riscos diversificáveis e não diversificáveis) e, portanto, são determinantes para tomada de decisões para substituição da cultura da cana pela soja.

Zilio e Lima (2015), na aplicação da TOR para aferição da atratividade de canaviais no Estado de São Paulo, Brasil, inferem que a produtividade em TCH, o preço do ATR e a quantidade de ATR por tonelada de cana, tratam-se de variáveis que mais impactam no VPL de projetos envolvendo produção de cana-de-açúcar e a atratividade dos canaviais, sendo os desvios destas variáveis capturados pela TOR, em detrimento ao FCD. No entanto, a partir dos dados de produtividade em ATR por tonelada de cana e TCH verificou-se uma maior volatilidade para variável TCH, bem como para o preço do ATR, o ATR por tonelada manteve praticamente constante.

Du e Hennssy (2008) adotaram como incertezas o preço do fertilizante nitrogenado, preço das *commodities* e a produtividade, na opção de escolha de plantio entre soja ou milho. Livigston, Roberts e Zhang (2015) utilizam das mesmas culturas e incertezas na opção de escolha de plantio. Estes autores salientam sobre a necessidade de incorporação nos projetos

de decisão de plantio as questões agrônômicas, principalmente no que concerne o impacto da rotação de culturas sob a produtividade.

As probabilidades de subida e descida do preço do ATR possuem valores similares, com propensão um pouco maior para queda, no entanto, o fator “d” para esta variável é inferior ao fator “u” (Tabela 24). Já a produtividade em TCH possui uma maior probabilidade de subida acompanhada também de um maior valor para “u” (Tabela 25).

Ano	0	1	2	3	4
Preço ATR					1,39
				1,13	
			0,92		0,92
		0,74		0,74	
	0,60		0,60		0,60
		0,49		0,49	
			0,40		0,40
			0,32		
					0,26

**Figura 8.** Modelagem do preço do ATR pelo MGB.  
Fonte: Elaborado pela autora.

Ano	0	1	2	3	4
Produtividade TCH					96,44
				98,61	
			123,62		89,70
		155,62		90,59	
	146,10		107,60		82,97
		136,58		74,54	
			91,58		76,23
			66,52		
					69,49

**Figura 9.** Modelagem da produtividade.  
Fonte: Elaborado pela autora.

Mediante a projeção dos valores de subida e descida da ATR e do TCH estimou-se as receitas para cana-de-açúcar e com a dedução dos custos variáveis e do imposto de renda gerou-se a árvore de eventos dos Fluxos de Caixas visualizados na Figura 10, composta também com as probabilidades para cada nó da árvore. E a partir dos Fluxos de Caixa ponderados estabeleceu-se, conforme descrito na Tabela 26, o Fluxo de Caixa Descontado

num valor de R\$ 1.229.888, para o ciclo de quatro corte da cultura da cana-de-açúcar, onde foi alocado no Ano 0 o custo com a implantação do canavial, o qual foi de –R\$ 480.764.

Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4
				1.217.207
				1,19%
				1.126.042
				1,82%
				1.034.876
				1,04%
				934.711
				0,27%
				852.545
			964.953	0,03%
			3,59%	718.368
			879.311	5,65%
			4,13%	662.050
			708.028	8,66%
			1,58%	605.733
			622.387	4,97%
		945.141	0,20%	549.416
		10,89%	551.181	1,27%
		811.259	12,85%	493.098
		8,34%	499.200	0,12%
		677.377	14,75%	390.093
	931.889	1,60%	395.238	10,10%
	33,00%	524.366	5,65%	356.709
	808.477	25,95%	343.257	15,47%
647.446	12,63%	445.001	0,72%	323.324
	502.166	19,87%	278.887	8,88%
	39,31%	365.637	15,30%	289.939
	431.346	3,80%	249.058	2,27%
	15,05%	247.463	17,57%	256.555
		15,46%	189.398	0,22%
		203.975	6,73%	174.063
		11,83%	159.568	8,02%
		160.487	0,86%	155.770
		2,26%	99.697	12,28%
			6,08%	137.477
			84.445	7,05%
			6,98%	119.184
			53.940	1,80%
			2,67%	100.891
			38.687	0,17%
			0,34%	31.899
				2,39%
				23.537
				0,54%
				15.176
				2,10%
				6.814
				3,66%
				- 1.548
				0,05%

**Figura 10.** Árvore de eventos do Fluxo de caixa da Cana-de-açúcar.

Fonte: Elaborado pela autora.

**Tabela 26.** Fluxo de Caixa da cana-de-açúcar em quatro cortes.

<b>Períodos</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	
<b>Valor Presente</b>	<b>Probabilidades</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
<b>Fluxo de Caixa</b>	1.229.888	-480.764	672.032	485.813	366.761	360.991
<b>FCD</b>		-480.764	642.846	444.533	321.023	302.250

Fonte: Elaborado pela autora.

O modelo proposto, no presente trabalho, para aplicação da TOR norteia-se pela modelagem derivada de Cox, Ross e Rubistein (1979), mas traz uma nova perspectiva ao não considerar o Valor Presente dos ativos em flexibilidade, diferindo-se assim do modelo original. Onde também não admite a taxa livre de risco e sim a taxa de desconto da carteira de 4,54%, por não apropriar-se de todas variáveis (incertezas) que contemplam a atividade agrícola.

Para aplicação da opção troca de cultura, o valor estimado para a cultura da soja foi de R\$ 499.227 (margem de contribuição deduzido o imposto de renda). Ressalta-se que o preço aferido da saca de 60 kg de soja foi de R\$ 68,74, em fevereiro/2016 pelo IEA e considerou-se a mesma quantidade de área que a cana (100 hectares).

No processo de flexibilidade gerencial em se trocar a cultura da cana por soja, verificou-se que a partir do primeiro corte da cana-de-açúcar, na combinação de preço baixo do ATR (R\$ 0,49 por tonelada de cana) e produtividade baixa (136,58 TCH) em 15,05% de probabilidade de ocorrência, já é possível estabelecer a troca, conforme verificado na Figura 11, valor em **negrito** Ano 0. A troca efetiva é realizada no segundo corte, assim disposto na Figura 11, valores em **negrito** grifados de cinza.

Na ausência do cenário descrito anteriormente, no segundo corte da cultura a aferição da troca por soja ocorre mesmo quando se tem alta produtividade (123,62 TCH), porém combinada com baixo preço (ATR R\$0,40) (Figura 11, Ano 2 valor em **negrito**), neste mesmo período, mesmo com preço médio (ATR R\$ 0,60) e produtividade média (107,60 TCH) a soja ainda demonstra-se mais vantajosa, só não ocorrerá à troca se o preço estiver no valor máximo independente da produtividade (Figura 11). A probabilidade da troca neste período (segundo corte da cana) é de 53,22%.

No terceiro corte a troca é aferida a partir da combinação do preço médio alto (ATR R\$ 0,74) e produtividade média alta (90,59 TCH), com uma probabilidade de 77,65% . Para o quarto corte a probabilidade da troca de cana por soja mantém-se equiparada com ano anterior, 75,12% (Figura 11).

Ano 0	Ano1	Ano2	Ano 3	Ano 4
				1.217.207
				1,19%
				1.126.042
				1,82%
				1.034.876
				1,04%
				943.711
				0,27%
				852.545
			964.953	0,03%
			3,59%	718.368
			879.311	5,65%
			4,13%	662.050
			708.028	8,66%
			1,58%	605.733
			622.387	4,97%
		945.141	0,20%	549.416
		10,89%	551.181	1,27%
		811.259	12,85%	<b>499.227</b>
		8,34%	<b>499.200</b>	0,12%
		677.377	14,75%	<b>499.227</b>
	931.889	1,60%	<b>499.227</b>	10,10%
	33,00%	524.366	5,65%	<b>499.227</b>
	808.477	25,95%	<b>499.227</b>	15,47%
647.446	12,63%	<b>499.227</b>	0,72%	<b>499.227</b>
	502.168	19,87%	<b>499.227</b>	8,88%
	39,31%	<b>499.227</b>	15,30%	<b>499.227</b>
	<b>431.346</b>	3,80%	<b>499.227</b>	2,27%
	15,05%	<b>247.463</b>	17,57%	<b>499.227</b>
		15,46%	<b>499.227</b>	0,22%
		<b>499.227</b>	6,73%	<b>499.227</b>
		11,83%	<b>499.227</b>	8,02%
		<b>499.227</b>	0,86%	<b>499.227</b>
		2,26%	<b>499.227</b>	12,28%
			6,08%	<b>499.227</b>
			<b>499.227</b>	7,05%
			6,98%	<b>499.227</b>
			<b>499.227</b>	1,80%
			2,67%	<b>499.227</b>
			<b>499.227</b>	0,17%
			0,34%	<b>499.227</b>
				2,39%
				<b>499.227</b>
				0,54%
				<b>499.227</b>
				2,10%
				<b>499.227</b>
				3,66%
				<b>499.227</b>
				0,05%

**Figura 11.** Árvore de Decisão – Opção troca de cultura, cana por soja.

Nota: Valores em negrito – aferição da troca de cultura; Valores em negrito grifados de cinza – aplicação da troca de cultura. Fonte: Elaborado pela autora.

Compreende-se que só é viável manter o canavial ao invés da soja, se os preços do ATR se mantiverem altos, sendo que esta variável possui um peso maior que a produtividade,

uma vez que, mesmo em combinações de produtividades médias baixas, porém com preços altos se compensa manter o canavial, sendo este padrão de comportamento observado em todo ciclo produtivo da cana-de-açúcar. No entanto, as maiores probabilidades encontram-se na combinação de preço e produtividade médios (Figura 11).

Salienta-se também que a opção troca foi aplicada com a projeção de um cenário favorável para soja no primeiro ano e constante nos demais anos, uma vez que o preço para a cultura foi travado em R\$ 68,74. A proposição de se modelar as variáveis preço e produtividade da cana em detrimento a soja, pontuam-se em dois aspectos: i) volatilidade maior dos preços e produtividade para cana e, ii) maior dificuldade de previsão do preço da cana uma vez que é dependente do mercado de açúcar e etanol. No entanto, descera-se aqui uma posição para trabalhos futuros.

O Fluxo de Caixa gerado a partir desta flexibilidade de troca antes mesmo do esgotamento da soqueira encontra-se disposto na Tabela 27.

**Tabela 27.** Fluxo de Caixa da Cana-de-açúcar – Opção troca por soja.

Períodos		0	1	2	3	4
	Valor Presente	Probabilidade	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
<b>Fluxo Caixa</b>	1.601.952	- 480.764,43	672.032	544.274	541.879	558.406
<b>FCD</b>		- 480.764,43	642.846	498.027	474.302	467.541

Nota: FCD – Fluxo de Caixa Descontado.

Fonte: Elaborado pela autora.

A mensuração do período de reforma de canavial antes mesmo do esgotamento da soqueira, ciclo de 4 a 6 anos (BORDONAL, FIGUEIREDO e LA SCALA JÚNIOR, 2012), apontam uma quebra de paradigma para o setor, tanto no que diz respeito à antecipação da reforma, quanto na correlação do período de reforma com a possibilidade do plantio de outra cultura e a aplicação da TOR neste tipo de análise. Keerthipala e Dharmawardene (2000) basearam-se no retorno total líquido para determinar o ciclo ótimo de replantio para cana-de-açúcar, em condições irrigadas e de sequeiro no Sri Lanka em duas fazendas com dados de 1990 a 1995, inferiram que o replantio nas áreas de sequeiro corresponde ao 8º e 11º corte, já nas áreas irrigadas ao 4º e 5º corte, variando de acordo com a queda de produtividade. Tonta e Smith (1996), neste mesmo segmento utilizam da técnica do fluxo de caixa descontado.

No Brasil, Boycer (1968) descerra sobre a rentabilidade máxima da cana-de-açúcar através do ponto de equilíbrio econômico. Borba e Bazzo (2009) utilizaram o Valor Anual Equivalente na indicação do período ideal de reforma de canavial para região de Ribeirão

Preto/SP, concluíram que o melhor estágio para reforma dos canaviais faculta do 6º corte numa produtividade de 68 TCH. No presente trabalho os valores modelados de TCH inclusive no quarto corte foram todos superiores ao encontrado por Borba e Bazzo (2009), no entanto, o ciclo produtivo da cultura perdurou por 4 cortes.

Veiga Filho (2002) e Fernandes (2003) também utilizaram o Valor Anual Equivalente e inferem que a reforma é pertinente entre o 5º e 7º corte. O primeiro autor compreende que o adiamento da reforma do canavial é induzido pelo alto valor do investimento de uma nova cultura e dos custos financeiros e que, por outro lado com a reforma antecipada, haveria a criação de um novo fluxo de renda líquida, maior que a anterior. Deste modo, a decisão de reforma neste caso seria direcionada por critério econômico e não apenas pela produtividade, um raciocínio que mais se assimila ao proposto no presente trabalho.

Em prosseguimento aos resultados, a flexibilidade proposta (opção troca cana por soja) trouxe um acréscimo significativo de R\$ 372.064 ao Valor Presente do Fluxo de Caixa, uma vez que o Valor Presente sem a flexibilidade (apenas com cana-de-açúcar) foi de R\$ 1.229.888 e com a flexibilidade (opção troca por soja), R\$ 1.601.952.

Verifica-se em outros estudos com a aplicação da TOR para escolha ou análise de cultivos novos cultivos em detrimento aos tradicionais, a exemplo, de Reesson, Ruddy e Zhub (2015), Yemshanov *et al.* (2015), Li, Tseng e Hu (2015), Rochman e Salvador (2013), Musshoff (2012) e Wolbert-Haverkamp e Musshoff (2014), que há também acréscimo ao Valor Presente do Fluxo de Caixa.

No entanto, Musshoff (2012) e Wolbert-Haverkamp e Musshoff (2014) na análise da viabilidade econômica de sistemas de rotação com espécies arbóreas de ciclo curto frente à agricultura convencional na Alemanha, discorrem que apesar dos sistemas de rotação se mostrarem mais vantajoso financeiramente ainda há predominância da agricultura convencional e relutância dos agricultores em adotarem novas culturas e/ou sistemas de cultivo, um comportamento similar vivenciado pelos produtores canavieiros da Região de Jaboticabal/SP

Pode-se considerar, portanto, que a decisão do produtor rural nem sempre é condicionada por uma racionalidade financeira, o que reporta a importância do aprofundamento nos estudos sobre opções de cultivos corroborando com os pressupostos de Rochman e Salvador (2013), os quais inferem que aplicação das opções reais na agricultura é um ramo de estudo ainda incipiente e possui muitas aplicações a serem aprofundadas.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi motivada pela seguinte questão: Qual o impacto econômico-financeiro da diversificação de culturas na propriedade rural canavieira mediante a otimização do portfólio de culturas e a flexibilidade gerencial?

Para tanto, os objetivos foram: i) avaliar qual sistema de sucessão de culturas com cana-de-açúcar possui melhor desempenho econômico-financeiro a partir de dados de um experimento agrícola; ii) propor a diversificação da propriedade rural, a partir da minimização do risco do produtor e levando em consideração as limitações da engenharia agrônômica envolvidos na formação de um portfólio; iii) estruturar um modelo de opções reais que incorpore as flexibilidades gerenciais em realizar a opção de troca de cultura da soja ao longo do ciclo produtivo da cana-de-açúcar, considerando preço e produtividade desta última *commodity*.

O trabalho envolveu duas grandes áreas do conhecimento, administração e ciências agrárias, e reporta a realidade do produtor/empresário rural canavieiro, uma vez que foi estruturado a partir de dados reais e estrutura tecnológica da propriedade rural onde se instalou o experimento agrícola, e porque também traz respostas às dúvidas intrínsecas ao setor canavieiro e ferramentas que se adequam à realidade do produtor e o auxiliam na tomada de decisão. Os dados e resultados possuem uma grande representatividade uma vez que o local de execução do experimento, a Região de Jaboticabal/SP, é a maior produtora de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo e este o maior produtor de cana do Brasil.

A importância deste trabalho descerra-se também pelo envolvimento de duas culturas importantes no Brasil e no mundo, onde o país é o maior produtor mundial de cana e o segundo de soja. Esta pesquisa também impulsiona a preconização por práticas agrícolas sustentáveis nos sistemas envolvendo estas duas culturas, uma vez que aborda questões conservacionistas de uso do solo, no que concerne a utilização de espécies de cobertura e a adoção do plantio direto, além de prescrever a viabilidade econômico-financeira destas práticas, auxiliando também no firmamento da sustentabilidade da produção canavieira.

Os resultados no que diz respeito à diversificação de culturas descerram-se de forma distinta as práticas agrícolas recorrentes no setor canavieiro da “porteira para dentro”, trazendo uma nova perspectiva para o setor e um maior dinamismo, no intuito de criação de valor respeitando-se sempre as questões agrônômicas.

A construção dos resultados partindo da utilização da estrutura estratificada do fluxo de caixa modelada mediante análise Custo-Volume-Lucro demonstra que é possível e necessário à segregação dos custos fixos e variáveis para efeitos de tomada de decisão e controle das atividades realizadas. Não obstante, foi possível evidenciar que a área disponível para o cultivo deve influenciar a decisão do investidor rural e não somente a análise entre receita e custo por hectare, além disso, possibilitou: i) a visualização da viabilidade econômica e financeira da atividade em diferentes sistemas de produção e diversificação; ii) a aferição do retorno do investimento dos tratamentos e; iii) validou a importância da segregação dos custos fixos e variáveis para a diversificação de culturas, uma vez que compartilhou-se praticamente da mesma estrutura tecnológica e mão-de-obra para ambas culturas, cana e soja. Ainda neste contexto, a extensão desta abordagem de custeio na propriedade rural contribui para o maior e melhor uso de uma técnica corrente na contabilidade, porém sem maiores adesões na agropecuária que, em razão dos anuários, tem o costume de ratear todos os custos fixos por hectare.

A proposição do modelo adaptado do CAPM para o cálculo do custo do capital próprio e a utilização do mercado Norte-Americano como referência demonstrou-se viável uma vez que há assimetria de mercado na definição dos preços das *commodities* no Brasil e pela falta de confiabilidade do uso do beta como medida de risco sistemático, divergindo-se também ao uso empírico da taxa mínima de atratividade estipulada em 10%. Além disso, constatou-se que o mercado Norte- Americano reflete com maior parcimônia a realidade do empreendimento rural canavieiro e sojicultor uma vez que o Brasil é o maior exportador de açúcar e soja do mundo e o segundo de etanol.

Em resposta ao primeiro objetivo do trabalho tem-se a importância da sustentabilidade dos sistemas agrícolas através da sucessão de culturas e da utilização de espécies de cobertura, constatado através da análise conjunta agrônoma-financeira. Verificou-se que sistemas de sucessão com duas safras de soja antecedendo a cana-de-açúcar se sobressaem econômica e financeiramente em detrimento a uma safra só de soja, tanto devido ao incremento na produtividade da cana e maior conservação do solo, quanto à amortização do elevado custo de implantação do canavial, favorecendo principalmente ambientes de produção do tipo C, considerados na literatura menos produtivos. Dentre as espécies de cobertura a serem plantada na entressafra da soja, a mais indicada é a crotalária. Um novo cenário para o setor, onde é usual o plantio de uma safra só de grãos nas áreas de reforma de canavial e a não utilização de

espécies de cobertura. Infere-se também que as produtividades de soja e cana da propriedade rural em todos os tratamentos encontram-se acima das médias estadual e nacional, dado ao histórico da propriedade rural na adoção de sistemas de sucessão.

A proposição do portfólio agrícola envolvendo soja e cana validada pela ferramenta ponto de equilíbrio, correspondente ao segundo objetivo do trabalho, traduz a importância da diversificação de culturas na geração de maiores retornos e menores riscos bem como traz a tona uma reflexão para os produtores rurais no que diz respeito à ampliação dos cultivos mediante somente as condições imediatas de mercado e a especialização em uma só atividade (cultura). Constatou-se que sistemas produtivos de 227,5 ha em monocultivo de soja ou cana não são capazes de suprir os custos econômicos da atividade, no entanto, quando há a diversificação por meio da teoria de Markowitz pautada nos sistema conservacionista de sucessão (soja/crotalária/soja/cana), com 44% da área com cana e 56% da área com soja além de se conseguir suprir os custos econômicos ainda gera-se melhor retorno, em decorrência principalmente da diluição dos custos fixos, uma vez que determinadas máquinas e implementos, além da mão-de-obra são destinados para ambas às atividades. Constatou-se também a combinação perfeita dos ativos cana e soja para composição do portfólio, pois tratam-se de ativos não-correlacionados, ou seja, seus *market movers* provavelmente são distintos.

Em conclusões secundárias, a diversificação no setor canavieiro traz uma maior atenção para os pequenos e médios produtores dado que o monocultivo de cana-de-açúcar se mostrou inviável economicamente para áreas de 227,5 ha, (além de ser uma prática agrônoma na contramão da sustentabilidade). E a viabilidade econômica, para áreas superiores a 100 ha na adoção de sistemas de sucessão com duas safras de soja e crotalária na entressafra em áreas de reforma de canavial. Justificando assim, o arrendamento das terras destes produtores rurais a terceiros, o maior endividamento destes, bem como a evasão da atividade, e a busca por alternativas como o arrendamento de terras de terceiros para o plantio de grãos, na possibilidade de diversificação e criação de valor para permanência na atividade canavieira.

A aplicação da TOR com a flexibilidade de plantio de soja dentro do ciclo produtivo da cana-de-açúcar, terceiro e último objetivo do trabalho, evidenciou a possibilidade de se reformar o canavial logo no segundo corte, antes mesmo do esgotamento da soqueira, sendo uma quebra de paradigma para o setor e postula-se de forma oposta aos estudos que apontam

que o ciclo da cana deve ser o mais longo possível como forma de diluir o investimento, tratando-se de um posicionamento recorrente dentre os produtores/empresários rurais. A probabilidade de reforma de canavial, na substituição por soja é de 15% no segundo corte, 53% no terceiro corte e mais de 75% no 3º e 4º corte.

As variáveis (incertezas) preço do ATR e produtividade em TCH abrangem de forma ampla as incertezas do cultivo de cana-de-açúcar, de forma a captar os riscos sistemáticos, dado pelo preço e não sistemáticos da atividade, dado pela variação da produtividade. Verificou-se que preço possui um peso maior que a produtividade, onde a manutenção do canavial ao invés de soja só é viável, se os preços do ATR estiverem altos, uma vez que, mesmo em combinações de produtividades médias baixas, porém com preços altos compensa-se manter o canavial sendo este padrão de comportamento observado em todo ciclo produtivo da cana. No entanto, as maiores probabilidades de ocorrência de eventos encontram-se na combinação de preço e produtividade média.

De forma secundária a estes resultados se confirma a importância da diversificação de culturas na propriedade rural canavieira com outro ativo de correlação negativa, como a soja, assim como proposto no trabalho, de forma, a minimizar o risco sistemático do empreendimento o qual o produtor rural está exposto e não possui controle.

Esta flexibilidade de se produzir soja no decorrer do ciclo produtivo da cana-de-açúcar a partir do 2º corte da cana gerou um incremento de 23,2% no Fluxo de Caixa da propriedade rural e demonstrou-se uma ferramenta inovadora para tomada de decisão do produtor rural em relação ao período de reforma de canavial, trazendo uma nova realidade e dinamismo para atividade. Onde apesar da reforma antecipada acarretar em um maior custo inicial, se traduz em um maior retorno para safra seguinte e acréscimo significativo no Fluxo de Caixa da propriedade.

Infere-se também sobre a importância da utilização da TOR neste contexto, onde é comprovado que a reforma de canavial não deve somente ser atrelada ao declínio da produtividade, como frequentemente é aferida, mas também aliada as condições de mercado. E corroborando com a literatura que emprega a TOR no setor agrícola, a ponderação nas combinações de variáveis e simulação de situações, dado as incertezas que acercam o ambiente agrícola, só é possível com a utilização das opções reais em detrimento a metodologia estática do FCD, recorrente no setor.

Em conclusões complementares a aplicação da TOR com a opção troca de cultura no decorrer do ciclo da cana reflete também na: (i) potencialização da diversificação de culturas dentro da propriedade rural canavieira, o que pode acarretar tanto em maiores benefícios econômicos como agrônômicos também; (ii) repercute numa menor concorrência entre culturas alimentares e energéticas, uma vez que a rotação de culturas com cana-de-açúcar pode ocorrer de forma antecipada; (iii) reduz o risco da atividade, onde o produtor rural tem uma maior flexibilização para obtenção de melhores retornos

Por fim, pode-se concluir que a diversificação de culturas na propriedade rural canavieira é preponderante para sustentabilidade financeira e agrônômica do empreendimento, de forma, a criar valor em vista o longo prazo, sem perdas produtivas, o que reporta também a importância da análise conjunta dos pressupostos e evidências financeiras e agrônômicas para tomada de decisão.

## 5.1 Contribuições Gerenciais

Esta pesquisa traz evidências reais da atividade rural canavieira a fim de suprir determinados questionamentos gerenciais do produtor/empresário rural e inferir sobre determinadas práticas recorrentes na atividade por meio de métodos e ferramentas financeiras inovadoras para o setor, aplicadas de acordo com os preceitos da engenharia agrícola.

Verifica-se que a tomada de decisão do produtor rural canavieiro da região de Jaboticabal/SP pauta-se no conhecimento empírico, no conhecimento agrônômico somente e/ou por meio de metodologias financeiras não muito adequadas, assim como proposta por Matsunaga *et al.*, (1976) e pela CONAB e/ou, por indicadores financeiros, a exemplo, dos Agrarianuais.

Os dois principais questionamentos e práticas do produtor rural canavieiro inferem sobre a diversificação da propriedade: i) Qual época ideal da reforma de canavial? Comumente facultada ao final do ciclo produtivo da cana-de-açúcar (4 a 6 anos); ii) Qual cultura plantar na área de reforma de cana ? E por quantas safras conduzir? Onde usualmente planta-se soja ou amendoim e se conduz por apenas uma safra e; iii) Com quais culturas diversificar a propriedade canavieira? Onde é recorrente o cultivo de soja e amendoim, com predomínio, em maior proporção, de cana-de-açúcar dada a maior propensão do produtor

rural brasileiro em decidir seu portfólio mediante as condições de mercado atuais e de se especializar em uma cultura só, além da maior facilidade de manejo da cultura da cana em detrimento a cultura de grãos.

Os resultados desta pesquisa trazem uma nova perspectiva para o setor quando demonstram alternativas para potencializar os retornos da atividade utilizando-se da mesma estrutura produtiva e práticas conservacionistas de uso do solo, como:

- i) O plantio de duas safras de soja e plantio de crotalária na entressafra em áreas de reforma de canavial, como melhor opção agrônômica (no que diz respeito à conservação do solo) e econômica (maior retorno do investimento) - aferida a partir da metodologia de custeio pela análise CVL em detrimento a metodologia de rateio usual na área agrícola, e também a partir do FCD pela metodologia do VPL;
- ii) A diversificação da propriedade canavieira, repercutindo numa menor proporção do cultivo de cana e maior de soja – mediante a teoria do portfólio com aporte a ferramenta de custeio ponto de equilíbrio, pouco exploradas na área agrícola. Denotando um cenário agrícola novo principalmente para região de Jaboticabal/SP, predominantemente canavieira.
- iii) Por último mediante a análise do período ideal de reforma de canavial correlacionando-o a opção do cultivo de soja – através da aplicação da teoria das opções reais de forma inusitada para o setor canavieiro “da porteira para dentro”. Trata-se também de uma quebra de paradigma uma vez que em determinadas condições de mercado e produtivas a reforma do canavial pode ser realizada a partir do 2º corte, onde atualmente ocorre somente em decorrência do esgotamento da soqueira, a partir do 4º e 6º corte. Opondo-se assim a premissa de que se deve alongar o ciclo da cana-de-açúcar a fim de diluir o elevado custo com sua implantação e opondo-se também a alegação de que a reforma do canavial perfaz sobre o declínio da produtividade, comumente estabelecido em valores inferiores a 70 e 90 TCH.

Além disso, as metodologias aplicadas nesta pesquisa podem ser empregadas em diferentes contextos, pequenos, médios e grandes produtores, e em diferentes estruturas produtivas, auxiliando o produtor rural no gerenciamento de seu empreendimento e na tomada de decisão quanto: Qual cultura plantar? Quanto plantar? Como plantar (qual manejo, insumos e pacote tecnológico utilizar)? E no planejamento de novos investimentos.

## 5.2 Limitações e Trabalhos Futuros

Como trabalho pioneiro na aplicação da TOR em sistemas diversificados com cana-de-açúcar esta pesquisa possui limitações vistas como oportunidades para trabalhos futuros. Como por exemplo, da inserção de variáveis climáticas e da variação da quantidade de ATR para cana-de-açúcar, na opção troca de cultura bem como, a modelagem do preço e produtividade da soja e a alocação da opção de troca com mais culturas, como o amendoim.

Denota-se também a importância de estabelecerem-se modelos que retratem com maior afinco o retorno ajustado ao risco no mercado de *commodities*, visto que, não há um consenso na literatura e há escassez de estudos específicos para este tipo de mercado, onde por convenção comumente utiliza-se uma taxa mínima de atratividade de 10%.

Outra limitação, porém de ordem prática é a dificuldade do produtor rural em antecipar a reforma do canavial, uma vez que, necessita de mais capital para realizar um novo investimento, no entanto, depois de realizado o investimento seu fluxo de caixa será ampliado. Deste modo, verifica-se que se trata mais de uma questão de ordem gerencial e de planejamento o que implica na importância da abordagem destes temas em trabalhos científicos para o setor e o trabalho de extensão das informações geradas e também trabalhos relacionados a finanças comportamentais.

## REFERÊNCIAS

ADUSUMILLI, N.; DAVIS, S.; FROMME, D. Economic evaluation of using surge valves in furrow irrigation of row crops in Louisiana: A net present value approach. **Agricultural Water Management**, v. 174, n. 1, p. 61-65, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.024>.

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Informa Economics, 2015. 201-240 p.

ALVES, E.; SOUZA, G. S.; ROCHA, D. P. Lucratividade da Agricultura. **Política Agrícola**, Brasília, v. 2, n. 2, p. 45-62, 2012.

AMBROSANO, E. J.; FOLTRAN, D. E.; CAMARGO, M. S.; ROSSI, F. Mass and nutrient accumulation by green manures and sugarcane plant yield grown in. **Revista Brasileira de Agroecologia**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 199-209, 2013. DOI: 10.5772/53825

AMBROSANO, E. J.; CANTARELA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SHAMMAS, E. A.; DIAS F. L. F.; ROSSI, F. Produtividade de cana-de-açúcar m ciclos agrícolas consecutivos após pré cultivo de adubos verdes. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 89, n. 3, p. 232-251, 2014.

ASSAF NETO, A. **Finanças Cooperativas e Valor**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

BAIDYA, T. K. N.; CASTRO, A. D. L. Convergência dos modelos de árvores binomiais para avaliação de opções. **Pesquisa Operacional**, [S.l.], v. 21, n. 1, p. 17-30, 2001.

BARBOSA, R. M.; HOMEM, B. F. M.; TARSITANO, M. A. A. Custo de produção e lucratividade da cultura do amendoim no município de Jaboticabal, São Paulo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 4, p. 475-481, 2014. DOI: 10.1590/0034-737X201461040005.

BARETTA, D.; BARTZ, M. L. C.; FACHINI, J.; ANSELMINI, R. Z.; ZORTÉA, T.; BARETTA, C. R. D. M. Soil fauna and its relation with environmental variables in soil management systems. **Revista Ciências Agrônômica**, Fortaleza, v. 45, n. 5, p. 871-879, 2015. DOI: 10.1590/S1806-66902014000500002.

BARTOLINI, F.; VIAGGI, D. An analysis of policy scenario effects on the adoption of energy production on the farm: A case study in Emilia – Romagna (Italy). **Energy Policy**, [S.l.], v. 51, p. 454 – 464, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.08.043>

BECK, S. Autoregressive Conditional Heteroscedasticity in Commodity Spot Prices. **Journal of Applied Econometrics**, v. 16, n. 2, p. 115-32, 2001. DOI: 10.1002/jae.591

BERNARD, J. T.; KHALAF, L.; KICHIAN, M.; MCMAHON, S. Forecasting Commodity Prices: GARCH, Jumps, and Mean Reversion. **Bank of Canada, Working Paper**, [S.l.], v. 14, 2006.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.58, p. 555-560, 2001.

BEZABIH, M.; SARR, M. Risk Preferences and Environmental Uncertainty: Implications for Crop Diversification Decisions in Ethiopia. **Environmental Resource Economic**, [S.l.], v. 53, n. 3, p. 483-505, 2012. DOI: 10.1007/s10640-012-9573-3.

BLACK, F.; SCHOLLES, M. The pricing of options and corporate liabilities. **Journal of Political Economics**, Chicago, v. 81, n. 3, p. 637-654, 1973.

BLANDINO, M.; VACCINO, P.; REYNERI, A. Late-Season nitrogen increases improve common and durum wheat quality. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 2, p. 680-690, 2015. doi:10.2134/agronj14.0405.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.9, p.1269-1276, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000700005>

BOLONHEZI, D.; MUTTON, M. A.; MARTINS, A. L. M. Sistemas conservacionistas de manejo de solo para amendoim cultivado em sucessão à cana crua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 7, p. 939-947, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000700005>

BONACIM, C. A.; NARDI, D. C.; SILVA, R. L.; CRUZ, R. J.; BONIZIO, R. C.. Investment projects in agribusiness: cost-volume-profit analysis considering. **Custos e @gronegócios on line**, Recife, v. 9, n. 1, p. 27-48, 2013.

BORBA, M. M. Z.; BAZZO, A. M. **Estudo econômico do ciclo produtivo da cana-de-açúcar para reforma de canavial, em área de fornecedor do Estado de São Paulo**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 47., 26-30 jul. 2009, Porto Alegre, RS,. Anais... Porto Alegre: SOBER, 2009.

BORDONAL, R. D. O.; FIGUEIREDO, E. B. D.; LA SCALA JÚNIOR, N. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest, considering other conservationist management practices. **Global Change Biology Bioenergy**, v. 4, n. 1, p. 846-858, 2012. doi: 10.1111/j.1757-1707.2012.01193.x.

BORGES, W. L. B. et al. Use of nitrogen in the soybean production system on straw sugarcane. **Nucleus**, v. 10, n. 1, p. 57-66, 2013.

BOYCE, D. S. To determine the most profitable number of sugar cane crops between replantings. **Sugar & Azucar**, v. 63, n. 1, p. 32-33, 1968.

BRAGA JUNIOR, R. L.; OLIVEIRA, I. A.; RAIZER, A. J. Evolução das áreas cultivadas com variedades de cana-de-açúcar no Brasil nos últimos vinte anos. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 30, n. 1, p. 01-03, 2011.

BRANDÃO, L. E.; DYER, J. S. Projetos de Opções Reais com Incertezas Correlacionadas. **BASE – Revista de Administração e Contabilidade da Unisinos**, São Leopoldo, v. 6, n. 1, p. 10-26, 2009. DOI:10.4013/base.2009.61.02.

BREALEY, R. A.; MYERS, S. C.; MARCUS, A. J. **Fundamentos da Administração Financeira**. 3. ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill Irwin, 2002.

BRENNAN, M. J.; SCHWARTZ, E. S. Evaluating Natural Resource Investments. **Journal of Business**, v. 58, n. 2, p. 135-157, 1985.

BROTHERSON, W. T.; EADES, K. M.; HARRIS, R. S.; HIGGINS, R. C. “Best Practices” in Estimating the Cost of Capital: An Update. **Journal of Applied Finance**, [S.l.], v. 23, n. 01, p. 1-19, 2013.

CALLADO, A. L. C.; ALBUQUERQUE, J. L.; SILVA, A. M. N. D. Análise da relação custo/volume/lucro na agricultura familiar: o caso do consórcio mamona/feijão. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 3, n. 1, p. 38-60, 2007.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Least limiting water range in soil under crop rotations and chiseling. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 759-771, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000300012.

CASTRO, L. M.; CALVAS, B.; HILDEBRANDT, P.; KNOKE, T. Avoiding the loss of shade coffee plantations: how to derive conservation payments for risk-averse land-users. **Agroforest Systems**, [S.l.], v. 87, n. 05, p. 331–347, 2013. DOI: 10.1007/s10457-012-9554-0

CASTRO, L. M.; CALVAS, B.; KNOKE, T. Ecuadorian Banana Farms Should Consider Organic Banana with Low Price Risks in Their Land-Use Portfolios. **PLOS One**, v. 23, n. 02, p. 1-23, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0120384

CAVALCANTE, E. P.; PRADO, H. D. Ambientes de Produção de cana-de-açúcar de latossolos da região de Araxá-MG. **Nucleus**, Ituverava, v. 7, n. 2, p. 115-124, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.3738/nucleus.v7i2.353>

CEPEA. PIB do Agronegócio Brasileiro. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada**, setembro 2016. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 02 dezembro 2016.

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Embrapa. Brasília, p. 307. 2004.

CLEMENTE, A.; GUTERVIL, C.; TAFFAREL, M. Projeção e aferição de custos nas propriedades rurais familiares do Centro-Sul do Paraná. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 6, n. 1, p. 39-59 2010.

CNA. Boletim PIB Agricultura. **Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil**, julho 2016. Disponível em: <<http://www.cnabrazil.org.br/boletins/boletim-pib-agricultura-sustenta-crescimento-do-pib-do-agronegocio-julho-2016>>. Acesso em: 02 dezembro 2016.

COLLIER, B. A Sustainable Management Package for Triticale in the Western Canadian Prairies. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 2, p. 546-554, 2013. doi:10.2134/agronj2012.0314.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar**. Companhia Nacional de Abastecimento. [S.l.], p. 72. 2016. (ISSN: 2318-7921).

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira grãos**. Companhia Nacional de Abastecimento. [S.l.], p. 156. 2016. (ISSN: 2318-6852).

CONSECANA. Regulamento Consecana. **Consecana**, 2017. Disponível em: <<http://www.consecana.com.br/regulamento.asp>>. Acesso em: 04 jan. 2017.

- COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Real Options**. Nova York: Texere LLC, 2001. 372 p.
- CORRÊA, R. G. D. F.; KLIEMANN NETO, F. J.; DENICOL, J. Revisão de proposições para a gestão econômico-financeira de sistemas produtivos agropecuários: a inter-relação entre fluxo de caixa, sistemas de custos e recursos compartilhados. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 12, n. 1, p. 113-141, 2016.
- COSTA, F. P.; ALMEIDA, R. G.; PEREIRA, M. A.; KICHEL, A. N.; MACEDO, M. C. M. Avaliação econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS PARA PRODUÇÃO PECUÁRIA SUSTENTÁVEL, 8, 2012, Belém. **Anais...** Belém: UFPA: Belém, 2012. p. 523-527.
- COX, S.; ROSS, S.; RUBINSTEIN, M. Option pricing: a simplified approach. **Journal of Financial Economics**, [S.l.] v. 7, n. 01, p. 229-264, 1979. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-405X\(79\)90015-1](http://dx.doi.org/10.1016/0304-405X(79)90015-1)
- CRNČAN, A.; RANOGAJEC, L. Possibilities of applying real options in assessment of economic feasibility of investments in agricultural production. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC/PROFESSIONAL CONFERENCE AGRICULTURE IN NATURE AND ENVIRONMENT PROTECTION. 8, 2015, Vukovar, Anais eletrônicos... Vukopar. 2015. p. 191-196.
- DA, Z.; GUO, R.; JAGANNATHAN, R. CAPM for estimating the cost of equity capital: interpreting the empirical evidence. **Journal of Financial Economics**, v. 103, n. 1, p. 204-220, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfineco.2011.08.011>
- DAMODARAN, A. **Avaliação de Investimentos**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.
- DAROLT, M.R. Princípios para manutenção e implantação do sistema. In: DAROLT, M.R. Plantio direto: pequena propriedade sustentável. Londrina: IAPAR, 1998. p. 16–45 (circular 101).
- DAVIS, J.; GOLDBERG, R. A Concept of Agribusiness. **Journal of Marketing**, [S.l.], v. 22, n. 2, p. 221-222, 1957.
- DEMATTÊ, J. A. M.; DEMATTÊ, J. L. I.; ALVES, E. R.; BARBOSA, R. N.; MORELLI, J. L.. Precision agriculture for sugarcane management: a strategy applied for brazilian conditions. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 36, n. 1, p. 111-115, 2014. DOI: 10.4025/actasciagron.v36i1.17664.
- DERPSCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, V. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 1991. 272p.
- DIAS, A. C. A. D. M. et al. Flexibility and uncertainty in agribusiness projects: investing in a cogeneration plant. **RAM. Revista de Administração Mackenzie**, São Paulo, v. 12, n. 4, p. 105-126, 2011. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-69712011000400005>.
- DILL, R. P.; SOUZA, F. C. D.; BORBA, J. A. Uma proposta de um modelo de otimização do portfólio para culturas de verão. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 6, n. 3, p. 90-110, 2010.
- DINARDO-MIRANDA, L. L. Rotação soja-cana e nematóides. **Revista STAB**, Piracicaba, v. 19, n. 4, p. 1-17, 2001.

- DIXT, A.; PINDYCK, R. S. **Investment under uncertainty**. Princeton: Princeton University, 1994.
- DRAGICEVIC, A.; LOBIANCO, A.; LEBLOIS, A. Forest planning and productivity-risk trade-off through the Markowitz mean-variance model. **Forest Policy and Economics**, v. 64, n. 1, p. 25-34, 2016. doi: <http://doi.org/10.1016/j.forpol.2015.12.010>.
- DU, X.; HENNESSY, D. **The Planting Real Option in Cash Rent Valuation**. Center for Agricultural and Rural Development, Iowa, v. 44, n. 6, p. 765 - 776, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00036846.2010.522524>
- DUARTE JÚNIOR, J. B.; COELHO, F. C. Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 723-732, 2008. DOI: 10.1590/S0006-87052008000300022
- EMBRAPA. A cultura da soja. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Soja**, 2007. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja>>. Acesso em: 04 jan. 2017.
- EMBRAPA. Árvore do conhecimento cana-de-açúcar. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2010. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar>, Acesso em: 18 dez. 2016.
- ERASMO, E. A. L.; AZEVEDO, W. R.; SARMENTO, R. A. Potencial de espécies utilizadas como adubo verde no manejo integrado de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 337-342, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582004000300002>.
- ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. **Estratégias para utilização de leguminosas para adubação verde em unidades de produção agroecológica**. 1, ed. Rio de Janeiro: Embrapa - Agrobiologia. 2004.
- ESTRADA, J. Mean-semivariance optimization: A heuristic approach. **Journal of Applied Finance**, v. 18, n. 1, p. 157-172, 2008. doi: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1028206>.
- FAMA, E. F.; MACBETH, J. D. Risk, return and equilibrium: Empirical tests. **Journal of Political Economy**, Chicago, v. 81, n. 03, p. 607-636, 1973. DOI: 10.1086/260061.
- FAO. OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2015-2024. **FAO**, 2015. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/download/PA20142015CB.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2015.
- FERNANDES, A.C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. STAB, Piracicaba, v 2, n. 1, p. 10-15, 2003.
- FERNANDES, C.; CORÁ, J. E.; MARCELO, A. V. Soil uses in the sugarcane fallow period to improve chemical and physical properties of two Latosols (Oxisols). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 283-294, 2012. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100029>.
- FERREIRA FILHO, J. B. D. S.; HORRIDGE, M. Ethanol expansion and indirect land use change in Brazil. **Land Use Policy**, v. 36, n. 1, p. 595-604, 2014. doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.10.015>.

FIGUEIRA, S. R. F.; BORGES, A. C. G. **Conjuntura socioeconômica e ambiental do Município de Jaboticabal**. 3ª. ed. Jaboticabal: Funep, 2014. 92 p.

FONSECA, E. V. D. N. **Comparação entre simulações pelo Movimento Geométrico Browniano e Movimento de Reversão à Média no cálculo do Fluxo de Caixa at Risk do departamento de downstream de uma empresa de petróleo**. 2006. 82f. Dissertação (Mestrado em Administração), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto COOPEAD de Administração, Rio de Janeiro, p. 82. 2006.

FRANCISCO, M. L. **A importância da flexibilidade gerencial: análise de investimento usando a teoria das opções reais na planta GTL**. 2007. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial), Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, p. 137. 2007.

FRANCO, C.; MATHEUS, A. da S.; ANUNCIATTI, K. M.; GUZATI, N. C. Costs profitability in agriculture: a multicase study in soybean production. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 11, n. 4, p. 167-188, 2015.

FREY, G. E.; MERCER, D. E.; CUBBAGE, F. W.; ABT, R. C. A real options model to assess the role of flexibility in forestry and agroforestry adoption and disadoption in the Lower Mississippi Alluvial Valley. **Agricultural Economics**, [S.l.], v. 44, n. 01, p. 73–91, 2013. DOI: 10.1111/j.1574-0862.2012.00633.x.

GAMEIRO, A. H.; ROCCO, C. D.; CAIXETA FILHO, J. V. Linear programming in the economic estimate of livestock-crop integration: application to a Brazilian dairy farm. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 4, p. 181-189, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-92902016000400006>.

GASPAR, B. C.; SANTOS, D. F. L.; RODRIGUES, S. V. Risco versus retorno das ações do setor imobiliário da BM&FBovespa no período de 2009 a 2012. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa - RECADM**, Maringá, v. 13, n. 3, p. 316-338, 2014. DOI: 10.5329/RECADM.2014021.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GILBERT, R. A. et al. Sugarcane response to mill mud, fertilizer and soybean nutrient sources on a sandy soil. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 3, p. 845-854, 2007. doi: 10.2134/agronj2007.0247.

GONÇALVES, E. D. L.; FERREIRA, L. L. Flexibilidade na utilização de Diesel ou Biodiesel: uma abordagem via Opções Reais. **BBR - Brazilian Business Review**, Vitória, v. 5, n. 3, p. 229-243, 2008.

GONÇALVES, R. M. L. **Condicionantes do risco de liquidez em cooperativas de economia e crédito mútuo do estado de Minas Gerais**. 2005. 118f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Programa de pós-graduação em Economia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, p. 118. 2005.

GRAHAM, J. R.; LEARY, M. T. A Review of Empirical Capital Structure Research and Directions for the Future. **Annual Review of Financial Economics**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 309-345, 2011. DOI: 10.1146/annurev-financial-102710-144821

HEUMESSER, C.; FUSS S.; SZOLGAYOVÁ, J.; STRAUSS, F.; SCHMID, E. Investment in Irrigation Systems under Precipitation Uncertainty. **Water Resources Management**, [S.l.], v. 26, p. 3113–3137, 2012. DOI: 10.1007/s11269-012-0053-x.

HIN, L.; MOEUK, S.; SUOS, C. Economic Analysis of Small-scale Pumping Machines Operated in Rice Production in Chum Kiri District, Kampot, Cambodia. **International Journal of Environmental and Rural Development**, Tokyo, Japan, v. 7, n. 1, p. 83-89, 2016.

HULL, J. C. **Options, Futures and Other Derivatives**. Nova Jersey: Prentice Hall, Englewood, 1997.

IBGE. Censo Agropecuário. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/>>. Acesso em: 6 dez. 2015.

IBGE. Área territorial brasileira. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2011. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default\\_territ\\_area.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm)>. Acesso em: 13 dez. 2016.

IEA. Estatística da Produção Paulista. **IEA - Instituto de Economia Agrícola**, 2015. Acesso em: 01 set. 2016.

IEA. O Setor Sucroenergético no Brasil em 2015. **Instituto de Economia Agrícola**, 2015. Disponível em: <<http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=14209>>. Acesso em: 03 dez. 2016.

IEA. Setor agropecuário é o único a apresentar crescimento no número de empregos em 2015. **Instituto de Economia Agrícola**, dezembro 2016. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14217>>. Acesso em: 02 dezembro 2016.

IEA, I. D. E. A. Cana-de-açúcar. **Ciagri**, 2015. Disponível em: <<http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/cadeia/cadeiaCana.aspx>>. Acesso em: 8 Abril 2016.

INCRA. Lei Nº 8.629, DE 25 de fevereiro de 1993. **Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária**, 2014. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/institucional/legislacao--/legislacao-federal/leis/file/29-lei-n-8629-25021993>>. Acesso em: 10 dez. 2015.

KASEM, S.; THAPA, G. B. Crop diversification in Thailand: Status, determinants, and effects on income and use of inputs. **Land Use Policy**, [S.l.], v. 28, n. 3, p. 618-628, 2011. DOI: 10.1016/j.landusepol.2010.12.001

KEERTHIPALA, A. P.; DHARMAWARDENE, N. Determination of optimal replanting cycles for sugarcane production in Sri Lanka. **Sugar Tech**, v. 2, n. 3, p. 9-19, 2000. doi:10.1007/BF02945751.

KHALAF, L.; SAPHORES, J. D.; BILODEAU, J. F. Simulation-Based Exact Jump Tests in Models with Conditional Heteroskedasticity. **Journal of Economic Dynamic and Control**, [S.l.], v. 28, n. 01, p. 531-553, 2003.

KHALID, H. Understanding land idling a strategic behaviour: a real options approach. **Agricultural Economics**, [S.l.], v. 12, n. 05, p. 1-10, 2013.

- KOMAREK, A. M.; LI, L.; BELLOTTI, W. D. Whole-farm economic and risk effects of conservation agriculture in a crop-livestock system in western China. **Agricultural Systems**, Sydney, v. 137, n. 01, p. 220-226, 2015. DOI: 10.1016/j.agsy.2014.10.013.
- LACERDA, J. J. D. J.; RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; CONCEIÇÃO, C. H.; PRATES, O. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. **Revista Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 9, p. 769-778, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000900005.
- LEANDRO, H. M.; ASMUS, G. L. Crop rotation and crop sequences for the management of the reniform nematode in area of soybean production. **Tropical Plant Pathology**, [S.l.], v. 46, n. 6, p. 945-950, 2015. DOI: 10.1590/0103-8478cr20130526.
- LEÓN-HERRERA, A.; MARTÍNEZ-DAMIÁN, M. Á.; GARZA-BUENO, L. E. Comparison of the approaches mean-variance and mean-semivariance to choose an agricultural portfolio. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, Mexico, v. 21, n. 1, p. 71-80, 2015. doi: 10.5154/r.rchsh.2014.04.020.
- LI, Y.; TSENG, C.-L.; HU, G. Is now a good time for Iowa to invest in cellulosic biofuels ? A real options approach considering construction lead times. **International Journal Production Economics**, [S.l.], v. 167, n. 01, p. 97-107, 2015. DOI: 10.1016/j.ijpe.2015.05.019.
- LIMA, J. D. D.; ALBANO, J. C. da S.; OLIVEIRA, G. A.; TRENTIN, M. G.; BASTITIUS, D. R. Revisão de proposições para a gestão econômico-financeira de sistemas produtivos agropecuários: a inter-relação entre fluxo de caixa, sistemas de custos e recursos compartilhados. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 12, n. 1, p. 113-141, 2016.
- LINTNER, J. Security Prices, Risk, and the Maximal Gains from Diversification. **Journal of Finance**, [S.l.], v. 20, n. 4, p. 587-615, 1965. DOI: 10.1111/j.1540-6261.1965.tb02930.x.
- LIVIGSTON, M.; ROBERTS, M. J.; ZHANG, Y. Optimal sequential plantings of corn and soybeans under price uncertainty. **Agricultural and Applied Economics Association**, [S.l.], v. 97, n. 3, p. 855-878, 2015. DOI: 10.1093/ajae/aau055.
- LUEHRMAN, T. A. Investment opportunities as real options: getting started on the numbers. **Harvard Business Review**, Boston, v. 76, n. 4, p. 51-67, 1998.
- MACEDO, M. A. S. Estudo da viabilidade econômico-financeira de projetos que utilizam gerenciamento de restrições. In: **SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS**, 6, 2003, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 2003, p. 32-47.
- MACHADO, F. H.; MATTEDI, A. P.; DUPAS, F. A.; SILVA, L. F.; VERGANA, F. E. Estimating the opportunity costs of environmental conservation in the Feijão River watershed (São Carlos-SP, Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 76, n. 1, p. 28-35, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.08614>.
- MAESTRE-VALERO, J. F.; MARTIN-GORRIZ, B.; ALARCON, J. J.; NICOLAS, E.; OKAWA, H.; PREDROSO, I. A. Economic feasibility of implementing regulated deficit irrigation with reclaimed

water in a grapefruit orchard. **Agricultural Water Management**, [S.l.], v. 178, n. 01, p. 119-125, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.09.019>.

MAPA. Gestão Estratégica - Valor Bruto da Produção. **Ministério da Agricultura e Pecuária**, julho 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/ministerio/gestao-estrategica/valor-bruto-da-producao>>. Acesso em: 02 dez. 2016.

MAPA. **Produto Bruto Interno da agropecuária deve ser de R\$ 1,1 trilhão.**, 2014. Disponível em: <[www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2014/12/produto-interno-bruto-da-agropecuaria-deve-ser-de-rs-1-trilhao](http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2014/12/produto-interno-bruto-da-agropecuaria-deve-ser-de-rs-1-trilhao)>. Acesso em: 11 Novembro 2015.

MAPA. **Zoneamento Agrícola.**, 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/zoneamento-agricola>. Acesso em: 20/06/2017.

MARECO, J. M. **Otimização dinâmica sob condições de incerteza na produção de petróleo.** In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 44, 2001, Campos do Jordão. Anais eletrônicos... Campos do Jordão: SBPO, 2001, p. 56-69.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 232-239, 2013.

MARIN, F.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J. A stochastic method for crop models: including uncertainty in a sugarcane model. **Agronomy Journal**, v. 109, n. 2, p. 483-495, 2016. doi: 10.2134/agronj.2016.02.0103.

MARKOWITZ, H. Portfolio selection. **Journal of Finance**, [S.l.], v. 7, n. 1, p. 77-91, 1952. DOI: 10.1111/j.1540-6261.1952.tb01525.x

MARKOWITZ, H. Portfolio theory: as I still see it. **Annual Review Financial Economics**, [S.l.], v. 2, p. 1-23, 2010. DOI: 10.1146/annurev-financial-011110-134602

MARTHA-JÚNIOR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Dimensão econômica de sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v. 10, n. 46, p. 1117-1126, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000002>.

MARTINS, E. Contabilidade de Custos. São Paulo: Atlas, 1998.

MARTINS, C. M. F. **Opções reais e diversificação no produção agrícola: determinação dos limites de entrada/saída e valoração de opções em conversão de investimento em lavoura de culturas temporárias.** 2009. 230f. Tese (Doutorado em Administração), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P. F.; TOLEDO, P. E. N.; DULLEY, R. D.; OKAWA, H.; PEDROSO, I. A. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, n. 01, p. 123-139, 1976.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; JR, G. B. M. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e época de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162001000200012>.

MENESES, T. N.; RESENDE, R. S. Influência de épocas de plantio na eficiência do uso da água da chuva em cultivos de cana irrigada. **Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, Botucatu, n. Especial, p. 291-305, 2016.

MERTON, R. Option pricing when underlying stock returns are discontinuous. **Journal of Financial Economics**, [S.l.], v. 3, n. 1-2, p. xx-xx, 1973. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-405X\(76\)90022-2](http://dx.doi.org/10.1016/0304-405X(76)90022-2)

MERTON, R. C. An intertemporal capital asset pricing-model. **Econometrica**, [S.l.], v. 41, n. 5, p. 867-887, 1973. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-405X\(76\)90022-2](http://dx.doi.org/10.1016/0304-405X(76)90022-2)

MILLER, L. T.; PARK, C. S. Decision Making under uncertainty – Real Options to the Rescue? **The Engineering Economist**, [S.l.], v. 47, n. 2, p. 105-150, 2002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00137910208965029>.

MOREIRA, M. G.; BOIZIO, R. C. Análise comparativa dos custos de cana-de-açúcar: produção independente x usina de açúcar e álcool. **Custos e @gronegocio**, Recife, v. 8, n. 2, p. 84-99, 2012.

MORITZ MAACK, S. C. M. O. M. The Impact of Price Floors -A Real Options Based Experimental Approach. **Australian Agricultural & Resource Economics Society**, Freemantle, v. 7, n. 10, p. 1-25, 2012.

MUSSHOFF, O. Growing short rotation coppice on agricultural land in Germany: A Real Options Approach. **Biomass and Bioenergy**, [S.l.], v. 41, n. 01, p. 73-85, 2012. DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.02.001

MUSSHOFF, O.; ODENING, M.; SCHADE, C.; MAART-NOELCK, S. C.; SANDRIS, S. Inertia in disinvestment decisions: experimental evidence. **European Review of Agricultural Economics**, Oxford, v. 40, n. 3, p. 463-485, 2013. DOI: 10.1093/erae/jbs032.

MYERS, S. Determinants of capital borrowing. **Journal of Financial Economy**, [S.l.], v. 5, n. xx, p. 147-175, 1987. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-405X\(77\)90015-0](http://dx.doi.org/10.1016/0304-405X(77)90015-0).

NADOLNYAK, D.; MIRANDA, M. J.; SHELDON, I. Genetically modified crops as real options: Identifying regional and country-specific differences. **International Journal of Industrial Organization**, cidade, v. 29, n. 01, p. 455-463, 2011. DOI: 10.1016/j.ijindorg.2010.08.007.

NARDELLI, P. M.; MACEDO, M. A. D. S. Análise de um Projeto Agroindustrial Utilizando a Teoria de Opções Reais: a opção de adiamento. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 49, n. 4, p. 941-966, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032011000400006>.

NASCIMENTO, C. D.; ESPEJO, M. M. D. S. B.; PANUCCI-FILHO, L. A análise custo-volume-lucro em meio à gestão do processo produtivo na sericultura: estudo de caso. **Custos e @gronegocio on line**, Recife, v. 6, n. 2, p. 131-162, 2010.

NAVARRETE, E. Modeling optimal pine stands harvest under stochastic wood stock and price in Chile. **Forest Policy and Economics**, [S.l.], v. 15, n. 01, p. 54-59, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2011.09.005>

NOVAK, J. Systematic Risk Changes, Negative Realized Excess Returns and Time-Varying CAPM Beta\*. **Finance a Uver**, [S.l.], v. 65, n. 2, p. 167-190, 2015.

OADES, J.M., Soil organic matter and structural stability: Mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.76, p.319 – 337, 1984.

OLIVEIRA, A. F.; PEREIRA, C. N.; VIEIRA, P. A. Análise da rotação de grãos em área de reforma de canavial. In: CONGRESSO DA SOBER - SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 50, 2012, Vitória, **Anais eletrônicos... SOBER**: Vitória: 2012, p. 34-42.

OLIVEIRA, F. M. D.; AGUILAR, P. B. D.; TEIXEIRA, M. F. F. Características agrotecnológicas de cana-de-açúcar em diferentes épocas de supressão de irrigação e níveis de adubação. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1587-1606, 2014. DOI: 10.5433/1679-0359.2014v35n3p1587.

OLIVEIRA, R. J. D.; PAMPLONA, E. O. A volatilidade de projetos industriais para uso em análise de risco de investimentos. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 19, n. 2, p. 337-345, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2012000200008>.

OLIVEIRA-FILHO, S. F. S.; MELO, A. de S.; XAVIER, L. F.; SOBEL, T. F.; COSTA, E. de F.. Adoção de Estratégias para Redução de Riscos: identificação dos determinantes da diversificação produtiva no Polo Petrolina-Juazeiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 52, n. 1, p. 117-138, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032014000100007>.

OLORTEGUI, J. A. C.; MARÇAL, E. F.; MARTIN, D. M. L. Avaliação De Áreas Agrícolas Através De Uma Abordagem De Opções Reais Por Simulação De Monte Carlo Com Mínimos Quadrados Ordinários. ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA - ANPAD. 36, 2012. Anais eletrônicos... ANPAD: Rio de Janeiro, 2012. p. 1-15.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M. V.; BERGAMASCHINE, A. F.; MELLO, L. M. M. de; LIMA, R. C.. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 875-882, 2011.

PEDROSA, B. C.; SOUZA, T. C. L. D.; TURETTA, A. P. D. sess Feasibility Asment of Sugarcane Expansion in Southwest Goiás, Brazil Based on the GIS Technology. **Journal of Geographic Information System**, v. 8, n. 1, p. 149-162, 2016. doi: <http://dx.doi.org/10.4236/jgis.2016.82014>.

PEREIRA, G. G. D. S.; ALBRECHT, A. J. P.; FAUSTO, D. A.; MIGLIAVACCA, R. A. Custo de produção de cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso do Sul. **Revista iPecege**, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 81-102, 2015. DOI: 10.22167/r.ipecege.2015.1.81.

PEREIRA, R. M.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D.; SALES, D. L.; RODRIGUEZ, W. D. M.; SOUZA, J. M. F. Viabilidade Econômica da Irrigação de Cana-de-açúcar no Cerrado Brasileiro. **Irriga & Inovagri**, Botucatu, v. 01, n. Especial, p. 149-157, 2015.

PINDYCK, R. S. Investments of uncertain cost. **Journal of Financial Economics**, [S.l.], v. 34, n. 1, p. 53-76, 1993. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-405X\(93\)90040-I](http://dx.doi.org/10.1016/0304-405X(93)90040-I).

PRADO, R. D. M.; PANCELLI, M. A. Nutrição em soqueira e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, n. 2, p. 60-63, 2006.

REESON, A.; RUDDA, L.; ZHUB, Z. Management flexibility, price uncertainty and the adoption of carbon forestry. **Land Use Policy**, [S.l.], v. 46, n. 01, p. 267 - 272, 2015. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.02.016.

REGAN, C. M.; BRYAN, B. A.; CONNOR, J. D.; MEYER, W. S.; OSTENDORF, B.; ZHU, Z.; BAO, C. Real options analysis for land use management: Methods, application, and implications for policy. **Journal of Environmental Management**, [S.l.], v. 161, n. 01, p. 144 - 152, 2015. DOI:10.1016/j.jenvman.2015.07.004.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

ROCHMAN, R. R. **Análise de métodos numéricos para precificação de opções (derivados)**. 1998. 152f Dissertação (Mestrado em Administração). Programa de Controladoria, Contabilidade e Finanças. Escola de Administração de Empresas de São Paulo - FGV. São Paulo, p. 145. 1998.

ROCHMAN, R. R.; SALVADOR, P. E. 1998. 152f. Precificação de terrenos agrícolas através da abordagem de opções reais: Modelo com aplicação a cultura de soja e milho no Centro-Oeste do Brasil. ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA - ANPEC. Anais eletrônicos... ANPEC: Foz do Iguaçu, 2013. p. 1-20.

RODRIGUES, R. B.; OZORIO, L. de M.; PINTO, C. de L. B.; BRANDÃO, L. E.T. Opção de troca de produto na indústria de fertilizantes. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 50, n. 02 p. 129-140, 2015. DOI: 10.5700/rausp1189.

ROSS, S.; JAFFE, J.; WESTERFIELD, R. **Administração financeira**. São Paulo: Atlas, 2002.

RYZHOVA, L. I.; NIKOLAVEA, L. V.; KUROCHKIVA, N. V.; LEBEDEVA, M. E. Optimization of Methods and Systems for Strategic and Operational Management Accounting in Agricultural Enterprises. **Review of European Studies**, [S.l.], v. 8, n. 7, p. 119-126, 2015. DOI: 10.5539/res.v7n8p119.

SALOMÉ, J. R.; SAKAI, R. H.; AMBROSANO, E. Viabilidade econômica da rotação de adubos verdes com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 116-119, 2007.

SALOMON, D. V. **Como fazer uma monografia: elementos de metodologia do trabalho científico**. 4. ed. Belo Horizonte: Interlivros, 1991.

SANDERSON, T.; HERTZLER, G.; CAPON, T.; HAYMAN, P. A real options analysis of Australian wheat production under climate change. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, [S.l.], v. 60, n. 01, p. 79-96, 2015. DOI: 10.1111/1467-8489.12104.

SANTOS, D. F. L. **A teoria da opções reais como instrumento de avaliação na análise de um processo de fusão/incorporação de empresas**. 2004. 122f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão), Laboratório de Tecnologia, Gestão de Negócios e Meio Ambiente, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

SANTOS, D. F. L.; MENDES, C. C.; FARINELLI, J. B de M.; FARINELLI, R. Viabilidade econômica e financeira na produção de cana-de-açúcar em pequenas propriedades rurais. **Custos e @gronegócio on line**, Recife, v. 12, n. 4, p. 222-254, 2016.

SANTOS, D. F. L.; REBELATO, M. G.; RODRIGUES, A. M. Análise da Viabilidade Econômica de uma Planta para Captura de CO<sub>2</sub>. **Revista Gestão e Tecnologia**, Pedro Leopoldo, v. 12, n. 2, p. 64-88, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.20397/2177-6652/2012.v12i2.387>.

SANTOS, J. O. D.; FONTES, R. J. D. S. Análise da Relação entre o Coeficiente Beta, o Índice de Alavancagem D/E e a Taxa de Retorno de Ações Ordinárias de uma Amostra de Empresas listadas no Ibovespa. **Revista Contabilidade Vista & Revista**, Belo Horizonte, v. 22, n. 4, p. 173 -197, 2012.

SANTOS, L. D. C.; LEAL, D. P. V.; JOSÉ, J. V.; COELHO, R. D.; BARROS, T. H. da S. Aplicação do Modelo CSM-Canegro em estudo da viabilidade econômica da cana-de-açúcar irrigada por pivô central. **Irriga & Inovagri**, Botucatu, v. 01, n. especial, p. 13-22, 2016.

SANTOS, M. P. S.; BOTELHO FILHO, F. B.; SOARES, J. B. Redução de risco: hedge ou diversificação?. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 55, n. 1, p. 31-40, 2008.

SANTOS, M. R. D. **Estudo da viabilidade técnico econômica da interação soja/amendoim cana**. 2010. 99f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia). Escola de Economia de São Paulo, da Fundação Getúlio Vargas – EESP – FGV, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP. São Paulo, p. 99. 2010.

SAPHORES, J. D.; KHALAF, L.; PELLETIER, D. On Jumps and ARCH Effects in Natural Resource Prices: An Application to Stumpage Prices from Pacific Northwest National Forests. **American Journal of Agriculture Economics**, [S.l.], v. 84, n. xx, p. 387-400, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-8276.00305>.

SATURNINO, H.M.; LANDERS, J.N., O meio ambiente e a semeadura direta. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1997. 116 p.

SCHERER, F. M. Two Paradoxes in the Theory of Capital Investment and Competition. **International Journal of the Economics of Business**, [S.l.], v. 21, n. 1, p. 27-31, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/13571516.2013.864125>.

SCHROTH, G.; RUF, F. Farmer strategies for tree crop diversification in the humid tropics. a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, France, v. 34, n. 1, p. 139-154, 2014. doi: 10.1007/s13593-013-0175-4.

SEBEN JUNIOR, G. D. F.; CORÁ, J. E.; LAL, R. Effect of cropping systems in no-till farming on the quality of a Brazilian Oxisol. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 1268-1280, 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000400023.

SEO, S.; SEGARRA, E.; MITCHELL, P. D.; LEATHAM, D. J. Irrigation Technology Adoption in the Texas High Plains: A Real Options Approach. **Agricultural Economics**, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 47-55, 2007. DOI: 10.1111/j.1574-0862.2007.00280.x

SHARPE, W. F. Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. **The Journal of Finance**, [S.l.], v. 19, n. 3, p. 425-442, 1964. DOI: 10.1111/j.1540-6261.1964.tb02865.x.

SHIKIDA, P. F. A. Evolução e fases da agroindústria canavieira no Brasil. **Política Agrícola, CIDADE**, v. 4, n. 23, p. 43-57, 2014.

SHUKLA, S. K. et al. Crop diversification options involving pulses and sugarcane for improving crop productivity, nutritional security and sustainability in India. **Sugar Tech**, Lucknow, Índia, v. 19, n. 1, p. 1-10, 2017. doi: 10.1007/s12355-016-0478-2.

SILVA, R. P. D.; FERNANDES, C. Soil uses during the sugarcane fallow period: influence on soil chemical and physical properties and on sugarcane productivity. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 02, p. 575-584, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200022>

SMITH, J. E.; NAU, R. F. Valuing risky projects: option pricing theory and decision analysis. **Management Science**, [S.l.], v. 14, n. 05, p. 795-816, 1995. DOI: <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.41.5.795>.

SOARES, M. B. B.; FINOTO, E. L.; BOLONHEZI, D.; CARREGA, W. C.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; PIROTTA, M. Z. Fitossociologia de plantas daninhas sob diferentes sistemas de manejo de solo em áreas de reforma de cana crua. **Revista Agro@mbiente On-line**, Monte Cristo, v. 3, n. 5, p. 173-181, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v5i3.594> .

SOARES, M. B. B.; BIANCO, S.; FINOTO, E. L.; BOLONHEZI, D.; ALBUQUERQUE, J. A. A.; SILVA, A. A. Weed Community in a Raw Sugarcane Renovation Area Submitted to Different Soil Managements. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 91-98, 2016. DOI: 10.1590/S0100-83582016340100009.

SOCICANA. ATR relativo e a importância do ATR de fechamento. **Associação dos Fornecedores de cana da Região de Guariba**, 2014. Disponível em: <<http://socicana.com.br/noticias/atr-relativo-e-a-importancia-do-atr-de-fechamento-o-exemplo-do-sr-joao/>>. Acesso em: 03 jan. 2017.

SOCICANA. **Estratificação dos Associados da Socicana - safra 2015/2016**. Associação dos Fornecedores de Cana da Região de Guariba. [S.l.], p. 14. 2016.

SONG, F.; ZHAO, J.; SWINTON, S. M. Switching to perennial energy crops under uncertainty and costly reversibility. **American Journal of Agricultural Economics**, [S.l.], v. 93, n. 3, p. 768-783, 2011. DOI: 10.1093/ajae/aar018

SOUZA NETO, J. A.; BERGAMINI JÚNIOR, C.; OLIVEIRA, V. I. **Opções reais: introdução à teoria e à prática**. Rio de Janeiro: Qualimark, 2008.

STOKES, J. R. The value of the option to preserve farm real estate. **Journal Economics Finance**, [S.l.], v. 36, n. 01, p. 162-175, 2012. DOI: 10.1007/s12197-010-9138-7.

TAMBOSI FILHO, E.; COSTA JÚNIOR, N. C. A. D.; ROSSETTO, J. R. Testando o CAPM condicional nos mercados brasileiro e norte-americano. **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 10, n. 4, p. 153-168, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-65552006000400008>.

TEIXEIRA, E. A. **Opções reais em cultivo de rosas pelo sistema de produção integrada**. 2013. 204f. Tese (Doutorado em Administração). Área de concentração Organização, Gestão e Sociedade. Universidade Federal de Lavras - UFLA. Lavras.

TEPLICKÁ, K. Using of CVP analyses by the valuation of rotation of crops in farming business. **Ekonomika Pol'nohospodárstva**, v. 3, n. 5, p. 29-34, 2010.

TONTA, J. A. A. S. L. E. D. Determination of the optimum number of ratoon in sugarcane by the discounted cash flow technique. **Proceedings, Internl Society Technology**, v. 22, n. 2, p. 8-13, 1996.

TOURINHO, O. A. F. **The valuation of reserves of natural resources: an option pricing approach.** 1979. 103f. Tese (Doutorado em Economica), Program in Finance, University of California, Berkely, 1979.

TREYNOR, J. L. Toward a Theory of Market Value of Risky Assets”, Unpublished manuscript. A. In: KORAJCZYK, R. A. **Asset Pricing and Portfolio Performance: Models, Strategy and Performance Metrics.** London: Risk Books, 1962. p. 15-22.

TRIGEORGIS, L. M. S. P. Valuing Managerial Flexibility. **Midland Corporate Finance Journal**, [S.l.] v. 5, n. 1, p. 14-21, 1987.

TRUBER, P. V.; FERNANDES, C. Arbuscular mycorrhizal fungal communities and soil aggregation as affected by cultivation of various crops during the sugarcane fallow period. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 415-422, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000200006>.

TUBETOV, D.; MUSSHOF, O.; KELLNER, U. Investments in Kazakhstani Dairy Farming: A Comparison of Classical Investment Theory and the Real Options Approach. **Quartely Journal of International Agriculture**, [S.l.], v. 51, n. 3, p. 257-284, 2012.

TZOURAMANI, I.; MATTAS, K. **Employing Real Options Methodology for Decision Making in Greenhouse Technology.** In: Congress of the European Association of Agricultural Economists - EAAE CONGRESS, 10, 2002, Zaragoza. ‘Anais eletrônicos... EAAE: Zaragoza, 2002, p. 37-52.

UNICA. **Estimativa Safra 2015/2016.** Ribeirão Preto/SP, p. 39. 2015.

UNICA. Números finais da safra 2014/2015 e iniciais da nova safra 2015/2016. **Unica**, 2015. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/27460993920325965467/numeros-finais-da-safra-2014-por-cento2F2015-e-iniciais-da-nova-safra-2015-por-cento2F2016/>>. Acesso em: 22 dez. 2015.

VEIGA FILHO, A. A. **Quando reformar um canalial?** Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=110>>. Acesso em: 20 mai. de 2017.

VOLTARELLI, M. A.; SILVA, R. P. da; ZERBATO, C.; PAIXÃO, C. S. S.; TAVARES, T. de O. Monitoramento das perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar por cartas de controle. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 6, p. 44-52, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n6p1079-1092/2015>

WOLBERT-HAVERKAMP, M.; MUSSHOF, O. Are short rotation coppices an economically interesting form of landuse?Are al options analysis. **Land Use Policy**, [S.l.], v. 38, n. 01, p. 163-174, 2014. DOI: 10.1016/j.landusepol.2013.10.006.

YEMSHANOV, D.; MCCARREY, G. R.; HAUER, G.; LUCKERT, M. K.; UNTERSCHULTZ, J.; MCKENNEY, D. W. A real options-net present value approach to assessing land use change: A case study of afforestation in Canada. **Forest Policy and Economics**, [S.l.], v. 50, n. 01, p. 327-336, 2015. DOI: 10.1016/j.forpol.2014.09.016.

VOLK L.B.S.; COGO, N.P.; STRECK, E. V. Erosão hídrica influenciada por condições físicas de superfície e subsuperfície do solo resultantes do seu manejo, na ausência de cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, p.763-774, 2004.

ZHANG, L. X.; SONG, B.; CHEN, B. Emeryy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 28, n.01, p. 33-44, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.042>.

ZILIO, L. B.; LIMA, R. A. D. S. Atratividade de Canaviais Paulistas sob a ótica da Teoria das Opções Reais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 53, n. 3, p. 377-394, 2015. DOI 10.1590/1234-56781806-9479005303001.