



UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS



Programa de Pós-Graduação em Administração de Empresas

Curso: Doutorado em Administração

**Título: AVALIAÇÃO DE ÁREAS AGRÍCOLAS POR MEIO DE UMA
ABORDAGEM DE OPÇÕES REAIS**

Doutorando: José Antonio Chavez Olortegui

SET. 2012

JOSÉ ANTONIO CHAVEZ OLORTEGUI

**AVALIAÇÃO DE ÁREAS AGRÍCOLAS POR MEIO DE UMA
ABORDAGEM DE OPÇÕES REAIS**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Administração de Empresas da Universidade Presbiteriana Mackenzie como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Administração de Empresas.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Fernandes Marçal

São Paulo

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

O52 a Olortegui, José Antonio Chavez
Avaliação de áreas agrícolas por meio de uma abordagem de opções
reais / José Antonio Chavez Olortegui. – São Paulo, 2012.
65f.: Il., 30 cm.

Tese (Doutorado em Administração de Empresas) – Universidade
Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012.

Orientador: Prof. Dr. Emerson Fernandes Marçal

Bibliografia: f. 56-59

1. Opções reais. 2. Precificação. 3. Processos de difusão. I. Título.

CDD 338.52

CHANCELLER

•Augustus Nicodemus Gomes Lopes

REITOR

•Prof. Dr. Manassés Claudino Fonteles

DECANO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

•Profa. Dra. Sandra Maria Dotto Stump

COORDENADOR DE PÓS-GRADUAÇÃO

•Prof. Dr. Marcos Rizolli

DIRETOR DO CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS

•Prof. Dr. Moisés Ari Zilber

PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS

Profa. Dra. Darcy Mitiko Mori Hanashiro

À minha família

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Emerson Fernandes Marçal, pela orientação e auxílio prestados na realização desta pesquisa.

Ao meu primeiro orientador e co-orientador, Prof. Diógenes Leiva Martin, pelo apoio, exemplo e incentivo inestimável.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Administração de Empresas da Universidade Presbiteriana Mackenzie pelos conhecimentos transmitidos.

Aos colegas do curso de Administração da Universidade Federal do Tocantins pelo convívio e colaboração.

Ao ex-reitor da Universidade Federal do Tocantins, Prof. Alan Barbiero, pelos esforços realizados para fazer com que este doutorado interinstitucional seja realidade.

À Capes, pelo auxílio concedido durante estada em São Paulo.

Aos meus pais Ernesto Chavez e Paquita Olortegui (*in memoriam*), pela formação recebida.

À minha esposa Silvânia, pelo apoio e incentivo em todas as horas, e à minha filha querida, Sofia, pela compreensão.

RESUMO

O objetivo do estudo consiste em precificar áreas agrícolas e quantificar a influência dos preços de produtos agrícolas no valor da empresa rural. A avaliação considera que o valor da área está vinculado ao Valor Presente dos Fluxos de Caixa Futuros, da exploração e da existência de certa flexibilidade associada à posse da terra que pode ser avaliada por meio do método de opções reais. As culturas avaliadas no estudo serão a Soja e o Milho. A evolução dos preços das culturas será modelada a partir do processo CIR (Cox, Ingersoll, Ross). O preço da terra será calculado a partir de uma equação diferencial parcial (EDP). Esta é resolvida a partir de simulações de Monte Carlo. Os resultados mostram que o preço da opção, para ambas as culturas, vale mais de quarenta por cento do valor da terra. O valor da terra para o milho, no horizonte de trinta anos, é maior que o da soja.

Palavras-chave: Opções Reais, Precificação, Processos de Difusão.

ABSTRACT

The objective is to price agricultural areas and quantify the influence of prices of agricultural products in the value of rural enterprises. The assessment takes into account that the value of the area is linked to the Present Value of future cash flow from exploration and the existence of flexibility associated with land tenure that can be evaluated by the method of real options. Crops evaluated in the study will be the corn and soybean. The evolution of crop prices will be modeled on the CIR process (Cox, Ingersoll, Ross). The price of land will be calculated from a partial differential equation (PDE). This is addressed from Monte Carlo simulations. The results show that the price of choice, for both cultures, it is more than 40% of the land. The value of land for corn, the 30-year horizon, is greater than of soybeans.

Key Words: Real Options, Pricing, Diffusion Processes

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VPL	Valor Presente Líquido
BM&F	Bolsa de Mercadorias e Futuros
EDP	Equação Diferencial Parcial
GMM	Método Generalizado de Momentos
TOR	Teoria de Opções Reais
FCD	Fluxo de Caixa Descontado
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
VPB	Valor Presente Bruto
OFs	Opções Financeiras
ORs	Opções Reais
ASSR	Ativo Subjacente Sujeito a Risco
CAPM	Capital Assets Pricing Model
CIR	Cox, Ingersoll, Ross
LSM	Last Square Monte Carlo
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processo CIR para calcular os parâmetros correspondentes ao milho: kappa, theta e sigma.....	48
Figura 2. Processo CIR para calcular os parâmetros correspondentes à soja: kappa, theta e sigma.....	48
Figura 3. Simulação de trajetórias de preços do milho no modelo de Mínimos Quadrados Ordinários de Monte Carlo.....	49
Figura 4. Simulação de trajetórias de preços da soja no modelo de Mínimos Quadrados Ordinários de Monte Carlo.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fatores que afetam o valor das opções financeiras e reais.....	25
Tabela 2. Parâmetros dados por (2) estimados via GMM para dados de milho e soja.....	47
Tabela 3. Valor da Opção de Venda e Fluxo de Caixa Descontado para o milho.....	51
Tabela 4. Valor da Opção de Venda e Fluxo de Caixa Descontado para a soja.....	51
Tabela 5. Variação do Custo de Produção para o milho.....	53
Tabela 6. Variação do Custo de Produção para a soja.....	53

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	PROBLEMA.....	14
1.2	JUSTIFICATIVA.....	16
1.3	OBJETIVOS.....	17
1.3.1	Objetivo Geral.....	17
1.3.2	Objetivos específicos.....	17
1.4	HIPÓTESES.....	18
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1	OPÇÕES REAIS.....	19
2.2	AVALIAÇÃO DE PROJETOS E OPÇÕES REAIS.....	23
2.3	OPÇÕES FINANCEIRAS <i>VERSUS</i> OPÇÕES REAIS.....	24
2.3.1	Variáveis Básicas das Opções Reais e Financeiras.....	25
2.4	CLASSIFICAÇÃO DE OPÇÕES REAIS.....	26
2.5	PRECIFICAÇÃO POR OPÇÕES REAIS.....	28
3	METODOLOGIA.....	35
3.1	MÉTODO.....	35
3.2	AMOSTRA.....	35
3.3	MODELOS ESTOCÁSTICOS ALTERNATIVOS PARA MEDIR O VALOR DA TERRA.....	35
3.3.1	Preços das culturas.....	36
3.3.2	Valor da terra.....	37
3.4	PROCEDIMENTOS NUMÉRICOS.....	38

3.4.1	Estimativa dos Parâmetros dos preços das <i>commodities</i> e Valor da Terra.....	38
3.4.1.1	Parâmetros do preço das <i>commodities</i>	38
3.4.1.1.1	<i>Método Generalizado de Momentos</i>	39
3.4.1.2	Avaliação da Opção de venda.....	42
3.4.1.2.1	<i>Método de Mínimos Quadrados de Monte Carlo – LSM</i>	43
4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	47
5.	CONCLUSÕES.....	54
6.	REFERÊNCIAS.....	56
	ANEXO A – GERADOR DE DADOS SOJA.....	60
	ANEXO B – GERADOR DE DADOS MILHO.....	62
	ANEXO C – CIR – COX , INGERSOLL, ROSS.....	64

1. INTRODUÇÃO

Em Economia, define-se investimento como o ato de incorrer em custos imediatos, na expectativa de retornos futuros. Quando se fala na compra de ativos em geral, construção de novas plantas da empresa, aquisição de estoques são exemplos de investimentos. Segundo Pindyck (1991), ensina-se aos estudantes no mundo dos negócios que se deve “investir em um projeto quando o Valor Presente de seus Fluxos de Caixa esperados é pelo menos tão grande como o seu custo”.

Nesse contexto, tem-se desenvolvido a teoria de “opções reais” como uma importante ferramenta auxiliar na formulação de projetos de investimentos, no gerenciamento da tomada de decisões estratégicas e na precificação quantitativa de investimentos e empresas como um todo. Assim, os gerentes das empresas exigem agora muito mais de que um simples VPL positivo para aceitar um investimento. Isso porque perceberam a insuficiência da ferramenta e da existência de outras opções que devem ser consideradas ao se planejar um investimento.

Nesta pesquisa, estudou-se a precificação de áreas agrícolas, considerando que o valor destas depende do valor presente dos Fluxos de Caixa Futuros, da exploração de certas culturas. A existência de flexibilidades associada à posse de qualquer ativo real, neste caso de áreas agrícolas, pode ser avaliada por meio de opções reais.

No estudo, deve-se considerar um proprietário que produz certas culturas e recebe Fluxos de Caixa Futuros por meio deles. O proprietário tem a opção de vender a área agrícola a um determinado preço no futuro. Nesse caso, o verdadeiro valor das áreas agrícolas, sob um quadro de opções reais, é o Valor Presente dos Fluxos de Caixa Futuros gerados pelas culturas, mais uma opção futura sobre mais valias acima das expectativas.

Supõe-se no estudo, de maneira simplificada, que nas áreas agrícolas só podem ser cultivadas culturas e sem rotação, e ditas áreas não poderão ser transformadas para o desenvolvimento urbano ou agrícola.

A implicância dessas suposições é a de que a exploração de culturas como, por exemplo, a soja e o milho geram benefícios ao produtor quando de sua posterior venda no

mercado. Num primeiro momento, pode-se considerar que o produtor utiliza porcentagens iguais de terra para ambas as culturas. Se o preço de uma destas é elevado em relação a sua média histórica, pode-se querer semear somente essa cultura. Considera-se que o valor dos terrenos só se dá em função da produção das culturas e do preço futuro delas.

Esta tese está organizada da seguinte forma. No capítulo 1 apresentam-se o problema, justificativa, objetivo e hipóteses. No capítulo 2, o referencial teórico com ênfase nas definições de opções reais e na precificação de ativos por meio de opções reais. No capítulo 3, os procedimentos metodológicos, nos quais são mostrados os modelos estocásticos para medir o valor da terra, e também são mostrados os procedimentos para sua estimação. No capítulo 4, mostra-se a aplicação da metodologia com a obtenção dos resultados e sua análise dentro dos objetivos do estudo. No capítulo 5, as conclusões do estudo e proposta da extensão para pesquisas futuras. E, por fim, no capítulo 6, as referências bibliográficas.

1.1 PROBLEMA

A teoria de Opções Reais é uma abordagem moderna para o tema de Investimentos que difere das tradicionais metodologias, pois considera o valor da flexibilidade e das diversas possibilidades de decisões gerenciais disponíveis na gestão pela busca do resultado esperado do investimento. A aplicação da teoria de opções reais é dinâmica, pois inclui o efeito das incertezas e considera o quê, como e quando as opções devem ser exercidas ao longo do tempo.

No modelo neoclássico tradicional, as decisões de investimento são tomadas apenas com base no Valor Presente Líquido (VPL). O modelo de opções reais complementa as teorias atuais que afirmam que tomar decisões baseadas no VPL conduz a tomar decisões não ótimas, pois não capta com precisão o valor ótimo esperado do investimento. No entanto, muitos projetos criam oportunidades futuras, que podem ser fonte significativa de valor. Essas oportunidades podem ser modeladas como opções reais. Desde esse ponto de vista, caso se

considere uma decisão de investimento como opção de compra, o valor do projeto é apenas o valor esperado do investimento. O preço de exercício é o custo do investimento (montante investido), e o valor da opção é o valor esperado descontado dos retornos de investimento. Essa opção é exercida quando o retorno bruto é alto (suficientemente maior que o preço do exercício, para compensar a perda de flexibilidade do atraso).

As opções reais se classificam principalmente pelo tipo de flexibilidades que oferecem, como diferir, expandir, contrair e abandonar. Assim, pela opção de diferir pode se esperar um tempo X para checar se os preços justificam a construção e o investimento em infraestrutura, exemplificando, a opção de aluguel ou de compra de terra ou de recursos.

Dada à existência de terras produtivas próprias e de arrendamento, o proprietário de terras que faz investimentos de custo permanente na terra e pode produzir culturas poderá receber fluxos de caixa futuros a partir deles. O proprietário tem a opção de vender o terreno a um preço no futuro. Este preço deve ser maior que o valor presente dos Fluxos de Caixa Futuros.

Geralmente as opções reais têm sido mais utilizadas no mercado imobiliário, pois no de precificação de áreas agrícolas existem poucos trabalhos no Brasil. É importante saber o valor da opção de terras agrícolas já que por este pode-se determinar o seu valor econômico de forma mais precisa. Ignorar o valor dessa opção pode levar a uma subavaliação de terras.

Este trabalho procura encontrar respostas para o problema da valoração ou precificação de áreas agrícolas por meio da teoria de opções reais. É importante o estudo deste fenômeno porque nos preços de terras agrícolas existe uma diferença evidente entre o preço da terra de mercado observado e seu preço teórico calculado pelo Fluxo de Caixa Descontado. Essa diferença se deve ao valor intrínseco da opção real da terra. A quantificação deste valor permitirá determinar a distribuição das volatilidades implícitas nos Fluxos de Caixa nas receitas provenientes da terra.

Em função do exposto, pergunta-se: Qual a importância da propriedade da terra e do tipo de cultura no valor da empresa rural? Em específico, qual o valor que as culturas de soja e milho adicionam ao valor da terra?

1.2 JUSTIFICATIVA

O estudo é importante para avaliar áreas agrícolas num país onde se tem a maior área agricultável do planeta, com uma diversidade de produção muito grande e com uso de novas tecnologias. Também se justifica porque neste estudo será utilizada a teoria de opções reais como abordagem moderna para o tema de Investimentos de Capital, o qual difere das tradicionais metodologias vigentes.

Até o presente momento, existem poucos estudos no Brasil que avaliem áreas agrícolas, tendo em conta certas culturas. Para o estudo, escolheram-se duas grandes culturas, de grande relevância na agricultura brasileira como a soja e o milho, para verificar sua influência nos preços das áreas agrícolas.

O mercado global para essas duas culturas proporciona algumas informações. A soja é produzida em alguns países em grande volume, a exemplo os Estados Unidos, que tem quase cinquenta por cento da produção total de soja do planeta. O Brasil é um mercado com dezoito por cento, e Argentina e China com dez por cento do total. Estes são os principais países que vão ter impacto significativo sobre o preço da soja. Os Estados Unidos também apresentam quarenta e três por cento da produção mundial de milho. China, Brasil e Argentina produzem dezoito por cento, seis por cento e dois por cento respectivamente.

Escolheu-se a soja e o milho por serem duas culturas de grande produção no Estado do Tocantins e no Brasil como um todo. No Estado do Tocantins, estas culturas junto com a cana-de-açúcar, algodão e arroz irrigado utilizam cerca de quatrocentos e trinta mil hectares. No período de 2000-2005, a cultura de soja – principal produto agrícola deste Estado – apresentou um crescimento de aproximadamente oitenta e quatro por cento na produção, de acordo com a Secretaria de Agricultura do Tocantins (2005).

Existe um potencial de crescimento da produção regional e nacional muito grande, já que esses produtos têm demanda cada vez maior e, por isso, são *commodities* cujos contratos são negociados na Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F). Como consequência, as áreas rurais que têm essas culturas devem sofrer também valoração numa porcentagem que se deseja descobrir.

O Estado do Tocantins é eminentemente direcionado para a agropecuária. Tratando-se da agricultura, aproximadamente sessenta por cento do solo tocantinense são agricultáveis, e correspondem a aproximadamente doze milhões de hectares. As condições naturais são consideradas boas para o sucesso da agricultura, assim como a logística do escoamento por meio de transporte multimodal em fase de implantação. E, especificamente, a construção da ferrovia norte-sul cuja fase de conclusão está próxima vai permitir que a produção seja escoada a custo mais competitivo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar uma empresa rural com a utilização da teoria de opções reais, considerando-se a propriedade da terra e o preço das culturas (milho e soja).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Descrever a evolução do preço dos produtos por meio do tempo, com a utilização do modelo CIR;
- Calcular os parâmetros da Equação Diferencial Parcial (EDP), pelo Método Generalizado de Momentos (GMM);
- Resolver numericamente a Equação Diferencial Parcial (EDP), pela simulação de Monte Carlo com Mínimos Quadrados.

1.4 HIPÓTESES

Têm-se como hipóteses as seguintes:

Hipótese 1: O grau de sensibilidade do valor da área rural em relação aos preços futuros das culturas é significativo.

Hipótese 2: O preço da opção de venda da área rural é maior que os retornos ou Fluxos de Caixa Descontados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão abordados as definições, os conceitos e as características empregadas por diversos autores sobre Opções Reais, assim como as principais diferenças e características das Opções Financeiras e Opções Reais. Finalmente, detalhes sobre a Precificação de Opções Reais referentes a áreas de terra urbana e agrícola.

2.1 OPÇÕES REAIS

A Teoria de Opções Reais (TOR) surge como analogia ao conceito das opções financeiras, ou seja, um direito sem a obrigação de exercer a opção. A analogia está na flexibilidade que os gestores das empresas têm quando decidem na prática no quê, quando, quanto ou como investirão os recursos da empresa. As flexibilidades nas decisões gerenciais não são captadas na tradicional metodologia usada pela maioria das empresas, a qual é a abordagem do Fluxo de Caixa Descontado (FCD). O diferencial apresentado pela TOR é exatamente o de incluir o valor da incerteza e da flexibilidade na análise de viabilidade dos investimentos. E devido a isso a TOR é considerada uma metodologia mais moderna e abrangente.

Segundo Copeland e Antikarov (2001), de maneira sucinta, uma opção real é “o direito, e não a obrigação, de empreender uma ação (por exemplo, diferir, expandir, contrair ou abandonar) a um custo predeterminado que se denomina preço de exercício, por um período preestabelecido: a vida da opção”.

Uma opção real é representada pela flexibilidade que um investidor dispõe na tomada de decisões. Quando o surgimento de novas informações e a existência de incertezas sobre o fluxo de caixa forem visíveis, será permitido aos investidores tomarem decisões que aperfeiçoem o valor final de um projeto (DIXIT e PINDYCK,1995).

A origem da abordagem de “opções reais” pode ser atribuída a Myers (1977), o primeiro a identificar que muitos dos ativos reais (construção de uma planta, adoção de nova tecnologia, plano de reestruturação, exploração de novo mercado ou produto, exploração de programa de P e D etc.) podiam ser analisados sob a perspectiva análoga às opções financeiras. Assim, começa uma nova forma de analisar os investimentos, ao se fazer analogia entre opção financeira e projeto de investimento.

As opções reais foram introduzidas em Finanças por Brennan e Schwartz (1985), para avaliar a decisão de extração de minerais. Era comum considerar o Valor Presente dos Fluxos de Caixa Futuros de um projeto como sendo maiores que os investimentos necessários, e era implementado, visto que aumentaria a riqueza do acionista. A decisão de investimento nesse contexto tem de ser feita agora ou nunca. No entanto, muitos projetos criam oportunidades futuras, que podem ser fonte significativa de valor. Essas oportunidades podem ser modeladas como opções reais. Brennan e Shwartz (1985) encontraram que o Valor Presente Líquido conduz a uma decisão não ótima, pois não capta com precisão o valor esperado para investir. Este valor é devido à incerteza de preços do ativo objeto e representa o custo de oportunidades de investir, e precede a opção de adiar o investimento até a chegada de mais informações.

A Teoria de Opções Reais (TOR) é utilizada para avaliação de ativos reais, ou seja, aos que não são negociados no mercado financeiro. Projetos de investimento de capital, avaliação de ativos reais, avaliação de propriedades intelectuais, avaliação de terras, avaliação de fontes de recursos naturais (minas, poços de petróleo etc.) e avaliação de projetos de pesquisa e desenvolvimento são exemplos de ativos reais que podem ser avaliados com a utilização desta teoria.

O investidor se depara com três fatores básicos que determinam a natureza do investimento: a irreversibilidade, a incerteza e o momento de investir, segundo explicam Dixit e Pindyck (1995). Muitos investidores não têm reconhecido adequadamente as implicações quantitativas e qualitativas que advêm da interação destes três fatores. Por meio da abordagem de opções reais, os investidores têm encontrado respaldo teórico para suas decisões de investimento, e a compreensão destes fatores requer análise mais apurada dessas características.

O que torna uma despesa de investimento em custo irrecuperável, e, portanto, irreversível, é o fato de o capital não poder ser usado produtivamente por uma empresa diferente ou num setor diferente. Investimentos específicos de uma firma ou indústria são irreversíveis, como investimentos numa montadora de artefatos elétricos, investimentos em marketing e publicidade, porque uma usina siderúrgica é indústria específica e só serve para produzir aço etc. Já investimentos não específicos de firmas ou indústrias são parcialmente reversíveis, a exemplo de equipamentos de escritório, computadores, carros, que podem ser revendidos, mas a preços menores.

Na tomada de decisões gerenciais, uma característica importante que tem de se levar em conta é a incerteza sobre o futuro do investimento. Os valores do projeto e a própria decisão de investir são afetados pela incerteza associada a variáveis importantes, como preço, custo dos insumos, taxa de juros, taxa de câmbio, oferta de crédito etc.

Segundo Dixit e Pindyck (1995), a incerteza cria valor para o investimento. Num cenário de incertezas, a abordagem por opções reais se apresenta como alternativa poderosa, já que contempla a flexibilidade de expandir ou abandonar um projeto, em resposta a eventos que modifiquem o retorno do investimento calculado num primeiro momento. O valor de uma opção é proporcional ao de incerteza correspondente.

O momento certo de investir é outra característica importante numa decisão de investimento. Razões estratégicas podem levar o investidor a antecipar o investimento, como mencionar a entrada de novos competidores no mercado ou o crescimento dos competidores já existentes. Em outros casos, o adiamento dos projetos torna-se factível. A empresa sempre deve comparar os custos em que vai incorrer ao adiar um projeto com os benefícios de esperar novas informações para subsidiar a decisão de investir.

McDonald e Siegel (1986) analisam o melhor momento de investir em um projeto com irreversibilidade no qual os custos de investimento seguem processos estocásticos em tempo contínuo. É mostrado, para os parâmetros do modelo, que as considerações de tempo de investimento são importantes.

Algumas considerações típicas de métodos tradicionais devem ser repensadas. Usando opções reais, muitos projetos não lucrativos em curto prazo poderão ser aceitos no longo prazo. As empresas e investidores passam a visualizar os investimentos como estratégia de

longo prazo, a qual impulsionará alteração nos critérios de avaliação dos projetos. Assim, a análise de opções reais tende a reduzir os investimentos imediatos que, na maioria das vezes, são irreversíveis, e permite obter novas informações valiosas para o projeto. Ao mesmo tempo tende a valorizar outros investimentos que não geram retornos imediatos, mas criam possibilidade de futuros retornos (MILLERE E PARK, 2002).

Essa realidade é totalmente aplicável na análise de viabilidade econômico-financeira de projetos agropecuários, pois, com a aplicação de técnicas convencionais, ignoram-se as possibilidades de decisões futuras, causadas pelas incertezas inerentes ao agronegócio, tais como variação de preços, volume de produção e custos dos insumos, além de incertezas como quebras de safras e falha ou sucesso na adoção de novas tecnologias. Projetos que apresentam VPL positivo, hoje, podem apresentar prejuízos num curto espaço de tempo.

Existem outros trabalhos que avaliam a opção de investir com o uso de opções reais, como abertura e fechamento de minas, projetos agropecuários, investimento em terras etc. Como exemplo do primeiro item, pode-se citar o estudo desenvolvido por Moel e Tufano (2002) sobre a abertura e o fechamento de minas usando um novo banco de dados que controla a abertura anual e as decisões de encerramento de duzentas e oitenta e cinco minas de ouro da América do Norte, no período de 1988-1997, as quais confirmam muitas das previsões de modelos de opções reais. Em particular, a probabilidade de uma mina ser aberta está relacionada a fatores amplos de mercado (incluindo o nível e a volatilidade do preço do ouro e do nível das taxas de juro), e a fatores específicos das minas (incluindo custos fixos da mina, custos variáveis e reservas).

Com respeito a projetos agropecuários, Figueiredo Neto e Alves (2002) analisaram o potencial da Teoria de Opções Reais na análise e gestão de projetos de exploração de produtos agropecuários exportáveis (*commodities*), na qual mostram que as incertezas podem criar oportunidades que aumentam o valor de um projeto, considerando-se que as decisões gerenciais são relevantes para avaliar e definir uma política ótima de gestão. As opções reais podem ser incluídas no valor do projeto, aumentando a flexibilidade de gestão para adiar o desenvolvimento ou ampliar a escala de um investimento, a abandonar (definitiva ou temporariamente) ou trocar projetos, protegendo seus potenciais ganhos.

Em relação ao investimento em terras, Titman (1985) fornece uma equação de preços na avaliação de um lote vago em áreas urbanas. A análise demonstra que o leque de construção em terrenos de diferentes tamanhos fornece valiosa opção para o proprietário de terrenos baldios, a qual se torna mais valiosa ainda com a incerteza sobre futuros aumentos de preços. Uma implicação dessa relação entre a incerteza e os valores de terra baldios é a de que o aumento da incerteza leva a uma diminuição nas atividades de construção no período atual.

Yamakazi (2001) estudou os preços das terras no centro de Tóquio. E, ao utilizar a teoria de opções reais, evidenciou que a incerteza de atrasos no investimento leva a um maior valor dos ativos.

2.2 AVALIAÇÃO DE PROJETOS E OPÇÕES REAIS

Para Boyer et al. (2003), a avaliação de projetos é a aplicação mais óbvia da abordagem de opções reais, embora não se possa dizer a única ou a principal. Antes da abordagem de opções reais, o processo de avaliação padrão era feito por meio do Fluxo de Caixa Descontado ou Valor Presente Líquido. A abordagem de opções reais é vista como melhoramento na determinação do Valor Presente Líquido Descontado; não invalida o procedimento, mas altera a forma como é aplicada. Na verdade, racionaliza o que muitos avaliadores já estão fazendo de forma intuitiva. A avaliação de projetos por opções reais é importante para o investidor por:

- Permitir a calendarização das decisões;
- Identificar e avaliar riscos de perdas e oportunidades associadas ao projeto;
- Identificar, avaliar e otimizar as futuras decisões que podem afetar a exposição e desvantagem ou flutuações do projeto.

Figueiredo Neto e Alves (2002) analisaram o potencial da teoria de opções reais para análise e gestão de projetos de exploração de produtos agropecuários (*commodities*) na qual

mostram que as incertezas podem criar oportunidades que aumentam o valor de um projeto, considerando-se que as decisões gerenciais são relevantes para avaliar e definir uma política ótima de gestão. As opções reais podem: a) ser incluídas no valor do projeto aumentando a flexibilidade de gestão; b) adiar o desenvolvimento; c) contrair ou ampliar a escala de um investimento; d) abandonar (temporária ou definitivamente) ou trocar projetos, protegendo seus potenciais ganhos, ao mesmo tempo em que reduzem as perdas prováveis.

2.3 OPÇÕES FINANCEIRAS *VERSUS* OPÇÕES REAIS

Como consequência direta das finanças, a abordagem de opções reais usa técnicas e metodologias que predominam neste domínio. No entanto, as opções financeiras se preocupam prioritariamente em como avaliar e apreciar instrumentos financeiros, opções de compra e venda entre eles. A abordagem, por meio de opções reais, é utilizada em várias áreas de gestão e de tomada de decisão, o que permite fazer avaliações nas quais a otimização é necessária.

Detalham-se, a seguir, algumas diferenças entre opções financeiras e opções reais, segundo estudo realizado por Boyer et al. (2003).

Um projeto de investimento por opções reais envolve o direito, mas não a obrigação, para investir recursos em algum momento futuro, a fim de obter um ativo (a exemplo, uma planta em funcionamento) cujo valor normalmente é estocástico. Quando se fala em opção financeira, o ativo subjacente é uma ação que tem como característica a incerteza, pois, no momento em que se adquire a opção, não fica claro se o preço de exercício conhecido deverá ser maior ou menor do que o preço das ações no futuro. Assim, a opção não poderá ser exercida. Da mesma forma, quando se trata de opções reais como, por exemplo, quando da construção de uma planta, se o preço projetado desta não evoluir favoravelmente, ou a investigação futura revelar ainda serem altos os custos, então não valerá a pena exercer a opção de construção da planta.

Outra diferença entre as opções financeiras e as opções reais surge a partir da natureza das incertezas que afetam o ativo subjacente. Nas opções financeiras, a incerteza influi nos preços das ações no futuro. A incerteza é, então, uma fonte de valor por causa da desvantagem limitada e ilimitada das flutuações nos pagamentos, que são ligados a variabilidade dos preços dos ativos financeiros subjacentes. No mundo das opções reais, a incerteza tem valor por causa da habilidade dos executivos para gerir a incerteza dos projetos.

Essa diferença fundamental na natureza da incerteza tem sua contrapartida na natureza da informação que precisa ser usada para avaliação de opções e de gestão. Para opções financeiras, os dados disponíveis sobre o preço das ações tornam-se necessários. Para uma opção real, tal como a construção de uma unidade de produção, a incerteza surge nos preços futuros ou custos de produção. Enquanto os preços dos produtos podem ter alguma semelhança com o preço das ações, eles não são geralmente gravados com a mesma precisão, nem são conduzidos pelos mesmos fatores. Quando se trata de avaliação de custos, tanto a forma como a natureza de dados disponíveis são fundamentalmente diferentes.

Tabela 1: Fatores que afetam o valor das opções financeiras e reais

Opção de compra sobre as ações	Opções reais em projetos
- Valor atual das ações	-VP (Bruto) do fluxo de caixa esperado
- Preço do exercício	- Custo do investimento
- Tempo de validade	- Tempo até a oportunidade de terminar
- Valor da ação sob incerteza	- Valor do projeto sob incerteza
- Taxa de juros livre de risco	- Taxa de juros livre de risco ou risco ajustado

Fonte: Adaptado de BOYER et.al. (2003). Value Creation, Risk Management and Real Options

2.3.1 Variáveis Básicas das Opções Reais e Financeiras

As Opções Financeiras (OFs) e as Opções Reais (ORs) dependem das variáveis básicas detalhadas a seguir:

Ativo Subjacente Sujeito a Risco (ASSR): No caso das opções financeiras, é um valor mobiliário, como, por exemplo, uma ação ordinária ou um título. No caso das opções reais, é o valor do ativo real sem considerar as flexibilidades gerenciais.

Preço do exercício: No caso das OFs, é o valor da ação no momento de sua maturidade. No caso das ORs, é o montante necessário que deve ser investido para realizar a opção.

Prazo de vencimento da opção: É o período no qual a opção está disponível. No caso das OFs, esse prazo é negociado no momento da contratação. No caso das ORs, o período depende das características do ASSR, por exemplo, a concessão de exploração de uma mina cedida pelo governo por cinco anos.

Desvio padrão do valor do ASSR: É a medida da volatilidade do ASSR, ou seja, os riscos e as incertezas relativos ao retorno futuro esperado do investimento. O valor da opção aumenta quanto maior for a volatilidade do ativo. No caso das OFs, a estimação é feita pela variância de seus retornos. No caso das ORs, é necessário recorrer a simulações das variáveis para estimar a volatilidade do projeto. Alternativa à solução dessa dificuldade é recorrer à busca de *proxies* no mercado, ou seja, empresas ou ativos que tenham ações também negociadas em bolsa e se assemelhem em volatilidade ao ASSR em análise.

Taxas de juros (r): É a taxa que influi na determinação do preço da opção. Quanto maior a taxa de juros, maior o valor da opção real.

2.4 CLASSIFICAÇÃO DAS OPÇÕES REAIS

As opções se classificam pelo tipo de flexibilidade que oferecem, são elas: diferir, expandir, contrair e abandonar. Algumas opções podem ser compostas, ou seja, são opções

sobre opções. Os investimentos em fases são bons exemplos deste último caso. Há também as que se definem pelo tipo de incerteza que influenciam a opção, as chamadas “arco-íris” ou múltipla interação. A seguir, será mostrado um resumo dos principais tipos de opção e seu uso.

Classificação das Opções Reais de acordo com Sousa Neto, Oliveira, Bergamini Junior (2008), citando Trigeorgis (2002):

Opção de diferir: Pode se esperar X anos para verificar se os preços justificam a construção e o investimento em infraestrutura. Por exemplo, opção de aluguel ou de compra de terra ou de recursos. Importante para a indústria de extração de recursos naturais, mercado imobiliário, agronegócio, produtos.

Opção de alterar: Carteiras de opções de compra e de venda que permitem a alternância a um custo ou custos fixos entre duas modalidades de operação, tal como a entrada e saída de um setor do mercado, ou iniciar e parar determinada linha de produção devido a mudanças na demanda ou nos preços. Em caso de condições menos favoráveis que o esperado, existe a opção de diminuir, ou mesmo parar a operação para depois recomeçá-la. Importante para a indústria de recursos naturais (mineração), construção de novas instalações e cíclicas, mercado imobiliário comercial, indústria de bens de consumo, indústria de moda.

Opção de Conversão: Se os preços ou a demanda mudam drasticamente no mercado, os gestores podem mudar o mix de produção da fábrica, ou usar diferentes insumos para a produção, dados a escassez, ou custo alto de algum insumo. Importante para produtos de bens e consumo, brinquedos, eletrônicos, peças de máquinas. Custo de *commodities*, energia elétrica, gás natural, matérias-primas.

Opção de Abandono: Se as condições de mercado declinarem drasticamente, a empresa tanto poderá abandonar o projeto nas operações permanentes como se colocar à venda. Importante para o mercado financeiro, indústria de capital intensivo, novos produtos em mercado incerto.

Opção Composta: Quando os investimentos são realizados em etapas, existe a opção de abandonar ou de seguir para a nova fase, dependendo dos resultados e das condições específicas daquele momento. Cada etapa pode ser vista como uma opção. Importante para a

indústria de capital intensivo, investimento em pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, projetos de longo prazo de capital intensivo.

Opção de Crescimento: Investimento Inicial (concessão de exploração de petróleo, aquisição estratégica) é um pré-requisito ou um elo numa cadeia de projetos inter-relacionados para futuras oportunidades de crescimento e desenvolvimento. Exemplo de novo produto, reserva de petróleo, acesso a um novo mercado, fortalecimento ou desenvolvimento de conhecimento ou competência central. Importante para as empresas de alta tecnologia, indústria baseada em inovação e investimento em operações multinacionais, aquisições estratégicas, empresas de múltiplos produtos, informática, computacional.

Opção Arco-Íris: Projetos Reais frequentemente envolvem coleção e combinação de várias opções. Potenciais, melhorias, expansão, abandono. Esse tipo de opção combina com as outras opções acima detalhadas. Importante para projetos reais em todos os tipos de indústrias e negócios listados acima.

2.5 PRECIFICAÇÃO POR OPÇÕES REAIS

Capozza e Li (1994) desenvolveram um modelo utilizando uma abordagem ideal de parar, a fim de analisar a decisão de substituir capital durável em condições de incerteza, quando a intensidade é variável. O modelo é aplicado em decisões de conversão para terras, em que se aborda a conversão de terrenos vazios para uso urbano e usos alternativos, também é considerado o papel dos impostos na propriedade. Encontrou-se que os valores aplicados na propriedade contêm não apenas uma irreversibilidade prêmio, como em outros modelos, mas também um prêmio de intensidade. A relação entre o prêmio de irreversibilidade para o prêmio de intensidade é uma função crescente da elasticidade de saída de capital. Mostrou-se que as variações na intensidade do investimento aumentam os obstáculos à renda e atrasos em decisões de substituição de investimentos.

Também Plantinga e Miller (2001) desenvolveram um modelo para determinar o valor da área agrícola quando do seu desenvolvimento futuro. O modelo foi aplicado para o estado de New York. Alguns resultados mostram que existe relação entre o valor da área agrícola e a distância para áreas metropolitanas. O valor da área agrícola terá valorização real de acordo com o crescimento populacional da cidade.

Em Quigg (1993), examina-se empiricamente um modelo de precificação por opções reais com o uso de uma grande amostra de preços de mercado. O modelo incorpora a opção de esperar para desenvolver uma área rural. Com amostras de duas mil e setecentas transações de terra em Seattle, encontrou-se um prêmio para a opção de esperar para investir, que tem valor médio de seis por cento do valor teórico da terra. O prêmio varia de um a trinta por cento em várias subamostras. Também são estimados os desvios-padrão para preços dos imóveis comerciais variando de dezoito a vinte e oito por cento.

Ooi, Sirmans e Turnbull (2006) examinam um experimento natural no mercado fundiário de Singapura para obter estimativas diretas do valor da opção de terras com base nas transações observadas. Comparam terras vendidas pelo governo, com restrições, deixando de lado as opções reais, a terra vendida no mesmo mercado, sem restrições. Descobriu-se que aproximadamente quarenta e cinco por cento do valor de mercado de terrenos vagos representam o valor de suas opções embutidas.

Já Geltner, Riddiough, Stojanovic (1996) consideram as implicações por escolher o uso da terra como forma de obter ganhos investindo em terras especulativas e nas quais o tempo de desenvolvimento é refletido na ótima correlação que desencadeia num desenvolvimento imediato. Os resultados indicaram que o uso da terra (i.e. os usos múltiplos de zoneamento) pode adicionar mais de quarenta por cento ao valor da terra sob circunstâncias econômicas típicas. O momento ideal de desenvolvimento é afetado quando a correlação é afetada.

A pesquisa realizada por Isgin (2000) teve como primeiro objetivo avaliar os valores de opção real de terras para um número selecionado de proprietários de terras de Ohio. Os resultados demonstraram que a maioria dos valores de compras incorporou o valor positivo de uma opção de adiamento, e sugeriu que o adiamento da decisão de vender a terra foi ótimo

para a maioria dos produtores. O incremento dos valores de compra de opções reais se deve ao desenvolvimento de oportunidades futuras, decorrentes da urbanização nas proximidades.

Outro objetivo do trabalho de Isgin (2000) foi o de quantificar os efeitos da urbanização sobre “Ohio farm real state”, usando o mesmo modelo econométrico para os resultados obtidos nos cálculos do primeiro objetivo. Nesta parte, a pesquisa relata as estimativas de um modelo de duas equações simultâneas de fluxo de renda recebido por uma amostra de proprietários de Ohio e sua volatilidade. Os resultados indicaram que as variáveis, como densidade populacional, crescimento populacional absoluto, porcentagem de área classificada como terreno agrícola, renda familiar média e qualidade, podem ser medidas pelo rendimento por área, e todos são importantes fatores que afetam o valor de compra da opção real calculada para esta amostra. O impacto da influência urbana aumenta com o tamanho da população, mas diminui de acordo com a distância entre os dois locais. O resultado destas duas forças opostas tem pressionado sobre o valor da terra e demonstra uma tendência ascendente especialmente em áreas de acesso aos centros urbanos. Incrementos de preço das terras, por sua vez, causam motivação para cima, isso se os proprietários de terras as converterem em utilização alternativa, uma vez que o desenvolvimento oferece agora mais terras agrícolas para uso.

Um terceiro objetivo do trabalho de Isgin (2000) foi o de saber se o agricultor deve vender sua propriedade (terra agrícola) para desenvolvimento ou não. Para tal, fez-se uma análise de simulação a fim de verificar a validade da modelagem econométrica. Os coeficientes de correlação encontrados entre a opção e os valores simulados da opção e a dos preços de mercado com a dos preços simulados do mercado foram muito altos, sugerindo que o poder explicativo da estimação conjunta foi bem sucedido, o suficiente para explicar a variação nas variáveis dependentes de taxa de aluguel e desvio-padrão.

Platinga (1988) estudou a rotação ideal de madeira sob a incerteza de preços que pode fornecer um incentivo para adiar as colheitas. O incentivo para adiá-las decorre do fato de que a colheita de hoje impede a do futuro, ou seja, há um custo associado com a colheita no período atual, perdendo-se a oportunidade de colheita em períodos subsequentes. Os benefícios perdidos são iguais ao valor da opção. É demonstrado analiticamente que as políticas de preço de reserva atuam como mecanismo a fim de incorporar o valor da opção para o cálculo do comprimento de rotação ideal.

Du e Hennessy (2008) investigaram, no caso de arrendamento de terras agrícolas, o valor da troca de culturas, soja ou milho, para a safra seguinte. Utilizando Simulação de Monte Carlo, mostraram que, em média, o valor do aluguel é maior onze por cento do que pelo método convencional do Valor Presente Líquido, o que resulta em muito mais lucratividade de que trabalhar com uma cultura só.

Capozza e Sick (1994) analisaram o caso em que a terra pode ser convertida para uma utilização diferente, podendo ser da agricultura para o uso urbano. Para isso, desenvolveram um modelo de apreçamento de terra urbana e agrícola que integra as teorias de preço espacial e de ativos, caracterizando a estrutura de risco espacial e temporal do mercado de terras. O preço da terra do solo urbano é fixado pela CAPM; e o preço da terra do solo agrícola, por opções reais na sua conversão em solo urbano. Os resultados mostram que o preço da terra aumenta aguardando conversão com a taxa de crescimento das rendas urbanas e risco não sistemático, mas diminui com a aversão ao risco. No entanto, pode aumentar ou diminuir com o risco sistemático. O limite para o exercício livre determina o tamanho da cidade que aumenta com a taxa de crescimento de rendas urbanas, mas diminui com o risco sistemático e não sistemático.

Moreno, Navas e Todeschini (2008) utilizaram a teoria de opções reais para avaliar o valor de uma parte da produção agrícola. Assumiram que a terra só pode ser semeada com culturas. Para isso, eles usaram um modelo de dois fatores para determinar o preço da cultura e derivar uma equação diferencial parcial para o valor da terra. Uma das conclusões a que chegaram é a de que se um pedaço de terra é vendido, geralmente é difícil comprá-lo de volta a preço de mercado, já que incorpora uma opção de venda embutida para o proprietário, o qual deve ser considerado no cálculo de seu valor.

Em outro trabalho, Moreno, Navas e Todeschini (2009) utilizaram a teoria de opções reais para valorar um terreno agrícola em que se podem cultivar diferentes culturas; consideraram modelos unifatoriais e bifatoriais para a evolução do preço dessas culturas, e obtiveram uma equação diferencial em derivadas parciais (EDP) para valorar o terreno. Ademais, modelaram a possível venda do terreno pelo proprietário como uma opção de venda (*put*) e incorporaram na EDP do valor da terra. Ao resolver numericamente a equação diferencial, constata-se que o valor da opção de venda representa, pelo menos, vinte e cinco por cento do valor total da área rural.

O trabalho de Nogueira e Sato (2006) analisou a decisão de abandono de um investimento numa lavoura de café, na região de Franca. A análise se deu por meio da Teoria de Opções Reais (TOR), considerando-se as peculiaridades do ciclo produtivo da *commodity*. A decisão ótima de abandono representa a escolha entre exercer ou não uma opção, com vistas a maximizar a riqueza do proprietário. Para resolver o problema, utilizaram-se o modelo binomial de precificação de opções e a técnica de programação dinâmica. No resultado, identificaram-se o valor da opção de abandono e a fronteira ótima de seu exercício, considerados ou não os ciclos produtivos, além de uma análise de sensibilidade dos fatores que influenciaram o valor da opção. Os resultados empíricos obtidos para o valor de abandono, a fronteira ótima de exercício da opção de abandono e a análise de sensibilidade, de maneira geral, corroboraram as previsões do modelo.

Em Forsyth (2000), a teoria de precificação de opções é utilizada para analisar se se deve ou não preservar uma área de selva. Este artigo baseia-se em Conrad (1977), citado por Forsyth (2000), o qual assumiu que o valor de utilidade segue um processo de Movimento Geométrico Browniano. Afirma que essa hipótese é razoável quando o valor da utilidade é amplamente definido para incluir todos os benefícios não madeireiros de uma floresta adulta, incluindo o habitat dos animais selvagens, controle de inundações, os valores do usuário e os valores de existência. Também parece ser mais apropriado para estimar o valor da utilidade de raros e únicos recursos do patrimônio natural, como o Grand Canyon. Com essa visão ampliada dos benefícios da utilidade, a autora manifesta ser difícil encontrar uma série temporal de dados históricos que permitam estimar os parâmetros do processo estocástico. Conrad optou por utilizar o número de visitantes para uma área de selva, e assumiu que o valor da utilidade total é proporcional à dos visitantes.

Nesse artigo, a autora tenta uma abordagem diferente; define o valor da utilidade para incluir apenas o usuário de valor. Essa abordagem pode ser considerada conservadora, já que a preservação da área do deserto poderia ser justificada com base no valor de um único usuário, ignorando-se outros valores.

A abordagem do valor da opção foi aplicada para a área do deserto Killarney, assumindo uma preservação de quinze por cento. Rendimentos de conveniência foram assumidos para incluir apenas os valores do usuário. O valor de utilidade crítica, no âmbito do caso base, foi estimado em duzentos e quarenta e oito mil dólares. Este valor crítico é

claramente preenchido pelo atual número de usuários no acampamento de Killarney, sessenta e sete mil, diante das estimativas de quem está disposto a pagar, em estudo recente de valorização contingente. Assim, para áreas como Killarney, não é necessário apelar para valor de existência e outros valores de não utilização para justificar sua preservação.

O autor mostra que o valor da opção é adequado para muitas decisões encontradas em recursos e economia ambiental os quais envolvem investimentos irreversíveis e quando o tempo de investimento é flexível. A abordagem de valor da opção é usada para determinar ou não o corte de uma área da floresta ou preservá-lo para uso recreativo. A decisão de corte de floresta é levada para ser irreversível e produzir receita conhecida. A preservação gera um fluxo anual das prestações de utilidade para uso recreativo.

O principal objetivo do trabalho foi o de demonstrar a utilização de um modelo numérico geral de abordagem para estimar o valor da opção. Essa abordagem pode ser aplicada em qualquer tipo de processo estocástico, e permite muito mais realismo e complexidade quando se trata de encontrar uma solução analítica.

Kerr, Martin e Basso (2009) examinam o corte de um lote de árvores num projeto de reflorestamento de eucalipto para fabricação de celulose. Tal projeto de investimento foi tratado como opção real, semelhante em natureza a uma opção de compra americana, com os custos de colheita das árvores como preço de exercício e com preços de madeira aleatórios. A modelagem conduz ao problema de avaliar o valor de uma opção de tipo americano sobre um ativo que paga dividendos e tem preço de exercício no nulo. Como não há solução analítica conhecida para este problema, então é necessário resolver numericamente as equações diferenciais parciais (EDP) que resultam dessa modelagem. A solução numérica utilizada neste trabalho é conhecida como o método das diferenças finitas totalmente implícitas e conduz a um sistema de equações lineares que foi resolvido com um algoritmo denominado de *Projected Successive Over Relaxation* (PSOR), com ajuda de um *Software* escrito em C especialmente para este fim.

Duca, Chammas e Santiago (2009) têm avaliado a expansão de uma área destinada ao cultivo de uma floresta, plantada, de madeira de lei, por meio de uma abordagem de opções reais. Para o qual levaram em consideração as projeções dos preços do metro cúbico de madeira praticada nos momentos de realização dos lucros. Ao fazer a avaliação dos impactos

de diversas incertezas envolvidas no empreendimento de uma floresta plantada, foram considerados os custos incorridos, os parâmetros de *payoff* de madeira e o valor da terra no momento da decisão de expansão do negócio. O preço do guanandi foi modelado como um processo geométrico browniano. O método numérico utilizado no trabalho foi o da simulação de Monte Carlo. O retorno de investimento, de acordo com os resultados, não está atrelado a uma forte tendência de alta dos preços de comercialização de madeira de lei, mas a uma enorme discrepância entre as receitas geradas e os custos incorridos. Concluiu-se que as incertezas envolvidas não são capazes de inviabilizar o empreendimento, tendo como desafio imobilizar o capital por um período tão longo.

3. METODOLOGIA

Nesta parte, apresentam-se os procedimentos metodológicos adotados na investigação.

3.1 MÉTODO

Com base nos objetivos propostos, o método norteador da pesquisa caracteriza-se por adotar a pesquisa explicativa e a descritiva sob a abordagem da pesquisa quantitativa.

3.2 AMOSTRA

As culturas consideradas em nossa aplicação empírica são: Soja e Milho. Também utilizamos a produtividade média e custos de produção das culturas para o Estado de Goiás, segundo dados da AGRIANUAL.

Na pesquisa, utilizaram-se dados diários dos preços das culturas soja e milho, obtidos da Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F), e fornecidos pela ESALQ/ BM&F, e abrange o período de janeiro de 2005 a março de 2011 para um total de mil quinhentas e noventa e três observações. Os preços são apresentados por saca de sessenta quilos.

3.3 MODELOS ESTOCÁSTICOS ALTERNATIVOS PARA MEDIR O VALOR DA TERRA

Para o desenvolvimento do estudo, utilizou-se o processo de difusão proposto por Cox, Ingersoll e Ross (1985), um modelo com reversão à média e taxas de juros não negativas.

3.3.1 Preço das culturas

Para descrever a evolução dos preços das culturas, utilizou-se o modelo proposto por Cox, Ingersoll, Ross (1985) que consideram dados não negativos (quando a taxa de juros aumenta sua variância também aumenta). O modelo é utilizado nas literaturas para simulação de preços de ações no futuro ou derivativos financeiros, pelo método de Monte Carlo. O modelo a ser utilizado é da forma:

$$dr = k(\theta - r)dt + \sigma\sqrt{r}dW_t \quad (1)$$

Aqui:

dW é um processo Browniano sob a medida de probabilidade neutra ao risco,

k é a constante “velocidade de ajustamento” ou uma medida de reversão à média, θ é a constante “média em longo prazo”, e σ é a volatilidade do ativo objeto.

A Equação Diferencial Parcial (EDP) do processo de difusão adotado dá-se da seguinte forma, de acordo com Cox, Ingersoll e Ross (1985):

$$\frac{1}{2}\sigma^2 r V_{rr} + k(\theta - r)V_r + V_r - \lambda r V_r - rV = 0 \quad (2)$$

Na qual: V é o valor da área rural

3.3.2 Valor da terra

Supõe-se, na pesquisa, que a terra tem um horizonte de trinta anos¹ de uso e que, após esse período, a terra é totalmente depreciada. E também que não existe rotação de culturas.

Quando se tem uma cultura produzindo, e a terra não se deteriora com o tempo, o Fluxo de Caixa Descontado (FCD), segundo Moreno, Navas e Todeschini (2008), é dado por:

$$\text{VPL} = \text{FCD}(X_t) - K = X_t \sum_{j=1}^{30} Q_j e^{-cj} - C \sum_{j=1}^{30} Q_j e^{-rj} - K \quad (3)$$

Na qual: C é o custo de produção (assumido como constante), X_t são os retornos futuros para cada preço no tempo t, Q_j produtividade da cultura no período j e K^2 é o preço de exercício da opção de vender a terra. O preço de exercício pode ser interpretado como o custo de oportunidade devido a terra, isto é, se o agricultor possui a terra, a fim de explorá-la, ele renunciará a vendê-la por algum preço K.

Supondo ex-ante que não haverá lucro econômico, o preço do exercício terá um valor que faz o VPL igual a zero. Então a equação quatro pode ser escrita como:

$$\text{FCD}(X_t) = X_t \beta_1 - \beta_2$$

Aqui

$$\beta_1 = \sum_{j=1}^{30} Q_j e^{-cj} ; \beta_2 = C \sum_{j=1}^{30} Q_j e^{-rj} + K$$

Agora, no início de cada período, o proprietário da terra tem de tomar uma decisão quanto à venda da área rural: Se o preço de venda é superior ao FCD, o agricultor irá vender a terra. Por outro lado, se o preço de venda é inferior ao FCD, o agricultor conserva a terra por mais um período.

Assume-se que a opção de vender a terra pode ser exercida uma vez por ano e que a opção de vender a terra dura a vida inteira do projeto.

A existência da opção de venda sugere que o valor da terra para o proprietário não é simplesmente o Fluxo de Caixa Descontado em função dos retornos futuros, mas os FCDs

1 O horizonte de trinta anos foi considerado para atribuir um prazo final para o projeto.

2 O preço do exercício é suposto para decrescer em forma constante (K/T) por período. Ou seja, a qualquer momento t (< T), considera-se um valor $K \left(1 - \frac{t}{T}\right)$.

mais a opção relativa aos ganhos de capital futuro. Assim, o valor da terra para o proprietário é:

$$FCD(X_t) + V(X_t)$$

Na qual: $V(X_t)$ denota o valor da opção de venda sobre a terra.

Esses valores dependem dos processos usados para modelar a evolução dos preços das culturas.

3.4 PROCEDIMENTOS NUMÉRICOS

Para estimar os parâmetros da Equação Diferencial Parcial, será utilizado o Método Generalizado de Momentos.

Para resolver a Equação Diferencial Parcial, será utilizada a Simulação de Monte Carlo com Mínimos Quadrados Ordinários.

3.4.1 Estimativa de parâmetros dos preços das *commodities* e valor da terra

3.4.1.1 Parâmetros do Preço das *Commodities*

Os parâmetros dos processos estocásticos dos preços das culturas serão avaliados mediante a aplicação do Método Generalizado de Momentos (GMM), técnica proposta por Hansen (1982). Os processos apresentados anteriormente para essas variáveis são casos particulares dos processos estocásticos mais gerais:

$$dY = (a + bY)dt + \sigma Y^\gamma dW \quad (4)$$

Aqui: $Y \equiv Y(t)$ denota preço da cultura no prazo $t \in [0, T]$.

Fazendo a equivalência com o modelo proposto CIR, temos que:

- $a = k\theta$
- $b = -k$
- $\gamma = 1/2$

3.4.1.1.1 Método Generalizado de Momentos

Segundo Oviedo (1998), o método generalizado de momentos (GMM) é poderoso instrumento de estimação de parâmetros estatísticos. Na atualidade, são conhecidas as propriedades assintóticas dos estimadores obtidos por este método, pressupostos não muito restritivos são consistentes e com funções de distribuição facilmente calculáveis. Ferramentas amplamente divulgadas e utilizadas em econometria, tais como mínimos quadrados ordinários, mínimos quadrados generalizados, estimação em duas etapas e máxima verossimilhança podem ser considerados casos particulares de GMM.

O Método

Seja g_i função de X_t vetor aleatório (fila) no tempo t , e de \mathbf{q} , um vetor de coeficientes desconhecidos que se pretende estimar, quer dizer:

$$g_i(X_t, \theta) \text{ com } i = 1 \dots k$$

se supondo que q_0 é o verdadeiro valor de \mathbf{q} , então se cumpre a igualdade:

$$E[g_i(X_t, \theta_0)] = 0, \text{ com } i = 1 \dots k$$

Denominadas condições de “ortogonalidade” nas quais se sustenta o método generalizado de momentos.

Esse tipo de condições pode originar-se em proposições justificadas nos dados, como por exemplo:

$$E(X_t, e_t) = 0,$$

Para o modelo clássico

$$Y_t = X_t B + e_t.$$

As condições estabelecidas em $E[g_i(X_t, \theta_0)] = 0$ devem estar sustentadas teoricamente. Mas na prática a estimação deve realizar-se usando um conjunto finito de observações,

$$X_t = \{X_t\}, \text{ com } t = 1, \dots, T$$

Ou seja, se as igualdades em $E[g_i(X_t, \theta_0)] = 0$ são verdadeiras, a estimação do valor de θ_0 , deve basear-se na média amostral:

$$\hat{f}_i(X_t, \theta) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T g_i(X_t, \theta)$$

Se o número de condições de ortogonalidade é igual ao número de parâmetros a estimar (ou seja, $k = 1$, em que l é a dimensão de \mathbf{q}), a estimação de \mathbf{q} mediante GMM corresponde à solução do sistema de equações:

$$f_i(X_T, \theta) = 0$$

Na verdade, o caso mais frequente não é este; mas sim quando o número de parâmetros é menor que o de condições de ortogonalidade. Nessa situação, é impossível que todas as igualdades $f_i(X_T, \theta) = 0$ se cumpram; corresponde então buscar o valor de \mathbf{q} que “aproxime” de zero o vetor:

$$f(X_T, \theta) = \begin{bmatrix} f_1(X_T, \theta) \\ f_2(X_T, \theta) \\ \vdots \\ f_k(X_T, \theta) \end{bmatrix}$$

Estabelecer “que tão próximo” está o vetor de zero requer a definição de uma métrica. A expressão mais geral de uma métrica é:

$$[f(X_t, \theta) M f(X_t, \theta)']$$

Sendo que M é uma matriz definida positiva e f' é o vetor f transposto. O problema é a definição da matriz. M . Hansen (1982) demonstrou que a melhor escolha de M é a matriz de variância-covariância do vetor f , aqui denotada por S .

Se a série multidimensional de tempo,

$[f(X_T, q_0)]$ com $T = -\infty \dots \dots \dots \infty$

é serialmente não correlacionada, a matriz S pode ser estimada de maneira consistente da seguinte forma:

$$(v) \quad \widehat{S}_T = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T [f(X_t, \widehat{\theta}_0)] [f(X_t, \widehat{\theta}_0)]'$$

No entanto, para estimar S é necessário contar com a estimação de q_0 e vice-versa. Para sair dessa armadilha circular, sugere-se o processo iterativo:

$$\widehat{S}_T^0 = I_K \text{ (matriz identidade de ordem } k\text{)}$$

$$\widehat{\theta}_0 = \underset{\theta}{\operatorname{argmin}} \{ [f(X_T, \theta)]' [\widehat{S}_T]^{-1} [f(X_T, \theta)] \}$$

No trabalho, seguindo a metodologia do Método Generalizado de Momentos (GMM) tem-se:

Dividindo o intervalo de tempo $[0, T]$ em n subintervalos de duração $\Delta t = T/n$. A discretização de Euler para a equação estocástica é escrita usando o modelo CIR, aproximação do tempo discreto da equação (5) como:

$$Y_{t+\Delta t} - Y_t = (\alpha + \beta Y_t) \Delta t + \sigma \sqrt{Y_t} \sqrt{\Delta t} \epsilon_t \quad (5)$$

Sendo:

$$Y(i\Delta t) - Y((i-1)\Delta t) = (\alpha + \beta Y(i-1)\Delta t) \Delta t \quad (6)$$

Para $i = 1, 2, 3, \dots, n$

Aqui os resíduos $\epsilon(i)$ compreendem:

$$E[\epsilon(i)] = 0; \quad E[(\epsilon(i))^2] = \sigma^2 [Y((i-1)\Delta t)]^{2\gamma} \Delta t$$

Com $\Omega = (\alpha, \beta, \sigma, \gamma)$ sendo o vetor contendo os parâmetros incluídos na discretização de Euler dada pela equação (7) acima. Então, para $i = 1, 2, 3, \dots, n$ o vetor momento de $f(i\Delta t, \Omega)$ é dado como:

$$f(i\Delta t, \Omega) = \begin{bmatrix} \varepsilon(i) \\ \varepsilon(i)y((i-1)\Delta t) \\ (\varepsilon(i))^2 - \sigma^2 [y((i-1)\Delta t)]^{2\gamma} \Delta t \\ ((\varepsilon(i))^2 - \sigma^2 [y((i-1)\Delta t)]^{2\gamma} \Delta t)y((i-1)\Delta t) \end{bmatrix}$$

Considerando-se as restrições implícitas na equação (5), deve-se começar com:

$$E [f(i\Delta t, \Omega)] = \mathbf{0}, i = 1, 2, 3, \dots, n.$$

Utilizando a discretização de Euler no intervalo $[0, T]$ mencionado acima, a contrapartida da amostra, $g(n, \Omega)$ de $E [f(i\Delta t, \Omega)]$ é considerada como:

$$g(n, \Omega) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f(i\Delta t, \Omega)$$

Já que a principal ideia subjacente à metodologia GMM é encontrar os parâmetros que minimizem a distância entre os momentos da população e as amostras. Então, o estimador GMM do vetor de parâmetros é dado como:

$$\Omega_0 = \arg \min [g(n, \Omega)' W(n) g(n, \Omega)]$$

Sendo $W(n)$ uma ponderação positiva definida na matriz.

Depois de realizada a estimativa GMM, podem-se usar os parâmetros estimados para valorar a terra.

3.4.1.2 Avaliação da Opção de Venda

Como mencionado anteriormente, o valor da terra é dado pela solução de determinado PDE, equação (3). Ao resolver numericamente a equação diferencial, devem-se considerar características adicionais, como, por exemplo, a existência de diversas culturas. Como essas características dificultam a solução numérica deste PDE, optou-se por enfrentar este problema de avaliação por meio da aplicação de técnicas de simulação.

Uma alternativa possível para estimar esse valor é a do método de Mínimos Quadrados de Monte Carlo (LSM), técnica proposta por Longstaff e Schwartz (2001). Esse método baseia-se nos mínimos quadrados da regressão, combinados com a informação transversal, fornecidos por uma simulação de Monte Carlo.

3.4.1.2.1 *Método de Mínimos Quadrados de Monte Carlo – LSM*

De acordo com Araujo e Baidya (2004), o método LSM se utiliza da programação dinâmica: a cada instante anterior à data de vencimento de uma opção americana, o proprietário dessa opção compara o *payoff* do exercício antecipado com o seu valor de continuação, para assim tomar uma decisão ótima. A estratégia de exercício ótimo de uma opção americana é determinada fundamentalmente pela expectativa condicionada de seu valor de continuação. A contribuição dos autores Longstaff e Schwartz (2001) foi a de identificar que a expectativa condicionada pode ser estimada a partir de informações crosseccionais na simulação usando o método de mínimos quadrados. Essa técnica é definida pelos autores como mínimos quadrados de Monte Carlo (LSM).

Também Araujo e Baidya (2004) comentam que o método LSM pode ser usado na avaliação de opções que dependem de múltiplos fatores; derivativos com características de opções americanas e dependentes do caminho; e opções cujas variáveis de estado seguem um processo estocástico qualquer.

A seguir será apresentado o método LSM de Longstaff e Schwartz (2001), cujas características são mostradas por (ARAUJO E BAIDYA, 2004):

Sejam $C(W, s; t, T)$ os fluxos de caixa gerados pela opção, condicionada à restrição da opção não ser exercida antes do instante t , em que w corresponde a uma simulação de trajetória de preços. O dono da opção seguirá uma estratégia de exercício ótimo para um instante s , em que $t < s < T$.

Na data de vencimento da opção (T), o investidor exercerá a opção se ela estiver *in-the-money* dentro do dinheiro. Em qualquer instante t_n anterior à data T, porém, o investidor deve escolher entre exercer imediatamente a opção ou esperar até o instante t_{n+1} para novamente tomar uma decisão. Em cada trajetória de fluxos de caixa, a opção será maximizada se exercida quando o valor do exercício antecipado for superior ou igual ao valor de continuação.

Em t_n , o valor de exercício antecipado é conhecido pelo investidor, mas o valor de continuação não. A teoria de avaliação de ativos não possui arbitragem, porém indica que o valor de continuação da opção é dado pelo valor esperado dos fluxos de caixa futuros descontados até t_n com base numa medida Q de probabilidade neutra ao risco. Assim, o valor de continuação em t_n , definido como $F(w; t_n)$, será dado pela seguinte fórmula:

$$F(W, t_n) = E_Q \left[\sum_{j=n+1}^N \exp \left(- \int_{t_n}^{t_j} r(w, s) ds \right) C(W, t_j; t_n, T) I(t_n) \right]$$

Na qual: $r(w, s)$ é a taxa de desconto livre de risco, $I(t_n)$ corresponde ao conjunto de informações disponíveis em t_n para a tomada de decisão, e N é o número de intervalos de tempo entre o instante inicial e T ($N = T/\Delta t$ e $t_N = T$).

Para aplicar o método na avaliação de opções, inicialmente são simuladas diversas trajetórias de preços ou de fluxos de caixa, de acordo com a definição do comportamento dessas variáveis. Em seguida, o LSM usa o método dos mínimos quadrados para obter uma aproximação da função das expectativas condicionadas.

Em t_{N-1} , assume-se que $F(W, t_{N-1})$ é desconhecido, mas pode ser representado como combinação linear de um grupo de funções básicas $L_j(X)$ em que X é uma variável de estudo. Assim, o valor de continuação pode ser escrito da seguinte forma:

$$F(W, t_{N-1}) = \sum_{j=0}^{\infty} a_j L_j(X)$$

Na qual os coeficientes a_j são constantes. As funções básicas podem ser polinômios de Legendre, Chebyshev e Jacobi, entre outros. Quando há duas ou mais variáveis de estado

(preço do petróleo e custo de exploração, por exemplo), as funções básicas devem incluir todas estas variáveis, inclusive envolvendo mais de uma variável simultaneamente.

Para explicar o MQO, obtém-se uma aproximação de $F(W, t_{N-1})$ usando um conjunto M de funções básicas. Essa aproximação denominada $F_M(W, t_{N-1})$, é estimada pela regressão dos valores descontados de $C(W, s; t_{N-1}, T)$ nas funções básicas, para as simulações em que a opção está *in-the-money* no instante t_{N-1} . Os autores demonstram no artigo que, à medida que aumentamos o número de simulações, a estimativa $\widehat{F}_M(W, t_{N-1})$ converge para $F_M(W, t_{N-1})$.

Uma vez estimada a função de expectativas condicionadas para t_{N-1} , pode-se determinar se o exercício está antecipado. Nesse instante é ótimo, pela comparação entre o valor do exercício antecipado e $\widehat{F}_M(W, t_{N-1})$. Essa comparação é feita separadamente em cada uma das simulações que estão no valor *in-the-money* dentro do dinheiro, em t_{N-1} . Feito isso, repete-se o procedimento para o instante t_{N-2} e assim por diante, até se chegar ao instante inicial, quando as decisões de exercício ótimo em todas as simulações terão sido determinadas.

O valor da opção será igual à média dos fluxos de caixa provenientes do exercício ótimo em cada simulação, descontados até o instante inicial. A fórmula a seguir indica esse procedimento:

$$V_{OPÇÃO} = \frac{1}{K} \sum_{W=1}^K FC(W, t_w^*) \exp(-t_w^* r)$$

Na qual:

- r = taxa de desconto livre de risco
- K = número de trajetórias de preços simuladas
- t_w^* = data de exercício ótimo da opção na simulação W;
- $FC(W, t_w^*)$ = fluxo de caixa gerado pelo exercício da opção no instante t_w^* na simulação W.

No estudo, depois de simular mil metros cúbicos caminhos de dependência, considerado um número “suficientemente grande” para a evolução do ativo subjacente, para

qualquer caminho, e a cada duzentas e cinquenta observações (tempo de exercício), a regressão será realizada incluindo as seguintes variáveis:

- as variáveis explicadas: conjunto base de funções que dependem dos preços dos ativos subjacentes;
- a variável independente: valor atualizado de pagamentos que se espera receber no futuro.

4. ANÁLISES DOS RESULTADOS

Na tabela 2, mostram-se os parâmetros estimados, para as culturas soja e milho, por meio do Método Generalizado de Momentos (GMM), com o uso da Equação Diferencial Parcial (EDP) – equação 2 – do modelo CIR.

A ferramenta de cálculo foi o programa via Matlab (anexo).

Tabela 2: Parâmetros dados por (2) estimados via GMM para dados de milho e soja

PARÂMETROS	MILHO		SOJA	
	Coefficientes	t-estatístico	Coefficientes	t-estatístico
Kappa(k)	0,001448	-2,86	0,004978	-2,27
Theta(θ)	-0,000365	189,52	-0,001318	230,12
Sigma(σ)	0,000021	-200,00	0,000032	-147,26
Velocidade de ajustamento(k)	0,0004		0,0013	
Média em longo prazo(θ)	3,9621		3,7763	
Volatilidade(σ)	0,0046		0,0057	

Fonte: Dados da pesquisa

As figuras correspondentes à estimação das culturas soja e milho são apresentadas a seguir:

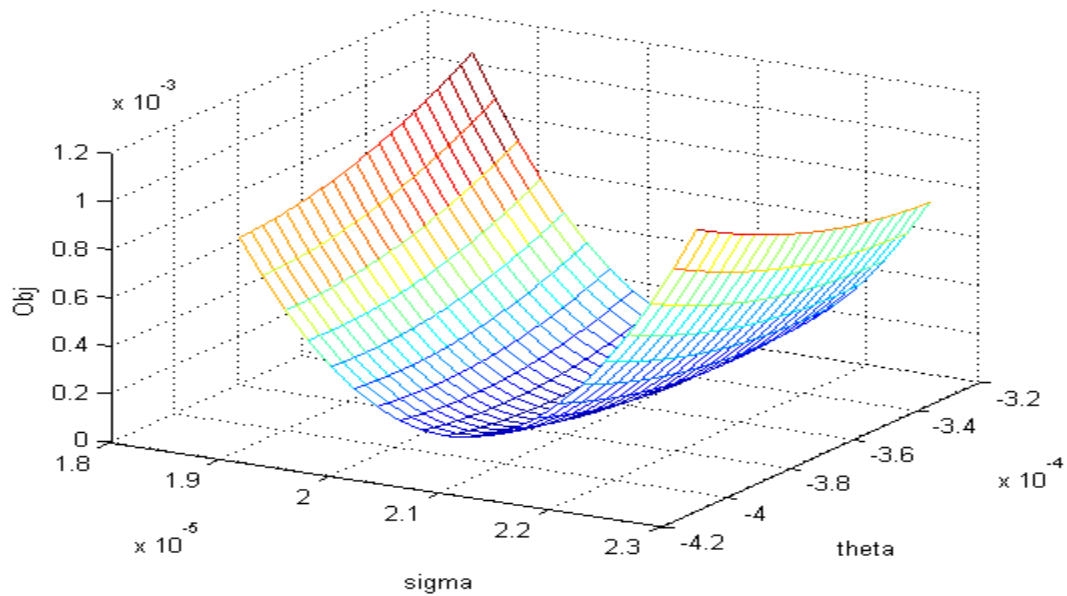


Figura 1: Processo CIR para calcular os parâmetros correspondentes ao milho: kappa, theta e sigma.

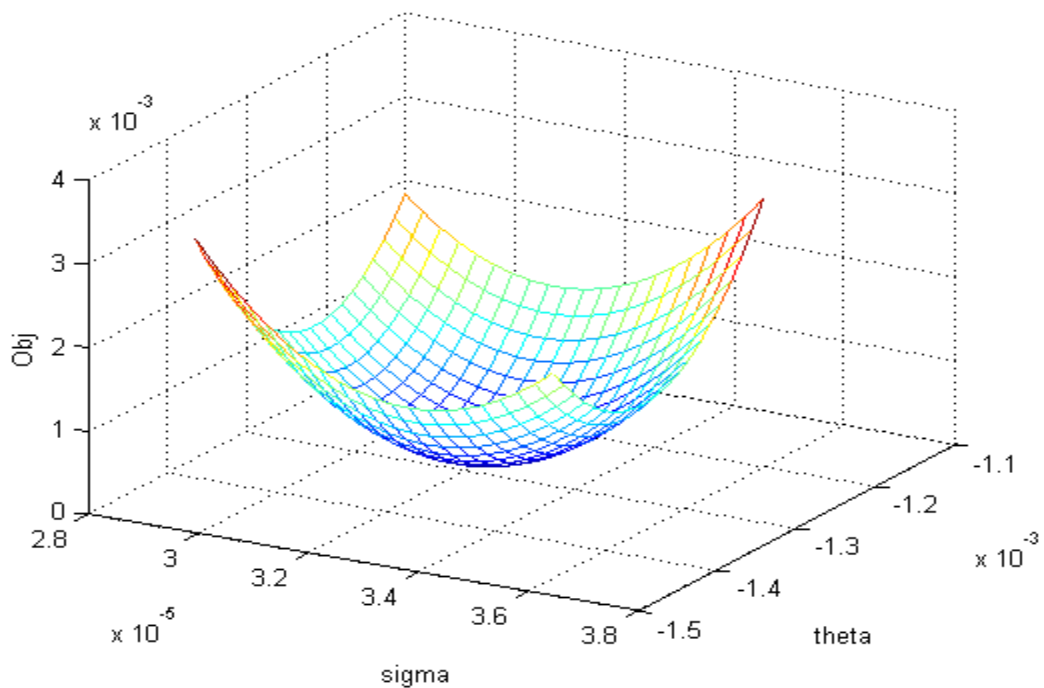


Figura 2: Processo CIR para calcular os parâmetros correspondentes à soja: kappa, theta e sigma.

Com os dados estimados, utilizando a discriminação de Euler, cujo método geral é o de aproximação, tem-se a seguinte equação:

$$dX_t = a(b - X_t)dt + c\sqrt{X_t}dW_t$$

Aqui os parâmetros:

- a = velocidade de ajustamento
- b = média em longo prazo
- c = volatilidade

Simularam-se os preços das culturas milho e soja, tendo como horizonte um período de trinta anos. Abaixo, as figuras 3 e 4 mostram as trajetórias seguidas pelos preços simulados do milho e soja:

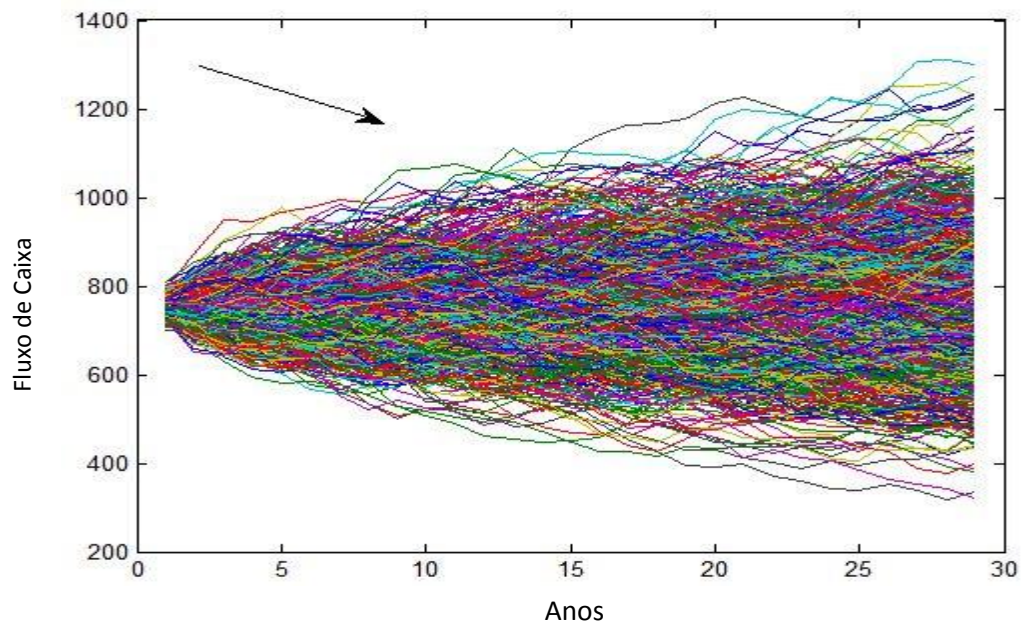


Figura 3: Simulação de trajetórias de preços do milho no modelo de Mínimos Quadrados Ordinários de Monte Carlo

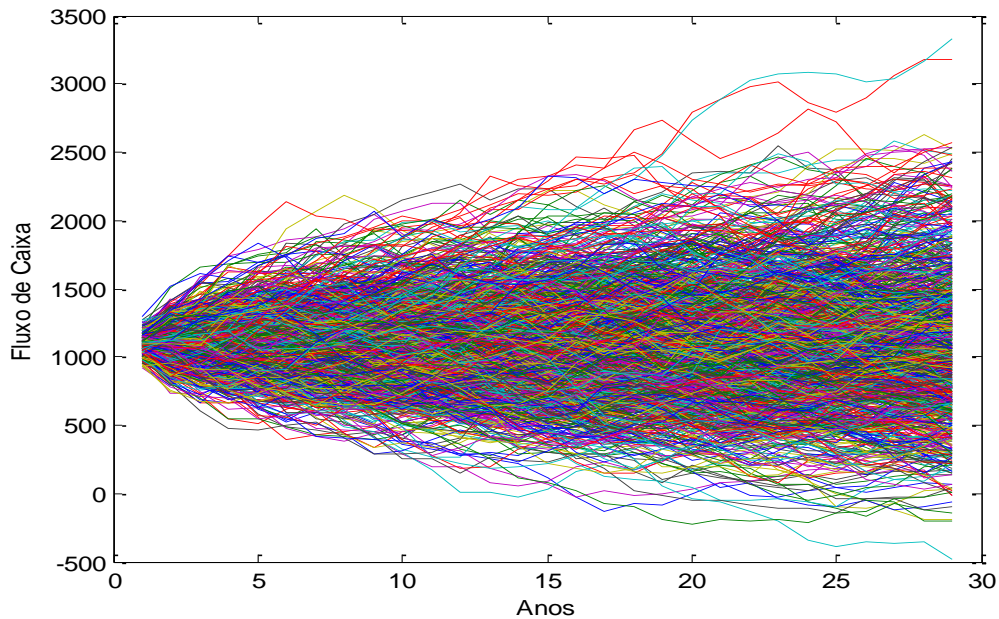


Figura 4: Simulação de trajetórias de preços da soja no modelo de mínimos quadrados ordinários de Monte Carlo.

Uma vez foi feita a simulação dos preços das culturas, e considerando-se as trajetórias de preços, o tempo de exploração da área rural, as taxas de juros variando de um a oito por cento; a produtividade dia-sc 60 kg/ha e o custo de produção dia R\$ sc 60 kg considerados em um primeiro momento como constantes; foi calculado o preço da opção e o valor do exercício (Fluxo de Caixa Descontado) por Simulação de Monte Carlo com Mínimos Quadrados, resolvendo a equação de programação dinâmica:

$$V_{OPÇÃO} = \frac{1}{K} \sum_{W=1}^K FC(W, t_W^*) \exp(-t_W^* r)$$

Em que:

- r = taxa de desconto livre de risco
- K = número de trajetórias de preços simuladas
- t_W^* = data de exercício ótimo da opção na simulação W ;
- $FC(W, t_W^*)$ = fluxo de caixa gerado pelo exercício da opção no instante t_W^* na simulação W .

Para a resolução da equação, utilizou-se o programa simulação de Monte Carlo por mínimos quadrados via Matlab (anexo). Na continuação, os resultados para as duas culturas em estudo nas tabelas 3 e 4:

Tabela 3: Valor da Opção de Venda e Fluxo de Caixa Descontado para o milho

Preço da opção R\$	Fluxo de Caixa Descontado R\$	Juros %	Produtividade dia- sc 60 kg/ha	Custo de Produção dia- R\$ sc 60 kg
5.059,5	5.247,8	1	0,25	0.05
4.374,6	4.562,4	2	0,25	0.05
3.806,3	3.993,3	3	0,25	0.05
3.332,4	3.518,5	4	0,25	0.05
2.935,2	3.120,4	5	0,25	0.05
2.600,7	2.785,0	6	0,25	0.05
2.317,5	2.501,0	7	0,25	0.05
2.076,7	2.259,3	8	0,25	0.05

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 4: Valor da Opção de Venda e Fluxo de Caixa Descontado para a soja

Preço da opção R\$	Fluxo de Caixa Descontado R\$	Juros %	Produtividade dia- sc 60 kg/ha	Custo de Produção dia- R\$ sc 60 kg
4.592,8	4.763,3	1	0,2	0.07
3.970,6	4.140,5	2	0,2	0.07
3.454,2	3.623,3	3	0,2	0.07
3.023,6	3.191,9	4	0,2	0.07
2.662,7	2.830,2	5	0,2	0.07
2.358,8	2.525,5	6	0,2	0.07
2.101,6	2.267,5	7	0,2	0.07
1.882,8	2.048,0	8	0,2	0.07

Fonte: Dados da pesquisa

Há nas tabelas 3 e 4 valores calculados do preço da opção e valor do exercício (Fluxo de Caixa Descontado) para diferentes taxas de juros com a produtividade e o custo de produção constante. Pode-se observar que o preço da opção e o valor do exercício diminuem enquanto a taxa de juros aumenta. Os valores correspondentes ao preço da opção e os valores do exercício, quando somados, mostram o valor final do terreno.

Também é possível ver nas tabelas 3 e 4 que o valor da opção em relação ao valor do terreno é bastante significativo, e representa minimamente mais de quarenta por cento. Nas tabelas 3 e 4 percebe-se que o valor do terreno, quando considerada a plantação de milho (num horizonte de trinta anos), é maior que o da soja para o mesmo horizonte de tempo, considerando tratar-se de terrenos no estado de Goiás.

Os preços dos terrenos calculados têm alguma semelhança com o mercado de terras existentes no estado de Goiás?

Segundo Ferreira, Miziara, Ribeiro (2007), o preço da terra rural pode ser considerada uma variável regionalizada, pois apresenta como características a localização, anisotropia (que ocorre devido à fertilidade, nível de utilização do solo e adoção de tecnologia de produção) e continuidade. São apresentados pelos autores os seguintes preços de terras para o Estado de Goiás: o preço da terra com agricultura de baixa produção tem variação entre R\$ 1.135,87 (mil cento e trinta e cinco reais e oitenta e sete centavos) e R\$ 7.428,12 (sete mil quatrocentos e vinte e oito reais e doze centavos) por hectare, sendo que as regiões mais valiosas estão na região da capital e no sul do Estado. Por outro lado, o norte de Goiás apresenta terras com menores preços. O preço das terras com agricultura de alta produção varia de R\$ 1.416,02 (mil quatrocentos e dezesseis reais e dois centavos) a R\$ 9.199,48 (nove mil cento e noventa e nove reais e quarenta e oito centavos) por hectare.

Como demonstrado nas tabelas 3 e 4, os preços dos terrenos teóricos calculados têm muita semelhança com os preços de mercado praticados no estado de Goiás. Isso ratifica a afirmação, no parágrafo acima, de que, no futuro, a terra plantada com soja pode ser subestimada se comparada à de milho. Para o proprietário, no futuro, o ideal é plantar a terra com milho já que conduz ao mais alto valor da terra e terá melhores opções de venda.

Agora, se considerados os valores obtidos do preço da opção e o valor do exercício (em ambas as culturas) com uma taxa de juros de cinco por cento, ao fazer uma análise de sensibilidade, fazendo variar o custo de produção em (+ 10% e + 20%), o valor do terreno diminui, o que significa existir relação inversa entre o valor do terreno e os custos de produção.

Tabela 5: Variação do Custo de Produção para o milho

Preço da opção R\$	Fluxo de Caixa Descontado R\$	Juros %	Produtividade dia-sc 60 kg/ha	Custo de Produção dia-R\$ sc 60 kg
2.935,2	3.120,4	5	0,25	0,05
2.930,7	3.115,6	5	0,25	0,055
2.926,2	3.110,8	5	0,25	0,060

Fonte: Dados da pesquisa

Na tabela 5, pode-se ver que, inicialmente, havia um valor do terreno para o milho de R\$ 6.055,60 (seis mil cinquenta e cinco reais e sessenta centavos) com taxa de juros de cinco por cento e custo de produção de R\$ SC 60 kg, ao incrementar o custo de produção em dez por cento e vinte por cento o valor do terreno diminui para R\$ 6.046,30 (seis mil quarenta e seis reais e trinta centavos) e R\$ 6.037,00 (seis mil e trinta e sete reais) respectivamente.

Tabela 6: Variação do Custo de Produção para a soja

Preço da opção R\$	Fluxo de Caixa Descontado R\$	Juros %	Produtividade dia-sc 60 kg/ha	Custo de Produção dia-R\$ sc 60 kg
2.662,7	2.830,2	5	0,20	0,07
2.657,7	2.824,8	5	0,20	0,077
2.652,6	2.819,4	5	0,20	0,084

Fonte: Dados da pesquisa

Na tabela 6, verifica-se que, inicialmente, havia um valor do terreno para a soja de R\$ 5.492,90 (cinco mil quatrocentos e noventa e dois reais e noventa centavos) com taxa de juros de cinco por cento e custo de produção de R\$ SC 60 kg, ao incrementar o custo de produção em dez por cento e vinte por cento o valor do terreno diminui para R\$ 5.482,50 (cinco mil quatrocentos e oitenta e dois reais e cinquenta centavos) e R\$ 5.472,00 (cinco mil quatrocentos e setenta e dois reais) respectivamente.

O modelo estudado mostra que, para o proprietário, é mais conveniente plantar milho no futuro porque o valor da terra é maior. No entanto, semear com a mesma cultura pode deteriorar a terra. Essa situação pode levar o proprietário a repensar o assunto e considerar a rotação de culturas.

5. CONCLUSÕES

A estimação dos parâmetros do modelo CIR, pelo Método Generalizado de Momentos (GMM), dada sua complexidade de cálculo por operações matemáticas, permitiu utilizar ferramentas computacionais disponíveis no mercado, como o Matlab, por meio de modelagem.

Por sua vez, com os parâmetros calculados via GMM, fizeram-se simulações de preço das respectivas culturas via discretização de Euler, e com os dados simulados resolveu-se a Equação Diferencial Parcial, necessária para valorar o terreno pelo uso do modelo de Simulação de Monte Carlo com Mínimos Quadrados Ordinários (LSM). Para que isso fosse possível utilizou-se a modelagem com o uso do Matlab.

O modelo para precificar terrenos permite que as variáveis taxas de juros, produtividade e custo de produção possam mudar formando muitos cenários de análise, o que permite uma melhor compreensão dos seus resultados.

O modelo, quando aplicado de acordo com o que foi apresentado, permitirá fazer a precificação para qualquer cultura. Esse fato será de muita importância para o produtor rural, já que, na maior parte das vezes, planta de acordo com as variações do preço de certas culturas no curto prazo. E, pelo modelo proposto, o produtor poderá ter uma situação real de qual cultura poderia estar produzindo num determinado período de tempo.

As conclusões obtidas dos resultados são:

Quando um terreno agrícola, ou área rural, é vendido, dificilmente é comprado pelo mesmo valor pago, já que incorpora uma opção de venda embutida a ser considerada no cálculo de seu valor. O propósito foi o de trabalhar com um processo de difusão que permitisse calcular o fluxo de caixa descontado para terrenos agrícolas. Supõe-se que a terra pode ser semeada pelas culturas milho e soja. Para avaliar a evolução do preço das culturas, considerou-se o processo CIR, um processo com reversão à média e que expressa variações na taxa de juros. Com esse modelo, estimaram-se os parâmetros utilizando-se a técnica de Métodos Generalizados de Momentos (GMM). Com as estimativas dos parâmetros, calculou-se a opção de venda embutida no preço da terra por meio de uma Equação Diferencial Parcial (EDP), resolvida mediante Simulação de Monte Carlo por Mínimos Quadrados Ordinários

(LSM). Os dados foram obtidos da Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F), e fornecidos pela ESALQ/ BM&F. Os dados de produtividade e custos de produção do milho e soja foram referentes ao Estado de Goiás, Brasil.

Os dados analisados tiveram como horizonte um período de trinta anos, e os resultados mostram que o preço da opção para ambas as culturas representa mais de quarenta por cento do valor do terreno; mostra ainda, no horizonte de estudo, que o valor do terreno do milho é maior que o da soja.

Demonstrou-se também que, ao se incrementar a taxa de juros mantendo a produtividade e os custos de produção constantes, diminuem o valor da opção e, como consequência, o valor do terreno.

Analisou-se que, para aumentos progressivos de dez por cento e vinte por cento, nos custos de produção para uma taxa de juros determinada e mantendo a produtividade constante, o valor da opção de venda e o valor do terreno diminuem, mas com pouca expressão. Considera-se que talvez valha a pena continuar produzindo a espera de melhores preços no mercado.

Para prosseguimento do estudo, podem-se incorporar diversas variáveis, como: condições climáticas, política fiscal, fatores externos etc.

6. REFERÊNCIAS

ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. **Agrianual 2008**. São Paulo, IFNP, 2007

ARAÚJO, R. O. de; BAIDYA, T. K. N. Avaliação de Opções reais através do método dos mínimos quadrados de Monte Carlo. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24, 2004. Florianópolis, SC. Basil. **Anais...** Florianópolis, SC, 2004

BOYER, M.; CHRISTOFFERSEN, P.; PIERRE, L.; ANDREY, P. Value Creation, Risk Management and Real Options. **Center for Interuniversity Research and Analysis on Organizations**. Jul 2003. QUEBEC. CANADÁ

BRENNAN, M.J.; SCHWARTZ, E.S. Evaluating Natural Resource Investments. **Journal of Business**, v. 8, n. 2, 1985.

CAPOZZA, D.; LI, Y. The Intensity and Timing of Investment: The Case of Land. **The American Economic Review**, v.84, n.4, pp. 889-904, 1994. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2118036>>. Acesso em: 19 out. 2010.

CAPOZZA, D. R.; SICK, G. A. The Risk Structure of land Markets. **Journal of Urban Economics**. v.35, pp. 297-319, 1994.

CEPEA. CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Disponível em: cepea@esalq.usp.br. Acesso em: maio 2010.

COPELAND, T. E.; ANTIKAROV, V. **Opções Reais: um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

COX, J.C.; INGERSOLL, J.E.; ROSS, S.A. A theory of the term structure of interest rates. **Econometrica**. v.53, pp. 385-408, 1985.

DIXIT, A.K.; PINDYCK, R.S. **Investment under uncertainty**. New Jersey: Princeton University Press, 1995.

DU, Xiadong; HENNESSY, David A. **The planting real option in cash rent valuation, working paper**. Iowa: Iowa State University / Center for Agricultural and Rural Development. Fev. 2008.

DUCA, L.G.; CHAMMAS, S.C.; SANTIAGO, L.P. Avaliação do impacto de incerteza no valor de um negócio de madeira nobre. In: SBPO – SOCIEDADE BRASILEIRA DE

PESQUISA OPERACIONAL – **Pesquisa operacional da gestão do conhecimento**, 41, 2009.

FERREIRA, Nilson Clementino; MIZIARA, Fausto; RIBEIRO, Noely Vicente. Preço da Terra em Goiás: Pressupostos e Modelos. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiana, v.27, n.1, pp. 48-62, 2007.

FIGUEIREDO NETO, L. F.; ALVES, M. H. F. Análise e gestão de projetos de investimento: proposta de aplicação da teoria de opções reais em projetos agropecuários. In: ENEGEP – ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22, 2002. Curitiba-PR. **Anais...** Curitiba-PR, 2002.

FORSYTH, Margareth. On estimating the option value of preserving a Wilderness area. **The Canadian Journal of Economics/Revue Canadienne d'Economique**, v.33, n.2, pp.413-434, maio 2000. Disponível em: <<http://www.jstor.or/stable/2667439>>. Acesso em 18 out. 2011.

GELTNER, D. ; RIDDIOUGH, T. ; STOJANOVIC, S. Insights on the effect of land use choice: the perpetual option on the best of two underlying assets. **Journal of Urban Economics**, v.39, pp. 20-50, 1996.

HANSEN, L. P. Large sample properties of the generalized method of moments estimators. **Econometrica**. v.50. n. 4, pp. 1029-1054, jul.1982.

ISGIN,T. **Valuation of farm land using real options theory**: an economic analysis of the impacts of urban development on Ohio farm real estate. Presented in Partial Fulfillment of the Requeriments for the Degree Doctor of Philosopy in the Graduate School of The Ohio, State Universty, 2000.

ISGIN, T.; FORSTER, D. L. Using real option theory to analyze the impacts of urban development on farm real estate markets. **Turkish Journal of Agricultural Economics**. n. 29, pp.113-147, 2005.

KERR,R.B.; MARTIN, D.M.L.; BASSO, L. da C. A influencia do processo de difusão de preços no valor e no tempo ótimo de corte de um povoamento de eucalipto. In: **SIMPO I – ANAIS, 2009**.

LONGSTAFF, F.A.; SCHWARTZ, E. S. Valuing American options by simulation: a simple least square approach. **Review of Financial Studies**. n.14, pp.113-147, 2001.

MCDONALD, R.; SIEGEL, D. The value of waiting to invest. **Quarterly Journal of Economics**. v.101, n.4, p.707-728, 1986, Oxford University Press. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1884175>>. Acesso em: 14 set. 2011.

MILLER, L.T.; PARK, C.S. Decision Making under uncertainty. Real Options to the Rescue? **The Engineering Economist**, v.. 47, n. 2, p. 105-150, 2002.

MOEL, A. and TUFANO, P. When Are Real Options Exercised? An Emperical Study of Mine Closing. **The Review of Financial Studies**. Vol. 15, Nº 1.Ano 2002, pp 35-64. Published by: Oxford University Press. Sponsor: The Society for Financial Studies. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2696798>. Acesso em: 19 out. 2010.

MORENO, M., NAVAS, J.F. AND TODDESCHINE, F. Land Valuation using a real option approach. **Real Academia de Ciencias**. Espanha, v.103, p. 405-420, 2009.

_____; _____; _____ Deciding what and when to seed: mean everting process and Real Option. **Real Academia de Ciencias**, Espanha, p.1-13, 2008.

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

NOGUEIRA, C.R.; SATO, M.K; MARTIN, D.L. et al. A decisão ótima de abandono do investimento em uma lavoura de café, na região de Franca, considerando os impactos do ciclo produtivo. **FACEF Pesquisa**, v.9, n.3, 2006.

OOI, J.T.L.; SIRMANS, C.F.; TURNBULL, G.K. **The option value of vacant land**. Urban and Regional Analysis Group of Department of Economics Georgia State University, 2006.

OVIEDO, Wilson Peres. **Uma Aproximação ao Método Generalizado de Momentos e suas Limitações**. Nota Técnica 44. Ecuador: Banco Central de Ecuador. 1998. 11p.

PLANTINGA, A.J. The optimal timber rotation: an option value approach. **Forest Science**, v.44, n.2, pp.192-202, 1988.

PLANTINGA, A.J.; MILLER, D.J. Agricultural land value and the value of rights to future land development. **Land Economics**, v.77, n.1, pp. 56-67, 2001.

PINDYCK R. S. Irreversibility, uncertainty and Investment. **Journal of Economic Literature**, Vol 29, Nº 3. Ano 1991, pp. 1.110-1.148. Publicado por American Economic Association. Disponível em: <HTTP://www.jstor.org/stable/2727613>. Acesso em: nov. 2010.

QUIGG, Laura. Empirical testing of real option-pricing models. **The Journal of Finance**, v. 48, n.2, pp.621-640, jun. 1993. Blackwell Publishing for the American Finance Association. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2328915> . Acesso em:18. Acesso em: nov. 2010.

SOUZA NETO, J. A. de; BERGAMINI JUNIOR, L. C; OLIVEIRA, V. I. de. **Opções Reais: Introdução a Teoria e à Prática**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2008.

TITMAN, Sheridan. Urban land prices under uncertainty. **The American Economic Review**, v.75, n.3, p.505-514, jun. 1985.

YAMAKAZI, R. Empirical Testing of Real Option Pricing Models using Land Price Index in Japan. **Journal of Property Investment and Finance**. v.1, n.19, pp.53-72, 2001.

ANEXO A – GERADOR DADOS SOJA

```

% Objetivo - gerar N replicações de um processo estocastico
% Inputs
%(end time) T= 6.25
%(time step) Dt= 0.004
%(initial value) X0= 2.89
%(parameter) a= 0.0004
%(parameter) b= 3.9621
%(parameter) c= 0.0046
% [T dt X0 a b c N]
% Ouput
% Matriz NxT com dados
warning off
%function gerador_dados_artificiais()
clc
clear all
%% Definindo parametros
% Tang & Shen - pág 7 equacao 2.8
% [1.duracao do projeto 2. 1/frequencia 3. kappa 4. theta 5. sigma 6.
#replicacoes ....
% 7. (Valor Inicial da Simulacao) 8. Taxa de juros na frequencia dos
dados 9. Intervalo de exercicio]
%% ALTERAR PARAMETROS NA SIMULACAO
parameters=[30 0.004 0.0013 3.7763 0.0057 1000 3.47908392 0.05/252 252]';%
ALTERAR PARAMETROS NA SIMULACAO
%%
steps=parameters(1,1)/parameters(2,1);
kappa=parameters(3,1); % Parametro do processo de difusao
theta=parameters(4,1); % Parametro do processo de difusao
sigma=parameters(5,1); % Parametro do processo de difusao
N=parameters(6,1);% duracao do projeto
X0=parameters(7,1); % Valor INICIAL DA SIMULACAO - em geral último dado
disponivel na amostra
r=parameters(8,1);% taxa de juros de mercado
dt=parameters(2,1);
periodo=parameters(9,1);
%% inicializando variaves
XTGRANDE=zeros(steps+1,N);% DADOS DE PRECO SIMULADO
%% Simulando ...
disp ('Simulando');
for k = 1:N
Xt=zeros(steps+1,1);
Xt(1,1)=X0;
dXt=zeros(steps+1,1);
wt=random('Normal',0,dt^(1/2),steps,1);
for i=1:steps
dXt=kappa*(theta-Xt(i,1))*dt+(sigma^(0.5))*(Xt(i,1)^(0.5))*wt(i,1);
Xt(i+1,1)=Xt(i,1)+dXt;
end
XTGRANDE(:,k)=Xt;
end
disp ('Feito');

```

```

%% Calculando o preço de venda da opcao - milho
produtividade=0.20; %parametro de produtividade COMPLETAR COM DADOS DO
DIOGENES
CUSTOPORUNIDADE=0.084;% COMPLETAR COM DADOS DO DIOGENES
CT=produtividade*(XTGRANDE-CUSTOPORUNIDADE);
%%
[ fluxo] = fcaixa( CT, r, periodo );
plot(fluxo)

[Valor_exercicio]=vpl(fluxo,r*periodo);
disp('Valor presente esperado do projeto: Valor de Exercício');
disp([Valor_exercicio]);

price=ls518m(fluxo',Valor_exercicio,Valor_exercicio,r);

dlmwrite('price.txt', price, ';');

disp('Parametros da opção');
disp('Valor do Exercício');
disp([Valor_exercicio]);
disp('Taxa de Juros');
disp([r*periodo]);
disp('Preço da Opção');
disp(price);

%% Salvando ...
disp ('Guardando os resultados'); %% TROCAR O NOME PARA CADA SIMULAÇÃO

%% ALTERAR NOMES DOS ARQUIVOS PARA CADA SIMULACAO DIFERENTE
dlmwrite('Dados_gerados_soja_5%_0.20_0.084.txt', XTGRANDE, ';'); %% TROCAR
O NOME PARA CADA SIMULAÇÃO
dlmwrite('fluxo_soja_5%_0.20_0.084.txt', fluxo, ';'); %% TROCAR O NOME PARA
CADA SIMULAÇÃO
dlmwrite('price_soja_5%_0.20_0.084.txt', [price Valor_exercicio parameters'
produtividade CUSTOPORUNIDADE], ';'); %% TROCAR O NOME PARA CADA SIMULAÇÃO
disp ('Feito');
%%

warning on

```

ANEXO B – GERADOR DE DADOS MILHO

```

% Objetivo - gerar N replicações de um processo estocastico
% Inputs
%(end time) T= 6.25
%(time step) Dt= 0.004
%(initial value) X0= 2.89
%(parameter) a= 0.0004
%(parameter) b= 3.9621
%(parameter) c= 0.0046
% [T dt X0 a b c N]
% Ouput
% Matriz NxT com dados
warning off
%function gerador_dados_artificiais()
clc
clear all
%% Definindo parametros
% Tang & Shen - pág 7 equacao 2.8
% [1.duracao do projeto 2. 1/frequencia 3. kappa 4. theta 5. sigma 6.
#replicacoes ....
% 7. (Valor Inicial da Simulacao) 8. Taxa de juros na frequencia dos
dados 9. Intervalo de exercicio]
%%
parameters=[30 0.004 0.0004 3.9621 0.0046 1000 3.065 0.05/252 252]';
%%
steps=parameters(1,1)/parameters(2,1);% NUMERO DE DIAS DA SIMULACAO
kappa=parameters(3,1); % Parametro do processo de difusao
theta=parameters(4,1); % Parametro do processo de difusao
sigma=parameters(5,1); % Parametro do processo de difusao
N=parameters(6,1);% duracao do projeto
X0=parameters(7,1); % Valor INICIAL DA SIMULACAO - em geral último dado
disponivel na amostra
r=parameters(8,1);% taxa de juros de mercado
dt=parameters(2,1);
periodo=parameters(9,1);
%% inicializando variaves
XTGRANDE=zeros(steps+1,N);% DADOS DE PRECO SIMULADO
%% Simulando ...
disp ('Simulando');
for k = 1:N
Xt=zeros(steps+1,1);
Xt(1,1)=X0;
dXt=zeros(steps+1,1);
wt=random('Normal',0,dt^(1/2),steps,1);
for i=1:steps
dXt=kappa*(theta-Xt(i,1))*dt+(sigma^(0.5))*(Xt(i,1)^(0.5))*wt(i,1);
Xt(i+1,1)=Xt(i,1)+dXt;
end
XTGRANDE(:,k)=Xt;
end
disp ('Feito');

%% Calculando o preço de venda da opcao - milho

```

```

produtividade =0.25; %parametro de produtividade COMPLETAR COM DADOS DO
DIOGENES
CUSTOPORUNIDADE=0.06;% COMPLETAR COM DADOS DO DIOGENES
CT=produtividade*(XTGRANDE-CUSTOPORUNIDADE);
%%
[ fluxo] = fcaixa( CT, r, periodo );
plot(fluxo)

[Valor_exercicio]=vpl(fluxo,r*periodo);
disp('Valor presente esperado do projeto: Valor de Exercício');
disp([Valor_exercicio]);

price=ls5l8m(fluxo',Valor_exercicio,Valor_exercicio,r);

dlmwrite('price.txt', price, ';');

disp('Parametros da opção');
disp('Valor do Exercício');
disp([Valor_exercicio]);
disp('Taxa de Juros');
disp([r*periodo]);
disp('Preço da Opção');
disp(price);

%% Salvando ...
disp ('Guardando os resultados'); %% TROCAR O NOME PARA CADA SIMULAÇÃO
%%
dlmwrite('Dados_gerados_milho_5%_0.25_0.06.txt', XTGRANDE, ';'); %% TROCAR
O NOME PARA CADA SIMULAÇÃO
dlmwrite('fluxo_milho_5%_0.25_0.06.txt', fluxo, ';'); %% TROCAR O NOME PARA
CADA SIMULAÇÃO
dlmwrite('price_milho_5%_0.25_0.06.txt', [price Valor_exercicio parameters'
produtividade CUSTOPORUNIDADE], ';'); %% TROCAR O NOME PARA CADA SIMULAÇÃO
%%
disp ('Feito');

warning on

```


ANEXO C – CIR – COX, INGERSOLL, ROSS

```

% CIR_D
%
% GMM demo using Cox, Ingersoll, Ross (CIR) model
%
% Written by: Jean Francois Drainville
% Modified by: Mike Cliff, Purdue Finance, mcliff@mgmt.purdue.edu
%           [minor modifications and changed to English from French]

% The continuous time model is stated as
%   dr = kappa(theta - r)dt + sigma*sqrt(r)*dZ
%
% so
%   E|dr| = kappa(theta - r)dt
%   Var[dr] = sigma^2*r
%
% A discrete time approximation is
%   r(t) - r(t-1) = kappa(theta - r) + e(t)
% or
%   y(t) = a + b*r(t-1) + e(t)
% so
%   y(t) - a - b*r(t-1)
%   [y(t) - a - b*r(t-1)]^2 - sigma^2 r
%
% Moment conditions are these last two equations, times the instruments,
% which are a 1 and r(t-1).

% --- Initializations -----
%cir_ddata           % Load Data
%load ckls.dat       % Load Data
%load test.dat
%load NUMERIC;

clear;
clc;

[NUMERIC,TXT,RAW]=xlsread('SOJA2.xlsx');
save NUMERIC;

rawdata = NUMERIC(:,3);

nz = 1;                % Number of lags as instruments
T = rows(rawdata)-nz; % nb. obs.
X = rawdata(1:T,:);   % Rt
y = rawdata(1+nz:end,:) - X; % Rt+1 - Rt
Z = [ones(T,1) X];    % Instruments

% --- GMM Options -----
gmmopt.infoz.momt='cir_dm'; % Moment Conditions
gmmopt.infoz.jake='cir_dj'; % Jacobian of Moments
gmmopt.lags=7;           % Lags in weighting matrix
gmmopt.vname = strvcat('kappa','theta','sigma'); % variable names

```

```

b=[.02;-.3;0.11^2];          % Parameter Starting Values
gmmopt.null = [.0175;-.35;.02^2] % Null hypothesis
gmmopt.infoz

disp('These are the gmmopt and infoz structures. ');
disp('Strike a key to Start Estimation. ');
pause;

% --- Estimate the model with gmm() -----
gout=gmm(b,gmmopt,y,X,Z);
kappa = -gout.b(2);
theta = gout.b(1)/kappa;
fprintf(1,'Long-run mean, theta=%7.4f\n',theta);
fprintf(1,'Speed of adj, kappa=%7.4f\n',kappa);
fprintf(1,'Volatility parm, sigma=%7.4f\n',sqrt(gout.b(3)));

% --- Draws Objective Function -----
pltindx = [2 3];
pltrange = repmat(gout.b(pltindx),1,2).*[.9 1.1; .9 1.1];
objplot(gmmopt.infoz,y,X,Z,gout.W,gout.b,pltindx,pltrange(1,:),...
    pltrange(2,:),gmmopt.vname(pltindx,:));
figure(1)
view(30,30)

```