**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Valoração das propriedades rurais em Carazinho/RS e Cascavel/PR:
uma análise das opções reais**

Julcemar Bruno Zilli

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Ciências. Área de concentração: Economia
Aplicada**

**Piracicaba
2010**

Julcemar Bruno Zilli
Bacharel em Ciências Econômicas

Valoração das propriedades rurais em Carazinho/RS e Cascavel/PR: uma análise das opções reais

Orientador:
Prof. Dr. GERALDO SANT'ANA DE CAMARGO BARROS

**Tese apresentada para obtenção do título de
Doutor em Ciências. Área de concentração:
Economia Aplicada**

Piracicaba
2010

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Zilli, Julcemar Bruno

Valoração das propriedades rurais em Carazinho/RS e Cascavel/PR: uma análise das opções reais / Julcemar Bruno Zilli. - - Piracicaba, 2010.
147 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.

1. Preço 2. Propriedade rural - Valor I. Título

CDD 333.332
Z69v

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

Dedico a todas as pessoas que acreditaram no meu potencial. Especialmente, aos meus pais Valdir e Lourdes que, com seus conhecimentos de vida, ensinaram os valores que direcionam a minha vida perante a sociedade;

à minha esposa Ainda, por incentivar e por ter aceitado, várias vezes, ser trocada pelos estudos;

aos meus irmãos Jeriadriani e Elizandro, que souberam da importância que o doutorado tem na minha vida e que apoiaram a continuidade dos estudos;

ao meu orientador, Prof. Geraldo, que sempre acreditou no meu trabalho e, por isso, é o meu “guru” na economia e na vida;

ao Prof. Joaquim Bento por ter me mostrado a diferença da graduação em relação ao mestrado e ao doutorado;

à Maielli pelo excelente trabalho frente à secretaria e pelo suporte eficiente dado aos alunos, além da imensa amizade construída ao longo dos anos; aos meus amigos: Paulo Nazareno (Tobias), Lucilio, Spã, Jaqueline, Silvia, Leonardo, Adriana Viçosa, Mauro, Jerônimo, Inocência, Diego.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força nos momentos difíceis que passei ao longo dos anos;

Agradeço ao Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA/ESALQ) pela experiência profissional vivida, marcando a minha vida;

Agradeço aos meus colegas de ESALQ/USP Jaqueline, Silvia, Leonardo, Janderson, Spã, Lilian (Farsa), Joaquim (Rick/nhôquim), Adriana (Viçosa), Cezinha, Guilherme, Matheus, Baraio, Capitão, Lucão, Lucilio, Mauro, André Milanês, Maurício, Calinca, Andressa; Pedro, Juliana, Caldarelli e todos os amigos do mestrado e do doutorado;

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pelas inúmeras possibilidades oferecidas a mim ao longo dos anos de esalqueano.

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	7
RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Objetivos	20
1.1.1 Objetivo geral	20
1.1.2 Objetivos específicos.....	20
1.2 Justificativas	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1 O mercado de terras no Brasil.....	21
2.2 O preço das terras rurais e seus determinantes.....	23
2.3 Formas de mensuração do valor da terra	30
2.3.1 Método Comparativo Direto de Dados de Mercado.....	32
2.3.2 Método Residual.....	33
2.3.3 Método do Fluxo de Caixa Descontado.....	33
2.4 Valor Presente.....	34
2.5 Teoria das Opções Reais	39
2.5.1 Principais fundamentos das opções	39
2.5.2 Análise de Opções Reais	42
2.5.3 Opções Reais como complemento do Valor Presente	47
2.5.4 Problemas iniciais e limitações da análise das opções reais.....	50
2.6 Modelos de avaliação de opções	52
2.6.1 Modelo de Black e Scholes	52
2.6.2 Modelo de Cox, Ross e Rubinstein	54
2.7 O investimento nas propriedades rurais.....	60
2.7.1 Programação dinâmica.....	63
2.8 Evidências empíricas da utilização da análise de opções reais	65
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	73

3.1	Métodos.....	73
3.1.1	Modelo de Cox, Ross e Rubinstein.....	73
3.2	Material.....	75
3.2.1	Valor Presente (VP).....	76
3.2.2	Volatilidade (σ).....	77
3.2.3	Taxa de juros livre de risco (k_r).....	78
3.2.4	Vida Útil do projeto (T).....	79
3.2.5	Preço de Exercício (X).....	79
3.3	Procedimentos.....	80
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	83
4.1	Análise do fluxo de caixa da propriedade padrão de Carazinho/RS.....	83
4.2	Análise do fluxo de caixa da propriedade padrão de Cascavel/PR.....	89
4.3	Simulações de Monte Carlo.....	94
4.4	Valor da opção real.....	101
4.4.1	Carazinho/RS.....	101
4.4.2	Cascavel/PR.....	108
4.5	Sensibilidade do valor da opção a mudanças nas principais variáveis.....	111
4.6	Valor da terra rural na região de Carazinho/RS.....	118
4.7	Valor da terra rural na região de Cascavel/PR.....	121
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	123
	REFERÊNCIAS.....	125
	APÊNDICE.....	135

RESUMO

Valoração das propriedades rurais em Carazinho/RS e Cascavel/PR: Uma análise das opções reais

O desenvolvimento econômico observado no Brasil, proporcionado pelo avanço na produção de grãos, carne e, atualmente, cana-de-açúcar, tem aquecido o mercado fundiário dos estados. A valorização das terras tem atraído muitos investidores, que necessitam de matéria-prima para sua produção e especuladores, que desejam lucrar na compra e venda das propriedades. Entretanto, se questiona as possíveis explicações sobre a constante valorização da terra. Para tanto, buscou-se mensurar o valor das propriedades rurais nas regiões de Carazinho/RS e Cascavel/PR, utilizando a Teoria das Opções Reais como um complemento ao Valor Presente Líquido (VPL) na valoração de terras. A partir de dados obtidos em painéis realizados nas duas regiões, as receitas e custos envolvidos no processo de produção agrícola foram identificados. Com a realização de simulações com Método de Monte Carlo, chegou-se ao Valor Presente Esperado das propriedades e, com isso, ao valor da terra, usando a técnica do Valor Presente Líquido. A incerteza relacionada ao comportamento do Valor Presente foi mapeada pela opção de postergar a comercialização da propriedade por meio do Modelo de Cox, Ross e Rubinstein. Os resultados fornecem indícios que a terra na região de Carazinho/RS, pela análise das opções reais e a realidade produtiva, poderia valer R\$ 15.993,21/ha, superior aos R\$ 7.331,19/ha captados pela FGV (2009). Entretanto, segundo os produtores da região, as terras estão sendo negociadas a R\$ 20.000,00/ha, valor 25,05% superior ao captado no estudo. Dessa forma, há possibilidade de uma supervalorização das terras na região. Na região de Cascavel/PR, o estudo encontrou indícios de que a terra poderia valer R\$ 17.121,22/ha, 50,70% superior ao valor captado pelo FGV (2009). Quando se compara aos valores declarados pelos produtores (R\$ 14.000,00/ha), encontra-se 22,29% inferiores aos praticados na região.

Palavras-chave: Opções Reais; Terras; Valoração; VPL; Investimentos

ABSTRACT

Valuation of rural properties in Carazinho/RS and Cascavel/PR: An analysis of real options

The economic development that is being observed in the Brazil economy, provided by the increase in grain, meat and now sugarcane has been heated land market states. The appreciation of land in different areas has attracted many investors, who need inputs for their production, and speculators, who wish to profit in buying and selling properties. However, it questions the possible explanations for the frequent appreciation in land prices. For this, the study measured the value of rural properties in the regions of Carazinho/Rio Grande do Sul state and Cascavel/Paraná state using the Real Options Theory as a supplement to the NPV in the valuation of land. Using data obtained from panels held in the two regions were identified within the revenues and costs involved in agricultural production. Through simulations with Monte Carlo Method, it was the Expected Present Value of property and, therefore, the value of land using the Net Present Value technique. The uncertainty related to the behavior of the Present Value has been mapped by the option to postpone the sale of the property through the model of Cox, Ross and Rubinstein. The results show that the land on the Carazinho/RS, using the analysis of real options and the actual production, could be worth 15.993,21 reais per hectare, compared to 7.331,19 reais per hectare calculated by FGV (2009). However, according to producers of the region, the lands have been traded at 20.000,00 reais per hectare, 25,05 percent higher than the value captured in this study. Thus, there is possibility of an overvaluation of land in the region. The Cascavel/PR region results indicated a significant potential for land appreciation, since the study found evidence that the land could be worth 17.121,22 reais per hectare, 50,70 percent higher than the amount raised by the FGV (2009). When comparing to the value declared by producers (14.000,00 reais per hectare), is 22,29 percent lower than the observed in Cascavel/PR region.

Keyword: Real Options; Land; Pricing; NPV; Investments

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução dos preços reais das terras para lavoura a partir de Dez/1979 (Base: Jun.2008).....	24
Figura 2 – Diagrama dos resultados para comprados em opções <i>call</i> e <i>put</i>	41
Figura 3 – Analogia entre um projeto de investimento e uma opção financeira	44
Figura 4 – Representação da árvore binomial para uma opção de compra (<i>Call</i>)	59
Figura 5 – Rentabilidade das opções reais	62
Figura 6 – Simulação de Monte Carlo para os preços do Milho, Soja e Trigo na região de Carazinho/RS – R\$/saca.....	95
Figura 7 – Simulação de Monte Carlo para os preços do Milho, Soja e Trigo na região de Cascavel/PR – R\$/saca.	96
Figura 8 – Simulação de Monte Carlo para os choques no preço dos principais insumos nas regiões de Carazinho/RS e Cascavel/PR - %.	97
Figura 9 – Simulação de Monte Carlo para a produtividade de milho safra, soja e trigo na região de Carazinho/RS – sacas/ha.	98
Figura 10 – Simulação de Monte Carlo para a produtividade de milho safra, milho safrinha, soja e trigo na região de Cascavel/PR – sacas/ha.	99
Figura 11 – Esperança do Valor Presente para a propriedade da região de Carazinho/RS – R\$/ha.	100
Figura 12 – Esperança do Valor Presente para a propriedade da região de Cascavel/PR – R\$/ha.....	101
Figura 13 – Evolução temporal do valor adicional (%) da opção de compra para a região de Carazinho/PR e Cascavel/PR	103
Figura 14 – Árvore de decisão para a propriedade da região de Carazinho/RS (R\$/ha)	106
Figura 15 – Valor da opção real para a propriedade padrão da região de Carazinho/RS	107
Figura 16 – Árvore de decisão para a propriedade da região de Cascavel/PR.....	109
Figura 17 – Valor da opção real para a propriedade padrão da região de Cascavel/PR	110

Figura 18 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e a taxa de retorno livre de risco da propriedade na região de Carazinho/RS	111
Figura 19 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e a vida útil da propriedade na região de Carazinho/RS	112
Figura 20 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e a volatilidade da propriedade na região de Carazinho/RS	113
Figura 21 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e ao preço de exercício da propriedade na região de Carazinho/RS	114
Figura 22 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e a taxa de retorno livre de risco da propriedade na região de Cascavel/PR	115
Figura 23 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e a vida útil da propriedade na região de Cascavel/PR.....	116
Figura 24 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e a volatilidade da propriedade na região de Cascavel/PR	117
Figura 25 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e o preço de exercícios da propriedade na região de Cascavel/PR	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxa de crescimento semestral e anual dos preços das terras arrendadas e para venda no Brasil, Rio Grande do Sul e Paraná entre 1994 e 2008 (Valores nominais e reais (base: jun/2008).	26
Tabela 2 – Resumo dos efeitos sobre o valor das opções de compra (<i>Call</i>) e venda (<i>Put</i>) proveniente de aumentos nas variáveis.....	54
Tabela 3 – Descrição da propriedade agrícola padrão da região de Carazinho/RS.....	83
Tabela 4 – Culturas agrícolas produzidas na propriedade padrão da região de Carazinho/RS	84
Tabela 5 – Custos Operacionais Efetivos (COE) da propriedade agrícola padrão da região de Carazinho/RS – R\$/ha.....	86
Tabela 6 – Custos Operacionais Totais (COT) de produção da propriedade padrão da região de Carazinho/RS – R\$/ha.....	87
Tabela 7 – Custos Totais (CT) de produção da propriedade padrão da região de Carazinho/RS – R\$/ha.....	88
Tabela 8 – Fluxo de Caixa Agrícola da propriedade padrão da região de Carazinho/RS – R\$/ha.....	88
Tabela 9 – Descrição da propriedade agrícola padrão da região de Cascavel/PR.....	89
Tabela 10 – Culturas agrícolas produzidas na propriedade padrão da região de Cascavel/PR.....	90
Tabela 11 – Custos Operacionais Efetivos (COE) da propriedade agrícola padrão da região de Cascavel/PR – R\$/ha.	91
Tabela 12 – Custos Operacionais Totais (COT) de produção da propriedade padrão da região de Cascavel/PR – R\$/ha.	92
Tabela 13 – Custos Totais (CT) de produção da propriedade padrão da região de Cascavel/RS – R\$/ha.	93
Tabela 14 – Fluxo de Caixa Agrícola da propriedade padrão da região de Cascavel/PR – R\$/ha.....	93

1 INTRODUÇÃO

Esta tese trata da questão de atribuir valor ao patrimônio rural, particularmente a terra. Esse ativo exerceu substancial atração sobre investidores que viam possibilidades de retorno na atividade agropecuária, mas também de agentes econômicos preocupados com a proteção de seus recursos financeiros frente às altas taxas de inflação vigentes no País durante grande parte do século XX. Em anos recentes, o tema vem despertando a atenção de um público mais amplo de investidores, inclusive estrangeiros, que vêem oportunidades expressivas de retorno financeiro nesse setor. Parte desse interesse mais amplo decorre da estabilização econômica verificada no Brasil a partir de meados dos anos 90, associada a um potencial de crescimento e desenvolvimento que, embora ainda não desfrutado em sua plenitude, credencia-o como uma das nações com melhores oportunidades de negócios na economia globalizada.

Indicação disso são os volumes de investimentos diretos recebidos de estrangeiros. O aumento dos investimentos na agropecuária tem como fundamentos a forte e crescente demanda mundial por alimentos, fibras e biocombustíveis. A maior procura por alimentos ocorre não só pelo crescimento populacional, mas como também, principalmente, pelo aumento da renda *per capita* que se tem observado nos últimos anos e também projetado para as próximas décadas.

Apesar da expectativa de redução das populações mais ricas, o crescimento populacional dos países asiáticos e africanos e o aumento da renda nos países emergentes e em desenvolvimento provocam mudanças quantitativas e qualitativas nos hábitos alimentares. Além dos alimentos, prevê-se forte demanda por biocombustíveis à medida que a necessidade de energia limpa se torna permanente. Nesse sentido, a produção de biocombustíveis - etanol ou biodiesel – tem se tornando uma excelente oportunidade para os países se inserirem no mercado mundial. Entre eles, está o Brasil, que tem se revelado um importante e competente produtor de combustíveis alternativos.

Há, pois, perspectivas estimulantes para a agropecuária mundial. Entretanto, são poucos os países que possuem condições de aumentar a área de produção, ou seja,

possuem terras disponíveis e capital para colocá-los em produção. Essa expansão da de área, na maioria dos casos, se dá somente mediante investimentos da base de infraestrutura, de logística (transporte, processamento e armazenamento) e de energia. A alternativa ou complemento para incrementar a produção agropecuária está na melhoria da produtividade obtida com investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento. A terceira via, evidentemente, são os investimentos em ambas alternativas.

Neste sentido, o Brasil surge como um dos principais países com potencial para ampliar sua produção agropecuária, principalmente, por meio do aumento na área agricultável e da produtividade, mediante investimentos já mencionados. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008) mostram que o País possui cerca de 106 milhões de hectares de terra que podem ser aproveitados para a produção de alimentos. A África também se destaca por seus recursos naturais, porém, deixa a desejar pela deficiência tecnológica e também de recursos humanos e de organização social e política.

Todas essas oportunidades impulsionam a procura por terras rurais e, com isso, o mercado fundiário no Brasil tem passado por uma fase de expansão de negócios. O aumento da demanda gera, evidentemente, aumento nos preços das terras rurais. Em várias regiões, chega a haver indexação do valor da terra ao preço das *commodities* produzidas, explicitando a vinculação da rentabilidade da terra ao comportamento dos preços agropecuários.

Sabe-se que o valor da terra pode ser estimado por meio da soma dos benefícios líquidos futuros esperados (ou arrendamentos futuros esperados) gerados pela terra ao longo do tempo e descontados a uma taxa representativa do custo de oportunidade do capital (taxa de juros). Assim, o valor da terra depende não só da eficiência econômica e técnica, mas também da taxa de juros empregada e do horizonte de tempo considerado.

Entretanto, tal forma de mensurar o valor das propriedades não leva em consideração a existência da flexibilidade proveniente das incertezas, ou seja, de novas informações sobre o comportamento dos preços, da produtividade, dos custos, do clima, entre outros fatores que possam aparecer após o início do processo de tomada de decisão, possibilitando a realização de adaptações ou revisões no projeto. Segundo

Carvalho (2003), a flexibilidade na avaliação dos projetos pode ampliar as possibilidades de atingir melhores resultados.

Portanto, questiona-se se os preços exigidos pelos produtores por suas terras consideram o valor da flexibilidade proveniente das incertezas? Além disso, será que as incertezas poderiam explicar os atuais valores da terra na região Sul do Brasil?

Para tanto, Plantinga (1998) afirma que a melhor forma de se avaliar propriedades rurais é por meio da incorporação das características de incerteza e irreversibilidade inerentes a uma parcela da terra vendida. Dito de outra forma, a inclusão da incerteza quanto ao comportamento futuro dos preços das *commodities*, da produtividade, dos preços dos insumos, entre outros fatores no processo de avaliação do valor da terra pode fornecer informações realistas sobre o preço potencial da propriedade. Para o autor, as opções - instrumentos que limitam a variação indesejada de preços – são especialmente promissoras na avaliação de projetos que possuem flexibilidades atreladas ao processo de tomada de decisão, gerando, com isso, a possibilidade de abertura ou fechamento de instalações, abandono de operações de exploração e desenvolvimento de recursos naturais e assim por diante.

Nesta tese, propõe-se utilizar o conceito de opções na avaliação de terras. Além disso, segundo Couto (2006), a teoria das opções reais é uma metodologia de avaliação de investimentos em ativos reais, em ambiente de incerteza, que considera o valor das opções embutidas e a flexibilidade inerente ao processo dinâmico de tomada de decisão.

Nesse sentido, o valor da opção real representa o prêmio que excede o valor presente líquido (VPL) das rendas econômicas obtidas a partir da parcela da terra utilizada na agricultura, o que reflete o custo de oportunidade de se desfazer agora da terra e renunciar à opção de postergar a venda até que mais informações sobre o futuro sejam disponibilizadas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Mensurar o valor das propriedades rurais nas regiões de Carazinho/RS e Cascavel/PR.

1.1.2 Objetivos específicos

No processo de aplicação do método avaliação, este estudo visa: (a) no modelo de opções reais subsídios para o processo de compra e venda das propriedades rurais; (b) encontrar e simular o valor presente das propriedades analisadas; (c) encontrar o valor das propriedades rurais nas regiões analisadas considerando as incertezas; (d) comparar o valor da terra obtido pela Teoria das Opções Reais com o declarado pelos produtores na região Sul.

1.2 Justificativas

A avaliação dos preços das terras rurais na região Sul do Brasil, sob a hipótese de que o valor da opção real poderia explicar o comportamento do preço de mercado das terras, é de fundamental importância para a identificação do potencial existente na teoria para a valorização de terras.

A mensuração do valor da propriedade rural poderá auxiliar nas pesquisas que utilizam o valor da terra como variável, visto que proporcionará estimativas mais flexíveis do preço das fazendas.

Além disso, a sociedade obterá mais conhecimentos sobre a metodologia e terá informações sobre o valor das propriedades rurais, podendo, com isso, auxiliar os proprietários e os investidores na tomada de decisão de venda ou compra das terras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O mercado de terras no Brasil

A terra no Brasil, que antes se configura como indígena, constituiu-se como patrimônio público. Sua exploração se dava por concessão (condicionada ao uso produtivo), como por exemplo, através de sesmarias até a Independência em 1822, ou por ocupação, cuja legalização deu-se com a promulgação da Lei de Terras (1850¹). Por meio desta lei, as terras passaram a ser adquiridas somente mediante compra e não mais pela simples ocupação ou posse. Com isso, imigrantes e trabalhadores desprovidos de recursos ficaram bastante privados da posse de terra própria, tendo de se sujeitar a trabalhar como empregados em terras de terceiros.

A partir deste momento a terra tornou-se um ativo, ou seja, fonte de renda futura para quem detém sua propriedade seja através do processo de produção seja via ganhos especulativos decorrentes da oscilação do preço. Dessa forma, o retorno da terra pode ser composto de duas partes: um retorno operacional (relacionado à sua utilização produtiva) e um ganho ou uma perda de capital relacionado à variação de seu preço. Para Sayad (1982), a determinação do valor da terra envolveria não somente os lucros que a atividade agropecuária poderia gerar, mas também uma expectativa de valorização. Ressalta-se que essa expectativa pode ser de ganhos ou perdas.

Existe a possibilidade, num intervalo de tempo determinado, de a terra fornecer Renda Operacional Líquida (ROL) negativa, ou seja, de a Renda Operacional da produção ser menor do que os Custos Operacionais Efetivos (COE). Num determinado momento, espera-se que, ao longo do tempo, o fluxo de caixa futuro – sequência temporal da ROL – assumam valores que se associam a um certo grau de incerteza. Segundo Reydon e Plata (1995) são esses rendimentos líquidos da terra que os agentes econômicos utilizam para comparar com os rendimentos líquidos esperados de

¹ A Lei de Terras teria, entre outros, objetivos de proibir a ocupação de terras devolutas (terras pertencentes ao Estado e que não estivessem sendo utilizadas), que estivessem temporariamente em mãos de particulares. Desta forma, visava-se não apenas regularizar as posses existentes, como também a legalizar sua transmissão, sob a forma de compra e venda (PLATA, 2001).

outros ativos e, com isso, realizar a operação de compra ou venda das propriedades rurais.

Além disso, Plata e Sparovek (2005) afirmam que a terra como um ativo apresenta três características importantes: a) escassez em termos físicos e econômicos; b) é imóvel; c) é durável, já que não pode ser destruída facilmente. A terra é escassa não apenas por si mesma, mas na medida em que os produtos por ela gerados também o são. O aspecto de que a terra é um fator imóvel, que não pode ser reproduzido, com elasticidade de substituição baixa e de apropriação privada, favorece a condição para o estabelecimento de sua escassez econômica. Assim, tanto a geração de tecnologias para a elevação de seu rendimento físico, quanto medidas administrativas como, por exemplo, a reforma agrária, pode alterar o grau de escassez da terra.

Como qualquer ativo, o acesso à terra pode ocorrer pela compra ou aluguel, ou seja, o mercado de terra, além do segmento de compra e venda, inclui o de arrendamentos. Evidentemente, os dois segmentos são interdependentes. O agente econômico que atua em compra e venda está disposto a pagar até a totalidade de rendas operacionais líquidas (ROL) atualizadas que se espera que a terra gere, enquanto um arrendatário estará disposto a pagar um aluguel correspondente até à renda operacional líquida produtiva referente ao período considerado. Neste sentido, o valor do arrendamento ou aluguel da terra poderia ser considerado como uma variável *Proxy* de sua renda operacional líquida no referido período.

O mercado de terra pode ser considerado imperfeito, sendo que o principal fator que contribui para isso é a imperfeição no mercado de capitais: não há sistema competitivo de crédito para compra de terras a que todos os potenciais investidores pudessem ter acesso, embora haja expectativas de retorno operacionais satisfatórias (acima do custo do crédito). Ao contrário, a propriedade de terras – como garantia – tem sido determinante para acesso ao crédito rural em suas várias modalidades (PLATA; SPAROVEK, 2005).

Essa pode ser uma das razões preponderantes das desigualdades expressivas na distribuição da propriedade da terra e dos preços praticados nas diferentes regiões do Brasil.

2.2 O preço das terras rurais e seus determinantes

As alterações verificadas na agropecuária – e no agronegócio brasileiro como um todo – nos últimos anos resultaram em mudanças significativas na perspectiva de valorização das terras em muitas regiões do Brasil.

Entre 2004 e 2007 verificou-se uma valorização real média anual das terras no Brasil de 5,22%, sendo que as regiões Sudeste e Centro-Oeste apresentaram valorização média anual superior à verificada no cenário nacional: 7,37% e 5,23%, respectivamente (FNP, 2008).

Na Figura 1 pode-se observar o comportamento dos preços reais das terras para lavoura em diferentes estados e para o Brasil entre Dez/1979 e Jun/2008. Observa-se que ocorreram oscilações importantes nos preços reais das terras em vários períodos entre 1986 e 1993. A explicação para esse comportamento pode estar relacionada aos períodos de inflação elevada que deteriorava o valor da moeda. Nesse sentido, os poupadores, para evitar a perda de capital, aplicavam seus recursos em ativos físicos, entre os quais as terras, que eram vistas como capazes de preservar o valor do capital.

Já a partir de 2002 até os dias atuais verifica-se significativa valorização das terras. Entre os estados com os maiores preços estão em São Paulo, Paraná e Santa Catarina.

A valorização percebida nessas regiões, segundo dados da FGV (2009), deve ter ocorrido, principalmente, pelo crescimento da demanda pela produção agropecuária. Do ponto de vista da teoria microeconômica, a demanda por terra é derivada da primária (de produtos), assim como o são as demandas por insumos e bens de capital e mão-de-obra. À medida que a procura por produtos agropecuários se expande, crescem também as demandas derivadas com conseqüentes tendências de elevação nos preços de todos os fatores de produção – definidos como terra, insumos, bens de capital e mão-de-obra (cuja remuneração é o salário). Cada um destes está disponível de acordo com sua respectiva curva de oferta. Espera-se que os seus preços se elevem em relação inversa às elasticidades das curvas de oferta. Se a terra for o fator de oferta menos elástica, seu preço vai ser o que sobe mais acentuadamente. Como conseqüência, os produtores alterarão a proporção de uso dos fatores, procurando

economizar terra em troca de mais insumos (fertilizantes, por exemplo), tidos como seus substitutos. As ofertas de fatores não são estáticas, mas tendem a se alterar ao longo do tempo. A oferta de terra pode ficar menos elástica à medida que se esgotam as terras mais acessíveis – bem localizadas, servidas por meios de transporte, etc. O acirramento dos controles ambientais, em especial a contenção do desmatamento, tende a tornar a oferta de terra menos elástica. Tampouco são estáticas as ofertas dos demais fatores. Os fertilizantes tendem a ficar mais caros (oferta desloca-se para cima) se a demanda por petróleo aumenta ou se sua oferta se reduz. Bens de capital – como máquinas e equipamentos – tendem a ser complementares à terra no processo produtivo; uma queda em seus preços incentiva o uso de maiores extensões de terra².

Figura 1 – Evolução dos preços reais das terras para lavoura a partir de Dez/1979 (Base: Jun.2008)
Fonte: FGV (2009)

As expectativas para os próximos anos quanto ao preço das terras vão depender da evolução das demandas doméstica e internacional dos produtos agropecuários, dos custos dos insumos e da evolução tecnológica. É certo que uma recuperação do

² Ver evidências e argumentos em BARROS, G. S. A. C. (2008). O Quebra-Cabeça do Preço da Terra no Brasil. CEPEA/ESALQ/USP. <http://cepea.esalq.usp.br>.

crescimento econômico mundial deve impulsionar os mercados de alimentos e energia, beneficiando o agronegócio e, com isso, aquecer mais ainda o mercado de terras no Brasil

A bioenergia tem despertado grande atenção em razão das preocupações ambientais. O setor se tornou foco de uma nova onda de investimentos, principalmente, pelas condições naturais do Brasil. Os EUA e a China, ao anunciarem planos para substituir parte dos combustíveis fósseis pelos provenientes da agricultura, provocaram dois surtos nos campos: forte competição na produção e imediata valorização dos grãos no mercado mundial.

A tendência de ampliação das áreas de milho e soja para atendimento da demanda mundial crescente por carnes somada à expansão do setor sucroalcooleiro e da produção de biodiesel são alguns dos determinantes que podem ter influenciado na valorização das terras rurais nos últimos anos.

Além da valorização das terras agrícolas observa-se aumento do valor do arrendamento agrícola. Segundo dados da Fundação Getúlio Vargas (2009), a taxa média de crescimento do preço nominal da terra no Brasil entre 1994 e 2008 esteve próxima de 12,30% a.a., frente a uma elevação de 8,76% a.a. na renda agrícola³ (Tabela 1). Entretanto, pode-se verificar que, em valores reais, o valor do arrendamento tem apresentado queda de 0,12% a.a frente a um aumento de 3,17% a.a para o preço da terra. Isso comprova que, mesmo em períodos de inflação, a terra mantém seu valor e, com isso, é um excelente investimento em períodos que apresentam pressões inflacionárias.

Dito de outra forma verifica-se que, em 1994, para cada Real de arrendamento tinha-se R\$ 11,06 referentes ao preço da terra agrícola. Já em 2008 essa relação aumentou para R\$ 17,40 representando uma elevação de 57,32% nos preços relativos.

Comportamento semelhante pode ser visto nos preços da terra e do arrendamento no estado do Paraná (Cascavel), porém, com uma valorização inferior à

³ Nesse caso, o valor do arrendamento foi considerado como uma *proxy* da renda agrícola visto que o agente econômico que atua no mercado de compra e venda estará sempre disposto a pagar o total das rendas que a terra gera, enquanto, um arrendatário estará disposto a pagar um aluguel baseado apenas nas rendas produtivas. Johnson (1950), Chryst (1965) e Doll et al. (1983) defendem a utilização do arrendamento como uma *proxy* da renda agrícola, pois, para eles, o preço da terra deve refletir o valor presente dos fluxos de receitas que este fator pode gerar ao longo da sua vida. Sendo isso verdade, o preço de venda da terra deveria refletir o valor de seu arrendamento.

verificada no país como um todo. Já o Rio Grande do Sul (Carazinho) apresentou crescimento nominal e real superior aos valores do Paraná e do Brasil. Assim, percebe-se que tanto o arrendamento quanto o valor das terras têm crescido, de forma real, 1,41% e 3,39% a.a. respectivamente, frente aos 3,17% a.a de crescimento brasileiro.

Esta evolução do preço das propriedades ajuda a explicar o delineamento das regiões de análise, pois são locais com constantes valorizações ao longo do tempo, além de serem regiões com potencial de produção de soja e milho.

Tabela 1 – Taxa de crescimento semestral e anual dos preços das terras arrendadas e para venda no Brasil, Rio Grande do Sul e Paraná entre 1994 e 2008 (Valores nominais e reais (base: jun/2008))

	Brasil			
	Terras arrendadas – lavoura		Terras para vendas – lavoura	
	Nominal	Real	Nominal	Real
Crescimento semestral	4,14%	-0,06%	5,79%	1,52%
Crescimento anual	8,76%	-0,12%	12,36%	3,17%
Rio Grande do Sul				
Crescimento semestral	4,91%	0,68%	5,90%	1,62%
Crescimento anual	10,44%	1,41%	12,60%	3,39%
Paraná				
Crescimento semestral	4,19%	-0,02	4,70%	0,47%
Crescimento anual	8,87%	-0,033%	9,97%	0,98%

Fonte: FGV (2009)

Ferreira e Camargo (1989) estudaram os aspectos do arrendamento de terra nas atividades agrícola e pecuária e a evolução regional e nacional dos seus preços entre 1966 e 1986. Sua principal conclusão está relacionada ao fato de os preços médios de arrendamento oscilarem, basicamente, devido a variações nos preços dos produtos agrícolas e pecuários.

Scofield (1957) observou, já na década de 1950, que os preços das terras agrícolas nos Estados Unidos e na Europa cresciam mais rapidamente que a renda agrícola. Este fato foi chamado de “paradoxo do preço da terra”. Para explicar o preço crescendo mais rápido do que a renda agrícola, o autor identificou vários fatores

determinantes para a formação do preço da terra (demanda da terra para usos não agrícolas, política de sustentação de preços e avanços tecnológicos, inflação, etc.).

Todavia, arrendamento e preço da terra podem não evoluir de forma sincronizada. Segundo Plata (2001), o maior crescimento dos preços das terras em relação ao valor do arrendamento pode se dever a outros fatores que influenciam sua demanda, tais como: demanda de terras para fim de reserva de valor ou uso especulativo, crédito subsidiado, avanço tecnológico, urbanização, entre outros.

Outro fator importante é a taxa de desconto relevante para avaliação da terra: se a taxa de juros de longo prazo cai, a tendência é que o preço da terra cresça para um mesmo fluxo de renda. Para Egler (1985), as relações entre o preço da terra e o sistema financeiro no Brasil eram analisadas sob diferentes pontos de vista, entretanto, pouco ou nenhuma importância tem sido dada à taxa de juros como fator fundamental que liga o mercado fundiário à acumulação financeira. Com isso, realizou um estudo que tinha como preocupação analisar como a terra manifestava, através dos seus preços, distintos estágios de desenvolvimento da intermediação financeira. A taxa de juros seria a ponte entre o mercado financeiro e o fundiário. O autor concluiu que o preço da terra agrícola reflete de modo inverso as variações na taxa de juros, o que, inevitavelmente, permite que se especule em dois mercados distintos: o de títulos mobiliários e o fundiário.

Brandão (1986) observou e criticou o modelo financeiro de determinação do preço da terra em que o preço é o valor presente do fluxo de rendimentos futuros. Nesse caso, a taxa de juros utilizada para calcular o valor presente é considerada constante e, com isso, o preço da terra é determinado pelo quociente do fluxo de rendimentos futuros e a taxa de juros.

Para alguns autores haveria fortes indícios da existência de componentes especulativos no mercado de terras brasileiro no período de maiores taxas de inflação. Para Rangel (1979), Sayad (1982), Pinheiro (1980) e Reydon (1992), a terra pode ser utilizada para proteção contra perdas inflacionárias e, além disso, seu preço pode oscilar por razões “especulativas”. Nem sempre fica claro o que os autores têm em mente quando se referem à especulação, embora sempre transpareça como algo indesejável. Especulação em geral refere-se à compra de terra (ou ativos em geral) na

expectativa de elevação futura de preço, o que em si não tenderia a inibir o acesso a ela, que poderia se dar por aluguel. Por outro lado, o acesso à terra pode ficar mais restrito pela concentração de sua propriedade – por imperfeição no mercado de crédito, por exemplo – com consequente falta de concorrência no mercado. Nesse caso, o preço da terra subiria e seu uso produtivo cairia.

Bacha (1989) desenvolveu modelos estatísticos para explicar a determinação do preço de arrendamento e de venda da terra na agricultura brasileira. A análise das elasticidades das variáveis incluídas no modelo estimado para Minas Gerais indicou que os fatores relacionados à produção agropecuária (preços reais dos insumos modernos, nível tecnológico e relação de troca entre preços recebidos e preços pagos pelos produtores) exercem maior influência sobre o preço de venda e de aluguel da terra que os elementos vinculados à especulação e aos elementos relacionados ao ambiente econômico.

Plata e Sparovek (2005) destacam que o preço e o valor do arrendamento são influenciados pela dinâmica da oferta e demanda por esse ativo; contribuem também a infraestrutura de produção e comercialização, as leis de reserva legal ou proteção do meio ambiente; grau de fragmentação; crescimento da população e variáveis demográficas; inflação; impostos.

Existem várias teorias que auxiliam na explicação da evolução dos preços das terras agrícolas e seus principais determinantes. Entre elas está o modelo ricardiano que por muito tempo foi aceito como suficiente para explicar a flutuação dos preços. Para esse modelo, o preço das terras agrícolas está associado à renda da terra, que decorre da sua qualidade. Este seria, então, o único fator a explicar valores diferentes da terra. Além disso, tem-se a teoria dos custos de transportes e da localização das terras, desenvolvida por Von Thunen, que permite compreender como a terra é atribuída aos diferentes usos e qual a quantidade de solo que é usada pelas diferentes atividades (BARROS, 1987).

Reinsel e Reinsel (1979) argumentam que as principais determinantes do preço das terras agrícolas estão associadas aos fatores internos do setor agrícola, tais como solo, clima, densidade populacional, recursos minerais e infra-estrutura de transporte. Nessa linha, Doll et. al. (1983) tentaram identificar os fatores inerentes à própria

agricultura responsáveis pelo preço da terra. Entretanto, os resultados não foram satisfatórios a favor da teoria defendida por eles.

No Brasil, vários estudos foram realizados para identificar as variáveis que poderiam influenciar o comportamento dos preços das terras agrícolas.

Oliveira e Costa (1977) buscaram identificar os fatores responsáveis pelo comportamento dos preços de terra nua entre 1966 e 1974 em diversas regiões do Brasil. Os resultados encontrados sugeriram que a valorização das terras na época estava intimamente ligada à evolução da relação de troca entre a agricultura e a indústria (preço recebido pelo agricultor/preço dos insumos). Além disso, concluíram que, à medida em que a política agrícola trabalha no sentido de estabelecer relações de preços favoráveis à agricultura e de conceder estímulos para a adoção de técnicas novas – fatores que tendem a elevar a produtividade da terra –, a consequência será a elevação do preço do fator terra.

Sayad (1977) analisou o fenômeno da rápida sucessão de processos especulativos em diversos mercados de reserva de valor. A conclusão geral indicava que os “bens de raiz” representavam no Brasil a principal forma de retenção de riqueza por parte do setor privado, principalmente em períodos de processos inflacionários elevados. Assim, a terra funciona como reserva de valor que amortece as possíveis quedas de rentabilidade do capital produtivo, decorrentes de uma diminuição do ritmo de crescimento da economia.

Um estudo da Agroanalysis (1977) buscou identificar alguma relação de causalidade entre o montante do subsídio dado aos juros de custeio e o estímulo à produção agrícola. Os resultados confirmaram a existência de relação entre a taxa de juros real para o crédito rural de custeio e a expansão da área de algumas lavouras. Assim, a elevação dos preços das terras agrícolas surgiria pelo aumento da demanda pelo fator primário. A tese que sustenta este argumento é a de que a terra é uma pré-condição para o acesso ao crédito subsidiado. Então, seu valor tenderia a incluir a capitalização – valor atual descontado – do fluxo esperado de tais subsídios.

Pinheiro (1980) não pode confirmar a hipótese de que os preços das terras eram determinados pela rentabilidade da agricultura.

Rangel (2000) interpretou os determinantes clássicos do preço da terra. Para o autor, a renda da terra permanece relativamente constante em quaisquer fases do ciclo econômico. Dessa maneira, durante a queda cíclica, a terra constituiu-se em um ativo desejado. Já a taxa de lucro da economia varia conforme o ciclo econômico, levando o preço da terra a variar em sentido contrário. Assim, o comportamento anticíclico do preço da terra induz a uma expectativa de elevação do seu preço, independentemente da renda que ela possa gerar ao longo da sua vida útil.

Pinheiro e Reydon (1981) buscaram entender como a questão agrária brasileira afetaria o preço da terra. Concluíram que o oligopólio da terra no Brasil foi fortalecido nos anos 1960 e 1970, diminuindo as possibilidades de os produtores terem acesso a ela. Ao mesmo tempo, teria havido a formação de novos grupos, ligados ao capital industrial e agrário, interessados na manutenção da até então estrutura agrária brasileira.

Camargo et. al. (2004) analisaram os preços das terras agrícolas do Estado de São Paulo, considerando vários fatores (densidade demográfica, matas naturais e preservação do meio ambiente e uso do solo para exploração). Concluíram que as terras nas regiões com agricultura intensiva são mais valorizadas, inclusive porque as atividades do agronegócio geram divisas e empregos na zona de produção. Além disso, concluíram que a qualidade de vida interfere negativamente na valorização das terras agrícolas.

Há, portanto, uma diversidade de estudos que tentaram identificar os principais fatores para explicar o comportamento dos preços das terras. Entretanto, não há uma consonância entre os autores. A conclusão depende da teoria defendida por eles e, assim, ainda há espaço para novos trabalhos e contribuições sobre o tema dos preços das terras agrícolas no Brasil.

2.3 Formas de mensuração do valor da terra

Várias são as maneiras utilizadas para mensuração do valor das propriedades rurais, cada qual com suas especificidades e adeptos. Na realidade, não existe um método de avaliação que produza um valor consensual de uma propriedade, empresa,

etc., haja vista a necessidade da interação entre as expectativas de compradores e vendedores em relação ao negócio.

Martins (2001) diz que “ao avaliar uma empresa (propriedade), objetiva-se alcançar o valor ‘ideal’ de mercado, ou seja, aquele que representa de modo equilibrado, a potencialidade econômica de determinada companhia”, e, pensando na propriedade rural como uma empresa, pode-se determinar o seu valor de mercado.

Assaf Neto (2003) corrobora a afirmação e diz que a definição do valor de uma empresa (propriedade) é uma tarefa complexa, exigindo coerência e rigor conceitual na formulação do modelo de cálculo. Existem diversos modelos de avaliação, embutindo todos eles, certos pressupostos e níveis variados de subjetividade.

No entanto, é importante entender que o valor, ou resultado final de uma avaliação, na maioria das vezes envolve pesquisas em que a oferta e a procura são os fatores principais e que justificam os resultados (GRIPP JR et. al., 2006).

Entretanto, Assaf Neto (2003) comenta que o mercado prioriza a utilização dos modelos de avaliação baseados no Fluxo de Caixa Descontado (FCD) dado seu maior rigor conceitual e coerência com a moderna teoria de finanças. Essa metodologia é amplamente adotada como base de cálculo do valor econômico de uma empresa. Na verdade, os ativos em geral e, em particular, as empresas, são avaliadas por sua riqueza econômica expressa em valor presente, dimensionada pelos benefícios operacionais de caixa esperado no futuro e descontados por uma taxa de atratividade que reflete o custo de oportunidade dos provedores do capital.

Segundo Elad et. al. (1994) esta é a teoria de valoração de terras comumente aceita e representa a soma dos benefícios líquidos ou aluguéis futuros gerados pela terra ao longo do tempo e descontados a uma taxa de juros. Assim, o valor da terra depende também da taxa de juros empregada e do tempo considerado.

Os métodos de avaliação de empresas, segundo Sanvicente (2004), devem atender a quatro aspectos:

- ✓ Levar em conta todas as consequências (fluxos de caixa) de uma decisão de investimento;
- ✓ Levar em conta o custo de oportunidade do capital aplicado;

- ✓ Permitir que alternativas independentes possam ser avaliadas como independentes – Propriedade Aditiva;
- ✓ Conduzir à escolha da alternativa que aumenta mais o valor da empresa.

Porém, há outras metodologias utilizadas internacionalmente pelo mercado para identificar o valor das propriedades agrícolas. Algumas delas serão descritas a seguir.

2.3.1 Método Comparativo Direto de Dados de Mercado

É considerado por muitos autores e *experts* na área de engenharia de avaliações como o método mais direto de obtenção de valores de imóveis (terra nua, benfeitoria e animais), pela eficiência e simplicidade de sua execução, sendo que o resultado final é quase sempre satisfatório e muito próximo do ideal.

Moreira (1994) afirma que avaliar é, basicamente, comparar valores. Nesse caso, o valor de mercado é determinado pela comparação direta com outros imóveis semelhantes ao avaliado, cujas informações ou dados de mercado são obtidos valendo-se de entrevistas, visitas técnicas, anúncios de jornais ou revistas, documentações de transferência, cadastros ou informações de corretores. Cabe ao avaliador comparar as informações de mercado, levando em consideração todas as características intrínsecas e extrínsecas do imóvel e analisá-las em relação aos paradigmas (DESLANDES, 2002).

Porém, segundo Gripp Jr. et. al. (2006), deve-se lembrar que esse método é considerado rápido, fácil e eficiente apenas onde possa haver abundância de informações, tanto do próprio imóvel quanto dos imóveis que serão comparados. Caso contrário, o método é falho e isso pode acontecer em certas regiões do País ou em certas épocas, quando os dados não estão atualizados e a movimentação no mercado de compra e venda de bens imóveis esteja estagnada.

Após a coleta de informações de mercado, há a necessidade de se utilizar critérios de classificação dos elementos pesquisados, que consistem na subtração ou no acréscimo dos valores relativos às suas benfeitorias reprodutivas ou não-reprodutivas de seu valor global, seguindo-se para uma homogeneização dos valores unitários, que na maioria das vezes, são expressos em R\$/ha.

Uma das dificuldades para a aplicação desse método é a heterogeneidade dos dados do mercado imobiliário, pois as terras diferem umas das outras pela localização, qualidade, área construída, idade, produtividade, estado de conservação, etc.

Dessa forma, nota-se que o método apresenta elevada simplicidade na sua operacionalização. Entretanto, a heterogeneidade das propriedades pode fornecer informações viesadas sobre o valor das terras na região Sul do Brasil.

2.3.2 Método Residual

A necessidade de extrair o valor das benfeitorias está relacionada ao método residual que é aquele que define o valor da terra por meio da diferença entre o valor total do imóvel e o das benfeitorias, ou o valor destas subtraindo-se o valor do terreno (ABNT, 1989).

Este método parte do valor total do imóvel, sendo que, para se encontrar o valor do terreno, subtrai-se desse valor total o valor da benfeitoria, ou vice-versa (FIKER, 1997). Pode ainda haver a necessidade de se subtrair também uma parte correspondente ao lucro e às taxas financeiras e administrativas que oneram o valor final do imóvel.

Esse método pode ser útil quando é necessário avaliar terras em áreas muito adensadas, como, por exemplo, o centro de grandes cidades – todas as observações amostradas possuem benfeitorias agregadas.

2.3.3 Método do Fluxo de Caixa Descontado

Entre todos os métodos de valoração de propriedades o fluxo de caixa descontado é um dos que apresenta as principais características exigidas pelo mercado.

É um método em que o valor do imóvel ou de suas partes constitutivas é obtido pela da capitalização da sua renda líquida real ou prevista a uma taxa de juros pré-determinada e constante (FIKER, 1997).

Segundo Assaf Neto (2003) o valor de um ativo é função de sua capacidade futura de gerar riqueza, e não de seus resultados acumulados em exercícios passados e registrados, de acordo com princípios gerais e normas da contabilidade. Assim, de maneira efetiva, o valor de uma empresa depende de seu desempenho esperado no futuro, do que ela seja capaz de produzir valor (riqueza), e não do custo dos ativos.

A dificuldade que o método apresenta diz respeito à fixação das taxas a serem consideradas, pois uma pequena variação nelas determina grande diferença no valor final procurado (GRIPP JR. et. al., 2006).

Segundo Plantinga (1998) a melhor forma de avaliar propriedades rurais deveria ser a de incorporar as características de incerteza e irreversibilidade inerentes a uma parcela da terra vendida. Em outras palavras, os valores associados à opção irreversível e incerta do desenvolvimento das terras são capitalizados em componentes de medição de rendas da produção agrícola futura e arrendamentos de terras futuras.

Nesse sentido, serão abordadas as principais vantagens e desvantagens do método que utiliza os Fluxos de Caixa Descontados como mecanismo para mensurar o valor das propriedades rurais. Além disso, a inserção do componente de incerteza cria a oportunidade da valoração das propriedades através de uma ferramenta relativamente recente chamada Análise das Opções Reais (AOR).

2.4 Valor Presente

O Valor Presente (VP⁴) é o fundamento da análise de opções reais. Representa uma das técnicas do método de fluxo esperado de caixa descontado e tem sido considerado o mais adequado à avaliação de investimentos em ativos reais⁵. Seu valor

⁴ Klammer (1972) relatou que um levantamento feito junto a 100 grandes empresas indicou que, em 1959, apenas 19% delas aplicavam técnicas de VPL, mas, em 1970, 57% delas já as empregavam. Schall, Sundem e Geijsbeek (1978) tomaram uma amostragem de 424 grandes empresas e verificaram que 86% das que responderam recorriam ao VPL. Assim, foram necessários quase duas décadas para que o método fosse amplamente aceito.

⁵ Segundo Amran e Kulatilaka (2000), “numa era anterior, a maioria das decisões de investimentos corporativos era feita usando a análise do fluxo de caixa descontado (FCD), a ferramenta correta para um problema em questão”. Para os autores, “os analistas tinham um razoável grau de confiança em suas previsões para o futuro e, mais do que isto, eles podiam operar com certo grau de segurança, pois, uma vez que o projeto fosse aceito, a empresa iria tentar fazer com que tudo ocorresse de acordo com o planejado”. Os autores continuam dizendo que “isto não significava que o mundo estava sem incertezas, de outra forma, a maioria dos mercados era estável e previsível e havia rara necessidade para uma

consiste na soma algébrica dos fluxos líquidos de caixa esperados, reportados a um determinado momento do tempo, mediante um processo de atualização financeira que utiliza uma taxa de atratividade como fator de atualização. Nesse sentido, o $E(VP)$ ou Valor Presente Esperado, pode ser calculado pela eq. 1.

$$E(VP) = \sum_{t=0}^T \left[\frac{E(FC_t)}{(1+r)^t} \right] + \frac{E(FCR_T)}{(1+r)^T} \quad (1)$$

Sendo $E(.)$ o operador de esperança matemática; VP representa o Valor Presente do fluxo de caixa; FC indica os fluxos de caixa estimados para a vida útil da empresa ou projeto; FCR representa o fluxo de caixa residual; r está relacionado à taxa de juros ou custo do capital necessário para o investidor escolher o que consumir no futuro em detrimento do consumo presente; t representa o número de períodos analisados desde o início do projeto e T representa o período final do projeto.

Assim, essa técnica incorpora o pressuposto de que um investidor somente abre mão do consumo atual em troca de um consumo maior no futuro⁶, levando em consideração o conceito do valor do dinheiro no tempo. A taxa de atratividade definida para a avaliação econômica é a que proporciona um retorno esperado às várias fontes de capital, de maneira a remunerar inclusive os riscos assumidos (ASSAF NETO, 2003).

Entretanto, uma das questões mais discutidas nos processos de avaliação de empresas e projetos é a escolha da taxa de desconto e, portanto, do nível de risco da empresa ou projeto. O desconto dos fluxos de caixa da empresa ou propriedade rural é realizado através da taxa de retorno real obtida a partir da média da taxa Selic dos últimos 5 anos. O custo de capital também pode ser definido como a taxa de retorno

mudança repentina na estratégia da corporação. Quando os riscos em um projeto eram maiores do que aqueles incorridos no curso normal do negócio, a prática mais comum era elevar a taxa de desconto”.

⁶ O princípio da separação revela que os acionistas de uma empresa concordarão independentemente de suas taxas de preferências temporais, que os executivos da empresa devem maximizar a riqueza dos acionistas, fazendo investimentos que retornem pelo menos o custo de oportunidade do capital, tal como determinado pelo mercado (COPELAND; ANTIKARO, 2001, p.62-64). Para os autores as curvas de indiferença representam a teoria da escolha, ou seja, para abrir mão do consumo hoje há que se receber mais quanto mais inclinado, maior será a taxa marginal de substituição.

que atrairia os fornecedores de recursos para financiar os projetos de investimento da empresa (GITMAN, 1997).

Já para Copeland e Antikaro (2001) o VP ou fluxo de caixa descontado trata apenas de fluxos de caixa previstos, descontados a uma taxa constante, pois se considera que o risco continuará o mesmo ao longo da vida do projeto.

Assaf Neto (2003) ressalta que a base de avaliação do modelo são os fluxos de caixa, definidos em termos operacionais, onde se excluem, entre outros, os fluxos financeiros de remuneração do capital (despesas de juros e dividendos, basicamente). Os valores relevantes para a avaliação econômica são os provenientes da atividade operacional da empresa, e disponíveis a todos os provedores de capital, próprios e de terceiros. Esses fluxos operacionais devem, ainda, ser projetados para determinado horizonte de tempo, apurando-se dessa estrutura de entradas e saídas de caixa a riqueza líquida mantida no momento presente, ou seja, o “valor da empresa⁷”.

Nesse sentido, a mensuração do valor da empresa ou do projeto com a utilização da técnica VP é a única das técnicas atuais que preenche todas as propriedades para uma boa mensuração do valor. Segundo Brealey e Myers (2000), o VP reconhece que “um dólar hoje vale mais do que um dólar amanhã”, demonstrando sua sensibilidade ao valor do dinheiro no tempo e, assim, atende a primeira propriedade requerida para boa mensuração do valor da empresa. Além da dependência quanto aos fluxos de caixa projetados, os autores enfatizam que o VP depende, também, do custo de oportunidade do capital. A propriedade aditiva também é atendida, pois os valores presentes são todos medidos na unidades monetárias de hoje, podendo ser somados. Além disso, o VP atinge o objetivo da empresa, que é o de maximizar lucros, uma vez que considera, entre outras, a escala do projeto, apontando, dessa forma, o plano que agrega maior valor ao acionista.

⁷ Copeland, Koller e Murrin (2000) diz que com o método do fluxo de caixa descontado pode-se obter o valor da empresa por três caminhos. O primeiro é descontar o fluxo de caixa do ponto de vista da empresa sem considerar os encargos das dívidas ou novos financiamentos. O segundo: desconta-se este fluxo de caixa a uma taxa apropriada ao risco desta empresa, somando-o ao resultado atualizado das dívidas acrescidas dos seus respectivos encargos. No terceiro, desconta-se o fluxo de caixa do ponto de vista do acionista, que é obtido deduzindo-se do fluxo de caixa do ponto de vista da empresa o valor das dívidas dos seus encargos, e acrescentando-se os novos financiamentos necessários para manter o nível de alavancagem adequado à empresa.

O procedimento de cálculo do VP prevê, primeiramente, os fluxos de caixa gerados pela empresa num período. Na sequência, determina-se o custo de oportunidade de capital apropriado, tendo este que refletir tanto o valor temporal do dinheiro como o risco associado à empresa. Por fim, usa-se este custo de oportunidade do capital para descontar os fluxos de caixa futuros do projeto para encontrar o valor presente.

Para tanto, deve-se avaliar a evolução esperada do fluxo de caixa para o período de avaliação. Para Gesbanha (2008), deve-se ter em conta os seguintes aspectos:

- ✓ Características da oferta e da procura relativamente às propriedades da empresa;
- ✓ O limite de capital de terceiros que a empresa pode financiar para fazer frente aos investimentos;
- ✓ O fluxo de caixa retido que pode ser reinvestido para garantir a estabilidade do crescimento da empresa e dos seus dividendos;
- ✓ Capacidade de gestão para vender ativos de modo a obter boas taxas de rendimento do capital próprio.

Segundo Couto (2006), os principais pressupostos implícitos neste tipo de análise são:

- ✓ Mercados perfeitos e completos, com competidores (participantes) racionais;
- ✓ Existência de ativos cotados ou similares a nível de risco, transacionados no mercado, que “imitam” os ciclos e os fluxos gerados pelo projeto;
- ✓ Independência dos projetos e linearidade da distribuição dos fluxos de caixa;
- ✓ Decisões imediatas tipo “agora ou nunca”, aceitação ou rejeição. Assim, a metodologia tradicional de avaliação de investimentos admite implicitamente que os gestores assumem um papel passivo após o momento de tomada de decisão relativa à implantação dos projetos;
- ✓ Gestão passiva, como se os compromissos fossem irrevogáveis face aos cenários esperados na estratégia operacional;

- ✓ Projetos sem flexibilidade operacional ou opções subjacentes, não sendo possíveis a expansão, contração, abandono, etc.;
- ✓ Taxas de atualização, dependentes apenas do risco do projeto, não sendo afetadas pelas ações dos gestores.

Para Dixit e Pindyck (1994), o VP assume que o investimento pode cair dentro de uma das categorias: reversível ou irreversível. O primeiro assume que os gastos podem ser recuperados caso as condições do mercado mudem ou fiquem piores que o esperado; já a categoria irreversível assume que o investimento é uma decisão do tipo “agora ou nunca”. O modelo não pode capturar os investimentos de ambas as categorias, como, por exemplo, quando um investimento irreversível puder ser postergado.

Assim, essa metodologia não consegue incorporar de forma apropriada o valor de eventuais opções que possam aparecer associadas ao investimento, motivo pelo qual os resultados têm sido questionados (COUTO, 2006).

Por isso, segundo Copeland e Antikaro (2001), o VP contém grandes falhas e subestima sistematicamente toda a oportunidade de investimento, visto que se embasa em fluxos de caixa futuros esperados sem levar em conta a flexibilidade do valor. Para os autores, os executivos experientes sabem intuitivamente que o VP não capta essa flexibilidade.

Desta forma, Dixit e Pindyck (1994) são enfáticos ao atacarem o VP por não captar a flexibilidade administrativa, ou seja, é a habilidade que a administração tem de revisar o projeto inicial quando incertezas futuras são resolvidas ou apresentam-se de forma diferente da prevista.

As dificuldades que a abordagem tradicional revela no tratamento das conseqüências da flexibilidade de gestão não se limitam à projeção de fluxos de caixa esperados. Brennan e Schwartz (1985) têm mencionado o fato de a análise tradicional não considerar o impacto da flexibilidade que as decisões da gestão proporcionam ao nível de risco do projeto. Projetos que podem ser alterados oferecem menor risco, especialmente se parte do investimento inicial puder ser recuperado. O meio que a abordagem tradicional tem encontrado para considerar estes efeitos induzidos pela flexibilidade de gestão passa pela realização de ajustamentos arbitrários na taxa de

juros, ponderando a volatilidade, mas ignorando o grau de desvio em relação à distribuição (assimetria), fato que conduz frequentemente a que esta variável atinja níveis exagerados, passíveis de prejudicar o processo de avaliação (SMIT; ANKUM, 1993; KEMMA, 1993; DIXIT; PINDICK, 1994).

Segundo Couto (2006), o problema deriva, em primeiro lugar, das dificuldades de estimação dos fluxos líquidos de caixa. Nas aplicações em ativos financeiros, os investidores tendem a praticar uma gestão passiva – o preço é determinado pelo mercado independente de qualquer ação que o investidor individual possa tomar.

Nesse sentido, a metodologia de avaliação de investimentos, que utiliza o conceito de opção real, é o intermédio entre as finanças e o planejamento estratégico, através da incorporação do modo como, ao longo da vida do projeto, as ações dos gestores podem limitar perdas ou capitalizar ganhos potenciais. Adicionalmente, questões como o impacto da chegada aleatória de concorrentes ou as respectivas reações competitivas são passíveis de análise mediante a utilização de técnicas de avaliação de opções reais. Estas se utilizam de conceitos originalmente desenvolvidos no domínio da teoria dos jogos, oferecendo, com isso, uma nova dimensão à avaliação de projetos que não é passível de ser captada nas análises tradicionais baseadas no VP.

2.5 Teoria das Opções Reais

Para facilitar a compreensão da análise das Opções Reais é necessário conhecer os conceitos que derivam das opções financeiras e, conseqüentemente, que são parâmetros utilizados nos modelos de avaliação de projetos.

2.5.1 Principais fundamentos das opções

A opção financeira é um contrato que dá ao seu titular o direito, mas não a obrigação, de comprar ou vender determinado ativo-objeto⁸ por um preço previamente

⁸ O ativo-objeto pode ser qualquer ativo que possa ser expresso em unidades monetárias ou em índices, como, por exemplo: cotação de uma ação, cotação futura do boi gordo, da soja, valor do índice da bolsa de valores de São Paulo, taxa de câmbio, de juros.

estabelecido (preço de exercício), na data de vencimento (maturidade ou data de expiração da opção), ou em qualquer data até o vencimento do contrato. As opções podem ser européias (podem ser exercidas somente na data de vencimento especificada no contrato) ou americanas (podem ser exercidas em qualquer data até o vencimento). O comprador precisa pagar um valor (prêmio) na data da contratação para ter o direito futuro de comprar ou vender ao preço de exercício da opção.

O comprador é chamado de titular da opção, enquanto o vendedor recebe o nome de lançador da opção. Quando o titular de uma opção de compra ou venda exerce o direito de comprar ou vender, diz-se que a opção é exercida. Caso contrário, o comprador perderá o valor do prêmio, que é a remuneração do lançador da mesma.

Especificamente, uma opção de compra (*call*) fornece ao titular o direito, mas não a obrigação, de comprar o ativo-objeto em certa data, pelo preço de exercício previamente estipulado. Já a opção de venda (*put*) proporciona o direito de vender em certa data, ao preço de exercício.

O agente adquirirá uma opção de compra quando ele possuir expectativas de que o preço do ativo-objeto possa subir no futuro e, nesse caso, Marques et. al. (2008) mostram que a equação de remuneração da opção de compra (*call*) no vencimento da opção pode ser expressa pelo maior valor entre (a) a diferença entre o preço do ativo-objeto (S) e o preço de exercício (X) e (b) zero. A eq. 2 formaliza essa relação.

$$C_t = \max[(S_t - Xe^{-r(T-t)}), 0] \quad (2)$$

Sendo que C_t é o valor intrínseco da opção de compra na data t ; t é a data atual da análise; T tempo para vencimento do contrato; S_t é o preço do ativo-objeto e X representa o preço de exercício da opção no vencimento; X_{T-t} antes do vencimento da opção; r é a taxa de juros. Nesse caso, a opção somente será exercida quando o valor do ativo-objeto (S_t) for maior do que o valor presente do preço de exercício ($Xe^{-r(T-t)}$). Nesse caso, pode-se dizer que a opção está dentro do dinheiro (*in the money*); caso o valor do ativo-objeto (S_t) seja inferior ao valor presente do preço de exercício a opção

$(Xe^{-r(T-t)})$ valerá zero e a opção estará fora do dinheiro (*out-of-the-money*); quando ambos os preços são iguais, a opção estará no dinheiro (*at-the-money*).

Quando o agente possuir expectativas de queda no preço do ativo-objeto ele poderá adquirir opções de venda. O resultado para o agente titular de uma opção de venda (*put*) no vencimento será o maior valor entre (a) a diferença entre o valor presente do preço de exercício e o preço do ativo-objeto e (b) zero. A eq. 3 apresenta a formulação matemática dessa relação.

$$P_t = \max[Xe^{-r(T-t)} - S_t, 0] \quad (3)$$

Sendo P_t o valor intrínseco da opção de venda (*put*) na data t . Dessa forma, a opção de venda somente será exercida quando o valor do ativo-objeto estiver abaixo do valor presente do preço de exercício e a opção estará dentro do dinheiro (*in the money*).

A Figura 2 mostra os resultados para os agentes comprados em opções *calls* e *puts*. A opção *call* apresenta resultados positivos quando o valor do ativo-objeto torna-se maior que o preço de exercício. De outra forma, o valor da opção de compra é zero. Já uma opção *put* apresenta resultados positivos quando o valor do ativo-objeto fica abaixo do preço de exercício da opção e zero para a situação contrária.

Figura 2 – Diagrama dos resultados para comprados em opções *call* e *put*
Fonte: Brach (2002)

Além do valor intrínseco, a opção possui o valor de tempo, que representa algo a mais que a opção pode adquirir até o vencimento do contrato. Assim, mesmo a opção possuindo valor intrínseco igual a zero ela poderá ser negociada a valores superiores a

zero, pois há expectativas de que, em algum momento, a opção entre no dinheiro e venha a ser exercida.

2.5.2 Análise de Opções Reais

No atual ambiente econômico, onde decisões gerenciais devem ser tomadas em um curto espaço de tempo e um erro pode afetar empresas até em diferentes países, os gestores devem utilizar o maior número possível de informações no processo de tomada de decisões.

Nesse sentido, Santos e Pamplona (2003) afirmam que, apesar do amplo uso de técnicas tradicionais de orçamento de capital, críticas têm surgido contra o uso estático das mesmas na tomada de decisão. A crítica está no fato de que estas técnicas são baseadas somente no retorno financeiro. Elas usam apenas fatores tangíveis e não levam em consideração os fatores intangíveis, tais como: vantagem competitiva, novas informações e oportunidades e as incertezas quanto ao futuro do projeto em análise.

A incerteza requer que os gestores se tornem muito mais sofisticados na forma como avaliam e quantificam o risco. É importante que compreendam melhor as opções que suas companhias possuem ou são capazes de criar. As opções criam flexibilidade e, conforme ressaltam Dixit e Pindyck (1994), num mundo de incertezas, a habilidade de se avaliar e usar as flexibilidades gerenciais nos processos de tomada de decisão é criticada, pois, em muitas vezes, elas não são levadas em consideração, a não ser por meio da taxa de juros adotada na análise.

Para Minardi (2004), a possibilidade de se rever a estratégia inicial e alterar o plano de investimento de acordo com as novas condições econômicas são chamadas de “flexibilidades gerenciais”. A flexibilidade gerencial é uma possibilidade, mas não a obrigação, de alterar um projeto em diferentes etapas de sua vida útil.

Assim, de forma a incorporar estas opções na avaliação de um investimento, deve-se utilizar como ferramenta o modelo de opções reais, com o propósito específico de capturar o valor de opções implícitas e possibilidades gerenciais factíveis.

O conceito de opções reais é bastante parecido com o das opções financeiras, pois se trata de exercer ou não direitos futuros sobre investimentos realizados em ativos

reais, não em papéis, que podem ser negociados livremente no mercado financeiro. Assim, opção real é o direito, mas não a obrigação, de empreender uma ação (diferir, expandir, contrair, postergar ou abandonar) a um custo pré-determinado que se denomina de preço de exercício, durante a vida da opção.

Dessa forma, são parecidas com as opções financeiras ao ponto de serem afetadas pelas mesmas variáveis: 1. valor do ativo-objeto (S); 2. preço de exercício (X); 3. volatilidade (σ); 4. período de maturidade (T) e 5. taxa de juros (r).

Vale fazer uma analogia entre as opções reais e financeiras para identificar como são formadas as cinco variáveis que interferem no valor da opção. Luerhman (1998) apresentou uma analogia que justifica a utilização de Opções Reais para avaliação de investimentos:

uma empresa que possui uma oportunidade de investimento irreversível tem a opção de adiar o investimento (opção de postergar). Ela possui o direito, mas não a obrigação, de comprar um ativo (o projeto) no futuro, a um preço de exercício (investimento inicial). Quando a empresa investe, ela exerce a opção e paga um custo de oportunidade igual ao valor investido. O exercício da opção (investimento) é irreversível, mas a empresa tem sempre a possibilidade de postergar o investimento, até que as condições do mercado tornem-se mais favoráveis e para que se possa obter mais informações a respeito do projeto e dos fatores que o influenciam, diminuindo assim, algumas incertezas.

A Figura 3 apresenta essa analogia e mostra a proximidade que há entre as opções financeiras e as opções reais, que são utilizadas nos processos de avaliação de investimentos.

Além dessas variáveis, Copeland e Antikaro (2001) apontam a existência de uma sexta variável que são os dividendos, que podem ser pagos pelo ativo-objeto: as saídas ou entradas de caixa ao longo de sua vida.

Dessa forma, um projeto de investimento pode ser visto como um conjunto de opções reais. Dentre estas, podem ser citadas as opções de adiar o investimento, cancelar novas etapas do investimento, alterar a escala de produção (expandir, contrair, fechar temporariamente, reiniciar), abandonar pelo valor de exercício, alterar usos (entradas e saídas), entre outras (TRIGEORGIS, 1995).

Figura 3 – Analogia entre um projeto de investimento e uma opção financeira
 Fonte: Luerhman (1998)

Segundo Copeland e Antikaro (2001) as opções reais podem ser classificadas pelo tipo de flexibilidade que elas oferecem:

✓ Opção de diferir (esperar) ou *timing* de investimento – é uma opção de compra americana encontrada na maioria dos projetos em que existe a possibilidade de adiar o início de um projeto. Por exemplo, a opção de adiar um investimento para explorar uma propriedade rural é uma opção americana. Essa opção fornece aos gestores o direito, mas não a obrigação, de realizar o investimento para explorar a propriedade ao preço de exercício correspondente ao investimento necessário (COPELAND et. al., 2000). Assim, um projeto que possui a possibilidade de ser adiado tem mais valor do que um que não tem a flexibilidade do adiamento. A empresa deve sempre comparar o custo de adiar com os benefícios de esperar novas informações que possam subsidiar a decisão de investir.

✓ A opção de abandono – Abandonar (vender) um projeto por um preço fixo (mesmo que esse preço decline com o tempo) é formalmente uma opção de venda americana. Por exemplo, essa opção fornece o direito, mas não a obrigação, de abandonar uma propriedade rural utilizada para o plantio de soja ao preço de exercício correspondente ao valor residual (TRIGEORGIS, 1996) ou valor de alienação dos ativos ou da sua melhor utilização alternativa (COPELAND et. al., 2000). Se os resultados forem ruins no final da primeira safra, o gestor poderá abandonar o projeto liquidando a propriedade pelo preço de exercício da opção. Além disso, pode-se considerar a possibilidade de abandonar temporariamente a atividade ou propriedade. Essa opção pode ser relevante em propriedades que possuem custos operacionais efetivos superiores às suas receitas operacionais.

✓ Opção de contração – A opção de contrair (reduzir a dimensão no empreendimento) de um projeto ou a escala de produção, mediante a venda de uma fração do mesmo a um preço fixo é equivalente a uma opção americana de venda. Assim, a opção de contração fornece ao proprietário o direito, mas não a obrigação, de reduzir a escala operacional quando ocorrerem condições desfavoráveis com preço de exercício equivalente aos custos potencialmente poupados (TRIGEORGIS, 1996). Por exemplo, a redução na escala de produção fornece ao produtor a possibilidade de diminuir seu custo operacional, além da possibilidade de vender, por um valor residual, os equipamentos que serão desativados. Nesse caso, a flexibilidade existente na opção faz com que seu valor seja maior do que quando a flexibilidade estiver ausente.

✓ Opção de expansão – A opção de expandir um projeto ou a escala de operação, pagando-se mais para aumentá-lo, é uma opção de compra americana. Isso pode ocorrer quando em situações nas quais os preços, ou outras variáveis de mercado se revelem mais favoráveis do que o inicialmente previsto e os gestores podem acelerar a instalação do projeto ou expandir a escala de produção, incorrendo num investimento incremental de um determinado valor (COUTO, 2006). Assim, essa opção fornece ao produtor o direito, mas não a obrigação, de realizar investimentos futuros para elevar a capacidade produtiva da propriedade com preço de exercício igual ao investimento incremental (COPELAND et. al., 2000). Nesse caso, a análise que leva em consideração a possibilidade de expansão possui flexibilidade em relação à técnica do

Valor Presente e, com isso, terá um valor maior do que quando não se considera a flexibilidade. Como o valor de um projeto pode ser afetado pela incerteza quanto ao preço do produto, custo dos insumos, taxa de juros, taxa de câmbio, etc. o produtor poderá acompanhar o comportamento dessas variáveis e, posteriormente, tomar a decisão sobre o investimento.

✓ Opções de mudança – A opção de mudar (converter) são portfólios de opções de compra e venda americanas que permitem a seu detentor mudar, a um custo fixo, entre dois modos de operação. Por exemplo, o produtor pode reiniciar o plantio de determinada cultura, sendo equivalente a uma opção de compra americana e o custo de reiniciar as atividades (custos variáveis de produção) será o preço de exercício da opção (COPELAND et. al., 2000). Já a interrupção do plantio quando surgirem situações desfavoráveis é semelhante a uma opção de venda americana com preço de exercício igual ao custo de interromper as atividades. Assim, um projeto que tem a possibilidade de ser paralisado e reiniciado de forma dinâmica possui um valor maior do que aquele sem a flexibilidade da mudança.

✓ Opções compostas – São opções cujo valor está condicionado ao valor de outras opções. Black e Scholes (1973), por exemplo, reconheceram que o patrimônio de uma empresa alavancada é uma opção sobre o valor da empresa (uma opção de compra), com preço de exercício igual ao valor de face da dívida da empresa e a maturidade é o vencimento das dívidas. Os investimentos planejados em fases também se enquadram nesta categoria. Neste caso, o produtor tem a opção de parar ou adiar o projeto ao fim de cada fase, ou seja, após o plantio ele analisa se deve seguir com os tratos culturais ou parar e assim, sucessivamente.

✓ Opções arco-íris – São opções movidas por múltiplas fontes de incerteza, pois a maioria das opções reais é afetada pela incerteza relativa ao preço de uma unidade de produto, da quantidade que pode ser vendida e das taxas de juro incertas que afetam o valor presente do projeto (COPELAND; ANTIKARO, 2001).

Dessa forma, observa-se que a combinação de rigor analítico com um processo de tomada de decisão disciplinado, ou seja, estruturado em termos de opções embutidas e de informações relevantes sobre risco, como enunciado em Amram e

Kulatilaka (2000), pode auxiliar os executivos na realização de aquisições corretas a um preço recompensador.

Portanto, fica claro que uma valoração mais refinada das propriedades rurais pode ser obtida com a utilização da técnica de análise das opções reais em consonância com a do valor presente.

2.5.3 Opções Reais como complemento do Valor Presente

A análise das Opções Reais tem recebido muita atenção de pesquisadores e executivos em todo o mundo, sendo que o maior desenvolvimento ocorreu já no início da década de 2000. A teoria é capaz de captar a flexibilidade gerencial na tomada de decisões de investimentos e, com isso, amenizar as incertezas inerentes à tomada de decisão.

Corroborando a afirmação, Gonçalves (2008) diz que todo e qualquer tipo de investimento possui incertezas, riscos e flexibilidades com relação às ações gerenciais, flexibilidades estas que muitas vezes acabam não sendo mensuradas adequadamente. A maioria das empresas utiliza as técnicas tradicionais de avaliação de investimentos na análise de seus empreendimentos. No entanto, estas ferramentas não conseguem mensurar de forma adequada as incertezas e flexibilidades gerenciais existentes neste mercado. Os investidores sabem, mesmo por *feeling*⁹, que seus investimentos possuem diversas opções, como por exemplo, esperar, abandonar, expandir, contrair e etc.

Essa nova técnica de orçamento de capital tem o potencial de avaliar o valor do projeto proveniente de uma administração ativa e das interações estratégicas existentes no mercado (TRIGEORGIS, 1996).

⁹ Segundo Couto (2006), dois estudos empíricos baseados em amostras recolhidas junto de grandes empresas cujas conclusões apontam no sentido de que, não só, os executivos já valorizam subjetivamente opções reais, como ainda gostariam de dominar técnicas acessíveis que lhes permitissem implantar a análise de opções reais. Busby e Pitts (1997) questionaram os executivos de todas as empresas do índice FT-SE 100 e cerca de 50% dos respondentes reconheceram a existência de opções no seu negócio – sobretudo opções de crescimento e de abandono. Dos respondentes, 35% consideraram que as opções são fatores de influência muito ou extremamente importante nas decisões de investimento, embora, mais de 75% não utilizem qualquer procedimento para avaliar opções reais. Howell e Jagle (1997) chegaram a resultados muito parecidos.

Com a mesma idéia, Santos e Pamplona (2003) perceberam que no atual mercado, caracterizado por mudança, incerteza e interações competitivas, a realização dos fluxos de caixa previstos numa análise irá provavelmente diferir do que se esperava inicialmente pela administração. À medida que novas informações chegam e a incerteza sobre as condições do mercado e o futuro fluxo de caixa é mais bem compreendida, a administração pode alterar sua estratégia operacional e, com isso, capitalizar oportunidades futuras favoráveis ou diminuir perdas.

Evitando-se a perda de recursos que uma decisão errada pode ter, muda-se o conceito de avaliação de empresa, tornando-a mais suscetível à ingerência humana. Desta forma, o ponto principal deste novo conceito é que a flexibilidade gerencial adiciona valor ao empreendimento.

Para Santos e Pamplona (2002), a abordagem das opções reais para o orçamento de capital tem o potencial de quantificar o valor das opções de uma administração ativa. Este valor é manifestado como opções reais (*call* ou *put*) embutidas nas oportunidades de investimento de capital, tendo como ativo-objeto o valor do fluxo de caixa esperado pela operação do projeto (VP).

Portanto, evidencia-se que esse método será um complemento ao método do valor presente¹⁰, englobando as diversas opções que um investidor possui antes e durante a aplicação em um projeto, permitindo, principalmente, uma análise mais precisa de investimentos de longo prazo, nos quais os elementos de incerteza são extremamente relevantes e impacta diretamente na tomada de decisão de investir. Além disso, Antonik (2005) diz que a teoria das opções reais procura “mapear” todo o conjunto de alternativas e colocá-las dentro de uma árvore de decisão, analisando inclusive se o investimento ou parte dele é reversível e passível de ser abandonado. Depois, com o auxílio do método do valor presente, fica fácil verificar a rentabilidade de cada uma as opções e decidir pela melhor, em cada parte do processo.

¹⁰ Brandão reafirma que o gestor deve ter em mente que não se pretende descartar os tradicionais métodos do valor presente e da taxa interna de retorno, mas o que se quer dizer é que esses métodos, quando aplicados, são quase sempre baseados em assertivas imutáveis. Explicando melhor, quando o analista de investimentos calcula pura e simplesmente o valor presente líquido de um projeto, ele pode não considerar as inúmeras “opções” que os empresários teriam no futuro, tais como: abandonar parte do projeto, abandonar todo o projeto, não executar um projeto acessório, incorporar outros subprojetos. “Como um projeto é um ativo real, essas opções sobre ativos reais são chamadas de opções reais” (2001, p.41).

A análise da Opção Real pode ser aplicada na avaliação de ativos reais, ou seja, aqueles que não são negociados no mercado. Projetos de investimento de capital, avaliação de propriedades intelectuais, avaliação de terras, 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 ao utilizar esta teoria. Uma opção real é a flexibilidade que um gerente tem para tomar decisões a respeito de ativos reais (DIXIT; PINDYCK, 1994).

Assim,

uma firma com uma oportunidade de investimento irreversível carrega uma opção de investir no futuro (ou de esperar); ela tem o direito – mas não a obrigação – de comprar um ativo (o projeto) no futuro, a um preço de exercício (o investimento). Quando a firma investe, ela exerce a opção e paga um custo de oportunidade igual ao seu valor. O exercício da opção (o investimento) é irreversível, mas a firma sempre tem a possibilidade de preservar o valor de sua opção (adiar o investimento) até que as condições de mercado se tornem mais favoráveis (DIXIT; PINDYCK, 1994).

Entretanto, para a aplicação da teoria é necessário o conhecimento de algumas das premissas básicas para sua utilização. Ela não pode ser aplicada na análise de todo e qualquer investimento. Segundo Vonnegut (2000), na ausência destas premissas, os resultados da Teoria das Opções Reais (TOR) são semelhantes àqueles da teoria do Valor Presente Esperado. São elas: a irreversibilidade do investimento, a opção de esperar ao invés de ser forçado a investir no momento ou jamais investir (*timing*) e a incerteza.

A irreversibilidade pressupõe que uma vez que tenha sido investido certo montante no projeto (*sunk cost*) não é possível recuperá-lo no caso de não prosseguimento do projeto.

O *timing* sugere que, uma vez iniciado o projeto, a empresa tem a possibilidade de escolher o melhor momento de sua introdução no mercado após ter sido avaliada a viabilidade do mesmo. Depois de iniciada a pesquisa, várias opções são abertas, como por exemplo: abandono do projeto caso não pareça promissor; parada temporária esperando-se pela resolução de incertezas e por um momento melhor de introdução do produto no mercado e desenvolvimento e comercialização por parte da empresa

possuidora do projeto e venda dos direitos de comercialização a terceiros. Essas duas premissas são os parâmetros principais da TOR.

Pressupõe-se que a incerteza exista no contexto de qualquer tomada de decisão de investimento real, sejam elas técnicas (não se sabe se o produto “funcionará”) ou econômicas (as condições do mercado, por exemplo), mas quanto maior for a incerteza, mais acentuados serão os resultados da TOR. Todas essas premissas são condições que a análise pelo Valor Presente não inclui, mas elas alteram as decisões de investimento.

2.5.4 Problemas iniciais e limitações da análise das opções reais

A análise das opções reais é um desenvolvimento da análise tradicional de investimentos em ativos reais e a abordagem tem o potencial de avaliar o valor do projeto proveniente de uma administração ativa e das interações estratégicas (TRIGEORGIS, 1996). Esta técnica toma o projeto como uma possibilidade futura e então o avalia com as técnicas usadas pelas opções financeiras.

Entretanto, quando os pesquisadores e executivos tentam aplicar os modelos de opções financeiras para ativos reais, se deparam com um problema: algumas das maiores fontes de incerteza que afetam o valor das opções estratégicas não são “precificadas” no mercado financeiro (AMRAN; KULATILAKA, 2000).

Os trabalhos pioneiros sobre a aplicação da teoria de opções reais exigiam a identificação de um ativo negociado no mercado financeiro, que fosse altamente correlacionado com o projeto de investimento a ser analisado¹¹ (mercado de *commodities* para petróleo, carvão, ouro, etc.) como se fosse um ativo gêmeo. Segundo Copeland e Antikaro (2001) eles propuseram, de forma arbitrária, que a volatilidade do projeto sem flexibilidade considerada seria igual à volatilidade observada na *commodity* em pauta. Desta forma, seria quase impossível encontrar um ativo-objeto sujeito a risco com preços divulgados publicamente.

¹¹ Fica fácil entender o porquê de a aplicação da teoria de opções reais ser amplamente difundida em áreas cujos projetos de investimento estejam relacionados com preços de *commodities*, como o petróleo, uma vez que as informações sobre esses ativos são facilmente observáveis no mercado financeiro.

Para tanto, Copeland e Antikaro (2001) recomendaram a utilização de Valor Presente Líquido do próprio projeto como ativo-objeto sujeito a risco – ativo gêmeo. A hipótese deles foi considerar que o Valor Presente Líquido tradicional é a melhor estimativa não tendenciosa do valor de mercado do projeto, se este fosse um ativo negociado.

De toda forma, como a análise só pode ser realizada com o uso do valor presente líquido, não há porque menosprezar, como tentam alguns autores, o poder dessa técnica convencional. “As opções reais devem ser um complemento ao uso do método do valor presente líquido, o qual passa a assumir um novo valor, ou seja: valor intrínseco do projeto de investimento, mais o valor do exercício das várias opções que cada projeto contém, ou sinteticamente tem-se a seguinte relação” (ANTONIK, 2005):

$$\text{VPL}_{\text{expandido}} = \text{VPL}_{\text{estático}} + \text{Valor das opções}$$

Assim, a abordagem da metodologia de opções reais é utilizada, de forma mais genérica, como uma forma de tratar as incertezas nas projeções de caixa de uma empresa. Na maioria dos exemplos práticos e artigos teóricos, o fluxo de caixa futuro é admitido como sendo o valor do ativo-objeto. O problema que surge desta linha de procedimentos é que o valor do ativo-objeto pode se tornar negativo (PERLITZ; PESKE; SCHRANK, 1999; TRIGEORGIS, 1993). Nos modelos padrões de precificação de opções o ativo-objeto não pode se tornar negativo. Assim, o uso do valor presente líquido do fluxo de caixa futuro como ativo-objeto não funcionará para todo investimento.

Outro problema que surge da observação do ativo-objeto da opção real é a estimação da volatilidade de um ativo não comercializado. Em contraste com as opções financeiras, não existe uma série histórica que possa ser usada para estimar a incerteza do ativo subjacente. Entretanto, é um fato estabelecido que o valor da opção é sensível à incerteza do ativo subjacente. Desta forma, requerem-se estimativas razoáveis da volatilidade do ativo subjacente (SANTOS, 2002), sendo que a utilização da Simulação de Monte Carlo na construção dos fluxos de caixa pode proporcionar estimativas da volatilidade do valor presente de um projeto.

2.6 Modelos de avaliação de opções

As incertezas presentes nos fluxos de caixa podem ser modeladas através de métodos e técnicas matemáticas que são amplamente utilizadas. Dentre eles, pode-se citar a programação dinâmica e os ativos contingentes que usam a abordagem do portfólio replicado (semelhante à abordagem de probabilidade neutra em relação ao risco).

Entretanto, os dois modelos que alteraram o comportamento do mercado de opções foram os de Black e Scholes (1973), que causou uma revolução no segmento pela sua eficiência na precificação das opções européias e o modelo da árvore binomial desenvolvidos por Cox, Ross e Rubinstein (1979), pela sua flexibilidade e facilidade de cálculo.

2.6.1 Modelo de Black e Scholes

Black e Scholes (1973) desenvolveram um método capaz de avaliar o valor da opção européia. Entretanto, segundo Brobouski (2004), o valor da opção em termos do preço do ativo-objeto assumirá “condições ideais” de mercado para o ativo e para a opção quando:

- ✓ a taxa de desconto é conhecida e constante através do tempo;
- ✓ o preço do ativo segue o modelo de passeio aleatório em tempo contínuo com a medida da variância proporcional ao quadrado do preço do ativo. Assim a distribuição dos possíveis preços do ativo no final de um intervalo é log-normal. A medida da variância do retorno do ativo é constante;
- ✓ o ativo não paga dividendos ou outras distribuições;
- ✓ a opção é européia;
- ✓ não há custos de transação de compra ou venda do ativo ou da opção;
- ✓ é possível tomar emprestada uma parte do preço de um valor mobiliário para comprá-lo ou mantê-lo, a uma taxa de desconto de curto-prazo;
- ✓ não há penalidades para venda a descoberto. Um vendedor que não possui um valor mobiliário irá simplesmente aceitar o preço do valor

mobiliário de um comprador, e concordará em pagar a ele em uma data futura a quantia igual ao preço do valor mobiliário naquela data.

As fórmulas para o valor das opções de compra (C) e opções de venda (P) podem ser visualizadas nas eq. 4 e eq. 5.

$$C = S.N(d_1) - X.e^{-r(T)}.N(d_2) \quad (4)$$

$$P = X.e^{-r(T)}.N(d_2) - S.N(d_1) \quad (5)$$

Onde S representa o preço do ativo-objeto no momento 0 ; X é o preço de exercício da opção em T ; r é a taxa de juros livre de risco; T representa o tempo de expiração do contrato; $N(d)$ é a função de distribuição normal acumulada padrão, sendo que:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)(T)}{\sigma\sqrt{T}} \quad (6)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (7)$$

sendo σ uma medida de volatilidade do ativo-objeto; d_1 e d_2 são cálculos intermediários utilizados na função de distribuição normal acumulada.

Assim, observa-se que o valor da opção depende de cinco variáveis, sendo que duas delas necessariamente devem ser estimadas: a taxa livre de risco e a volatilidade do ativo-objeto. As demais são consideradas constantes durante a vigência da opção. Na Tabela 2 é possível observar os efeitos sobre opções *Call* e *Put* quando ocorrem elevações nas variáveis que influenciam o valor da opção.

Tabela 2 – Resumo dos efeitos sobre o valor das opções de compra (*Call*) e venda (*Put*) proveniente de aumentos nas variáveis

Variável	Efeito sobre o valor	
	Opção de compra (<i>Call</i>)	Opção de venda (<i>Put</i>)
Aumento no valor do ativo-objeto (S)	Aumenta	Diminui
Aumento no preço de exercício (X)	Diminui	Aumenta
Aumento da volatilidade (σ)	Aumenta	Aumenta
Aumento do período de maturidade (T)	Aumenta	Aumenta
Aumento na taxa de juros (r)	Aumenta	Diminui

Fonte: Marques et. al. (2008)

2.6.2 Modelo de Cox, Ross e Rubinstein

A necessidade de identificação de modelos mais interativos e fáceis de calcular instigou Cox, Ross e Rubinstein a desenvolverem uma metodologia que agregasse essas características.

Para tanto, Cox, Ross e Rubinstein (1979) utilizaram a árvore binomial para apreçamento das opções e empregaram um procedimento mais simples que as equações diferenciais estocásticas, utilizadas por Black-Scholes, que, no limite, o resultado da árvore binomial se aproxima do Black-Scholes. Eles identificaram que uma opção podia ser replicada mediante a criação de uma carteira de ativos transacionados no mercado. Partindo do pressuposto de que um derivativo depende somente dos preços do ativo-objeto, introduziu-se o conceito de probabilidades neutras em relação ao risco.

Ele começa com o cálculo do Valor Presente de um projeto e considera as informações adicionais que a volatilidade do fluxo de caixa adiciona ao Valor Presente. Usando essas informações é possível construir a árvore binomial para o fluxo de caixa do projeto e o valor da opção.

O modelo considera uma árvore de decisão em tempo discreto e binomial no espaço, para, a seguir, aproximar um processo contínuo e calcular o preço de uma opção americana. Segundo Brobouski (2004), a principal vantagem é a flexibilidade,

pois permite avaliar tanto as opções de compra quanto as de venda; americanas ou européias; que pagam ou não dividendos. Além disso, a simplicidade e a facilidade de implantação fizeram com que o modelo de árvores binomiais se tornasse a metodologia de avaliações de opções americanas mais utilizadas.

A árvore binomial é montada pressupondo que o preço do ativo-objeto segue um processo multiplicativo (aleatório) em apenas duas direções, onde o preço V_{00} pode subir para $V_{00}u$ no próximo período com probabilidade p , ou descer para $V_{00}d$ com probabilidade $1-p$. Nesta abordagem, u e d são os valores dos movimentos ascendentes e decrescentes do V_{00} , respectivamente. Vale ressaltar que, para desenvolver o modelo, usa-se a abordagem de probabilidade neutra em relação ao risco em que os investidores tomam suas decisões baseados nessa neutralidade.

Pressupondo uma opção de compra (*Call*) e considerando que C seja o preço de uma opção de um ativo-objeto e, na data de maturidade da opção de compra, o preço de exercício seja X , tem-se que o retorno da opção será o valor $C_u = \max[0; (V_{00}u - X)]$ se o preço subir e $C_d = \max[0; (V_{00}d - X)]$ se o preço cair. Para que a avaliação da opção seja eficiente, há a necessidade de que não haja possibilidade de arbitragem, porque, na ausência de oportunidade de arbitragem, carteiras sem risco devem render a taxa de juros livre de risco. Para isso, parte-se de um portfólio com opção e ações para que não exista incerteza com relação a seu valor final. Neste caso, dá-se o nome de abordagem probabilística neutra em relação ao risco.

O portfólio é composto por uma posição comprada em Δ ações de uma empresa e uma posição vendida numa opção. Assim, haverá três carteiras: uma para o momento atual, conhecida como carteira de investimento, que será igual a $\Delta V_{00} - C$; uma para o período de alta no preço da ação, onde o valor da carteira ao final da vida da opção será de $\Delta V_{00}u - C_u$ e uma para os movimentos de baixa, que será igual a $\Delta V_{00}d - C_d$. Assim, para que sejam livres de risco, estas duas últimas carteiras devem ser iguais.

$$\Delta V_{00}u - C_u = \Delta V_{00}d - C_d \quad (8)$$

Somando C_u e subtraindo $\Delta V_{00}d$ em ambos os lados da eq. 8, colocando em evidência Δ , chega-se a eq. 9.

$$\Delta = \frac{C_u - C_d}{V_{00}u - V_{00}d} \quad (9)$$

Essa equação mostra que Δ pode ser interpretado como a taxa de variação do preço da opção em relação à variação do preço do ativo-objeto e independente da opção subir ou cair, o valor da carteira será $B = \Delta V_{00}u - C_u = \Delta V_{00}d - C_d$, pois ambos os valores são iguais.

Para Lopes (2001), o valor de Δ representa quantas partes de uma ação são necessárias comprar e o valor B especifica o montante de empréstimo sem risco necessário para financiar o investimento na ação.

Na ausência de oportunidades de arbitragem, a carteira de investimento sem risco deve render a taxa de juros livre de risco (r). Assim tem-se que o valor da carteira B , que representa a carteira de rendimentos, será igual à carteira de investimentos após o rendimento de juro, ou seja,

$$B = \Delta V_{00} - C = (\Delta V_{00}u - C_u)e^{-rT} \quad (10)$$

Substituindo Δ e isolando C , têm-se o Valor Presente da Opção de Compra ($vpoc$), obtido por:

$$vpoc = V_{00} \left(\frac{C_u - C_d}{V_{00}u - V_{00}d} \right) - \left[V_{00}u \left(\frac{C_u - C_d}{V_{00}u - V_{00}d} \right) - C_u \right] e^{-rT} \quad (11)$$

Simplificando a eq. 11 encontra-se:

$$vpoc = \frac{C_u - C_d - e^{-rT}uC_d + e^{-rT}dC_u}{u - d} \quad (12)$$

Fazendo $p = \frac{e^{rT} - d}{u - d}$ ser a probabilidade neutra em relação ao risco e substituindo em 12, obtêm-se:

$$vpoc = e^{-rT} [pC_u + (1-p)C_d] \quad (13)$$

Generalizando, tem-se:

$$vpoc_{t,j} = e^{-rT} [pC_{t+1,j} + (1-p)C_{t+1,j+1}] \quad (14)$$

onde t representa o número de estágios na horizontal (direita para esquerda); j representa o número de galhos da árvore binomial (de cima para baixo); T significa o período de vencimento da opção.

Em outras palavras, o valor presente da opção de compra é igual aos retornos esperados multiplicados pelas probabilidades que os ajustam a seus riscos.

Para resolver com vários intervalos de tempo, deve-se substituir T por ΔT em ambas as fórmulas, que representará a duração do intervalo de tempo.

Os parâmetros u e d devem ser calculados com base na volatilidade e no retorno esperado do ativo-objeto. Segundo Hull (1999) para calcular o valor dos movimentos ascendentes (u) e descendente (d) do valor do ativo, aplica-se as eq. 15a e 15b.

$$u = e^{\sigma\sqrt{\delta t}} \quad (15a)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\delta t}} = \frac{1}{u} \quad (15b)$$

onde δ representa os vários intervalos de tempo dentro do período analisado (T/n) e σ mostra a volatilidade do ativo.

O modelo binomial, após os cálculos desses parâmetros, apura o valor para o prêmio a cada nó – ou seja, para os diferentes movimentos (ascendente ou descendente) do valor do ativo em cada período – que, sendo descontado à taxa livre de risco, leva ao valor presente para a data específica.

Generalizando, a proposta de probabilidade risco neutro assume que o valor do ativo antes de expirar pode subir por um fator u ou cair pelo fator d em cada período. Assim, em cada estágio (nó) $t; j$, o valor do ativo-objeto V_{ij} será dado por:

$$V_{ij} = u^{t-j} d^j V_{00} \quad (16)$$

onde t representa o período analisado medido na forma horizontal e j resultado em cada período analisado na vertical (ver Figura 4).

Portanto, pode-se calcular a remuneração da opção em cada estágio (nó) utilizando as seguintes equações.

$$C_{Tj} = \max(0; V_{Tj} - X_{T-j}) \text{ se } j = 0, 1, \dots; T \quad (17)$$

ou

$$C_{ij} = \max\{e^{-rT} [pC_{t+1;j} + (1-p)C_{t+1;j+1}] V_{ij} - X_{T-t}\} \text{ se } t, j = 0, 1, \dots; T-1 \quad (18)$$

e/ou

$$C_{ij} = \max\{vpoc_{ij}; V_{ij} - X_{T-t}\} \text{ se } t, j = 0, 1, \dots; T-1 \quad (19)$$

Deve-se observar que o cálculo do valor da opção de compra (*Call*) no vencimento (eq. 17) é diferente do cálculo do valor (eq. 18 ou 19) antes da maturidade do contrato. Na expiração do contrato precisa-se comparar zero com a diferença entre o preço do ativo-objeto e seu preço de exercício para determinar o valor da opção. Já antes do vencimento, deve-se comparar essa diferença com a expectativa do valor presente de esperar para investir até o período $i + j$.

Portanto, pode-se exemplificar a árvore binomial do ativo-objeto para uma opção de compra (*Call*). A partir do período “0”, se o ativo-objeto passar por 3 períodos até a maturidade do contrato, o valor do ativo-objeto em cada período é denotado pela eq.

16, conforme Figura 4. Assim, no estágio "00", assim como em todos os demais estágios, o valor inicial do ativo-objeto é calculado pela eq. 16, que representa o valor do projeto no início do período. Após a identificação de todos os valores do ativo-objeto, se identifica o valor da opção de compra através da análise *backward* - do período 3 (final) para o período 0 (inicial) - utilizando a eq. 17 (último período) e a eq. 18 antes do vencimento (demais períodos).

Figura 4 – Representação da árvore binomial para uma opção de compra (Call)
Fonte: Zou; Pederson (2008)

No estágio seguinte, haverá dois resultados para o valor do ativo real em cada nó subsequente da árvore binomial. Assim, o valor do ativo real sempre crescerá por uma proporção u ou decrescerá por uma proporção d , sendo $u > d$.

Na sequência, deve-se analisar a árvore de decisão de trás para frente, começando no último estágio em direção ao primeiro estágio, para determinar o valor da opção. O valor da opção no último estágio deve ser calculado pela eq. 17 e os demais valores são obtidos com a eq. 18 ou 19.

A árvore binomial apresentada possui uma simplicidade que, na prática, pode chegar a centenas de possíveis ramificações.

2.7 O investimento nas propriedades rurais

Segundo Turvey (2002), o valor das propriedades rurais, é frequentemente baseado na seguinte estrutura do valor presente:

$$V(\pi) = \frac{\pi}{r - \alpha} \quad (20)$$

onde π é a expectativa do fluxo perpétuo de caixa gerado pela terra; α representa a taxa de dividendos antecipados ou a taxa de crescimento esperada do fluxo de caixa¹² e r é a taxa de desconto.

Segundo Turvey (2002), este modelo tem sido testado exaustivamente na literatura econômica agropecuária sobre a hipótese nula que não há diferença significativa entre o modelo de valorização da terra (eq. 20) e o preço de mercado observado da propriedade (V), ou seja, $H_0: V(\pi) = V$.

A rejeição desta hipótese implica que outros fatores desconhecidos guiam o valor de mercado das terras rurais. Assim, o modelo correto, entretanto desconhecido, pode ser especificado como:

$$V_t = V(\pi_t) + F_t \quad (21)$$

Onde F_t representa o valor econômico que complementa o valor da propriedade $V(\pi_t)$ formando o valor de mercado V_t da terra rural em algum período no tempo.

Neste caso, a análise das opções reais pode fornecer explicações plausíveis para o valor das propriedades rurais brasileiras. Assim, a diferença entre o preço de mercado das terras rurais e o valor presente pode ser explicada pela possibilidade de atuar no mercado de terra em antecipação a mudanças previsíveis sempre no sentido de aumentar o valor de patrimônio. O proprietário da terra tem uma opção com valor positivo para postergar a venda em virtude das expectativas de maiores ganhos futuros.

¹² Não foi considerada a taxa de crescimento no modelo de precificação de propriedades rurais.

Para corroborar a utilidade das opções reais, Titman (1985), Ooi e Sirmans (2006) disseram que a teoria das opções reais é uma forma de modelar e interpretar o valor da terra sob condições de risco.

Segundo Turvey (2002), o proprietário possui o direito, mas não a obrigação, de receber o valor presente dos benefícios provenientes da expectativa dos fluxos de caixa futuro gerado pela propriedade rural ao longo da vida útil.

Dado que o valor presente é conhecido, não haverá benefícios de postergar a decisão da venda desde que o valor presente de vender a propriedade agora ou mais tarde seja o mesmo em termos de valor presente. Similarmente, se o comprador pode investir $V(\pi_t)$ a uma taxa r , então ele também será indiferente em comprar agora ou mais tarde.

Para entender e provar essa afirmação, Turvey (2002) supõe que a venda seja postergada em um ano. Neste ano, π será recebido no fluxo de caixa e o valor da terra daqui a um ano será $\frac{\pi(1+\alpha)}{(r-\alpha)}$. Assim, no período 1 haverá:

$$VP_1 = \left[\frac{\pi}{(r-\alpha)}(1+r) \right] = \left[\pi + \frac{\pi(1+\alpha)}{(r-\alpha)} \right] \quad (22)$$

Aplicando a fórmula do VP tem-se:

$$VP_0 = \frac{VP_1}{(1+r)} = \left[\frac{\pi}{(1+r)} + \frac{\pi(1+\alpha)}{(r-\alpha)(1+r)} \right] = \left[\frac{\pi(r-\alpha) + \pi(1+\alpha)}{(r-\alpha)(1+r)} \right] = \frac{\pi}{(r-\alpha)} \quad (23)$$

Além disso, a opção satisfaz as premissas básicas da teoria de opções reais: o produtor já realizou os investimentos e os *sunk costs*¹³ já estão presentes na terra agrícola dando direito a todos os ganhos futuros de capital; a decisão de vender a terra é irreversível e tais ganhos não podem ser recuperados de forma barata. Assim, após a venda, todas as expectativas de ganho futuro são abandonadas; a decisão de postergar

¹³ Sunk Costs deve ser entendido como um custo que já foi incorrido e que não pode ser evitado, independentemente, da decisão a ser tomada (MURCIA; BORBA, 2006)

a venda é reversível significando que qualquer ganho de capital ou prejuízo que possa aparecer de estimativas erradas do fluxo de caixa e probabilidades podem ser mitigadas de forma economicamente significante. Por último, a venda futura da terra somente ocorrerá se o ganho de capital incremental exceder zero.

No curto prazo, a opção de postergar não garante um ganho de capital e podem aparecer perdas no valor observado. De fato, o risco de prejuízo no capital não é totalmente eliminado até a terra ser vendida. Sob a hipótese da opção real, o proprietário da terra postergará a venda até π^* ocorrer (Figura 5) e o valor da opção será definido por $F(\pi^*)$. Assim, o valor da propriedade para o vendedor será $V_v^* = V(\pi^*) + F(\pi^*)$, enquanto o valor para o comprador é $V_c^* = V(\pi^*)$. O valor “a” representa o ponto no diagrama onde o fluxo de caixa torna o Valor Presente Líquido igual à zero.

Figura 5 – Rentabilidade das opções reais
Fonte: Pederson; Khitarishvili (2002)

A solução proposta por Dixit e Pindyck é baseada na idéia de que o valor das opções reais flutua com o risco. Assim, dado que $V(\pi)$ descreve o valor da terra em função do fluxo de caixa (π), da taxa de crescimento do fluxo de caixa (α) e da taxa de

juros (r); o valor da opção $F(\pi)$ será obtido pelas equações 17 e 18. No limite $F(\pi^*) = \max\{0; (V(\pi^*) - V(\pi))\}$.

Portanto, $F(\pi)$ é o valor da opção de esperar quando as expectativas do fluxo de caixa corrente são π , sendo o valor corrente da opção de postergar a venda até π elevar-se para π^* (gatilho ótimo). O gatilho ótimo (π^*) é atingido, portanto, quando o Valor Presente Líquido do ativo se iguala ao valor da opção de compra.

2.7.1 Programação dinâmica

Para corroborar os resultados expostos pelo modelo da árvore binomial de Dixit e Pindyck (1994), utiliza-se de programação dinâmica para determinar o valor da opção real da propriedade.

Nesse caso, o valor da terra é definido como $V(\pi)$ e o valor da opção real é definido como $F(V(\pi))$. Para tanto, pressupõe-se que o fluxo de caixa anual ou retorno (π) tem um comportamento de acordo com o Movimento Geométrico Browniano ou processo de Wiener. Um importante caso é o processo de Wiener com constante dado por¹⁴:

$$d\pi = \alpha\pi dt + \sigma\pi dz, \text{ ou por } \frac{d\pi}{\pi} = \alpha dt + \sigma dz \quad (24)$$

onde α é o retorno esperado instantâneo do ativo-objeto (constante) e σ é o desvio padrão (constante) instantâneo do retorno do ativo-objeto e o termo dz é o diferencial de um processo de Wiener (média zero e variância dt , como função do tempo).

Segundo Trigeorgis (2002), deve-se observar na eq. 24 que $E(d\pi) = \alpha\pi dt$ e a $\text{var}(d\pi) = \sigma^2\pi^2 dt$ porque o valor esperado de π como uma proporção de π é

¹⁴ Em síntese uma das hipóteses mais simples é de que a incerteza do $V(\pi)$ segue um movimento no qual seu valor no período seguinte, $V(\pi)_{t+\Delta t}$, é igual ao seu valor neste período, $V(\pi)_t$, multiplicado por um fator de aumento contínuo, α , no intervalo Δt

assumido ser constante. Com uma expectativa de retorno constante, α , a expectativa de aumento no fluxo (π) em um pequeno intervalo de tempo, dt , é $\alpha\pi dt$.

Dando seqüência ao modelo do valor presente - $V(\pi)$, o valor da propriedade iguala-se à soma dos retornos descontados da terra. Se o retorno crescer a uma taxa constante α e a uma taxa de juros fixada em r , o resultado será o mesmo que a eq. 20.

$$V(\pi) = \frac{\pi}{r - \alpha} \quad (25)$$

Isolando π em 25 e substituindo na eq. 24, obtêm-se:

$$dV(\pi) = \frac{\alpha\pi}{r - \alpha} dt + \frac{\sigma\pi}{r - \alpha} dz \quad (26)$$

Na eq. 26, o fluxo de caixa corrente π é um valor conhecido. Os fluxos de caixa futuros, no entanto, são incertos. Então, necessita-se definir o valor esperado (E) e a variância (Var) como:

$$E(d(V(\pi))) = \alpha V(\pi) dt = \frac{\alpha\pi}{r - \alpha} dt \quad (27)$$

A eq. 27 apresenta a expectativa de aumento do $V(\pi)$ em um pequeno intervalo de tempo e,

$$Var(d(V(\pi))) = \sigma^2 V(\pi)^2 dt = \frac{\sigma^2 \pi^2}{(r - \alpha)^2} dt, \quad (28)$$

representa a variância da expectativa de aumento no $V(\pi)$.

Com estas informações pode-se identificar o valor da opção real, além de gerar a possibilidade de identificar o valor ótimo do fluxo de caixa junto com o valor da opção real.

2.8 Evidências empíricas da utilização da análise de opções reais

A utilização da análise de opções reais é relativamente nova, entretanto, segundo Copeland e Antikaro (2001), há indícios da aplicação da análise das opções reais entre os escritos de Aristóteles. Neles encontra-se a história de Tales, o filósofo sofista que viveu na ilha de Milos, no Mediterrâneo. Tales “leu” as folhas de chá e as interpretou como uma previsão de abundante colheita de azeitonas naquele ano. As perspectivas eram tão promissoras que Tales pegou as suas economias e negociou, mediante o pagamento com todas as suas poupanças, com os donos das prensas de azeite, para que lhes garantissem o direito de alugar, na época da colheita, suas prensas pelo preço habitual.

De fato, segundo Copeland e Antikaro (2001), a safra superou todas as expectativas e, quando os plantadores de oliveiras recorreram às prensas para extrair o precioso azeite, lá estava Tales. Ele pagou aos donos das prensas o aluguel usual, como estava previsto no contrato, mas cobrou dos plantadores o preço de mercado pelo uso das prensas (uma quantia bem mais elevada dada elevação na demanda).

Na atualidade, principalmente a partir da década de 90, a análise das opções reais tem sido amplamente utilizada em várias áreas, tais como: pesquisa e desenvolvimento de produtos, concessão de licenças de exploração em setores de infra-estrutura, de recursos naturais renováveis e não renováveis em diversos setores, fusões e aquisições, manufatura flexível, avaliação de imóveis, etc. Entretanto, observa-se que a área que mais tem apresentado estudos é a de modelagem da flexibilidade relacionada às decisões estratégicas de investimento em diversos setores da economia mundial.

Em seu principal trabalho, McDonald e Siegel (1986) estudaram o momento ótimo (*timing*) para realizar o investimento em um projeto irreversível onde os benefícios e os custos seguem processos estocásticos contínuos. Simulações mostraram que o valor da opção pode ser significativo e que é ótimo esperar até que os benefícios sejam duas vezes os custos de investimento.

No setor petrolífero, vários estudos têm utilizado da análise de opções reais para a tomada de decisão. Paddock et. al. (1988) estenderam a teoria das opções para o desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação de ativos nas reservas de petróleo que não foram exploradas. Eles mostraram a necessidade de combinar técnicas de avaliação com um modelo de equilíbrio no mercado do petróleo. Além disso, demonstraram as vantagens existentes sobre o modelo dos fluxos de caixa descontados. Entre elas, está a necessidade de um número menor de dados, pois usa as informações de mercado; possui menor dependência computacional e fornece a informação do momento ótimo para desenvolver as reservas. Kemma (1993) apresentou casos práticos da aplicação da teoria das Opções Reais em cooperação com o grupo Shell. O principal interesse da empresa era o de conduzir um número de estudos exploratórios com o uso da teoria das opções reais nas decisões de orçamento de capital. Para tanto, foram analisados três tipos de opções reais: *timing* para investir em um campo petrolífero; crescimento de um projeto que apresentava incerteza técnica; abandono de uma refinaria, caso os preços não fossem compensadores.

Os projetos de inovação tecnológica possuem elevada incerteza atrelada aos resultados. Neste sentido, as análises de viabilidade na área de inovação tecnológica têm usufruído das vantagens da teoria das opções reais. Farzin et. al. (1998) investigaram o momento ótimo para adoção tecnológica em uma firma competitiva quando as escolhas tecnológicas são irreversíveis e a firma encontra-se num processo de inovação tecnológica com incertezas sobre a velocidade de chegada e o grau de melhoria ocasionada pela nova tecnologia. Huisman e Kort (2000) estudaram o duopólio dinâmico em que as empresas competem pela adoção de novas tecnologias. Para eles, ambas as firmas têm a possibilidade de adotar a tecnologia corrente ou esperar uma melhor tecnologia que aparecerá em algum momento no tempo. Os resultados demonstram que a adição de uma tecnologia superior que aparece em algum lugar no futuro pode ter implicações substanciais na decisão ótima de investimentos. Doraszelski (2001) mostra que, comparando com a abordagem tradicional, uma empresa tenderá a adiar a adoção de uma nova tecnologia, se considerar o valor do adiamento.

Nessa mesma linha, Grenadier e Weiss (1997) desenvolveram um modelo de estratégia de investimento ótimo para uma firma que enfrentava uma sequência de

inovações tecnológicas. Para Couto (2006), a idéia básica é a de que uma opção de investimento pode constituir também uma opção para se obter mais experiência com uma determinada tecnologia, fato que influencia a análise do momento ótimo de investimento. Alvarez e Stenbacka (2001) abordaram o momento ótimo de adoção de uma nova tecnologia, incorporando como uma “opção embutida”, um cenário de incertezas quanto às oportunidades de atualização da tecnologia, em resposta ao surgimento de versões futuras mais eficientes.

O setor energético possui trabalhos realizados por Castro (2000), que avaliou uma unidade termelétrica flexível, quando parte de sua energia é comercializada no mercado “*spot*”, considerando que a sua operação em cada estágio é uma opção e não uma obrigação. Além disso, Zou e Pederson (2008) avaliaram decisões de investimentos em instalações produtoras de álcool, considerando, primeiramente, a opção de expandir a escala de uma planta convencional de etanol. Além disso, avaliaram a opção de escolher uma tecnologia de produção, dadas três formas de moenda.

Vários projetos na construção civil têm usado a teoria das opções reais para auxiliar o investidor na tomada de decisão. Gonçalves (2008), por exemplo, realizou um estudo sobre a teoria das opções reais aplicada na avaliação de investimentos em projetos de construção civil e, com isso, desenvolver procedimentos para tomada de decisão. Além disso, o autor adaptou um modelo de opções reais para gestão de empreendimentos imobiliários. Os resultados mostram que a abordagem da teoria das opções reais na análise de projetos de investimento auxilia os investidores a identificar o melhor momento para iniciar o investimento, esperar uma reação positiva do mercado, reduzir escala de produção, abandonar o projeto, entre outras. A avaliação de projetos utilizando as opções reais mostrou que a avaliação pelo VPL tradicional subvaloriza o investimento em aproximadamente, 15%. Duque et. al. (2007) analisaram duas localizações alternativas para construção do novo aeroporto de Lisboa. Pelos métodos tradicionais, os dois locais (Ota e Campo de tiro de Alcochete) apresentaram-se viáveis para a implantação do aeroporto. Nesse caso, a análise das opções reais corroborou a conclusão anterior reforçando a argumentação em favor do Campo de tiro de Alcochete. Tzouramani e Mattas (2004) elaboraram um processo de tomada de

decisão para a avaliação do projeto de construção de estufas com a utilização da teoria das opções reais. Eles identificam que o investimento não era viável utilizando o VPL. Entretanto, quando se assumiu a presença de retornos incertos, a aplicação da análise das opções reais demonstrou que o VPL pode levar produtores a tomar decisões erradas, levando a rejeitar projetos que possuem elevadas expectativas de crescimento no futuro.

Em outras áreas de estudo, Kallberg e Laurin (1997) analisaram o valor da opção de um investimento em pesquisa e desenvolvimento e compararam o resultado com a teoria tradicional do Valor Presente Líquido. Panayi e Trigeorgis (1998) examinaram as aplicações da teoria das opções reais em múltiplos estágios. Desenvolveram um modelo de opções compostas para avaliar o caso particular da expansão internacional do Banco de Chipre para os EUA. Meier et. al. (2001) incorporam os direitos contingentes e a programação dinâmica num contexto de análise de investimentos, de modo a identificarem o projeto ótimo dentro de uma carteira de projetos. Saphores (2000) propôs um modelo que possibilite aplicar uma medida de controle de pragas com a utilização das opções reais. Nesse caso, o modelo de interrupção da infestação de pragas foi desenvolvido para ser exercido quando a densidade de pragas varia aleatoriamente. Este modelo foi aplicado para o controle de uma praga foliar nas maçãs.

Monteiro (2003) pesquisou e apresentou a metodologia de avaliação de investimentos em ativos reais com base na teoria de precificação de opções reais. Além disso, identificou as limitações e aplicações em ambientes empresariais caracterizados por elevada volatilidade. Brandão (2002) sintetizou conceitos aplicados à Teoria das Opções Reais, desenvolvidos por diversos autores como ferramentas de tomada de decisão para propor uma metodologia de avaliação de projetos em tempo discreto utilizando algoritmo próprio aplicado a modelo de árvore de decisão com malha binomial que pode ser implementada utilizando softwares padrões já existentes no mercado.

Padilha (2003) estudou as características de novos empreendimentos varejistas através da análise das opções reais. O autor levou em consideração o grau de maturação da empresa e o grau de maturação do mercado varejista usando o modelo de árvore de decisão. A conclusão apontou para uma análise mais adequada à

realidade do mercado. Além disso, o valor da opção de abandonar tem maior valor ou importância em cenários onde se introduz uma nova loja em mercados introdutórios.

Alves e Souza (2006) retrataram a aplicação da abordagem de opções reais em análise de investimentos através da articulação teórica-prática em um caso que demandava a terceirização de uma ferramenta ou produzi-la internamente. Os autores criaram uma opção de alternar entre produzir internamente ou terceirizar. Os resultados obtidos indicaram que a produção interna seria mais vantajosa para a situação.

Ferreira (2003) evidenciou que os métodos tradicionais de análise de investimentos, baseado no fluxo de caixa descontado e no valor presente líquido não garantem a união entre estratégias e finanças para que os projetos não venham a ser subestimados.

Ribeiro (2004) apresentou algumas das flexibilidades existentes nos projetos de incorporação imobiliária, além de mostrar como se calcula o valor adequado aos principais problemas de investimento enfrentados por empresas incorporadoras no seu dia-a-dia.

Rigolon (1999) apresentou os principais conceitos e propriedades das opções reais. Além disso, aplicou a técnica na análise de dois projetos: a instalação de uma montadora de automóveis e a expansão de uma firma produtora de uma *commodity* industrial exportável. Os resultados demonstram que, na presença de incertezas, firmas com uma oportunidade de investimento irreversível só têm incentivo para investir quando o valor do seu projeto é suficientemente maior que o custo do investimento. Isso só acontecerá quando o preço do produto for maior que um preço crítico.

Pereira e Securato (2004) avaliaram empresas de capital aberto do setor de energia elétrica que atuaram no Brasil em 2003 utilizando o modelo de apreçamento de Black e Scholes (1973). Nesse caso, os autores consideraram que o valor da empresa é igual ao preço de uma opção de compra e que o valor do vencimento das dívidas das empresas é equivalente ao preço de exercício da opção.

Baidya e Castro (2001) mostraram as principais soluções encontradas na literatura para acelerar a convergência para o verdadeiro valor. A principal conclusão sugere que o método Binomial de Black Scholes com extrapolação de Richardson

possui um melhor desempenho e precisariam menos etapas para atingir um resultado tão preciso quanto os outros.

A mensuração dos preços das propriedades rurais e urbanas foram temas de diversos estudos, sendo que a maioria dos estudos utilizou a análise das opções reais para captar a flexibilidade existente na propriedade com as incertezas futuras. Titman (1985) desenvolveu uma equação para avaliar as áreas desocupadas em centros urbanos. Os resultados apontaram que o aumento das construções fornece uma valiosa opção para o proprietário dos lotes vagos que se tornam mais valiosas com as incertezas provenientes dos aumentos nos preços futuros dos lotes. Assim, o valor de uma área desocupada deveria refletir não apenas o seu melhor uso imediato (construção imediata de um edifício, por exemplo), mas também o valor da opção de diferir o momento do respectivo desenvolvimento até à identificação do melhor uso alternativo. Pederson e Khitarishvili (2002) revisaram a literatura econômica existente sobre avaliação de terras e desenvolveram uma análise do preço da terra sob condições de incerteza usando a teoria das opções reais para avaliar o preço da propriedade. Eles concluíram que a teoria das opções reais pode fornecer um melhor entendimento do papel da incerteza no preço da terra. Turvey (2002) questionava se a hipótese de que o preço das terras rurais era sistematicamente maior que seus valores fundamentais medidos pelo valor presente dos fluxos de caixa e se estes podiam ser, desta forma, devido ao valor da opção. Nesse sentido, propuseram um modelo no qual o proprietário da terra tem uma opção real para postergar a venda da terra. Ele concluiu que as opções reais podem auxiliar na identificação na melhor decisão a ser tomada em um processo de avaliação de investimentos.

No mercado de terras, diversos trabalhos buscaram identificar o preço das propriedades, principalmente, o das terras rurais. Quigg (1993) foi a primeira pesquisadora a examinar as definições empíricas de um modelo de precificação de opções reais usando uma grande amostra de preços de mercado. Na sua conclusão, ela encontrou suporte empírico para um modelo que incorpora a opção de esperar para desenvolver a terra. Além disso, os preços de mercado refletem um prêmio de 6%, em média, para a opção de esperar para investir.

Işgin e Forster (2005) avaliaram o valor da opção de adiamento da venda da propriedade rural usando dados de Ohio/EUA. Os resultados do valor da opção mostram que a maioria das opções de compra para aqueles dados eram superiores a zero, sugerindo que o adiamento da decisão de vender a propriedade é excelente para muitos proprietários de terra de Ohio.

Lachov (2005) demonstrou a utilidade das opções reais para a análise de investimento em propriedades agrícolas na Bulgária. Segundo o autor, o valor de esperar para vender ou comprar terras agrícolas pode ser estimado com a teoria das opções reais e os resultados são claros, além de possibilitar a identificação da flexibilidade gerencial existente na opção real.

Nogueira et. al. (2006) analisaram a decisão de abandono do investimento em uma lavoura de café na região de Franca sob a ótica da moderna teoria das finanças. Os resultados apontaram o valor da opção de abandono e a fronteira ótima de seu exercício. O valor crítico para abandono é menor nos primeiros anos de investimento, aumentando gradativamente com o passar do tempo. Assim, seria compensador manter a lavoura no início do ciclo produtivo, mesmo comercializando a produção com prejuízo, devido às possibilidades futuras de recuperação dos preços.

Apesar de Tourinho (1979) ter sido um dos pioneiros a mostrar que as reservas de recursos naturais poderiam ser entendidas e avaliadas empregando-se a teoria das opções reais, há poucos trabalhos empíricos desenvolvidos no Brasil que usam essa análise para a tomada de decisão.

Portanto, pode-se observar a importância atribuída à teoria das opções reais na avaliação de investimentos, principalmente, pela mesma considerar a flexibilidade existente nas incertezas quanto o comportamento das variáveis no futuro.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A discussão dos métodos e materiais usados na análise das opções reais demonstra as principais características envolvidas na solução do problema central que busca identificar o valor das propriedades rurais na região Sul do Brasil, especificamente, nas regiões de Carazinho/RS e Cascavel/PR.

3.1 Métodos

3.1.1 Modelo de Cox, Ross e Rubinstein

O modelo de precificação das opções reais desenvolvido por Cox, Ross e Rubinfeld, também conhecido como árvore binomial, será utilizado para mensurar o valor das propriedades rurais nas regiões de Carazinho/RS e Cascavel/PR, utilizando os dados produtivos e econômicos das fazendas referentes à safra 2007/2008.

Esse modelo possui um tratamento mais simples do que as equações diferenciais estocásticas, utilizadas por Black-Scholes e, no limite, se aproxima deste outro modelo.

Para análise do modelo, parte-se de uma árvore de decisão em tempo discreto e binomial no espaço, com o intuito de aproximar um processo contínuo e calcular o preço de uma opção americana.

Baseado na hipótese de que o valor da terra (Z_t) é denotado por $V(\pi)$, onde π representa o fluxo de caixa dos benefícios obtidos pela propriedade ao longo da vida útil, mais $F(\pi)$, que corresponde ao valor da opção de postergar quando as expectativas do fluxo de caixa corrente são π , tem-se:

$$Z(\pi, \alpha, r, t) = V(\pi, \alpha, r, t) + F(V(\pi, \alpha, r, t)) \quad (29)$$

sendo que α é a taxa de crescimento do fluxo de caixa; r é a taxa de desconto e t representa o tempo analisado.

Segundo Dixit e Pindyck (1996), o valor da opção real flutua com o passar do tempo e com o risco envolvido no processo decisório. Assim, o valor da opção em cada estágio será dado por:

$$F(\pi, \alpha, r, t) = \max\{0; VP_{tj} - X\} \text{ para } j = 0, 1, \dots, T \quad (30)$$

ou

$$F(\pi, \alpha, r, t) = \max\{e^{-rT} [pC_{t+1;j} + (1-p)C_{t+1;j+1}] VP_{tj} - X_{T-t}\} \text{ se } t, j = 0, 1, \dots, T-1 \quad (31)$$

ou

$$F(\pi, \alpha, r, t) = \max\{vpoc_{tj}; VP_{tj} - X_{T-t}\} \text{ se } i, j = 0, 1, \dots, T-1 \quad (32)$$

onde X é o preço de exercício da opção no vencimento; X_{T-t} é o preço de exercício antes da maturidade; VP_{tj} é o valor presente em cada estágio e $vpoc_{tj}$ representa o valor presente da opção de compra e $VP_{tj} - X$ representa o Valor Presente Líquido (VPL) no final do período.

Observa-se que o cálculo do valor da opção no vencimento é diferente do valor da opção antes do vencimento. No vencimento, deve-se comparar apenas zero com o Valor Presente Líquido do ativo (cujo valor é igual a $VP_{tj} - X$) para determinar o valor da opção. Assim, o valor da opção será zero se VP_{tj} é negativo e o valor será igual a VP_{tj} , se positivo.

Precedendo o vencimento, deve-se comparar o VP_{tj} e o $vpoc_{tj}$. Interpreta-se o $vpoc_{tj}$ como a expectativa do valor presente de esperar para investir até o período $t+1$. Para $t = 0, 1, \dots, T-1$, se o valor de esperar até o próximo período exceder o VP de investir no período corrente, ou seja, $vpoc_{tj} > VP_{tj}$, então o valor da opção será igual ao

valor de esperar. Por outro lado, o valor da opção será igual ao VP_{ij} de investir no período corrente.

Portanto, o investidor escolherá exercer a opção de postergar somente quando o lucro do exercício da opção for maior que o valor de esperar, ou seja, $VP_{ij} > c_{ij}$.

3.2 Material

Inicialmente, há a necessidade de se discutir cada um dos parâmetros que estão relacionados ao valor da opção real.

A estimação do fluxo de caixa líquido das propriedades rurais analisadas foi feita através de simulações de Monte Carlo para os preços de soja, milho (safras de verão e de inverno) e trigo baseados nas informações do comportamento diário dos preços das *commodities* entre jan/2006 e out/2009, fornecidos pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA/ESALQ/2009). Além do preço das *commodities*, foram simuladas as produtividades das mesmas levando em consideração a produtividade média dos estados entre as safras 93/94 e 08/09, obtida junto à Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2009). Para finalizar as simulações, utilizou-se o procedimento de Monte Carlo para simular possíveis choques no preço dos insumos. Para tanto, os preços médios mensais dos principais insumos, obtidos no Instituto de Economia Aplicada (IEA, 2009) e envolvidos no processo de produção a partir de 2000, foram utilizados.

O resultado das simulações serviu de base para o modelo de identificação dos custos e receitas para a propriedade rural. A coleta dos dados para alimentar o fluxo de caixa foi feita por meio de uma técnica conhecida como painel, em que as informações são obtidas, consensualmente, de um grupo de produtores rurais representativos da região e das atividades. Para tanto, os produtores de Cascavel/PR foram convidados e se reuniram no Sindicato Rural de Cascavel em 15 de maio de 2008. Os produtores de Carazinho/RS se encontraram no dia 20 de maio de 2008 no Sindicato Rural de Carazinho. Nas reuniões, foram apresentadas todas as possíveis variáveis de custo para os produtos analisados. Os produtores, sem interferência dos pesquisadores, discutem até entrar em consenso sobre a resposta. Estatisticamente, os dados de

painel representam a moda de todas as características regionais das propriedades, excluindo as propriedades intensivas em tecnologia e as que possuem técnicas rudimentares de produção. A operacionalização dos painéis foi feita pelos pesquisadores do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2009).

Nas regiões analisadas, a base de avaliação do modelo são os fluxos de caixa líquidos, definidos em termos operacionais, onde se excluem, entre outros, os fluxos financeiros de remuneração do capital (despesas de juros e dividendos, basicamente).

Os valores relevantes para a avaliação produtiva e econômica são os provenientes da atividade operacional da empresa, e disponíveis a todos os provedores de capital - próprios e de terceiros - com capitalização perpétua.

3.2.1 Valor Presente (VP)

O Valor Presente do fluxo de caixa das propriedades fornece indícios do valor da terra levando em consideração a realidade produtiva na mesma. Dessa forma, propriedades mais produtivas tendem a ser mais valiosas que terras improdutivas.

Nesse cenário, pressupõe-se o Valor Presente (VP) a partir de uma perpetuidade, o que, segundo Gitman (2001), é uma anuidade que nunca cessa de fornecer a seu portador um fluxo de caixa no final de cada ano. Assim, o valor presente será calculado pela eq. 38. Entretanto, isso não significa que a produção iniciará com fluxo de caixa zerado, ou seja, todas as propriedades estão sendo formadas sem fluxo de caixa em $t = 0$.

$$VP = \frac{FC_i}{k_r} + FC_0 \quad (38)$$

onde FC_i representa o fluxo de caixa líquido da propriedade; FC_0 é o fluxo de caixa líquido no ano 0; k_r é a taxa de juros real da economia e VP é o Valor Presente do Fluxo de caixa.

Para tanto, delimitou-se o estudo à região Sul do Brasil, mais especificamente, na região de Cascavel/PR e na região de Carazinho/RS, caracterizadas, principalmente, por serem localidades com elevado potencial agrícola e que apresentaram valorizações consideráveis no preço das terras rurais. Além disso, as terras destas regiões apresentam elevada produtividade em boa parte das culturas, fazendo com que a procura por estas terras aumente. Os dados da FGV (2009) mostram que a produtividade média da soja na região de Carazinho/RS é 25,39% superior à média estadual. Da mesma forma, a região de Cascavel/PR¹⁵ tem produtividade 17,25% superior à média regional e 23,26% superior à média brasileira. O mesmo comportamento é verificado na produção de milho safrinha (verão e inverno) e para o trigo, demonstrando a importância desempenhada pelas regiões na produção desses produtos.

3.2.2 Volatilidade (σ)

A oscilação nos retornos pode mostrar o risco envolvido no processo de produção das propriedades. Uma maior oscilação indica que há maior incerteza envolvida na atividade produtiva e econômica.

A volatilidade refere-se à incerteza dos retornos de um ativo (HULL, 1997). Este parâmetro é chave na análise das opções reais, visto que é base para a existência do valor da opção. Basta observar que, no modelo binomial, o valor presente nos períodos é determinado pelos fatores ascendentes (u) e descendentes (d). Esses fatores são determinados pela volatilidade do fluxo de caixa. Assim, uma maior volatilidade indica que existe uma maior expectativa do investidor quanto à amplitude da variação dos retornos e, portanto, maior risco atrelado ao negócio. Por outro lado, a menor volatilidade faz com que o investidor espere menores variações nos retornos e, com isso, menor risco.

De acordo com Copeland e Antikarov (2002), a volatilidade do valor de um empreendimento pode ser estimada, por extensão do Teorema de Samuelson, como o desvio padrão da taxa de retorno proporcionada pelo fluxo de caixa em dois momentos

¹⁵ Vale ressaltar que os percentuais estão levando em consideração a declaração dos produtores.

consecutivos. Assim, a volatilidade foi calculada utilizando-se o desvio-padrão das simulações de fluxo de caixa das propriedades analisadas nas duas regiões por meio da utilização dos painéis realizados para a safra de 2007/2008. Assim, pode-se calcular a volatilidade com a eq. 39.

$$\sigma = \sqrt{\sum_{t=1}^T \frac{(R_{ij} - \overline{R}_j)^2}{(n-1)}} \quad (39)$$

sendo que $R_{ij} = \ln\left(\frac{\pi_t}{\pi_{t-1}}\right)$, onde π_t e π_{t-1} representam o valor do fluxo de caixa no período atual e período anterior, respectivamente, $\overline{R}_j$ é o retorno médio e n representa o número de simulações.

3.2.3 Taxa de juros livre de risco (k_r)

A identificação do Valor Presente da terra, bem como do valor da opção de postergar, está intimamente relacionada à taxa de retorno (taxa de juros) que serve para comparar os diferentes fluxos de caixa no período 0.

Segundo Yoshimura (2010), o Teorema de Samuelson demonstra que a taxa de retorno de qualquer ativo seguirá um caminho aleatório, independentemente do padrão do fluxo de caixa esperado, desde que o investidor tenha informações completas sobre o fluxo de caixa. Dessa forma, toda a informação sobre o fluxo de caixa futuro já está considerada no valor atual do ativo, de forma que, se todas as expectativas forem confirmadas, a remuneração do investidor será exatamente a taxa de retorno esperada. Portanto, qualquer variação no retorno esperado, provocada por eventos aleatórios que alterem o fluxo de caixa esperado, representa a incerteza do valor do ativo, que é sua volatilidade.

A taxa de juros possui um papel preponderante na análise das opções reais, pois junto com a volatilidade, são as variáveis que captam o risco do projeto. Para tanto,

será utilizada a taxa de juros real da economia, pois elimina os efeitos da inflação sobre o comportamento do Valor Presente da propriedade, sendo utilizada a média mensal da taxa do Sistema Especial de Liquidação e Custódia (Selic) a partir de 2004. Da mesma forma, a inflação considerada na equação foi o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) para o mesmo período. Ambas as séries foram obtidas junto ao Instituto de Pesquisa em Economia Aplicada (IPEA, 2010).

A identificação dos juros reais será feita por meio da eq. 40.

$$k_r = \frac{(1 + k_n)}{(1 + y)} - 1 \quad (40)$$

onde k_r representa a taxa de juros real da economia em determinado período; k_n é a taxa de juros nominal do período e y , a taxa de inflação do período.

Assim, pode-se verificar que, com o aumento da taxa de juros nominal e mantendo a inflação constante, a taxa de juros real aumenta. Já quando se mantém a taxa de juros nominal constante, variando o nível geral de preços, observam-se reduções nos juros reais.

3.2.4 Vida Útil do projeto (T)

O papel do tempo na análise das opções reais está relacionado à duração da opção. As discussões quanto ao tempo a ser considerado nas análises de investimentos pode influenciar no processo de tomada de decisão.

A vida útil da propriedade foi identificada através da convergência do valor da opção. Assim, a partir de determinado período, o valor da *call* deverá crescer a taxas decrescentes e, com isso, agregará valores cada vez menores ao valor da opção. Este período significará o tempo a ser considerado na análise.

3.2.5 Preço de Exercício (X)

O valor da opção real mostra o prêmio a ser pago para ter o direito, mas não a obrigação, de comprar um ativo ao preço de exercício. Assim, o preço de exercício da

opção leva em consideração a possibilidade de o proprietário continuar com as terras ao preço de mercado. Dessa forma, pressupõe-se como preço de exercício da opção de compra (*call*) o valor de mercado captado pela Fundação de Getúlio Vargas (2009).

Para tanto, considera-se como valor de exercício, para a ilustração dos cenários, os preços de julho/2008 divulgados pela FGV (2009): R\$ 7.331,19/ha/ano para Carazinho/RS e R\$ 11.361,44/ha/ano para Cascavel/PR.

3.3 Procedimentos

A análise do valor das propriedades rurais na região Sul do Brasil através da teoria das opções reais segue três fases. Inicialmente, há a necessidade do cálculo do Valor Presente dos fluxos de caixa futuros a uma determinada taxa de juros.

Nessa etapa, o fluxo de caixa foi gerado usando os dados de produção oriundos dos dois painéis realizados junto a produtores das regiões de Cascavel/PR e Carazinho/RS, referentes à safra 2007/2008. A partir dos dados sobre os custos e receitas do cultivo de soja, milho (safra e safrinha) e trigo e usando simulações para o preço das *commodities*, da produtividade e dos choques nos preços dos insumos, desenvolveu-se o fluxo de caixa.

As simulações, segundo Lustosa, Ponte e Dominas (2004), são mecanismos de análise quantitativa muito utilizados nas empresas para tratamento dos problemas administrativos. Isso acontece devido à crescente necessidade de investigações em seus sistemas, buscando a obtenção de informações sobre os relacionamentos existentes entre as variáveis que os compõem para prever os futuros desempenhos sob as novas condições.

Para Oliveira, Barros e Reis (2007) o método de Monte Carlo é utilizado na avaliação de fenômenos que são caracterizados por comportamento probabilístico. Por meio da geração de números aleatórios, permite resolver uma quantidade grande de problemas com a simulação de cenários e o posterior cálculo do valor esperado. É importante salientar que esse método admite a implantação de hipóteses adicionais nas previsões.

Para realizar as simulações utilizando o Método de Monte Carlo existem alguns procedimentos que devem ser seguidos. Segundo Lustosa, Ponte e Dominas (2004) as fases básicas são: definição das variáveis envolvidas com base em dados passados ou em estimativas subjetivas dos administradores; identificação das distribuições de probabilidades das variáveis aleatórias relevantes; construção das distribuições de probabilidade acumuladas para cada uma das variáveis, definição dos intervalos dos números aleatórios para cada variável; geração dos números aleatórios e simulação dos experimentos.

Baseado nisso, chegou-se ao valor presente esperado da propriedade padrão, pressupondo as características produtivas das regiões, utilizando capitalização perpétua, localizadas em Carazinho/RS e Cascavel/PR, sendo que o valor esperado representa a média esperada do valor presente – $E(VP)$ – após a realização de inúmeras repetições (iterações).

A segunda etapa, após a determinação do Valor Presente Esperado, consiste em gerar todos os “ramos” da árvore binomial considerando um fator u (fator de elevação) e d (fator de queda). Assim, o valor presente na terra pode aumentar em um fator u ou cair em d no período seguinte. O procedimento gerará uma árvore de decisão.

Na terceira etapa, inicia-se a análise da árvore de decisão usando o procedimento conhecido como *backward*. Neste processo, a análise do valor das opções reais inicia-se de trás para frente, ou seja, do último “ramo” da árvore de decisão para o primeiro. Como se trata de uma opção americana pode-se realizar uma análise sobre a tomada de decisão em cada nó da árvore. O primeiro “nó” representa o valor da opção de postergar a venda da propriedade rural e continuar com as terras.

O valor presente líquido da opção real somado ao valor presente líquido da propriedade (VPL estático) deverá representar o valor das propriedades rurais analisadas (VPL expandido) de acordo com a realidade produtiva das regiões. Assim, a diferença entre o valor de mercado da propriedade e o valor presente dos fluxos de caixa pode ser explicada pelo valor da opção real de postergar a venda da propriedade.

Para tanto, utiliza-se o MATLAB[®] (*Matrix Laboratory*) considerado um *software* interativo de alto desempenho voltado para ao cálculo numérico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise do fluxo de caixa da propriedade padrão de Carazinho/RS

A propriedade rural padrão da região de Carazinho/RS foi definida através da realização de painel com alguns dos principais agentes envolvidos no processo de produção agrícola como produtores rurais, técnicos agrícolas, agrônomos. A validade da coleta de dados por meio dessa técnica está na possibilidade de trabalhar com propriedades que representam a moda na região, impedindo a utilização de informações referentes às fazendas de elevado potencial de tecnificação e também aquelas que se encontram defasadas tecnologicamente (rudimentares).

Diante disso, a Tabela 3 mostra a descrição da propriedade agrícola típica da região de Carazinho/RS. Nela, observa-se que o tamanho das fazendas, em geral, é de 175 ha, sendo que, destes, 120 hectares são utilizados no processo de produção agrícola. Além disso, a propriedade padrão possui 20 hectares arrendados que servirão para o plantio de soja, milho safrão de verão e trigo e, com isso, obter rentabilidade adicional.

Com base nas informações repassadas pelos produtores, o hectare nessa região é negociado a R\$ 20.000,00. Constata-se a disparidade existente entre esse valor, declarado pelos proprietários, e os indicadores apresentados pela Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2009). Em junho de 2008, esses indicadores apontavam que, no Rio Grande do Sul, as terras eram comercializadas a pouco mais de R\$ 7.331,00/ha. Mesmo sendo uma média estadual, pode-se verificar uma existência de diferença significativa no valor da terra.

Tabela 3 – Descrição da propriedade agrícola padrão da região de Carazinho/RS

Descrição da propriedade	Tamanho da propriedade (ha)	Valor da terra R\$/há	%
Reserva legal	30	20.000,00	17,14
Área de pastagem	5	20.000,00	2,86
Área agrícola	120	20.000,00	68,57
Área arrendada	20		11,43
Área Total	175		100,00

Fonte: Cepea/ESALQ/USP (2009)

Vários são os fatores que podem explicar a diferença na análise dos preços do Rio Grande do Sul em relação aos preços da terra praticados na região de Carazinho/RS. Entre eles, destacam-se: qualidade e produtividade da terra, localização, incertezas e questões emocionais.

Na propriedade agrícola padrão da região de Carazinho/RS, tipicamente, planta-se soja, milho safra e trigo. A Tabela 4 mostra as áreas plantadas para cada tipo de cultura. Nela observa-se que a soja ocupa 112 hectares, seguida por 30 hectares de trigo e 28 de milho no verão.

A produtividade média identificada pelos produtores para a região de Carazinho/RS aproxima-se de 40 sacas/ha, 90 sacas/ha e 35 sacas/ha, respectivamente, para soja, milho e trigo. Segundo dados da CONAB (2009), a produtividade média da soja nos últimos 10 anos para a região foi de 32 sacas/ha, demonstrando que a região possui uma produtividade 25% superior à média do estado. Já para o milho, a CONAB (2009) registrou produtividade média de 52 sacas/ha, demonstrando que a propriedade padrão possui produtividade elevada em relação aos dados estatísticos. As estatísticas para o trigo apontam média de 29 sacas/ha, inferior aos dados informados por produtores.

Na realização do painel, o preço da soja era R\$ 37,60/saca, do trigo, R\$ 25,20/saca, e, do milho R\$ 21,20/saca.

Isso mostra a relevância que a produção agrícola possui nos cenários regional e nacional. Vale lembrar que o estado tem passado por várias quebras de safra ocasionadas, principalmente, por eventos climáticos. Assim, os choques interferem na produtividade e podem influenciar a baixa média de produção estadual.

Tabela 4 – Culturas agrícolas produzidas na propriedade padrão da região de Carazinho/RS

Culturas	Áreas (ha)	Produtividade (sc/ha)	Preço considerado R\$/SC 60kg
Soja	112	40	37,60
Milho verão	28	90	21,20
Trigo	30	35	25,20

Fonte: Cepea/ESALQ/USP (2009)

Com a identificação do tamanho da propriedade padrão na região de Carazinho/RS, iniciou-se o processo de levantamento dos custos de produção para cada atividade. As informações obtidas servirão para identificar o fluxo de caixa da propriedade.

Os custos foram separados conforme a metodologia de Matsunaga et. al. (1976), que define Custo Operacional Efetivo (COE), Custo Operacional Total (COT) e Custo Total (CT). Os Custos Operacionais Efetivos (COE) representam os gastos necessários para o custeio da produção agrícola. A Tabela 5 revela que a operação com maior participação no COE/ha, nas produções de soja, milho verão e trigo, é a aplicação dos insumos, com 56,7%, 59,5% e 59,4%, respectivamente. Na sequência, estão as operações mecânicas, que são responsáveis por R\$ 166,05 (20,6%) para a soja, R\$ 278,80 (21,6%) para o milho verão e R\$ 152,05 (18,1%) para o trigo.

Os maiores valores observados nos insumos – especialmente do adubo – estão relacionados à elevação do preço dos principais insumos de produção no momento da compra da matéria-prima. Além disso, a operação de adubação de cobertura, não realizada no plantio da soja, auxilia a explicação do valor gasto com os insumos na produção do milho.

Diante do exposto, observa-se que a cultura que apresenta o maior Custo Operacional Efetivo é o milho verão com R\$ 1.293,93/ha, seguido pelo trigo (R\$ 838,17/ha) e pela soja (R\$ 806,63/ha).

Analisando pelo ponto de vista do COE/saca, nota-se que cada unidade produzida dos diferentes produtos apresenta um COE/saca de R\$ 20,17, R\$ 14,38 e R\$ 23,95, para a soja, milho verão e o trigo, respectivamente.

Assim, os elevados custos, associadas às demais rubricas, demonstram que o produtor que cultiva soja precisava produzir 21 sacas de soja para cobrir os dispêndios com o custeio da produção. Já para a cultura do milho, o produtor necessitava 61 sacas para equilibrar as receitas com os custos efetivos; a produção de trigo, por sua vez, exige que sejam produzidas 33 sacas.

Os resultados mostram que toda e qualquer propriedade rural necessariamente precisa obter uma produtividade mínima necessária para cobrir os custos relacionados

ao custeio da produção. Caso isso não seja obtido, verifica-se a necessidade de analisar quais são os fatores que estão levando a resultados negativos.

Dessa forma, percebe-se que o milho, por apresentar maiores custos e menores preços, exige produtividade maior para cobrir os desembolsos verificados na safra.

Tabela 5 – Custos Operacionais Efetivos (COE) da propriedade agrícola padrão da região de Carazinho/RS – R\$/ha

Descrição	Soja	% COE	Milho verão	% COE	Trigo	% COE
Insumos	457,38	56,70	770,20	59,52	497,50	59,36
Operação mecânica	166,05	20,59	278,80	21,55	152,05	18,14
Preparo do solo	42,19	5,23	72,00	5,56	23,80	2,84
Tratos culturais	30,31	3,76	37,46	2,90	37,46	4,47
Colheita	93,55	11,60	169,34	13,09	90,79	10,83
Transporte da produção	32,00	3,97	55,00	4,25	28,00	3,34
Mão de obra	32,39	4,02	49,44	3,82	44,64	5,33
Impostos	34,59	4,29	43,88	3,39	20,29	2,42
Seguro	11,34	1,41	17,15	1,33	12,96	1,55
Assistência técnica	13,12	1,63	5,49	0,42	5,21	0,62
Financiamento de Capital de Giro	59,76	7,41	73,96	5,72	77,52	9,25
Custo Operacional Efetivo (COE)	806,63	100,00	1.293,93	100,00	838,17	100,00
COE/saca	20,17		14,38		23,95	
Break even point (COE/preço)	21 sacas		61 sacas		33 sacas	

Fonte: Cepea/ESALQ/USP (2009)

Os Custos Operacionais Totais (COT), que adicionam ao COE a depreciação, mostram o comportamento dos desembolsos relacionados ao custeio da produção e à formação de capital para substituir maquinário, instalações, implementos e máquinas utilizadas nas diversas culturas desenvolvidas nas propriedades.

Especificamente no caso da propriedade de Carazinho/RS, a Tabela 6 apresenta o COT da região. Observa-se que o valor da depreciação para o milho verão, por ter mais operações na produção, foi de R\$ 217,25/há, que, adicionado ao COE (R\$ 1.293,93), gera COT de R\$ 1.511,18/ha. Para tanto, o produtor deverá ter, no mínimo, produção de 71 sacas de milho para cobrir os custos relacionados ao custeio e depreciação. Além disso, a soja apresentou custo operacional de R\$ 23,32/saca, enquanto o trigo, custo unitário de R\$ 26,93/saca. A produção mínima das duas culturas exige cerca de 25 sacas de soja e 38 sacas de trigo. Abaixo disso, os agricultores estarão incorrendo em custos maiores do que suas receitas.

Tabela 6 – Custos Operacionais Totais (COT) de produção da propriedade padrão da região de Carazinho/RS – R\$/ha

Itens	Soja	Milho verão	Trigo
Custo Operacional Efetivo (COE)	806,63	1.293,93	838,17
Depreciação	126,29	217,25	104,28
Custo Operacional Total (COT)	932,92	1.511,18	942,45
COT/saca	23,32	16,79	26,93
Break even Point (COT/preço)	25 sacas	71 sacas	38 sacas

Fonte: Cepea/ESALQ/USP (2009)

A necessidade de o produtor (investidor) remunerar o capital investido cria um custo de oportunidade para a propriedade, que deverá ser considerado no processo de produção para identificar a vida econômica do projeto. Quando se inclui, junto ao COT, a remuneração do capital investido, obtém-se o Custo Total (CT) das atividades desenvolvidas na propriedade.

Na Tabela 7, o Custo Total (CT) com a produção das três *commodities* na região de Carazinho/RS pode ser observado. Na Tabela, observa-se que o CT da soja foi de R\$ 1.270,78/ha, sendo que o COE foi responsável por 63,48% desse custo, seguido por 73,41% do COT. Isso fornece um custo unitário para a soja de R\$ 31,77/saca e a necessidade de produzir, no mínimo, 34 sacas para que a cultura seja viável economicamente. Nesse caso, como a produtividade sugerida pelos produtores no momento do painel foi de 40 sacas/ha, verifica-se que o produtor da região de Carazinho/RS possuía uma rentabilidade, em sacas de soja, de 6 sacas/ha. Com metodologia diferente, a CONAB (2009) chegou a um custo total médio de R\$ 34,20/saca na safra 2008.

Já o milho verão apresentou CT de R\$ 1.889,13/ha no momento da realização do painel, demonstrando custo unitário de R\$ 20,99/saca e uma quantidade de equilíbrio de 89 sacas. Nesse caso, como a produtividade era de 90 sacas/ha, nota-se rentabilidade física de uma saca de milho. Como forma de comparar o resultado encontrado no estudo, analisou-se o valor obtido com o custo total médio levantado pela CONAB (2009). A Companhia apontou um custo de R\$ 22,86/saca.

Tabela 7 – Custos Totais (CT) de produção da propriedade padrão da região de Carazinho/RS – R\$/ha

Itens	Soja	Milho verão	Trigo
Custo Operacional Total (COT)	932,92	1.511,18	942,45
Remuneração do capital investido	337,86	377,95	182,48
Custo Total (CT)	1.270,78	1.889,13	1.124,94
CT/saca	31,77	20,99	32,14
Break even point (CT/preço)	34 sacas	89 sacas	45 sacas

Fonte: Cepea/ESALQ/USP (2009)

Entretanto, o trigo não apresentou resultados economicamente viáveis para aquele momento. O CT foi de R\$ 32,14/saca e a quantidade de equilíbrio deveria ser 45 sacas. No entanto, os produtores identificaram que a propriedade padrão na região de Carazinho/RS tem produtividade média de 35 sacas/ha. Assim, o prejuízo físico é de, aproximadamente 10 sacas/há.

A Tabela 8 apresenta o fluxo de caixa agrícola da propriedade gaúcha. Nela, observam-se as conclusões expostas anteriormente sobre a rentabilidade das atividades em 2008. O resultado final dessa propriedade demonstra que ocorreu um lucro de R\$ 9,15/ha considerando as três atividades desenvolvidas. Nesse caso, o prejuízo verificado na produção do trigo pressionou a lucratividade.

Tabela 8 – Fluxo de Caixa Agrícola da propriedade padrão da região de Carazinho/RS – R\$/ha

Itens	Soja	Milho verão	Trigo	Total
Receita Total	1504,00	1908,00	882,00	4294,00
Custo Operacional Efetivo (COE)	806,63	1.293,93	838,17	2938,73
RT – COE	697,37	614,07	43,83	1355,27
Custo Operacional Total (COT)	932,92	1.511,18	942,45	3386,55
RT – COT	571,08	396,82	-60,45	907,45
Custo Total (CT)	1.270,78	1.889,13	1.124,94	4284,85
RT – CT	233,22	18,87	-242,94	9,15

Fonte: Cepea/ESALQ/USP (2009)

Considerando-se apenas os gastos com custeio da produção (COE), a propriedade apresentou fluxo de caixa líquido de R\$ 1.355,27/ha, sendo a menor participação do trigo (3,2%) e a maior, da soja (51,46%).

Desta forma, comprova-se que, quando são levados em consideração todos os custos da propriedade rural na região de Carazinho/RS, a receita total serve apenas para cobrir os custos, restando uma parcela pequena referente à margem de lucro. Essa análise poderia inviabilizar, economicamente, muitas propriedades. Talvez, por isso, a maioria dos produtores não usa a depreciação e a remuneração do capital na hora da tomada de decisão. Para eles, o importante é identificar quando o dinheiro foi desembolsado no momento de produzir (COE) e quanto dinheiro entrou no caixa da empresa rural quando a comercialização da produção foi realizada.

4.2 Análise do fluxo de caixa da propriedade padrão de Cascavel/PR

O painel realizado na região de Cascavel/PR serviu para captar as informações sobre características e o fluxo de caixa da propriedade padrão regional. Pode-se observar na Tabela 9 que o tamanho médio das propriedades nessa região é de 195 hectares, sendo que desses, 160 hectares são utilizados na agricultura e o restante serve como área de reserva legal.

O preço da propriedade na região de Cascavel/PR, segundo produtores presentes no painel, está em torno de R\$ 14.000,00/ha. Os dados disponibilizados pela FGV (2009) mostram que o valor médio das propriedades no Paraná está em torno de R\$ 11.000,00/ha, valor 27% inferior ao observado na região.

Tabela 9 – Descrição da propriedade agrícola padrão da região de Cascavel/PR

Descrição da propriedade	Tamanho da propriedade (ha)	Valor da terra R\$/ha	%
Reserva legal	35	14.000,00	17,95
Área de pastagem	0	14.000,00	0,00
Área agrícola	160	14.000,00	82,05
Área Total	195		100,00

Fonte: Cepea/ESALQ/USP (2009)

Normalmente, nas propriedades agrícolas da região de Cascavel/PR, plantam-se soja, milho verão e safrinha, além de trigo. A Tabela 10 mostra que as áreas de plantio de soja na região de Cascavel/PR ocupam 120 ha, além de 40 ha de milho verão, 40

para o trigo, 40 para o milho safrinha e 40 com cultura para realização de adubação verde (aveia).

A produtividade média da soja estimada pelos produtores é de, aproximadamente, 53 sacas/ha que, segundo a CONAB (2009), está bem acima da produtividade média do estado nas últimas nove safras (46 sacas/ha). Já o milho verão apresentou uma produtividade média de 160 sacas/ha, 70% superior à média estadual nos últimos nove anos (CONAB, 2009). O trigo tem produtividade de 37 sacas/ha. O milho safrinha chegou a 75 sacas/ha que, novamente, é 127% superior à produtividade média do Paraná (CONAB, 2009).

Tabela 10 – Culturas agrícolas produzidas na propriedade padrão da região de Cascavel/PR

Culturas	Áreas (ha)	Produtividade (sc/ha)	Preço considerado (R\$/sc)
Soja	120	53	38,20
Milho verão	40	160	19,80
Trigo	40	37	30,00
Milho safrinha	40	75	19,80
Aveia	40		

Fonte: Cepea/ESALQ/USP (2009)

Dados de produtividade mostram que a região, além de possuir solos com boa qualidade, conta com produtores que investem na manutenção por meio do uso de insumos na proporção recomendada para cada tipo de solo e de cultura. Isso pode ser confirmado pelos elevados gastos na aplicação de insumos na região, conforme apresentado na Tabela 11.

Em 2008, o preço da soja na região era de R\$ 38,20/saca, enquanto o do trigo era R\$ 30,00/saca e o milho, de R\$ 19,80/saca.

Os Custos Operacionais Efetivos (COE), que demonstram a evolução dos desembolsos ocorridos durante o processo de produção, são apresentados na Tabela 11. Nela, pode-se perceber que os insumos utilizados no plantio da soja representam 57,5% do COE (R\$ 1.044,95/ha). O COE por saca foi de R\$ 19,72 e o ponto de equilíbrio foi atingido com a produção de 27 sacas de soja. Como a produtividade apontada por produtores foi de 53 sacas/ha, pode-se verificar que restam 26 sacas como lucro operacional físico da atividade.

Tabela 11 – Custos Operacionais Efetivos (COE) da propriedade agrícola padrão da região de Cascavel/PR – R\$/ha

Descrição	Soja	%	Milho verão	%	Trigo	%	Milho safrinha	%
Insumos	600,36	57,5	1.013,40	62,5	558,78	55,0	882,90	61,5
Operação mecânica	232,87	22,3	289,58	17,9	210,05	20,7	289,58	20,2
Preparo do solo	134,98	12,9	113,17	7,0	31,17	3,1	113,17	7,9
Tratos culturais	41,29	4,0	105,66	6,5	122,28	12,0	105,66	7,4
Colheita	56,60	5,4	70,75	4,4	56,60	5,6	70,75	4,9
Transporte da produção	42,40	4,1	128,00	7,9	29,60	2,9	128,00	8,9
Mão de obra	23,60	2,3	18,76	1,2	86,91	8,6	18,76	1,3
Impostos	46,57	4,5	72,86	4,5	25,53	2,5	34,16	2,4
Seguro	11,64	1,1	10,85	0,7	12,85	1,3	2,79	0,2
Assistência técnica	17,14	1,6	6,61	0,4	6,42	0,6	5,96	0,4
Financiamento de Capital de Giro	70,38	6,7	80,23	5,0	86,14	8,5	72,31	5,0
Custo Operacional Efetivo (COE)	1.044,95	100,0	1.620,29	100,0	1.016,28	100,0	1.434,45	100,0
COE/saca	19,72		10,13		27,47		19,13	
Break even Point (COE/preço)	27 sacas		82 sacas		34 sacas		72 sacas	

Fonte: Cepea/ESALQ/USP (2009)

Já o milho verão apresentou COE de R\$ 1.620,29/ha, sendo que a rubrica dos insumos foi responsável por mais de 62,5% dos gastos. Neste caso, o COE unitário foi de R\$ 10,13/saca e há necessidade de produção de 82 sacas para cobrir os gastos com custeio da safra. O milho safrinha, a exemplo do milho verão, apresentou COE superior a R\$ 1.400,00/ha com ponto de equilíbrio de 72 sacas. O COE unitário foi de R\$ 19,13/saca. Considerando a cultura do milho nota-se que restam, para o produtor, 81 sacas ao longo da safra analisada. Pode-se considerar que se trata do lucro operacional da propriedade rural da região.

O trigo apresentou COE de R\$ 1.016,38/ha, sendo que o custo por saca foi de R\$ 27,47. Nesse caso, o custo de produção é superado quando são produzidas mais de 34 sacas do produto.

A inserção da depreciação ao COE gera o Custo Operacional Total (COT). Na Tabela 12, pode-se verificar que o Custo Operacional Total da soja ficou em R\$ 22,34/saca, sendo necessária a produção de, no mínimo, 31 sacas para cobrir os custos de produção. O milho verão apresentou ponto de equilíbrio em 88 sacas e seu

COT foi de R\$ 1.739,55/ha. A produção de trigo indicou custo de R\$ 32,10/saca, seguido pelo custo de R\$ 1.498,55/ha para o milho safrinha.

Tabela 12 – Custos Operacionais Totais (COT) de produção da propriedade padrão da região de Cascavel/PR – R\$/ha

	Soja	Milho verão	Trigo	Milho safrinha
Custo Operacional Efetivo (COE)	1.044,95	1.620,29	1.016,28	1.434,45
Depreciação	138,82	119,26	171,57	64,10
Custo Operacional Total (COT)	1.183,78	1.739,55	1.187,84	1.498,55
COT/saca	22,34	10,87	32,10	19,98
Break even point (COT/preço)	31 sacas	88 sacas	40 sacas	76 sacas

Fonte: Cepea/ESALQ/USP (2009)

Os Custos Totais (CT), apresentados na Tabela 13 representam, além dos COT, a remuneração do capital investido na propriedade. Dessa forma, a soja apresentou CT de R\$ 34,68/saca. O ponto de nivelamento para a *commodity* foi de 48 sacas e como a produtividade indicada pelos participantes do painel era de 53 sacas/ha chega-se a uma rentabilidade física de 5 sacas/ha para os produtores da região de Cascavel/PR.

Para o milho verão, são necessárias 111 sacas para cobrir os custos totais, e, levando-se em consideração a produtividade de 160 sacas/ha, nota-se uma rentabilidade física elevada, chegando a 49 sacas de milho. Já para o milho safrinha, que possui outras funções no processo agrônomo da propriedade, o ponto de equilíbrio foi de 78 sacas/ha sendo que a produtividade indicada estava em 75 sacas/ha. Dessa forma, produtores do milho têm prejuízo de 3 sacas/ha. Nota-se que a propriedade padrão da região consegue obter rentabilidade de 46 sacas/ha com a produção do milho.

A produção do trigo na região de Cascavel/PR demonstra a exigência de uma produtividade superior a 51 sacas/ha para tornar a propriedade rentável economicamente, na produção da *commodity*. Mas, como a produtividade apontada pelos agentes estava em 37 sacas/ha, percebe-se um prejuízo físico de 14 sacas/ha.

Tabela 13 – Custos Totais (CT) de produção da propriedade padrão da região de Cascavel/RS – R\$/ha

	Soja	Milho verão	Trigo	Milho safrinha
Custo Operacional Total (COT)	1.183,78	1.739,55	1.187,84	1.498,55
Remuneração do capital investido	654,44	455,57	329,50	53,80
Custo Total (CT)	1.838,21	2.195,12	1.517,35	1.552,36
CT/saca	34,68	13,72	41,01	20,70
Break even Point (CT/preço)	48 sacas	111 sacas	51 sacas	78 sacas

Fonte: Cepea/ESALQ/USP (2009)

A Tabela 14 resume o fluxo de caixa da propriedade padrão. Nota-se, de forma agregada, que a lucratividade econômica obtida pela fazenda aproximou-se dos R\$ 684,00/ha.

Tabela 14 – Fluxo de Caixa Agrícola da propriedade padrão da região de Cascavel/PR – R\$/ha

Itens	Soja	Milho verão	Trigo	Milho safrinha	Total
Receita Total	2.024,60	3.168,00	1.110,00	1.485,00	7.787,60
Custo Operacional Efetivo (COE)	1.044,95	1.620,29	1.016,28	1.434,45	5.115,97
RT – COE	979,65	1.547,71	93,72	50,55	2.671,63
Custo Operacional Total (COT)	1.183,78	1.739,55	1.187,84	1.498,55	5.609,72
RT – COT	840,82	1.428,45	-77,84	-13,55	2.177,88
Custo Total (CT)	1.838,21	2.195,12	1.517,35	1.552,36	7.103,04
RT – CT	186,39	972,88	-407,35	-67,36	684,56

Fonte: Cepea/ESALQ/USP (2009)

A rentabilidade, de certa forma, foi prejudicada pelos maus resultados obtidos no plantio do trigo e do milho safrinha. Mas, sabe-se que, muitas vezes, essas culturas são usadas para evitar a exposição do solo durante o período do inverno e, com isso, possuem outras funções associadas às demais culturas da propriedade. Além disso, pode-se perceber que o milho verão foi o que apresentou os melhores resultados financeiros no período da realização do painel. Isso ocorreu, principalmente, pela elevada produtividade da região.

4.3 Simulações de Monte Carlo

As técnicas tradicionais de simulação usam a repetição de amostragem aleatória da distribuição de probabilidade para as variáveis consideradas aleatórias que afetam os fluxos de caixa de um projeto para se chegar à distribuição de probabilidade de saída ou perfis de risco dos fluxos de caixa ou do Valor Presente Líquido.

Segundo Trigeorgis (2002), as tentativas de simulação servem para imitar uma configuração de tomada de decisão no mundo real, usando um modelo matemático para capturar as características funcionais mais importantes do projeto, e também a forma como ele evolui com o tempo e os eventos aleatórios, na condição de gestão estratégia operacional.

Buscou-se realizar simulações baseadas no comportamento histórico dos preços dos produtos, das produtividades e dos preços dos insumos observado nas regiões, caracterizado com base nas médias e nos desvios padrão. Por meio da Simulação de Monte Carlo, geraram-se mil simulações para as variáveis: preço, produtividade e preços nos insumos, considerando que elas seguiam distribuições normais. As distribuições foram consideradas independentes entre si, tanto entre variáveis da mesma cultura, como entre variáveis de culturas diferentes. A Figura 6 apresenta as simulações para os preços de balcão de soja, milho e trigo na região de Carazinho/RS. Os parâmetros considerados foram: (a) média do preço do milho balcão de R\$ 19,30/saca, com desvio padrão de R\$ 2,97, (b) média de R\$ 38,91 e desvio padrão de R\$ 7,35 para a soja balcão e (c) média de R\$ 39,17 com desvio padrão de R\$ 8,88 para o trigo.

As simulações para o preço das *commodities* analisadas, na propriedade padrão localizada na região de Carazinho/RS, apresentaram diferentes comportamentos para os preços das diferentes culturas. Para o milho, soja e trigo, as médias dos preços/saca gerados aleatoriamente foram de R\$ 19,42, R\$ 39,03 e R\$ 39,05, respectivamente.

Figura 6 – Simulação de Monte Carlo para os preços do Milho, Soja e Trigo na região de Carazinho/RS – R\$/saca

Fonte: Dados de pesquisa baseado nos preços históricos do Cepea/ESALQ/USP (2009)

Da mesma forma, a Figura 7 mostra o resultado das simulações para os preços das principais culturas na região de Cascavel/PR. As informações utilizadas para gerar os preços aleatórios partiram de uma média/saca de R\$17,52, R\$ 38,79 e R\$ 38,57 para milho, soja e trigo, respectivamente, além do desvio padrão de R\$ 2,72, R\$ 6,63 e R\$ 8,54.

O resultado da simulação mostra que as médias/saca obtidas após a geração dos preços foram de R\$ 17,54 para o milho, R\$ 38,92 para a soja e R\$ 39,00 para o Trigo.

Figura 7 – Simulação de Monte Carlo para os preços do Milho, Soja e Trigo na região de Cascavel/PR – R\$/saca
 Fonte: Dados de pesquisa baseado nos preços históricos do Cepea/ESALQ/USP (2009)

Nas análises anteriores, verificou-se que os insumos são responsáveis por mais de 50% dos custos de produção de todas as culturas analisadas. Dessa forma, o impacto das variações nos preços das principais matérias-primas pode influenciar a rentabilidade das propriedades rurais e, sem dúvida, das propriedades analisadas.

Dessa forma, as simulações foram obtidas por meio de choques nos preços dos principais insumos. As variações utilizadas seguiram os preços históricos dos principais insumos divulgados pelo IEA (2009). As oscilações nos últimos anos tiveram média de 20% de queda e de 20% elevação. Diante disso, utilizaram-se na simulação choques que variaram dentro dos limites observados para os preços dos insumos. Considerou-se que os choques nos gastos com insumos apresentam distribuição normal, variando entre queda de 20% e elevação de 20%, com a média de 1,28% e desvio padrão de 6,64%.

A Figura 8 apresenta os choques simulados nos insumos para as duas regiões analisadas pressupondo que as variações ocorridas nos preços dos insumos alteram-se de forma semelhante nos custos de produção das duas regiões analisadas.

Figura 8 – Simulação de Monte Carlo para os choques no preço dos principais insumos nas regiões de Carazinho/RS e Cascavel/PR - %
 Fonte: Dados de pesquisa baseados nos dados do IEA (2009)

A produtividade das culturas de soja, milho e trigo também são fatores preponderantes na determinação da rentabilidade das propriedades, visto que, além da qualidade do solo e do clima, pode captar quebras de safras ocasionadas por problemas climáticos, como falta ou excesso de chuvas, entre outros fatores.

Com base na produtividade média observada no Rio Grande do Sul (CONAB, 2009) nos últimos dez anos, simulações foram feitas para a oscilação da produtividade das três culturas plantadas na região de Carazinho/RS. Segundo a CONAB (2009), a produtividade média do milho no RS foi de 52 sacas/ha. Já da soja foi 32 sacas/ha enquanto o trigo demonstrou uma produção média de 29 sacas/ha.

A Figura 9 mostra o comportamento das produtividades para a soja, milho verão e trigo na região. Pode-se observar que, na média, a produtividade do milho ficou em 52 sacas/ha, a soja apresentou 32 sacas/ha e o trigo, em torno de 29 sacas/ha.

Figura 9 – Simulação de Monte Carlo para a produtividade de milho safra, soja e trigo na região de Carazinho/RS – sacas/ha

Fonte: Dados de pesquisa com base nos dados da CONAB (2009).

Na região de Cascavel/PR as simulações da produtividade para o milho safra e safrinha, soja e trigo estão disponibilizadas na Figura 10. Ressalta-se que as médias históricas dos últimos dez anos para as atividades, segundo a Conab (2009) foram 90 sacas, 49, 45 e 32, respectivamente.

As iterações apresentaram uma média de 91sacas/ha para o milho safra; 49 para o milho safrinha; 45 sacas/ha para a soja por ha e 32 sacas/ha para o trigo.

Figura 10 – Simulação de Monte Carlo para a produtividade de milho safra, milho safrinha, soja e trigo na região de Cascavel/PR – sacas/ha
 Fonte: Dados de pesquisa com base nos dados da CONAB (2009).

As simulações realizadas serviram para identificar o comportamento das principais variáveis analisadas entre as regiões estudadas. Os valores esperados serviram para simular o Valor Presente das propriedades. Na Figura 11, apresentam-se as simulações do Valor Presente Esperado - $E(VP)$ - a uma taxa de retorno real de 6,09% a.a. A propriedade de Carazinho/RS apresentou um valor esperado (média das médias das simulações) dos seus fluxos de caixa futuros de R\$ 796,67/ha, que, utilizando a capitalização perpétua, encontra-se um valor esperado para o valor presente de R\$ 13.081,66/ha, com desvio padrão de R\$ 10.536,15/ha. Isso gera uma probabilidade de 89,28% de o valor presente ser maior do que zero.

A Esperança matemática do Valor Presente - $E(VP)$ utilizou o fluxo de caixa operacional líquido, desconsiderando a remuneração do capital e a depreciação das máquinas, equipamentos, etc. Portanto, pode-se dizer que se trata de um valor presente financeiro.

Figura 11 – Esperança do Valor Presente para a propriedade da região de Carazinho/RS – R\$/ha
Fonte: Dados de pesquisa (2010)

Na Figura 12, estão apresentados os resultados da esperança do Valor Presente (VP) para cada simulação realizada para a propriedade padrão da região de Cascavel/PR. Visualiza-se que há um comportamento similar ao verificado em Carazinho/RS, ou seja, em maior número de valores presentes positivos, demonstrando grande possibilidade de o Valor Presente ser superior a zero. Para estimar o Valor Presente Esperado para Cascavel/PR, utilizou-se a taxa de juros real de 6,09 %a.a proveniente da taxa real média da Selic a partir de 2004.

Figura 12 – Esperança do Valor Presente para a propriedade da região de Cascavel/PR – R\$/ha
Fonte: Dados de pesquisa (2010)

A propriedade localizada na região de Cascavel/PR apresentou um Valor Esperado do Valor Presente de R\$ 16.502,57/ha e um desvio padrão de R\$ 12.544,82/ha. Com isso, a probabilidade de o Valor Presente ser superior a zero é de 90,58%, para um valor esperado do fluxo de caixa de R\$ 1.005,01/ha por ano.

Os resultados da esperança do valor presente obtidos nas duas regiões analisadas servirão como ponto de partida para a análise da Teoria das Opções Reais.

4.4 Valor da opção real

4.4.1 Carazinho/RS

A Teoria das Opções Reais apresenta como principal diferença da técnica do Valor Presente Líquido a possibilidade de mapear todas as incertezas gerenciais com as quais se antecipa que um tomador de decisão irá se deparar ao empreender uma ação.

Assim, pela teoria das opções reais aplicada à propriedade rural faz-se um mapeamento das incertezas futuras quanto às possibilidades de ganhos considerando a realidade produtiva da região.

Para tanto, adotou-se uma taxa de juros livre de risco real de 6,09 %a.a, obtida por meio da média da taxa Selic entre 2004 e 2008. Assaf Neto et. al. (2008, p.76) discutem que:

Para um investidor, a taxa livre de risco (RF) deve expressar o correto cumprimento da obrigação de pagamento, por parte do devedor, do principal e dos encargos financeiros, em conformidade com seus respectivos vencimentos. Em outras palavras, uma taxa livre de risco não pode revelar incerteza alguma com relação ao inadimplemento (default) de qualquer obrigação prevista no contrato de emissão do título.

No Brasil, segundo Forster (2009), a taxa livre de risco é geralmente calculada como uma média das taxas de juros históricos dos títulos públicos. Segundo Assaf Neto et. al. (2008), a taxa do Sistema Especial de Liquidação e Custódia (Selic) é a taxa de juros formada nas negociações com títulos públicos no Brasil e considerada como sem risco.

Além disso, a volatilidade dos fluxos de caixa simulados foi de 26,55% a.a para Carazinho e de 20,75% a.a para Cascavel/PR. Estabeleceu-se o horizonte de tempo de 15 anos para realizar a simulação do valor da opção real. O período foi definido através da análise de convergência, pois a vida útil superior a 15 anos adiciona menos de 3% ao valor das opções. Este valor das opções foi calculado como discutido nas equações 30, 31 e 32, ou seja, mantendo-se constantes todas as demais variáveis do modelo e variando o tempo de vencimento do contrato, chegou-se ao ganho adicional com o aumento de um ano no valor das opções.

Com essas informações, foram calculadas as probabilidades livres de risco para elevações, bem como para reduções no valor presente. A Figura 13 apresenta o comportamento do valor adicional da opção conforme aumenta o número de períodos analisados nas duas regiões analisadas.

Pode-se verificar na Figura 13 que o valor da opção vai se reduzindo conforme se aumenta a vida útil da propriedade. Dessa forma, os ganhos são decrescentes, e, a partir do décimo quinto ano, os adicionais são inferiores a 3%. Pressupõe-se, com isso,

que a análise levará em consideração uma propriedade com produtividade ao longo dos próximos 15 anos de vida.

Figura 13 – Evolução temporal do valor adicional (%) da opção de compra para a região de Carazinho/PR e Cascavel/PR
Fonte: Dados de pesquisa (2010)

Baseado em um fluxo de caixa líquido constante de R\$ 796,67/ha/ano com taxa de desconto real de 6,09 % a.a., calculou-se o valor presente dos benefícios futuros utilizando capitalização perpétua - $E(VP) = R\$ 13.081,66/ha$ - para a propriedade padrão de Carazinho/RS.

Dessa forma, sempre que o somatório da esperança do Valor Presente Líquido - $E(VPL)$ - mais o valor presente da opção (v_{poc}) for superior ao preço de exercício da opção (valor de mercado divulgado pela Fundação Getúlio Vargas para a região – R\$ 7.331,19/ha), o proprietário da terra não terá incentivos em completar a venda e continuará com a opção, pois o valor da propriedade tenderá a se elevar. Caso contrário, o proprietário não deve exercer o direito de postergar a venda e, com isso, deverá realizar a transação, pois as expectativas quanto à valorização da terra não agregam valor à propriedade.

Para tanto, realizou-se a multiplicação do valor presente no período zero pelo fator de elevação ($u = 1,3456$) obtido pela eq. 15a, e pelo fator de redução ($d = 0,7432$)

– eq. 15b - para criar a árvore de decisão (Vide Figura 14). Nesse sentido, observa-se que a esperança do Valor Presente - $E(VP)$ - da propriedade de Carazinho/RS pode crescer para R\$ 17.602,65/ha no primeiro ano (segunda coluna e primeiro valor de cima para baixo), com probabilidade de 55,36%, ou poderá cair para R\$ 9.721,82/ha (segunda coluna e segundo valor de cima para baixo), com probabilidade de 44,64%. O procedimento continuará durante os doze períodos (meses) ao longo dos anos analisados.

Após a construção da árvore de decisão, procedeu-se à análise de trás para frente (*backward*) do valor da opção real. Na Figura 15, as células inferiores demonstram os valores da opção real ou o valor presente da opção para os diferentes períodos para a propriedade localizada na região de Carazinho/RS.

No ano zero, o valor da opção de postergar a venda até atingir o preço de exercício da opção é de R\$ 10.242,74/ha, representando o quanto a terra poderia se valorizar nos próximos anos dadas as informações atuais.

Como se trata de uma opção do tipo americana (pode ser exercida a qualquer momento), realiza-se a análise em cada nó da árvore de decisão. O resultado mostra que, baseado nos pressupostos, o proprietário da terra deverá exercer a opção de postergar a venda, pois em não exercendo o direito, poderia vender ao preço igual ao VP e obteria um ganho adicional ao preço de exercício de R\$ 5.750,47/ha (13.081,66 – 7.331,19). Entretanto, ao exercer a opção de postergar e, com isso, continuar com a propriedade, a possibilidade de ganhos aumentaria para R\$ 10.242,74/ha, que é o valor da opção (prêmio). Isso pode ser observado na Figura 14, no início da árvore de decisão.

Observa-se que, se o valor presente subir para R\$ 17.602,65/ha no período seguinte (posição 10, reconhecida na Figura 14 da seguinte maneira: valor da segunda coluna de cima para baixo), o proprietário deverá exercer a opção de postergar a venda da propriedade pelo preço de exercício, pois o valor presente líquido da opção é de R\$ 14.453,76/ha e se vender a propriedade naquele período receberá um adicional de R\$ 10.271,46/ha (17.602,65 – 7.331,19).

A partir do ano 1 (posição 11, primeiro ano, posição 1, de cima para baixo) o proprietário se depara com uma situação em que exercer a opção fornecerá um valor

para as incertezas de R\$ 6.779,57/ha. Mas, se o proprietário não exercer a opção, perderá uma renda de R\$ 4.388,94/ha ($R\$ 6.779,57 - (R\$ 9.721,82 - 7.331,19)$).

Nesse caso, a melhor estratégia para o dono da terra é exercer a opção de continuar com a terra, pois os valores indicam que a terra deverá se valorizar mais do que os ganhos que ele teria em vendê-la no período seguinte.

Dessa forma, sempre que o Valor Presente da opção (vpoc) for superior ao VPL estático (valor presente - preço de exercício), o proprietário não tem incentivos para vender a propriedade. Com isso, deverá exercer o direito de postergar a venda, pois o valor da opção estará indicando que a propriedade poderá se valorizar muito mais do que está sendo verificado no ano de análise.

Figura 14 – Árvore de decisão para a propriedade da região de Carazinho/RS (R\$/ha)
 Fonte: Dados de pesquisa (2010)

Figura 15 – Valor da opção real para a propriedade padrão da região de Carazinho/RS
 Fonte: Dados de pesquisa (2010)

4.4.2 Cascavel/PR

O cálculo do Valor da Opção Real para a propriedade localizada na região de Cascavel/PR levou em consideração um fluxo de caixa líquido de R\$ 1.005,01/ha/ano. Além disso, utilizou-se uma taxa real de juros de 6,09% a.a para determinar a esperança do valor presente da fazenda - $E(VP)$. Com a utilização de capitalização perpétua, a $E(VP)$ encontrada foi de R\$ 16.502,57/ha. Assim, sempre que o valor presente da opção ($vpoc$) for superior ao valor presente estático (valor presente - preço de exercício), o proprietário não tem incentivos em vender a propriedade e deverá exercer o direito de postergar a venda, pois o valor da opção vai indicar que a propriedade poderá se valorizar muito mais do que está sendo verificado.

Dessa forma, o Valor Presente da propriedade padrão em Cascavel/PR têm a possibilidade de se elevar no período seguinte, para R\$ 20.811,55/ha, com uma probabilidade de 60,61%, ou cair para R\$ 13.085,75, com uma probabilidade de 39,39%. A Figura 16 mostra o comportamento do Valor Presente ao longo do período analisado.

A Figura 17 apresenta o comportamento do valor da opção de compra ao longo dos diferentes nós da árvore de decisão. Nota-se que, se o produtor exercer o seu direito de postergar a venda e permanecer com a propriedade, obterá valorização de R\$ 11.980,09/ha. Já se o proprietário resolver não exercer a opção e negociar a propriedade pelo valor presente líquido, estaria ganhando R\$ 5.141,13/ha ($16.502,57 - 11.361,44$) com a operação. Assim, a melhor estratégia para os produtores é exercer a opção de postergar, e aguardar a valorização oriunda do valor da flexibilidade gerencial.

Se o valor presente subir para R\$ 20.811,55/ha no primeiro ano (posição 10), o valor da opção de compra aumentará para R\$ 15.863,47/ha e, com isso, exercer a opção de postergar a venda renderia mais do que se o proprietário vendesse a propriedade pelo valor Presente Líquido ($20.811,55 - 11.361,44$), que é o valor presente do nó menos o preço de exercício.

Já nos casos em que o valor presente da opção de compra é zero, o proprietário não deverá exercer a opção e, com isso, a venda da propriedade é a melhor estratégia a ser tomada, pois não há expectativas de valorização ao longo dos períodos.

Figura 16 – Árvore de decisão para a propriedade da região de Cascavel/PR
 Fonte: Dados de pesquisa (2010)

Figura 17 – Valor da opção real para a propriedade padrão da região de Cascavel/PR
 Fonte: Dados de pesquisa (2010)

Observa-se que, dado o valor presente estimado para as duas regiões, os proprietários possuem incentivos em postergar o exercício da opção e continuar com a propriedade até que novas informações possam ser utilizadas na tomada de decisão, pois, até lá, o valor da flexibilidade ou incertezas poderá elevar o valor das propriedades nos períodos seguintes.

4.5 Sensibilidade do valor da opção a mudanças nas principais variáveis

A análise de sensibilidade serve para identificar qual é o comportamento do valor presente líquido da opção quando as principais variáveis relacionadas à Teoria das Opções Reais (TOR) se alteram ao longo do tempo.

Na Figura 18 mostra-se o padrão de combinações possíveis entre taxas de juros e valor presente e valor da opção real. Em Carazinho, a sensibilidade do valor da opção real quanto às variações no Valor Presente e na taxa de retorno livre de risco para a propriedade padrão mostra que, para uma taxa de juros real livre de risco de 16% a.a e um VP de R\$ 15.000,00/ha, o valor da opção fica próximo a R\$ 14.000,00/ha (ponto amarelo). Já com um valor presente baixo e uma taxa de juros baixa, o valor da *call* será superior a R\$ 6.000,00/ha (ponto azul). Já o ponto preto indica o valor da opção para o modelo em questão (R\$ 10.242,74), proveniente de um valor presente de R\$ 13.081,66/ha/ano a uma taxa real de juros livre de risco de 6,09%a.a.

Figura 18 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e a taxa de retorno livre de risco da propriedade na região de Carazinho/RS
Fonte: Dados de pesquisa (2010)

Portanto, observa-se um aumento no valor da opção a partir da elevação do valor presente e das taxas de juros utilizadas na análise da propriedade. Mas, a sensibilidade da variação do valor da opção está muito mais relacionada com a taxa de juros livre de risco do que com o Valor Presente da propriedade, ou seja, o valor da opção responde mais rapidamente a alterações nas taxas de juros do que no valor presente.

A análise do comportamento do valor presente e da vida útil da propriedade identificou que há uma relação direta entre as duas variáveis e o valor da *call*. Pode-se observar que, para um VP baixo e poucos anos até ocorrer a expiração da vida útil da propriedade, o valor da opção é relativamente baixo. Por outro lado, quanto mais distante for a vida útil da propriedade e o seu valor presente maior será o valor da opção.

Nota-se na Figura 19 que a um valor presente de R\$ 12.000,00/ha e vida útil de 14 anos, o valor da opção será superior a R\$ 9.000,00/ha (ponto azul), se elevando até R\$ 9.500,00/ha conforme aumenta a vida útil da propriedade. Já com um valor presente de R\$ 14.000,00/ha o valor da opção aumenta com a elevação da vida útil chegando a quase R\$ 12.000,00/ha de prêmio (ponto amarelo). Para comparação da posição do valor da opção obtido no modelo com as variações propostas pela sensibilidade, pode-se visualizar o ponto preto da Figura 19.

Figura 19 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e a vida útil da propriedade na região de Carazinho/RS

Fonte: Dados de pesquisa (2010)

Portanto, observa-se maior sensibilidade do valor da opção de compra a alterações no valor presente quando analisado com a vida útil da propriedade.

A volatilidade possui papel importante no processo de tomada de decisão. A relação entre o valor da opção de compra, o valor presente e a volatilidade podem ser verificados na Figura 20. Nela pode ser visto que a sensibilidade do valor da *call* está intimamente ligada a uma maior volatilidade e a um maior valor presente da propriedade analisada. No caso da fazenda de Carazinho/RS pode-se verificar que, com um valor presente de R\$ 12.000,00/ha e uma volatilidade de 24% a.a., o valor da opção aproxima-se de R\$ 9.000,00/ha (ponto azul). Entretanto, conforme a volatilidade aumenta o valor da opção tende a aumentar. Já quando o valor presente da propriedade padrão da região de Carazinho/RS aumenta para R\$ 14.000,00/ha e a volatilidade aumenta para 29% a.a., o valor da opção de compra estará acima de R\$ 11.500,00/ha (ponto amarelo), mantendo todas as demais variáveis constantes. Para visualizar a relevância da ilustração, pode-se marcar o valor da opção obtido na análise através do ponto preto na Figura 20.

Figura 20 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e a volatilidade da propriedade na região de Carazinho/RS

Fonte: Dados de pesquisa (2010)

Dessa forma, percebe-se que a propriedade mais eficiente no processo de produção pode valer mais em comparação às demais terras, visto que há possibilidades futuras de se elevar a renda, e, com isso, há mais incertezas atreladas ao processo de tomada de decisão.

A relação entre o valor presente, o preço de exercício da opção e o valor da opção de compra para a propriedade padrão de Carazinho/RS mostra que, quanto maior for o preço de exercício, menor será o valor da *call* (ponto azul). O maior valor da opção ocorre quando o preço de exercício é baixo e o valor presente da propriedade é elevado (ponto amarelo). Nesse caso, a propriedade da região pode obter um valor superior a R\$ 11.500,00/ha (Figura 21). Comparativamente ao valor da opção de compra de R\$ 10.242,74 (ponto preto), pode-se verificar que há uma relação direta com o valor presente, mas inversa com o valor de exercício da opção.

Figura 21 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e ao preço de exercício da propriedade na região de Carazinho/RS
Fonte: Dados de pesquisa (2010)

A Figura 22 apresenta, para Cascavel, o relacionamento entre o valor da opção *call*, o valor presente da propriedade e a taxa real de juros livre de risco da economia. Nela, observa-se que há uma relação direta entre o valor presente e o valor da opção. Assim, um aumento no valor presente da fazenda padrão na região de Cascavel/PR aumentará o Valor Presente Líquido (VPL) (sem flexibilidade) e, portanto, maior deverá ser o valor da opção. Esse resultado está relacionado ao fato de que quanto mais próximo do preço de exercício da opção, maior deverá ser o prêmio, pois aumenta a possibilidade de a opção ser exercida. Da mesma forma, Copeland e Antikaro (2000) concluíram que, quanto maior o Valor Presente, maior será o valor da *call*.

Além disso, a sensibilidade do valor da opção em relação à taxa de juros real praticada na economia mostra que, quanto maior for a taxa de juros, maior tenderá a ser o valor da opção.

Adicionalmente, verifica-se que quando a taxa de juros é relativamente baixa e vai aumentando, os ganhos adicionais no valor da opção crescem a taxas crescentes e enfraquecem quanto maior for a elevação na taxa de juros.

A relação tridimensional mostra que quando o valor presente é elevado (R\$ 18.000,00/ha) e a taxa de juros real é baixa (1% a.a.), o valor da opção de compra estará próximo dos R\$ 8.000,00/ha (ponto azul). Já quando o valor presente for baixo (R\$ 15.000,00/ha) e a taxa de juros livre de risco for elevada (16% a.a.), nota-se que o valor da opção tenderá a ser superior a R\$ 16.000,00/ha (ponto amarelo), mantendo todas as demais variáveis constantes. O valor da opção pode ser visto no ponto preto da Figura 22.

O resultado é corroborado por Copeland e Antikaro (2000), que dizem que um aumento da taxa de juros aumentará o valor da opção, uma vez que elevará o valor temporal da vantagem monetária da postergação do exercício da opção.

Figura 22 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e a taxa de retorno livre de risco da propriedade na região de Cascavel/PR
Fonte: Dados de pesquisa (2010)

O comportamento do valor da opção em relação ao valor presente e ao tempo de expiração da opção está sendo apresentado na Figura 23. Ela mostra que, quanto maior for o valor presente da propriedade rural e mais distante for a data de expiração

da opção, maior deverá ser o valor da *call*. Percebe-se, com isso, que há uma sensibilidade elevada do valor da opção em relação ao Valor Presente da propriedade, pois um Valor Presente baixo (R\$ 15.000,00/ha) e vida útil da fazenda elevada (16 anos) geram um valor para a *call* superior a R\$ 11.000,00/ha (ponto azul). Já quando ambas as variáveis são elevadas, o valor da opção se eleva significativamente para próximo a R\$ 14.000,00/ha (ponto amarelo), mantendo todas as demais variáveis constantes. Vale ressaltar que o valor da opção para a região de Cascavel/PR foi de R\$ 11.980,09/ha/ano e pode ser visualizado no ponto preto na Figura 23.

Uma justificativa plausível para o comportamento verificado do Valor Presente e da vida útil da propriedade é exposto por Copeland e Antikaro (2000), pois, para eles, um maior prazo de expiração permitirá maior conhecimento das incertezas e, portanto, aumentará o valor da *call*.

Figura 23 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e a vida útil da propriedade na região de Cascavel/PR

Fonte: Dados de pesquisa (2010)

A análise da sensibilidade do valor da opção em relação à volatilidade e ao Valor Presente para a propriedade padrão da região de Cascavel/PR mostra que quanto maior for a volatilidade (incerteza), maior será o valor da opção. Isso pode ser visto no ponto azul na Figura 24. O resultado é corroborado por Copeland e Antikaro (2000), pois tais autores dizem que, em um ambiente com flexibilidade gerencial, um aumento da incerteza (volatilidade) aumentará o valor da opção.

Comparando o valor da opção com a volatilidade e o valor presente do ativo é possível verificar que o mesmo é muito sensível às alterações na volatilidade e no valor presente do ativo (ponto amarelo). O contrário também é verdade, ou seja, baixa volatilidade com poucas expectativas em relação ao valor presente reduz o valor da opção (ponto vermelho).

O resultado pode explicar porque as propriedades mais eficientes produtivamente podem valer mais em comparação às demais terras, visto que a possibilidade de gerar renda futura é elevada e, com isso, há mais incerteza atrelada ao processo de tomada de decisão.

Figura 24 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e a volatilidade da propriedade na região de Cascavel/PR
Fonte: Dados de pesquisa (2010)

Quando se realiza a análise do comportamento do valor da opção em relação ao preço de exercício e ao valor presente da propriedade, observa-se que o valor da *call* será tanto menor quando maior for o preço de exercício da opção, principalmente, quando o valor presente da fazenda for baixo (ponto amarelo). Por outro lado, quanto menor for o preço de exercício e maior for o VP maior será o valor da opção de compra podendo ser visualizado através na cor vermelha na Figura 25.

Segundo Copeland e Antikaro (2000), um preço de exercício mais alto reduzirá o Valor Presente Líquido (sem flexibilidade) e, portanto, reduzirá o valor da opção de compra.

Figura 25 – Comportamento do valor da opção de compra em relação ao Valor Presente e o preço de exercícios da propriedade na região de Cascavel/PR
 Fonte: Dados de pesquisa (2010)

Assim, verifica-se que o valor da opção de compra para a propriedade localizada nas regiões analisadas é influenciado pelas variáveis utilizadas no modelo. Com exceção do preço de exercício da opção, todas as demais variáveis apresentam uma relação direta com o valor do prêmio da opção. Já o preço de exercício tem uma relação inversa com o valor da *Call*.

4.6 Valor da terra rural na região de Carazinho/RS

Considerando que há incertezas quanto ao futuro dos preços dos produtos produzidos pela propriedade rural, observa-se a existência de valor para a opção real. Portanto, o valor para essa propriedade deve ser calculado por meio do somatório do valor presente líquido estático, calculado pelo método tradicional, e do valor presente líquido da opção de postergar a venda da propriedade.

Nesse sentido, a propriedade rural padrão localizada na região de Carazinho/RS apresentou um valor de opção de R\$ 10.242,74/ha (Figura 15), ou seja, quanto vale a incerteza em relação a todas as possibilidades futuras. Dessa forma, se o proprietário da terra não exercer a opção de postergar o negócio, poderia receber R\$ 13.081,66 correspondendo ao valor presente da propriedade. Com isso, adicionaria ao valor da sua terra o valor presente líquido da propriedade, de R\$ 5.750,47/ha (13.081,66 –

7331,19), no qual R\$ 13.081,66 correspondem ao valor presente esperado e R\$ 7331,19, ao preço de exercício da opção (X).

Por outro lado, a postergação apresenta uma possível valorização referente a todas as incertezas do mercado. Nesse sentido, o fato de exercer a opção mostra que a propriedade poderia atingir R\$ 15.993,21/ha ($\text{R\$ } 13.081,66 - \text{R\$ } 7331,19 + \text{R\$ } 10.242,74$) diante da realidade produtiva da região de Carazinho/RS.

O adiamento da transação em um período poderá chegar a um Valor Presente Líquido expandido de R\$ 24.725,22/ha, conforme apresentado na Figura 15, caso o valor presente se comporte em um cenário de crescimento.

Entretanto, em um cenário de queda na Esperança do Valor Presente para R\$ 9.721,82 (dado a Figura 15) poderá gerar um valor para a propriedade de R\$ 9.170,20/ha, obtido da seguinte maneira: $\text{R\$ } 9.721,82 \text{ (VP)} - 7.331,19 \text{ (X)} + \text{R\$ } 6.779,57 \text{ (Valor Presente da Opção)}$.

Diante disso, percebe-se que os proprietários que aguardar um ano para tomar a decisão de comercializar a terra poderão obter uma rentabilidade superior a R\$ 9.170,20/ha. Isso pode ser explicado pelas novas informações que são inseridas no processo de tomada de decisão, seja para concretizar a venda ou a manutenção da terra.

Considerando que os produtores presentes no painel declararam que as vendas ocorrem a um valor de R\$ 20.000,00/ha para a propriedade padrão, observa-se que há indícios de supervalorização em R\$ 4.006,79/ha ($\text{R\$ } 20.000,00 - \text{R\$ } 15.993,21$). Assim, nota-se que a Teoria das Opções Reais ajuda a explicar uma parcela significativa do valor declarado da venda das terras (79,97%).

Entretanto, outros fatores estão presentes na formação do valor declarado pelos produtores da região. A especulação imobiliária pode influenciar os resultados, visto que o modelo capta o valor produtivo da terra e não as especulações diretas envolvendo a propriedade.

Quando comparado ao preço da terra praticado no estado, segundo dados da FGV (2009), se observa que a Teoria da Opção Real apresenta um valor superior, pois as terras no estado estariam sendo comercializadas, na média, a R\$ 7.331,19/ha e a análise das opções reais demonstrou que, mesmo tendo um valor presente esperado

de R\$ 13.081,66/ha, a terra produtiva nessa região poderia valer R\$ 15.993,21. O valor é 118,15% superior ao da média do estado.

Entretanto, vale lembrar que as produtividades médias da soja, milho verão e trigo na região de Carazinho são 25,39%, 74,42% e 19,86% superiores à média regional, respectivamente. Isso explicaria parcialmente o preço médio da terra de 7.331,19/ha em comparação ao valor obtido pela opção real.

Além disso, pressupõe-se que a coleta de dados referente aos preços da terra seja feita em diferentes pontos do estado e captam preços de terras com especificidades distintas (diferentes produtividades, qualidade, localização, etc.) e, com isso, devem apresentar variações significativas na informação. Dessa forma, percebe-se que, além das incertezas quanto ao valor presente da propriedade, outras variáveis estão envolvidas no processo de definição de valorização das terras.

Há vários outros fatores que poderiam explicar porque um hectare de terra em Carazinho/RS vale R\$ 20.000,00 segundo produtores que participaram do painel, se o valor presente é baixo (R\$ 13.081,66/ha). Um deles é a possibilidade de que o preço da terra na região esteja supervalorizado pelos produtores, talvez por questões especulativas ou, até mesmo, por engano na declaração do valor no momento da realização dos painéis. Outra alternativa é a diferença na produtividade das diferentes *commodities* em relação à média estadual. Além disso, pode se destacar o “apego” emocional que a propriedade representa para a sua família; a existência de outras culturas que diversificam a propriedade; a propriedade como uma reserva de valor para o futuro, etc.

Finalmente, há a possibilidade de o valor médio estadual relatado pela FGV (2009) não refletir adequadamente o valor das terras transacionadas, particularmente nas regiões específicas consideradas. Posto que não existe um mercado organizado de terras, ficando as transações num contexto informal e particular entre as partes compradora e vendedora, com intermediação ou não de corretor, a dificuldade de obtenção de informação de negócios realmente efetivados não é desprezível.

4.7 Valor da terra rural na região de Cascavel/PR

Para a terra padrão localizada na região de Cascavel/PR observou-se que o valor presente foi de R\$ 16.502,57/ha sendo 26,15% superior ao comportamento verificado na região de Carazinho/RS.

Além disso, o valor da opção de postergar a venda e continuar com a fazenda apresentou um valor de R\$ 11.980,09/ha. Assim, o hectare da propriedade poderia estar valendo, segundo a Teoria das Opções Reais e considerando a realidade produtiva, $R\$ 17.121,22/ha - (R\$ 11.980,09 \text{ (Valor da opção)} + 16.502,57 \text{ (VP)} - 11.361,44 \text{ (X)})$ - sendo que os valores praticados no Paraná, segundo a FGV (2009), eram de R\$ 11.361,44/ha. Dessa forma, a técnica mostrou que a terra na região poderia valer 50,70% mais que os valores levantados pela FGV (2009). Dessa forma, as expectativas são boas e elevam significativamente o valor das propriedades.

Caso a opção não seja exercida, o proprietário poderia comercializar suas terras a um valor de R\$ 16.502,57/ha, que é o valor presente oriundo das características produtivas. Assim, os ganhos do proprietário seriam maiores caso exercesse a opção ($R\$ 17.121,22 > R\$ 16.502,57$) e continuasse com a terra, pois as expectativas quanto à valorização da propriedade são significativas.

Vale lembrar que o preço da terra de R\$ 11.361,44/ha é uma média estadual, desconsiderando as especificidades regionais quanto à produtividade, qualidade de solos, localização, etc. Comparando a produtividade média verificada no painel para soja, milho e trigo e médias estaduais, notam-se produtividades 17,26%, 77,19% e 13,15% superiores, respectivamente, à estadual. Isso poderia auxiliar na explicação do valor da propriedade obtido pela opção real.

Quando comparado aos valores declarados pelos produtores presentes no painel, o valor de R\$ 17.121,22/ha fica bem acima dos R\$ 14.000,00/ha declarados pelos proprietários da região de Cascavel/PR. Observa-se que a Teoria explica totalmente o valor da terra da região e apresenta um valor para a incerteza. Se o proprietário postergar a venda em um período, a terra poderia atingir um Valor Presente Líquido expandido de R\$ 25.313,58/ha ($R\$ 20.811,55 - 11.361,44 + R\$ 15.863,47$). Na situação de redução da esperança do Valor Presente para R\$ 13.085,75/ha, a

propriedade apresentará um valor presente da opção de R\$ 8.337,59/ha e a terra poderia valer R\$ 10.061,90/ha ($R\$ 13.085,75 - 11.361,44 + R\$ 8.337,59$).

Desta forma, o hectare de terra nessa região pode estar subvalorizado, pois o Valor presente expandido mostra que essa propriedade pode valer mais do que o valor declarado pelos produtores no painel.

Esse resultado seria explicado pelas características intrínsecas dos proprietários da região, pois os mesmos veriam as propriedades como empresas rurais e porque pode existir especulação quanto aos preços das terras.

Portanto, diante dos valores observados das propriedades padrão da região de Carazinho/RS e Cascavel/PR pode-se concluir que a Teoria das Opções Reais auxilia no mapeamento das incertezas quanto ao valor presente das propriedades analisadas e explica grande parte das diferenças observadas entre o valor presente e o valor da terra indicado pelos produtores presentes nos painéis.

Além disso, verificou-se que os preços das terras nas duas regiões, analisados por meio de sua rentabilidade produtiva, podem ser influenciados por outros fatores não contidos no modelo e outras análises devem ser realizadas para mapear a importância que deve ser dada a cada variável explicativa do comportamento do valor da terra.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A valorização das propriedades rurais tem sido discutida em várias frentes de estudo que tentam identificar o comportamento do preço das terras e, concomitantemente, tentam explicar a valorização identificada em algumas regiões do Brasil.

Uma das técnicas adotadas para avaliar o preço das terras está relacionada ao Valor Presente Líquido (VPL) das propriedades. Entretanto, várias são as críticas em relação a essa técnica. Alternativamente, a Teoria das Opções Reais vem ganhando força na precificação de ativos e, com isso, foi utilizada para obter explicações do comportamento do preço de mercado das terras rurais na região Sul, especificamente, nas regiões de Carazinho/RS e Cascavel/PR.

Diante da realidade produtiva das duas regiões, identificou-se que o Valor Presente da propriedade localizada na região de Carazinho/RS foi R\$ 13.081,66/ha e a fazenda padrão de Cascavel/PR apresentou um VP de R\$ 16.502,57/ha.

A ilustração para o caso de Carazinho mostra que o valor presente da opção de compra, que mapeia a incerteza, pode valer R\$ R\$ 10.242,74/ha e, com isso, o proprietário não deveria vender sua propriedade, pois o valor das incertezas é significativo para os próximos anos. Além disso, o valor encontrado para a terra na região (15.993,21/ha) através da Teoria das Opções Reais mostra indícios de que, levando em consideração a realidade produtiva, há uma diferença entre o valor declarado, o valor captado junto à FGV (2009) e o valor oriundo do modelo de opções reais para as terras nessa região. Isso pode ocorrer devido a fatores que não são considerados na modelagem da teoria, como uma possível especulação imobiliária, além da questão relacionadas ao fato do preço da FGV (2009) ser uma média estadual e, com isso, deixar de captar as especificidades regionais. Por outro lado, as declarações dos produtores quanto ao preço da terra podem se tratar de uma proposta para uma eventual venda sujeita às negociações entre as partes envolvidas na transação.

Já para a região de Cascavel/PR, observou-se que o valor presente da opção de compra para a realidade produtiva foi de R\$ 11.980,09/ha e o valor declarado pelos

produtores, segundo o painel, era de R\$ 14.000,00/ha. Além disso, na região, segundo o modelo de opções reais, a terra poderia ser comercializada por 17.121,22/ha, visto que ela possui grandes possibilidades, oriundas da incerteza, de elevar seu valor presente e, com isso, atingir valores maiores dos atuais.

Assim, nota-se que para os produtores dessa região a Teoria das Opções Reais auxilia na explicação do valor da terra.

Portanto, verifica-se que a Análise das Opções Reais pode ser utilizada para identificar o valor da terra levando em consideração todas as incertezas e flexibilidades existentes na evolução das propriedades rurais brasileiras.

Além disso, os executivos estão conhecendo agora a nova técnica de avaliação de investimentos e, da mesma forma que aconteceu com a técnica do VPL, levará algum tempo para os gestores aceitarem que o modelo apresenta melhores resultados do que as análises tradicionais.

REFERÊNCIAS

- AGROANALYSIS. **AGROANALYSIS retrospecto 1977**. Rio de Janeiro: Europa, 1977, p. 8-12.
- ALVAREZ, L. H. R.; STENBACKA, R. Adoption of uncertain multi-stage technology projects: a real options approach. **Journal of Mathematical Economics**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 71-97, Feb. 2001.
- ALVES, F. O.; SOUZA, A. S. de. Aplicação de opções reais em um estudo de caso sobre terceirização. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 26., Fortaleza, 2006. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP2006_TR510344_6864.pdf>. Acesso em: 20 maio 2010.
- AMRAM, M., KULATILAKA, N. Strategy and shareholder value creation: the real options frontier, Bank of America. **Journal of Applied Corporate Finance**, Oxford, v. 13, n. 2, p. 8-21, 2000.
- ANTONIK, L. R.; ASSUNÇÃO, M. S. **Análise de investimentos pelo método de opções reais**. Disponível em: <http://www.unifae.br/publicacoes/se2_artigos.asp/>. 2005. Acesso em: 01 out.2008.
- ASSAF NETO, A. **Finanças corporativas e valor**. 2. ed. São Paulo: Atlas. 2005. 656 p.
- ASSAF NETO, A.; GUAISTI LIMA, F.; PROCOPIO DE ARAUJO, A. M. Uma proposta metodológica para o cálculo do custo de capital no Brasil. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 72-83, jan. / fev. / mar. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB 502: **Avaliações de imóveis urbanos**. Rio de Janeiro, 1989.
- BACHA, C. J. C. A determinação do preço de venda e de aluguel da terra na agricultura. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 443-456, 1989.
- BAIDYA, T. K. N.; CASTRO, A L. Convergência dos modelos de árvores binomiais para avaliação de opções. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 17-30, jun. 2001.
- BARROS, G. S. A. C. **O quebra-cabeça do preço da terra no Brasil**. Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br>>. Acesso em: 26 jul. 2008.
- BARROS, G.S.A.C. **Economia da comercialização**. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/imprensa/?id_page=347>. 2007. Acesso em: 10 jan. 2010.

BLACK F.; SCHOLES, M. The pricing of options and corporate liabilities. **Journal of Political Economy**, Chicago, v. 81, p. 637-59, 1973.

BRACH, M. A. **Real option**: in practice. New Jersey: Johan Wiley & Sons. 2002. 370 p.

BRANDÃO, A. S. P. **O preço da terra no Brasil**: verificação de algumas hipóteses. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 1986. 86 p.

BRANDÃO, L. E. T. Qual o momento certo de investir na empresa? **Revista Conjuntura Econômica**, Rio de Janeiro, v. 55, n. 2, p. 40-41, fev. 2001.

BREALEY, R.; MYERS, S. C. **Princípios de finanças empresariais**. 3 ed. Portugal: McGraw-Hill, 1992. 924 p.

BRENNAN, M.; SCHWARTZ, E. Evaluating natural resource investments. **Journal of Business**, Chicago, v. 58, n. 2, p. 135-157, 1985.

BROBOUSKI, W. J. P. **Teoria das opções reais aplicada a um contrato de parceria florestal com preço mínimo**. 2004. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciências - Programação Matemática) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

BUSBY, J.; PITTS, C. Real options in practice: an exploratory survey of how decision makers in industry think about flexibility. **Management accounting research**, Oxford, v. 8, n. 2, p. 169-186, June. 1997.

CAMARGO, A. M. M. P. de; CAMARGO, F. P. de; SIQUEIRA, A. C. N.; CAMARGO FILHO, W. P. de; FRANCISCO, V. L. F. dos S. Valorização da terra agrícola conforme o uso regional do solo no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 28-40, jan. 2004.

CARVALHO, F. **As reais opções**: a nova fronteira dos modelos de decisões financeiras e empresariais. 2003. Disponível em: <http://www.endeavor.org.br/wp-content/themes/endeavor/downloads/artigos/Opcoes_nbsp_Reais.pdf>. Acesso em: 23 maio 2009.

CASTRO, A. de L. **Avaliação de investimento de capital em projetos de geração termelétrica no setor elétrico brasileiro usando teoria das opções reais**. 2000. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial: Finanças e Análise de Investimentos) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Indicador soja CEPEA/ESALQ**. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/soja/>>. Acesso em: 10 nov. 2009.

CHRYST, W. E. Land uses and agricultural income: a paradox. **Journal of Farm Economics**, Cornell, v. 47, n. 5, p. 1265-1277, Dec. 1965.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custos de produção**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=545&t=2>> Acesso em: 25 fev. 2009.

COPELAND, T.; ANTIKARO, V. **Opções reais**: um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos. Campus: Rio de Janeiro, 2001. 320 p.

COPELAND, T.; KOLLER, T.; MURRIN, J. **Avaliação de empresas "valuation"**: calculando e gerenciando o valor das empresas. São Paulo: Makron, 2000. 521 p.

COUTO, G. M. M. do. **Opções reais e decisões sob incerteza no processo de realocalização**. 2006. 203 p. Tese (Doutorado em Gestão) - Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006.

COX, J. C.; ROSS, S. A.; RUBINSTEIN, M. Option pricing: a simplified approach. **Journal of Financial Economics**, Oxford, v. 7, n. 3, p. 229-263, Sept. 1979.

DESLANDES, C. A. **Avaliação de imóveis rurais**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002. 284 p.

DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. **Investment under uncertainty**. New Jersey: Princeton University Press, 1994. 476 p.

DOLL, J. P.; WIDDOWS, R.; VELDE, P. D. The value of agriculture land in the United States: a report on research. **Agricultural Economics Research**, Chicago, v. 35, n. 2, p. 39-44, Apr. 1983.

DORASZELSKI, U. The net present value method versus the option value of waiting: a note on Farzin, Huisman and Kort. **Journal of Economics Dynamics and Control**, Amsterdam, v. 25, n. 8, p. 1109-1115, Aug. 2001.

DUQUE, J. L.; CRESPO, N. F.; MATOS, P. V.; DIOGO, T. A. **Avaliação financeira das alternativas de localização para o novo aeroporto de Lisboa**. Relatório de pesquisa, 2007. Disponível em: <<http://www.povt.qren.pt/tempfiles/20080114195918moptc.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2009.

EGLER, C. A. Preço da terra, taxa de juro e acumulação financeira no Brasil. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 112-135, jan. / mar. 1985.

ELAD, R. L.; CLIFTON, I. D.; EPPERSON, J. E. Hedonic estimation applied to the farmland market in Georgia. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, Washington, v. 26, n. 2, p. 351-66, Dec. 1994.

FARZIN, Y. H.; HUISMAN, K. J. M.; KORT, P. M. Optimal timing of technology adoption. **Journal of Economic Dynamics and Control**, Amsterdam, v. 22, n. 5, p. 779-799, May. 1998.

FERREIRA, C. R. R. P. T.; CAMARGO, A. M. M. P. de. Arrendamento da terra agrícola no Brasil, 1966 - 1986. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 1-16, out. 1989.

FERREIRA, J. C. G. **Abordagem sobre o uso das opções reais na análise de projetos de investimentos**. 2003. 168 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

FIKER, J. **Avaliação de imóveis urbanos**. 5.ed. São Paulo: PINI, 1997. 104p.

FNP CONSULTORIA E INFORMAÇÕES EM AGRONEGOCIOS. Relatório de análise de mercado terras. In: **Agrianual 2008**: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: Agra FNP Pesquisas., 2008. p. 53-118.

FORSTER, G. Modelo de precificação de ativos - CAPM: um estudo sobre a apuração do custo de oportunidade do capital próprio. **Revista TECAP**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 3, p. 72-78, 2009.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Estatísticas do preço da terra**. Disponível em: <<http://www.fgvdados.fgv.br>>. Acesso em: 07 out. 2009.

GESBANHA. **Avaliação de empresas**: o estado da arte no sector imobiliário. Disponível em: <http://www.gesbanha.pt/realst/rs_art.htm>. Acesso em: 10 fev. 2008.

GITMAN, L. J. **Princípios da administração financeira**. 7.ed. São Paulo: Harbra, 1997. 841 p.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 10ª ed. São Paulo: Makron Books, 2004. 776 p.

GONÇALVES, C. **Gestão de investimentos em projetos de construção civil considerando opções reais**: um estudo de caso. 2008. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2008.

GRENADIER, S. R.; WEISS, A. M. Investment in technological innovations: an option pricing approach. **Journal of Financial Economics**, Oxford, v. 44, n. 3, p. 397-416, June. 1997.

GRIPP JR, J.; MARQUES, E. T.; GONÇALVES, R. P.; ANDRADE, R. J. O. Avaliação de imóveis rurais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 7., 2006, Florianópolis. **Anais eletrônicos**... Florianópolis: UFSC, 2006. Disponível em: <http://www.ufv.br/dec/eam/Publicacoes/2006/171_2006.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2009.

HOWELL, S.; JAGLE, A. Laboratory evidence on how managers intuitively value real growth options. **Journal of Business Finance & Accounting**, Oxford, v. 24, n. 7/8, p. 915-935, Sept. 1997.

HUISMAN, K. J. M.; KORT, P. M. **Strategic technology adoption taking into account future technological improvements**: a real options approach. Center for Economic Research. Discussion Paper n. 2000-52, May. 2000.

HULL, J. **Options, futures and other derivative securities**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1999. 698 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br> Acesso em: 10 out. 2008.

INSTITUTO DE ECONOMIA APLICADA. **Defensivos agrícolas**. Disponível em: <<http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/defensivos.aspx>> Acesso em: 20 maio. 2009.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Estatísticas macroeconômicas**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 25 set. 2010.

IŞGIN, T.; FORSTER, D. L. Using real options theory to analyze the impacts of urban development on farm real estate markets. **Turkish Journal Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 29, n. 5, p. 409-417, 2005.

JOHNSON, D.G.; The nature of the supply function for agricultural products. **American Economic Review**, Pittsburgh, v. 40, n. 4, p. 539-64, 1950.

KALLBERG, G., LAURIN, P. **Real options in R&D capital budgeting**: a case study at Pharmacia & Upjohn, 1997, 198 p. Thesis (Master) - Departament of Economics, Gothenburg School of Economics and Commercial Law, Gothenburg, 1997.

KEMMA, A. G. Z. Case studies on real options. **Financial Management**, Florida, v. 22, n. 3, p. 259-270, 1993.

KLAMMER, T. Empirical evidence on the adoption of sophisticated capital budgeting techniques. **Journal of Business**, Chicago, v. 45, n. 3, p. 387-397, July. 1972.

LACHOV, G. Uncertainties surrounding investments in agricultural land in Bulgaria and solution using a real options approach. **Trakia Journal of Sciences**, Trakia, v. 3, n. 7, p. 44-48, 2005.

LOPES, E. P. **Opções reais**: a nova análise de investimento. 2.ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2001. 128 p.

LUEHRMAN, T. A. Investment opportunities as real options: getting started on the numbers, **Harvard Business Review**, Boston, v. 76, n. 4, p. 51-67, July/Aug. 1998.

LUSTOSA, P. R. B.; PONTE, V. M. R.; DOMINAS, W. R. Simulação. In: CORRAR, L. J.; THEOPHILO, C. R. (Coord.). **Pesquisa Operacional para decisão em contabilidade e administração**: Contabilometria. São Paulo: Atlas, 2004. p. 242-284.

MARQUES, P. V.; MELLO, P. C.; MARTINES FILHO, J. G. **Mercados futuros agropecuários**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 223 p.

MARTINS, E. **Avaliação de empresas da mensuração contábil à econômica**. São Paulo: Atlas, 2001, 416p.

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

MCDONALD, R.; SIEGEL, D. The value of waiting to invest. **The Quarterly Journal of Economics**, Cambridge, v. 101, n. 4, p. 707-727, 1986.

MEIER, H.; CHRISTOFIDES, N.; SALKIN, G. Capital budgeting under uncertainty: an integrated approach using contingent claims analysis and integer programming. **Operations Research**, Cambridge, v. 49, n. 2, p. 196-206, Mar. 2001.

MINARDI, A. M. A. F. **Teoria de opções aplicada a projetos de investimentos**. São Paulo: Atlas, 2004, 136 p.

MONTEIRO, R. C. **Contribuições da abordagem de avaliação de opções reais em ambientes econômicos de grande volatilidade: uma ênfase no cenário latino-americano**. 2003. 200 p. Dissertação (Mestrado em Controladoria e Contabilidade) - Departamento de Contabilidade e Atuária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

MOREIRA, L.A. **Princípios de engenharia de avaliações**. São Paulo: Pini, 1994. 378 p.

MURCIA, F. D. R.; BORBA, J. A. Um estudo empírico sobre os efeitos dos *sunk costs* no processo decisório dos indivíduos: evidências dos estudantes de graduação de uma universidade federal. **UnB Contábil**. Brasília, v. 9, n. 2, jul. / dez. 2006.

NOGUEIRA, C. R.; SATO, M. K.; MARTÍN, D. M. L.; BASSO, L. F. C.; KIMURA, H. A. Decisão ótima de abandono do investimento em uma lavoura de café, na região de Franca, considerando os impactos do ciclo produtivo. **Facef Pesquisa**, Franca, v. 9, n. 3, p. 315-332, 2006,

OLIVEIRA, J.T; COSTA, I.D.N da. Evolução recente do preço de terra no Brasil - 1966 - 74. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 15, n. 3, p. 259-276, 1977.

OLIVEIRA, P. H. D.; BARROS, N. R.; REIS, S. G. dos. Aplicabilidade do método de simulação de Monte Carlo na previsão dos custos de produção de companhias industriais: o caso companhia Vale do Rio Doce. In: CONGRESSO USP DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM CONTABILIDADE, 4.; 2007, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: USP, 2007. Disponível em: <<http://www.congressousp.fipecafi.org/artigos72007/537.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2010.

OOI, J. T. L.; SIRMANS, C. F.; TURNBULL, G. K. **The option value of vacant land.** Georgia State University: Working Paper n. 06-05, mar. 2006. Disponível em: <http://aysps.gsu.edu/urag/workingpapers/2006/URAG_Wp_06-05.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2009.

PADDOCK, J. L.; SIEGEL, D. R.; SMITH, J. L. Option valuation of claims on real assets: the case of Offshore Petroleum leases. **The Quarterly Journal of Economics**, Cambridge, v. 103, n. 3, p. 479-508, 1988.

PADILHA, E. R. **A avaliação da implantação de unidades de redes varejistas: um estudo de opções reais.** 2003. 155 p. Dissertação (Mestrado em Administração) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

PANAYI, S.; TRIGEORGIS, L. Multi-stage real options: the cases of information technology infrastructure and international bank expansion. **The Quarterly Review of Economics and Finance**, Champaign, v. 38, n. 3, p. 675-692, 1998.

PEDERSON, G. D.; KHITARISHVILI, T. Analysis of land prices under uncertainty: a real option valuation approach. In: CANAVARI, M.; CAGGIATI, P.; EASTER, K. W. (Ed) **Economic studies on Food, Agriculture and the Environmental**, 2002. 396 p.

PEREIRA, L. M.; SECURATO, J. R. Avaliação de empresas pelo modelo de apreçamento de opções com o uso de volatilidade implícita setorial de ativos: um estudo empírico. **Caderno de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v. 11, n. 3, p. 41-56, 2004.

PERLITZ, M., PESKE, T., SCHRANK, R. Real option valuation: the new frontier in R&D project evaluation? **R&D Management**, Manchester, v. 29, n. 3, p. 255-269, 1999.

PINHEIRO, F. A. **A renda e o preço da terra:** uma contribuição à análise da questão agrária brasileira. 1980. 277 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1980.

PINHEIRO, F.A.; REYDON, B.P. O preço da terra e a questão agrária: algumas evidências empíricas relevantes. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 19, n. 1, jan. / mar. 1981.

PLANTINGA, A. J. The optimal timber rotation: an option value approach. **Forest Science**, Washington, v. 44, n. 2, p. 192-202, 1998.

PLATA, L. E. A. **Mercados de terras no Brasil: gênese, determinação de seus preços e políticas**. 2001. 215 p. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas) - Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

PLATA, L. E. A.; SPAROVEK, G. Metodologia para determinar e prever o preço da terra em mercados específicos: o caso de uma Zona Homogênea do Maranhão. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 43., 2005, Ribeirão Preto. **Anais eletrônicos...** Ribeirão Preto: FEA/USP, 2005. Disponível em: <http://www.sober.org.br/conteudo.php?item_menu_id=6&mostra_congresso_realizado=1&id_realizado=2>. Acesso em: 27 out. 2010.

QUIGG, L. Empirical testing of real option-pricing models. **The Journal of Finance**, Pittsburgh, v. 48, n. 2, p. 621-640, 1993.

RANGEL, I. **Questão agrária, industrialização e crise urbana no Brasil**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 266 p.

REINSEL, R. D.; REINSEL, E. I. The economics of asset values and current income in farming. **American Journal of Agricultural Economics**, Urbana, v. 61, n. 5, p. 1093-1097, Dec. 1979.

REYDON, B.; PLATA, L. A ampliação do acesso à terra e o Imposto Territorial Rural. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 22., 1994, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: Anpec, 1994. p. 124-136.

REYDON, B. P. **O mercado de terras agrícolas e determinantes de seus preços no Brasil: um estudo de casos**. 322 p. Tese (Doutorado em Economia) Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1992.

RIBEIRO, F. S. de M. **Avaliação de projetos de incorporação imobiliária sob incerteza: uma abordagem por opção real**. 2004. 100 p. Dissertação (Mestrado em Administração) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

RIGOLON, F. J. Z. **Opções reais e análise de projetos**. Rio de Janeiro: BNDES, 1999. 31 p. (Texto para Discussão n. 66).

SANTOS, E M.; PAMPLONA, E. O. Teoria das opções reais: aplicação em pesquisa e desenvolvimento (P&D). In: ENCONTRO BRASILEIRO DE FINANÇAS, 2., 2002, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: Ibmec, 2002. Disponível em: <<http://www.puc-rio.br/marco.ind/pdf/artelieber2oebf02.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2010.

SANTOS, E. M. ; PAMPLONA, E. O. Opções reais: um caso prático em pesquisa e desenvolvimento. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., 2003, Ouro Preto. **Anais eletrônicos...** Ouro Preto: Enegep, 2003. Disponível em: <<http://www.iepg.unifei.edu.br/edson/download/ArtelieberEnegep2003.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2010.

SAPHORES, J. D. M. Real options and the economic threshold for pesticide use. **American Journal of Agricultural Economics**, Urbana, v. 82, n. 3, p. 541-555, Aug. 2000.

SAYAD, J. Especulação em terras rurais, efeitos sobre a produção agrícola e o novo ITR. **Pesquisa e Planejamento Econômico**. Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 87-108, abr. 1982.

SAYAD, J. Preço da terra e mercados financeiros. **Pesquisa e planejamento econômico**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 3, p. 623-662, dez. 1977.

SUNDEM, G; SCHALL, L; GEIJSBEEK, W. Survey and analysis of capital budgeting references. **Journal of finance**, Berkeley, v. 33, n. 1, p. 281-297, Mar. 1978.

SCOFIELD, W. Prevailing land market forces. **Journal of Farm Economics**, Cornell, v. 39, n. 5, p. 1500-1510, Dec. 1957.

SMIT, H.; ANKUM, L. A real options and game-theoretic approach to corporate investment strategy under competition. **Financial Management**, Florida, v. 22, n. 3, p. 241-250, Dec. 1993.

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

TOURINHO, O. A. F. **The option value of reserves of natural resources**. Research Program in Finance. Working Papers n. 94, University of California at Berkeley, 1979.

TRIGEORGIS, L. The nature of options interactions and the valuation of investments with multiple real options, **Journal of Financial and Quantitative Analysis**, Cambridge, v. 28, n. 1, p. 1-21, Mar. 1993.

TRIGEORGIS, L. **Real options**: managerial flexibility and strategy in resource allocation, Cambridge: The MIT Press, 1996. 427 p.

TRIGEORGIS, L. **Real options in capital investment**: models, strategies and applications. Westport: Praeger, 1995. 361 p.

TRIGEORGIS, L. **Real options**: managerial flexibility and strategy in resource allocation. 6.ed. Cambridge: The MIT Press, 2002. 427 p.

TURVEY, C. **Can hysteresis and real options explain the farmland valuation puzzle?** Working paper 02/11. Department of Agricultural Economics and Business. University of Guelph, Ontario, 2002. Disponível em: <<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/34131/1/wp0211.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2008.

TZOURAMANI, I.; MATTAS, K. Employing real options methodology in agricultural investments: the case of greenhouse construction. **Applied Economics Letters**, London, v. 11, n. 6, p. 355-359, 2004.

VONNEGUT, A. Real option theories and investment in emerging economies, **Emerging Markets Review**, Chicago, v. 1, n. 1, p. 82-100, 2000.

YOSHIMURA, E. K. Valor da flexibilidade nas avaliações de empreendimentos da construção civil: uma abordagem de opção reais. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE VALUACION, 23., 2007, Salvador, **Anais eletrônicos**... Salvador: IBAPE, 2007. Disponível em: <<http://www.upav.org/pags/eventos/cobreap/art32.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2010.

ZOU, T; PEDERSON, G. **Using real options to evaluate investments in ethanol facilities**. Staff Paper Series P08-6, Department of Applied Economics, University of Minnesota, July. 2008.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Programação do software MATLAB® (Matrix Laboratory) utilizada na obtenção resultados.

```
function oneopt(Input1)
% ONEOPT Binomial Tree and Black-Scholes demonstration for equity options
% Constructs and views Cox-Ross-Rubinstein binomial trees, and views the
% price and hedge parameters of a single American or European option.
%
% oneopt(0) : invoke binomial tree construction
% oneopt(1) : invoke price and hedge parameter viewing
%
$
% Calls: oneoptfn, oneopth
% Called by:

if nargin < 1
    Input1 = 0;
end

% [.4 .5 .7]
%load colormap1
% 'Colormap',mat0, ...
% 'PointerShapeCData',mat1, ...
a = figure('Units','normalized', ...
    'Color',[.8 .8 .8], ...
    'Interruptible','off', ...
    'MenuBar','none', ...
    'Name','Option Valuation (Black-Scholes Formula)', ...
    'NumberTitle','off', ...
    'Position',[0.3 0.3 0.4 0.62], ...
    'ResizeFcn',[ 'oneoptfn(''Resize'');', ...
        'if get(findobj(gcf,''Tag''),'RadioTree'),'Value') == 1 ;', ...
        'oneoptfn(''ReDrawTree'');', ...
        'end;'], ...
    'Visible','off', ...
    'Tag','Black/Scholes Diagram');

b = axes('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'Position',[43.2 122.8 298.8 158], ...
    'Tag','Axes1', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Visible','off');

set(a,'Units','Points');
FigSize = get(a,'position');
FigWidth = FigSize(3);
FigHeight = FigSize(4);
SliderWidth = 9; % Points

h_slider_horizontal = uicontrol(...
    'Style','slider', ...
    'units','points', ...
    'Position',[SliderWidth 0 FigWidth-2*SliderWidth SliderWidth], ...
    'Callback','oneoptfn(''ReDrawTree'');', ...
    'Userdata', [], ...
    'Tag','SliderHorizontal');

h_slider_vertical = uicontrol(...
    'Style','slider', ...
    'units','points', ...
    'Position',[FigWidth-SliderWidth SliderWidth SliderWidth FigHeight-SliderWidth], ...
    'Callback','oneoptfn(''ReDrawTree'');', ...
    'Userdata', [], ...
    'Tag','SliderVertical');
```

```

% Tree independent variable 1
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'ForegroundColor','b', ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'CreateFcn','', ...
    'Position',[0 FigHeight-20 47 15], ...
    'String',str2mat('Symbols','Asset Price','Option Value'), ...
    'Style','popupmenu', ...
    'Tag','PopupTree1', ...
    'Value',1, ...
    'Visible','on');

% Tree independent variable 2
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'ForegroundColor','r', ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'CreateFcn','', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[0 FigHeight-25 47 15], ...
    'String',str2mat('Symbols','Asset Price','Option Value'), ...
    'Style','popupmenu', ...
    'Tag','PopupTree2', ...
    'Value',2, ...
    'Visible','on');

% Tree text u,d,p
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'ForegroundColor','k', ...
    'HorizontalAlignment','left', ...
    'Position',[0 FigHeight-45 70 15], ...
    'String','', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','TextTree');

% Frame
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[6.5 1.5 155+32 81.75+22+1], ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','Frame1');

% Text strings
height = 15.75;
offset = 4.5;
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'HorizontalAlignment','right', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[10 offset+5*height 100 12.75], ...
    'String','Current Asset Price', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','TextAssetPrice');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'HorizontalAlignment','right', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[10 offset+4*height 100 12.75], ...
    'String','Annualized Payout Return', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','TextAssetReturn');
b = uicontrol('Parent',a, ...

```

```

    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'HorizontalAlignment','right', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[10 offset+3*height 100 12.75], ...
    'String','Annualized Riskless Return', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','TextRisklessReturn');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'HorizontalAlignment','right', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[10 offset+2*height 100 12.75], ...
    'String','Years-to-Expiration', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','TextExpiration');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'HorizontalAlignment','right', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[10 offset+height 100 12.75], ...
    'String','Annualized Volatility', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','TextVolatility');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'HorizontalAlignment','right', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[10 offset 100 12.75], ...
    'String','Strike Price', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','TextStrikePrice');

% Header strings for edit text
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'HorizontalAlignment','center', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[113 offset+6*height-5 45 11], ...
    'String','Value', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','TextCommonInputs');

% Edit texts
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'CreateFcn','set(findobj(gcf,'Tag','EditTextAssetPrice'),'string','100');', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[113 offset+5*height 45 12.75], ...
    'String','100', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditTextAssetPrice');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'CreateFcn','set(findobj(gcf,'Tag','EditTextAssetReturn'),'string','1.00');', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[113 offset+4*height 45 12.75], ...
    'String','1.00', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditTextAssetReturn');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...

```

```

    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'CreateFcn','set(findobj(gcf,'Tag','EditTextRisklessReturn'),'string','1.15');', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[113 offset+3*height 45 12.75], ...
    'String','1.15', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditTextRisklessReturn');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'CreateFcn','set(findobj(gcf,'Tag','EditTextExpiration'),'string','1.00');', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[113 offset+2*height 45 12.75], ...
    'String','1.00', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditTextExpiration');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'CreateFcn','set(findobj(gcf,'Tag','EditTextVolatility'),'string','.30');', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[113 offset+1*height 45 12.75], ...
    'String','.30', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditTextVolatility');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'CreateFcn','set(findobj(gcf,'Tag','EditTextStrikePrice'),'string','100');', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[113 offset+0*height 45 12.75], ...
    'String','100', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditTextStrikePrice');

% Header strings for +-
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'HorizontalAlignment','center', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[160 offset+6*height-5 30 11], ...
    'String','Range', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','TextRange');

% +- Input edit texts
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'CreateFcn','set(findobj(gcf,'Tag','EditTextAssetPriceRange'),'string','10%');', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[160 offset+5*height 30 12.75], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditTextAssetPriceRange');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'CreateFcn','set(findobj(gcf,'Tag','EditTextAssetReturnRange'),'string','10%');', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[160 offset+4*height 30 12.75], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditTextAssetReturnRange');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...

```

```

        'BackgroundColor',[1 1 1], ...
        'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
        'CreateFcn','set(findobj(gcf,'Tag','EditTextRisklessReturnRange'),'string','10%');',
    ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[160 offset+3*height 30 12.75], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditTextRisklessReturnRange');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'CreateFcn','set(findobj(gcf,'Tag','EditTextExpirationRange'),'string','10%');', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[160 offset+2*height 30 12.75], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditTextExpirationRange');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'CreateFcn','set(findobj(gcf,'Tag','EditTextVolatilityRange'),'string','10%');', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[160 offset+1*height 30 12.75], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditTextVolatilityRange');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'CreateFcn','set(findobj(gcf,'Tag','EditTextStrikePriceRange'),'string','10%');', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[160 offset+0*height 30 12.75], ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditTextStrikePriceRange');

% Hedging diagram
xoffset = 16;
% Dependent Variable
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'CreateFcn','', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[30-xoffset 111 75 15], ...
    'String',str2mat('Value','Delta','Gamma','Theta','Vega','Rho','Omega'), ...
    'Style','popupmenu', ...
    'Tag','PopupVar3', ...
    'Value',1, ...
    'Visible','on');
% Independent variable 1
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'CreateFcn','', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[138-xoffset 111 75 15], ...
    'String',str2mat('Asset Price','Payout Return','Riskless Return','Years-to-
Expiration','Volatility','Strike Price'), ...
    'Style','popupmenu', ...
    'Tag','PopupVar1', ...
    'Value',1, ...
    'Visible','on');
% Independent variable 2
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...

```

```

    'CreateFcn','', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[223-xoffset 111 75 15], ...
    'String',str2mat('Asset Price','Payout Return','Riskless Return','Years-to-
Expiration','Volatility','Strike Price','None'), ...
    'Style','popupmenu', ...
    'Tag','PopupVar2', ...
    'Value',7, ...
    'Visible','on');
% Hedging text
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .8], ...
    'FontSize',8, ...
    'FontUnits','pixels', ...
    'HorizontalAlignment','center', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[110-xoffset 111 25 17], ...
    'String','= f (', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','HedgingText1', ...
    'Visible','on');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'FontSize',8, ...
    'FontUnits','pixels', ...
    'HorizontalAlignment','center', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[216-xoffset 111 5 18], ...
    'String','', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','HedgingText2', ...
    'Visible','on');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'FontSize',8, ...
    'FontUnits','pixels', ...
    'HorizontalAlignment','center', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[305-xoffset 111 3 17], ...
    'String',')', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','HedgingText3', ...
    'Visible','on');

% Option type radio buttons
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .8], ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[199-1 59-1 30+2 47+1], ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','FramePutCall');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .8], ...
    'Callback', ['set(findobj(gcf,'Tag','RadioCall'),'Value',1);', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioPut'),'Value',0);', ...
        'oneoptfn('PlotPortfolio')'];', ...
    'Units','points', ...
    'Position',[199 70 30 15], ...
    'String','Call', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Value',1, ...
    'Tag','RadioCall');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .8], ...
    'Callback', ['set(findobj(gcf,'Tag','RadioCall'),'Value',0);', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioPut'),'Value',1);', ...

```

```

        'oneoptfn('PlotPortfolio');'], ...
        'Units','points', ...
        'Position',[199 59 30 15], ...
        'String','Put', ...
        'Style','radiobutton', ...
        'Value',0, ...
        'Tag','RadioPut');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .8], ...
    'HorizontalAlignment','center', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[199 84 30 20], ...
    'String',str2mat('Option','Type'), ...
    'Style','text', ...
    'Tag','TextCallPut');

% Evaluation radio buttons
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .8], ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[235-1 59-1 63+2 47+1], ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','FrameMethod');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .8], ...
    'Callback', ['set(findobj(gcf,'Tag','RadioBLS'),'Value',1);', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioBIN'),'Value',0);', ...
        'set(gcf,'Name','Option Valuation (Black-Scholes Formula)');', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioGraph'),'Value',1);', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioGraph'),'Enable','off');', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioTree'),'Value',0);', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioTree'),'Enable','off');', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioEuro'),'Enable','off');', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioEuro'),'Value',1);', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioAmerican'),'Enable','off');', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioAmerican'),'Value',0);', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','TextTreeSize'),'Enable','off');', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','EditTextTreeSize'),'Enable','off');', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','TextTreeText'),'Enable','off');', ...
        'oneoptfn('Setup Graph');', ...
        'oneoptfn('PlotPortfolio');'], ...
    'Units','points', ...
    'Position',[235 70 63 15], ...
    'String','Black-Scholes', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Value',1, ...
    'Tag','RadioBLS');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .8], ...
    'Callback', ['set(findobj(gcf,'Tag','RadioBLS'),'Value',0);', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioBIN'),'Value',1);', ...
        'set(gcf,'Name','Option Valuation (Binomial Tree)');', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioGraph'),'Enable','on');', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioTree'),'Enable','on');', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioEuro'),'Enable','on');', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','RadioAmerican'),'Enable','on');', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','TextTreeSize'),'Enable','on');', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','EditTextTreeSize'),'Enable','on');', ...
        'set(findobj(gcf,'Tag','TextTreeText'),'Enable','on');', ...
        'oneoptfn('PlotPortfolio');'], ...
    'Units','points', ...
    'Position',[235 59 63 15], ...
    'String','Binomial Tree', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Value',0, ...
    'Tag','RadioBIN');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .8], ...

```



```

    'HorizontalAlignment','center', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[235 85 63 19], ...
    'String',str2mat('Valuation',' Method'), ...
    'Style','text', ...
    'Tag','TextMethod');

% Display radio buttons
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .8], ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[199-1 1.5 101 54], ...
    'Style','frame', ...
    'Tag','FrameTree');

b = uicontrol('Parent',a, ...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .8], ...
    'Callback', ['set(findobj(gcf,'Tag','RadioGraph'),'Value',1);', ...
                 'set(findobj(gcf,'Tag','RadioTree'),'Value',0);', ...
                 'oneoptfn(''Setup Graph'');', ...
                 'oneoptfn(''PlotPortfolio'');'], ...
    'Enable','off', ...
    'Units','points', ...
    'Position',[199 20+11 38 15], ...
    'String','Graph', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Value',1, ...
    'Tag','RadioGraph');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .8], ...
    'Callback', ['set(findobj(gcf,'Tag','RadioGraph'),'Value',0);', ...
                 'set(findobj(gcf,'Tag','RadioTree'),'Value',1);', ...
                 'oneoptfn(''Setup Tree'');', ...
                 'oneoptfn(''PlotPortfolio'');'], ...
    'Enable','off', ...
    'Units','points', ...
    'Position',[199 20 38 15], ...
    'String','Tree', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Value',0, ...
    'Tag','RadioTree');

% Euro/American radio buttons
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .8], ...
    'Callback', ['set(findobj(gcf,'Tag','RadioEuro'),'Value',1);', ...
                 'set(findobj(gcf,'Tag','RadioAmerican'),'Value',0);', ...
                 'oneoptfn(''PlotPortfolio'');'], ...
    'Enable','off', ...
    'Units','points', ...
    'Position',[245 20+11 50 15], ...
    'String','European', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Value',1, ...
    'Tag','RadioEuro');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'BackgroundColor',[.8 .8 .8], ...
    'Callback', ['set(findobj(gcf,'Tag','RadioEuro'),'Value',0);', ...
                 'set(findobj(gcf,'Tag','RadioAmerican'),'Value',1);', ...
                 'oneoptfn(''PlotPortfolio'');'], ...
    'Enable','off', ...
    'Units','points', ...
    'Position',[245 20 50 15], ...
    'String','American', ...
    'Style','radiobutton', ...
    'Value',0, ...
    'Tag','RadioAmerican');
```

```

% Tree size
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'Enable','off', ...
    'HorizontalAlignment','center', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[199 44 99 10], ...
    'String','Binomial Inputs', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','TextTreeText');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[0.8 0.8 0.8], ...
    'Enable','off', ...
    'HorizontalAlignment','right', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[200 offset 40 12], ...
    'String','Tree Size', ...
    'Style','text', ...
    'Tag','TextTreeSize');
b = uicontrol('Parent',a, ...
    'Units','points', ...
    'BackgroundColor',[1 1 1], ...
    'Callback','oneoptfn('PlotPortfolio');', ...
    'Enable','off', ...
    'Interruptible','off', ...
    'Position',[200+45 offset 40 15], ...
    'String','5', ...
    'Style','edit', ...
    'Tag','EditTextTreeSize');

% File menu
b = uimenu('Parent',a, ...
    'Label','&File', ...
    'Tag','FileMenu');
c = uimenu('Parent',b, ...
    'Callback','print -dsetup', ...
    'Label','Print Setup', ...
    'Tag','FileMenu3');
c = uimenu('Parent',b, ...
    'Callback','printfn(gcf);', ...
    'Label','Print', ...
    'Tag','FileMenu4');
c = uimenu('Parent',b, ...
    'Callback',';', ...
    'Label','Open', ...
    'Separator','on', ...
    'Tag','FileOpen');
d = uimenu('Parent',c, ...
    'Callback','oneopt(1);', ...
    'Label','Black-Scholes Formula', ...
    'Separator','off', ...
    'Tag','FileLaunchBLS');
d = uimenu('Parent',c, ...
    'Callback','oneopt(0);', ...
    'Label','Binomial Trees', ...
    'Separator','off', ...
    'Tag','FileLaunchTree');
d = uimenu('Parent',c, ...
    'Callback','payoff;', ...
    'Label','Profit/Loss Diagram', ...
    'Separator','off', ...
    'Tag','FileLaunchPayoff');
d = uimenu('Parent',c, ...
    'Callback','payoff('Prob');', ...
    'Label','Probability Function', ...
    'Separator','off', ...
    'Tag','FileLaunchProb');
d = uimenu('Parent',c, ...

```

```

        'Callback','payoff('CDF');', ...
        'Label','Cumulative Distribution Function', ...
        'Separator','off', ...
        'Tag','FileLaunchCDF');
d = uimenu('Parent',c, ...
    'Callback','payoff('Hedging');', ...
    'Label','Hedging Diagram', ...
    'Separator','off', ...
    'Tag','FileLaunchHedging');
d = uimenu('Parent',c, ...
    'Callback','smile;', ...
    'Label','Implied Volatility Smiles', ...
    'Separator','off', ...
    'Tag','FileLaunchSmiles');
c = uimenu('Parent',b, ...
    'Callback','close(gcf);', ...
    'Label','Close', ...
    'Separator','on', ...
    'Tag','Closeoneopt');

% Axis menu
b = uimenu('Parent',a, ...
    'Label','&Axis', ...
    'Tag','MenuAxis');

CallbackAxisTool = [...
'if strcmp(lower(get(findobj(gcf,'Tag','MenuAxisTool'),'Checked')),'on')==1;', ...
'    set(findobj(gcf,'Tag','MenuAxisTool'),'Checked','off');', ...
'    close(get(findobj(gcf,'Tag','MenuAxisTool'),'Userdata'));', ...
'else;', ...
'    set(findobj(gcf,'Tag','MenuAxisTool'),'Checked','on');', ...
'    set(findobj(gcf,'Tag','MenuAxisTool'),'Userdata',axisgui(gca));', ...
'end;', ...
];

% Userdata contains the handle for the resize figure
c = uimenu('Parent',b, ...
    'Callback', CallbackAxisTool, ...
    'CreateFcn','set(findobj(gcf,'Tag','MenuAxisTool'),'Checked','off');', ...
    'DeleteFcn','if
strcmp(lower(get(findobj(gcf,'Tag','MenuAxisTool'),'Checked')),'on')==1;FigHandle=get(fi
ndobj(gcf,'Tag','MenuAxisTool'),'Userdata');close(FigHandle);end;', ...
    'Label','Axis Tool', ...
    'Userdata', [], ...
    'Tag','MenuAxisTool');

c = uimenu('Parent',b, ...
    'Callback','grid
on;set(findobj(gcf,'Tag','MenuGridOn'),'Checked','on');set(findobj(gcf,'Tag','MenuGr
idOff'),'Checked','off');', ...
    'CreateFcn','set(findobj(gcf,'Tag','MenuGridOn'),'Checked','off');', ...
    'Label','Grid On', ...
    'Separator','on', ...
    'Tag','MenuGridOn');
c = uimenu('Parent',b, ...
    'Callback','grid
off;set(findobj(gcf,'Tag','MenuGridOn'),'Checked','off');set(findobj(gcf,'Tag','Menu
GridOff'),'Checked','on');', ...
    'CreateFcn','grid off;set(findobj(gcf,'Tag','MenuGridOff'),'Checked','on');', ...
    'Label','Grid Off', ...
    'Tag','MenuGridOff');

b = uimenu('Parent',a, ...
    'Label','&Help', ...
    'Tag','HelpMenu');
c = uimenu('Parent',b, ...
    'CreateFcn','set(findobj(gcf,'Tag','HelpMenu1'),'Checked','off');', ...

```

```

        'Callback','if
strcmp(lower(get(findobj(gcf,'Tag','HelpMenu'),'Checked')),'off')==1;set(findobj(gcf,'
Tag','HelpMenu'),'Checked','on');set(findobj(gcf,'Tag','HelpMenu'),'UserData',one
opth);else;set(findobj(gcf,'Tag','HelpMenu'),'Checked','off');close(get(findobj(gcf,'
Tag','HelpMenu'),'UserData'));end', ...
        'Label','Help', ...
        'Tag','HelpMenu');

if Input1
set(findobj(a,'Tag','RadioGraph'),'Value',1);
set(findobj(a,'Tag','RadioTree'),'Value',0);
oneoptfn('Setup Graph');
oneoptfn('Initialize');
oneoptfn('PlotPortfolio');
else
set(findobj(a,'Tag','RadioGraph'),'Value',0);
set(findobj(a,'Tag','RadioTree'),'Value',1);

set(findobj(a,'Tag','RadioBLS'),'Value',0);
set(findobj(a,'Tag','RadioBIN'),'Value',1);
set(a,'Name','Option Valuation (Binomial Tree)');
set(findobj(a,'Tag','RadioGraph'),'Enable','on');
set(findobj(a,'Tag','RadioTree'),'Enable','on');
set(findobj(a,'Tag','RadioEuro'),'Enable','on');
set(findobj(a,'Tag','RadioAmerican'),'Enable','on');
set(findobj(a,'Tag','TextTreeSize'),'Enable','on');
set(findobj(a,'Tag','EditTextTreeSize'),'Enable','on');
set(findobj(a,'Tag','TextTreeText'),'Enable','on');

oneoptfn('Setup Tree');
oneoptfn('Initialize');
oneoptfn('PlotPortfolio');
end

```