

**Carlos de Góes Mascarenhas Filho**

**A Influência da Volatilidade na Avaliação  
das Opções Reais: O Caso dos  
Investimentos em Telecomunicações e  
Petróleo no Brasil**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**

**Programa de Pós-Graduação em Economia**

Rio de Janeiro  
Setembro de 2003

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Carlos de Góes Mascarenhas Filho**

**A Influência da Volatilidade na Avaliação das  
Opções Reais: O Caso dos Investimentos em  
Telecomunicações e Petróleo no Brasil**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Economia da PUC-Rio.

Orientador: Franklin de Oliveira Gonçalves

Rio de Janeiro  
Setembro de 2003



**Carlos de Góes Mascarenhas Filho**

**A Influência da Volatilidade na Avaliação das  
Opções Reais: O Caso dos Investimentos em  
Telecomunicações e Petróleo no Brasil**

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

**Prof. Franklin de Oliveira Gonçalves**  
Orientador - PUC-Rio

**Prof. Dionísio Dias Carneiro**  
PUC-Rio

**Prof. Walter Noaves Filho**  
PUC-Rio

**Prof<sup>a</sup>. Zélia Milanez Delossio Seiblit**  
Coordenadora Setorial do Centro de Ciências Sociais - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 26 de setembro de 2003

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

### **Carlos de Góes Mascarenhas Filho**

Graduou-se em Economia na PUC-RIO em 2000. Realizou cursos de extensão em finanças na University of California, Berkeley em 1998.

#### Ficha Catalográfica

Mascarenhas Filho, Carlos de Góes

A Influência da Volatilidade na Avaliação das Opções Reais: O Caso dos Investimentos em Telecomunicações no Brasil / Carlos de Góes Mascarenhas Filho; orientador: Franklin de Oliveira Gonçalves. - Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Economia, 2003.

v. 118 f.; 30 cm

Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Economia

Para o meu tio, professor Luiz de Góes Mascarenhas, com saudades.

## Agradecimentos

Ao meu orientador, professor Franklin Gonçalves por toda sua atenção e interesse durante o processo de elaboração desta dissertação, discussões estimulantes, constantes conselhos e sugestões brilhantes que me ajudaram a entender o verdadeiro significado de uma pesquisa acadêmica em finanças, contribuindo para aumentar a minha admiração pelo seu conhecimento. Além disso, conseguimos estabelecer uma relação de amizade e cordialidade fundamental para o sucesso desta dissertação.

Ao professor Dionísio Dias Carneiro, membro da banca examinadora, não apenas pelas preciosas contribuições feitas durante a defesa desta dissertação, mas por ter me estimulado ainda na graduação, exercendo uma influência intelectual marcante sobre a minha formação acadêmica como economista.

Ao professor Walter Novaes, membro da banca examinadora, pelas críticas construtivas que certamente fizeram amadurecer as idéias aqui expostas e conselhos acerca da metodologia realizada nesta pesquisa.

Aos professores Márcio Garcia e Eduardo Loyo pelos conselhos e estímulos durante o todo o mestrado.

Ao professor Juliano Assunção pelo incentivo no momento da minha decisão acerca da realização de estudos de pós-graduação em economia.

A todos os meus colegas de mestrado da PUC-Rio, em especial aos amigos de todas as horas Caio Megale, Sylvio Heck, Juliana Dutra, Nilto Calixto e Cassiana Fernandez pelo prazer da convivência durante estes anos.

A todo Departamento de Economia da PUC-Rio, por proporcionar um curso de mestrado de excelência, fundamental na minha formação como economista.

A toda minha família, ao meu pai Carlos, minha mãe Vera e minha irmã Verônica pelo carinho, apoio nos momentos difíceis, amor incondicional durante todo o mestrado e pela formação educacional que me proporcionaram.

Ao BancoBBM pelo fornecimento dos dados utilizados nesta pesquisa.

Finalmente, ao governo brasileiro, CNPq e Capes pelo apoio financeiro.

## Resumo

Mascarenhas Filho, Carlos de Góes; Gonçalves, Franklin de Oliveira. **A Influência da Volatilidade na Avaliação das Opções Reais: O Caso dos Investimentos em Telecomunicações e Petróleo no Brasil.** Rio de Janeiro, 2003. 95p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A avaliação de investimentos em capital fixo através da metodologia tradicional, baseada no valor presente líquido, nos fornece a seguinte regra fundamental para a implementação dos projetos: o valor esperado dos seus fluxos de receitas descontados a valor presente deve ultrapassar os seus custos. Este tipo de metodologia desconsidera o valor associado à flexibilidade do processo decisório relacionado à opção pela realização ou não de um investimento. O apreçamento de ativos reais com características de incerteza nos fluxos de caixa esperados, irreversibilidade dos gastos iniciais, possuindo uma flexibilidade operacional que permite o adiamento do investimento em busca de novas informações sobre preços, custos e outras condições de mercado, deve ser realizado através da metodologia das opções reais. Neste método de avaliação de um empreendimento, uma variável importante é a dispersão dos retornos ou a variância do processo estocástico que define a lei de movimento para o valor das receitas do projeto. Esta volatilidade dos ganhos esperados representa o risco associado ao empreendimento. Entretanto, um projeto é um ativo não-negociável, logo precisamos estabelecer proxies para a representação do seu risco. Uma maior volatilidade significa necessariamente a presença de uma maior incerteza e um valor mais elevado para a opção de aguardar antes de comprometer os gastos irreversíveis. Assim, o valor da flexibilidade será uma função crescente da volatilidade. Apesar da importância desta variável, a sua influência sobre a

avaliação das oportunidades de investimento foi pouco explorada pela literatura de opções reais. O objetivo desta dissertação é justamente analisar a influência das proxies para a representação da incerteza associada a projetos de investimento em ativos reais, verificando o impacto destas escolhas sobre o valor da opção de se adiar um empreendimento. Para isto, foram escolhidos dois setores importantes para economia brasileira: telecomunicações e petróleo. Através da análise estatística das séries procuramos distinguir as características de risco de longo prazo das volatilidades de cada uma das proxies associadas à incerteza de um investimento. Também realizamos uma avaliação do impacto destas diferentes volatilidades sobre o processo decisório de empreendimentos através da metodologia das opções reais. Verificamos a presença do risco no Brasil de um investimento de longo prazo, através de uma maior espera para a realização dos investimentos ou na necessidade de lucros substancialmente maiores para a implementação dos projetos.

## **Palavras-chave**

Opções Reais, Volatilidade e Investimentos



## Abstract

Mascarenhas Filho, Carlos de Góes; Gonçalves, Franklin de Oliveira. (Advisor). **The Impact of the Volatility in the Real Option Valuation: An Application to Brazilian Investments in Telecommunications and Petroleum.** Rio de Janeiro, 2003. 95p. MSc. Dissertation – Department of Economics, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro.

The net present value valuation of investments in capital stock is based on the following rule: the present value of the expected stream of profits from the investment should be greater than the required expenditures. This kind of rule ignores the value of waiting related to the ability of delaying an irreversible investment. The valuation of real assets with characteristics of uncertainty over the future cash flows, irreversible or sunk costs and optimal timing of the investment decision in search for more information about prices, costs and other markets conditions, should be done using the real options approach to capital investments. In this type of valuation, one important variable is the volatility of the stochastic process followed by the value of the project's stream of revenues. This volatility of the expected gains represents the risk of the investment. Meanwhile, projects are usually non-traded assets, therefore we should establish proxies for their risk. The presence of a greater uncertainty means a higher volatility associated with the options to delay the investment decision before committing the irreversible resources. Therefore, the value of this flexibility grows with the volatility. In spite of the importance of this variable to the valuation of the real options, its influence hasn't been explored by the current literature in this subject. The goal of this dissertation is to explore the influence of the uncertainty associated with the proxies of the investments projects, analyzing their impact over the valuation of the real options. For this matter, we have chosen two

important industries in the Brazilian economy: telecommunications and petroleum. Throughout the statistical study of the data we are looking forward to distinguish the risk characteristics of these proxies associates with the volatilities of a long term investment in physical assets. We also analyse the impact of these different proxies over the real option's valuation process. The presence of the risk of a long term investment in Brazil can be verified by the need of higher rates of return to accept projects.

## **Keywords**

Real Options, Volatility, Investments

## Sumário

1. Introdução	1
2. Projetos de Investimento como Opções Reais	8
2.1. O Modelo de McDonald e Siegel	9
2.2. A Influência de Variações nos Parâmetros da Regra Ótima de Investimento	20
2.3. Examinando as Elasticidades do Valor Crítico	23
3. As Volatilidades Associadas ao Risco dos Projetos de Investimento	26
3.1. A Escolha das Proxies para o Risco dos Projetos	28
3.2. Descrição dos Dados Utilizados	30
3.3. A Volatilidade das Proxies Escolhidas	31
3.4. Testes Comparativos para as Volatilidades	41
4. O Impacto da Volatilidade sobre a Avaliação das Opções Reais	54
4.1. Calculando os Valores das Opções Reais de um Investimento	55
4.2. Interpretando o Valor Crítico do Projeto	59
4.3. O Valor Crítico do Projeto Normalizado	66
5. Conclusões	75
6. Referências Bibliográficas	80
Apêndice A	85
A.1. Estimação por Máxima Verossimilhança do Processo de Difusão	85
A.2. O Modelo Garch (1;1)	87
Apêndice B	90
B.1. Curvas para os Valores das Opções de Espera no Setor de Telecomunicações	90
B.2. Curvas para os Valores das Opções de Espera no Setor de Petróleo	92

## Índice de Tabelas e Gráficos

Tabela 2.1 – A Influência da Volatilidade sobre as Variáveis da Regra de Investimento	22
Tabela 2.2 – A Influência do Fluxo de Caixa sobre as Variáveis da Regra de Investimento	22
Tabela 2.3 – A Influência da Taxa de Juros sobre as Variáveis da Regra de Investimento	23
Tabela 2.4 – Elasticidades do Valor Crítico do Projeto – $V^*$	25
Tabela 3.1 – Composição da Carteira de Telecomunicações Brasileira	30
Tabela 3.2 – Composição da Carteira de Telecomunicações Internacional	31
Tabela 3.3 – Composição da Carteira das Oil Majors	31
Gráfico 3.1 – Volatilidade de 30 dias – Telecomunicações	34
Gráfico 3.2 – Volatilidade de 90 dias – Telecomunicações	34
Gráfico 3.3 – Volatilidade de 180 dias – Telecomunicações	35
Gráfico 3.4 – Volatilidade de 360 dias – Telecomunicações	35
Gráfico 3.5 – Volatilidade de 30 dias – Petróleo	35
Gráfico 3.6 – Volatilidade de 90 dias – Petróleo	36
Gráfico 3.7 – Volatilidade de 180 dias – Petróleo	36
Gráfico 3.8 – Volatilidade de 360 dias – Petróleo	36
Gráfico 3.9 – Volatilidade do modelo Garch (1,1) – Telecomunicações	39
Gráfico 3.10 – Volatilidade do modelo Garch (1,1) – Petróleo	39
Gráfico 3.11 – Diferença das Volatilidades Anuais de 30 dias em Valor Absoluto – Telecomunicações	42
Gráfico 3.12 – Diferença das Volatilidades Anuais de 90 dias em Valor Absoluto – Telecomunicações	42
Gráfico 3.13 – Diferença das Volatilidades Anuais de 180 dias em Valor Absoluto – Telecomunicações	43
Gráfico 3.14 – Diferença das Volatilidades Anuais de 360 dias em Valor Absoluto – Telecomunicações	43
Tabela 3.4 – Diferença entre as Volatilidades de 360 dias – Telecomunicações	45

Gráfico 3.15 – Diferença das Volatilidades Anuais de 30 dias em Valor Absoluto – Petróleo	45
Gráfico 3.16 – Diferença das Volatilidades Anuais de 90 dias em Valor Absoluto – Petróleo	46
Gráfico 3.17 – Diferença das Volatilidades Anuais de 180 dias em Valor Absoluto – Petróleo	46
Gráfico 3.18 – Diferença das Volatilidades Anuais de 360 dias em Valor Absoluto – Petróleo	46
Tabela 3.5 – Diferença entre as Volatilidades de 360 dias – Petróleo	47
Gráfico 3.19 – Não-Rejeição da Hipótese Nula em % da Amostra – Telecomunicações	51
Gráfico 3.20 – Não-Rejeição da Hipótese Nula em % da Amostra – Petróleo	52
Gráfico 4.1 – Juros dos Títulos do Tesouro Americano	56
Gráfico 4.2 – Inflação Anual - EUA	56
Tabela 4.1 – Parâmetros da Regra Ótima de Investimento em 26/03/2001	57
Tabela 4.2– Valores da Opção de Espera dos Investimentos em 26/03/2001	58
Gráfico 4.3 – Curva para o Valor Crítico do Projeto - Volatilidade de 30 dias – Telecomunicações	67
Tabela 4.3 – Estatísticas do Valor Crítico do setor de Telecomunicações Volatilidade de 30 dias	67
Gráfico 4.4 – Curva para o Valor Crítico do Projeto – Volatilidade de 90 dias – Telecomunicações	67
Gráfico 4.5 – Curva para o Valor Crítico do Projeto- Volatilidade de 180 dias – Telecomunicações	68
Tabela 4.5 – Estatísticas do Valor Crítico do setor de Telecomunicações Volatilidade de 180 dias	68
Gráfico 4.6 –Curva para o Valor Crítico do Projeto - Volatilidade de 360 dias – Telecomunicações	68

Gráfico 4.7 – Curva para o Valor Crítico do Projeto - Volatilidade de 30 dias – Petróleo	70
Tabela 4.7– Estatísticas do Valor Crítico do setor de Petróleo – Vol 30 dias	70
Gráfico 4.8 – Curva para o Valor Crítico do Projeto-Volatilidade de 90 dias – Petróleo	70
Tabela 4.8 – Estatísticas do Valor Crítico do setor de Petróleo – Volatilidade de 90 dias	70
Gráfico 4.9 – Curva para o Valor Crítico do Projeto – Volatilidade de 180 dias – Petróleo	71
Tabela 4.9 – Estatísticas do Valor Crítico do setor de Petróleo – Volatilidade de 180 dias	71
Gráfico 4.10 – Curva para o Valor Crítico do Projeto – Volatilidade de 360 dias – Petróleo	71
Tabela 4.10 – Estatísticas do Valor Crítico do setor de Petróleo – Volatilidade de 360 dias	71
Gráfico 4.11 – Curva para o Valor Crítico do Projeto - Volatilidade de 360 dias – Telecomunicações	73
Tabela 4.11 – Estatísticas do Valor Crítico Normalizado do setor de Telecomunicações	73
Gráfico 4.12 – Curva para o Valor Crítico do Projeto - Volatilidade de 360 dias – Petróleo	73
Tabela 4.12 – Estatísticas do Valor Crítico Normalizado do setor de Petróleo	73
Tabela 4.13 – Elasticidade da Opção Real do Projeto para o setor de Telecomunicações	74
Tabela 4.14 – Elasticidade da Opção Real do Projeto para o setor de Petróleo	74
Tabela A.1 – Coeficiente do Modelo Garch ( 1,1) para os retornos da Petrobrás	89
Tabela A.2 – Coeficiente do Modelo Garch ( 1,1) para os retornos do Petróleo	89
Tabela A.3 – Coeficiente do Modelo Garch ( 1,1) para os retornos das	

Oil Majors	89
Tabela A.3 – Coeficiente do Modelo Garch ( 1,1) para os retornos das Oil Majors	89
Tabela A.4 – Coeficiente do Modelo Garch ( 1,1) para os retornos da Carteira Telecom Int	89
Tabela A.5 – Coeficiente do Modelo Garch ( 1,1) para os retornos da Telemar	89
Tabela A.6 – Coeficiente do Modelo Garch ( 1,1) para os retornos da Telecom Br	89
Gráfico B.1 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(200) Volatilidade de 30 dias – Telecomunicações	90
Tabela B.1 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Telecomunicações	91
Gráfico B.2 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(200) Volatilidade de 90 dias – Telecomunicações	91
Tabela B.2 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Telecomunicações	91
Gráfico B.3 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(200) Volatilidade de 180 dias – Telecomunicações	91
Tabela B.3 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Telecomunicações	92
Gráfico B.4 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(200) Volatilidade de 360 dias – Telecomunicações	92
Tabela B.4 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Telecomunicações	92
Gráfico B.5 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(150) Volatilidade de 30 dias – Petróleo	93
Tabela B.5 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Petróleo	93
Gráfico B.6 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(150) Volatilidade de 90 dias – Petróleo	93
Tabela B.6 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Petróleo	94

Gráfico B.7 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(150) Volatilidade de 180 dias – Petróleo	94
Tabela B.7 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Petróleo	94
Gráfico B.8 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(150) Volatilidade de 360 dias – Petróleo	94
Tabela B.8 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Petróleo	95



**Carlos de Góes Mascarenhas Filho**

**A Influência da Volatilidade na Avaliação  
das Opções Reais: O Caso dos  
Investimentos em Telecomunicações e  
Petróleo no Brasil**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**DEPARTAMENTO DE ECONOMIA**

**Programa de Pós-Graduação em Economia**

Rio de Janeiro  
Setembro de 2003

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Carlos de Góes Mascarenhas Filho**

**A Influência da Volatilidade na Avaliação das  
Opções Reais: O Caso dos Investimentos em  
Telecomunicações e Petróleo no Brasil**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Economia da PUC-Rio.

Orientador: Franklin de Oliveira Gonçalves

Rio de Janeiro  
Setembro de 2003



**Carlos de Góes Mascarenhas Filho**

**A Influência da Volatilidade na Avaliação das  
Opções Reais: O Caso dos Investimentos em  
Telecomunicações e Petróleo no Brasil**

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

**Prof. Franklin de Oliveira Gonçalves**  
Orientador - PUC-Rio

**Prof. Dionísio Dias Carneiro**  
PUC-Rio

**Prof. Walter Noaves Filho**  
PUC-Rio

**Prof<sup>a</sup>. Zélia Milanez Delossio Seiblit**  
Coordenadora Setorial do Centro de Ciências Sociais - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 26 de setembro de 2003

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

### **Carlos de Góes Mascarenhas Filho**

Graduou-se em Economia na PUC-RIO em 2000. Realizou cursos de extensão em finanças na University of California, Berkeley em 1998.

#### Ficha Catalográfica

Mascarenhas Filho, Carlos de Góes

A Influência da Volatilidade na Avaliação das Opções Reais: O Caso dos Investimentos em Telecomunicações no Brasil / Carlos de Góes Mascarenhas Filho; orientador: Franklin de Oliveira Gonçalves. - Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Economia, 2003.

v. 118 f.; 30 cm

Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Economia

Para o meu tio, professor Luiz de Góes Mascarenhas, com saudades.

## Agradecimentos

Ao meu orientador, professor Franklin Gonçalves por toda sua atenção e interesse durante o processo de elaboração desta dissertação, discussões estimulantes, constantes conselhos e sugestões brilhantes que me ajudaram a entender o verdadeiro significado de uma pesquisa acadêmica em finanças, contribuindo para aumentar a minha admiração pelo seu conhecimento. Além disso, conseguimos estabelecer uma relação de amizade e cordialidade fundamental para o sucesso desta dissertação.

Ao professor Dionísio Dias Carneiro, membro da banca examinadora, não apenas pelas preciosas contribuições feitas durante a defesa desta dissertação, mas por ter me estimulado ainda na graduação, exercendo uma influência intelectual marcante sobre a minha formação acadêmica como economista.

Ao professor Walter Novaes, membro da banca examinadora, pelas críticas construtivas que certamente fizeram amadurecer as idéias aqui expostas e conselhos acerca da metodologia realizada nesta pesquisa.

Aos professores Márcio Garcia e Eduardo Loyo pelos conselhos e estímulos durante o todo o mestrado.

Ao professor Juliano Assunção pelo incentivo no momento da minha decisão acerca da realização de estudos de pós-graduação em economia.

A todos os meus colegas de mestrado da PUC-Rio, em especial aos amigos de todas as horas Caio Megale, Sylvio Heck, Juliana Dutra, Nilto Calixto e Cassiana Fernandez pelo prazer da convivência durante estes anos.

A todo Departamento de Economia da PUC-Rio, por proporcionar um curso de mestrado de excelência, fundamental na minha formação como economista.

A toda minha família, ao meu pai Carlos, minha mãe Vera e minha irmã Verônica pelo carinho, apoio nos momentos difíceis, amor incondicional durante todo o mestrado e pela formação educacional que me proporcionaram.

Ao BancoBBM pelo fornecimento dos dados utilizados nesta pesquisa.

Finalmente, ao governo brasileiro, CNPq e Capes pelo apoio financeiro.

## Resumo

Mascarenhas Filho, Carlos de Góes; Gonçalves, Franklin de Oliveira. **A Influência da Volatilidade na Avaliação das Opções Reais: O Caso dos Investimentos em Telecomunicações e Petróleo no Brasil.** Rio de Janeiro, 2003. 95p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A avaliação de investimentos em capital fixo através da metodologia tradicional, baseada no valor presente líquido, nos fornece a seguinte regra fundamental para a implementação dos projetos: o valor esperado dos seus fluxos de receitas descontados a valor presente deve ultrapassar os seus custos. Este tipo de metodologia desconsidera o valor associado à flexibilidade do processo decisório relacionado à opção pela realização ou não de um investimento. O apreçamento de ativos reais com características de incerteza nos fluxos de caixa esperados, irreversibilidade dos gastos iniciais, possuindo uma flexibilidade operacional que permite o adiamento do investimento em busca de novas informações sobre preços, custos e outras condições de mercado, deve ser realizado através da metodologia das opções reais. Neste método de avaliação de um empreendimento, uma variável importante é a dispersão dos retornos ou a variância do processo estocástico que define a lei de movimento para o valor das receitas do projeto. Esta volatilidade dos ganhos esperados representa o risco associado ao empreendimento. Entretanto, um projeto é um ativo não-negociável, logo precisamos estabelecer proxies para a representação do seu risco. Uma maior volatilidade significa necessariamente a presença de uma maior incerteza e um valor mais elevado para a opção de aguardar antes de comprometer os gastos irreversíveis. Assim, o valor da flexibilidade será uma função crescente da volatilidade. Apesar da importância desta variável, a sua influência sobre a

avaliação das oportunidades de investimento foi pouco explorada pela literatura de opções reais. O objetivo desta dissertação é justamente analisar a influência das proxies para a representação da incerteza associada a projetos de investimento em ativos reais, verificando o impacto destas escolhas sobre o valor da opção de se adiar um empreendimento. Para isto, foram escolhidos dois setores importantes para economia brasileira: telecomunicações e petróleo. Através da análise estatística das séries procuramos distinguir as características de risco de longo prazo das volatilidades de cada uma das proxies associadas à incerteza de um investimento. Também realizamos uma avaliação do impacto destas diferentes volatilidades sobre o processo decisório de empreendimentos através da metodologia das opções reais. Verificamos a presença do risco no Brasil de um investimento de longo prazo, através de uma maior espera para a realização dos investimentos ou na necessidade de lucros substancialmente maiores para a implementação dos projetos.

## **Palavras-chave**

Opções Reais, Volatilidade e Investimentos



## Abstract

Mascarenhas Filho, Carlos de Góes; Gonçalves, Franklin de Oliveira. (Advisor). **The Impact of the Volatility in the Real Option Valuation: An Application to Brazilian Investments in Telecommunications and Petroleum.** Rio de Janeiro, 2003. 95p. MSc. Dissertation – Department of Economics, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro.

The net present value valuation of investments in capital stock is based on the following rule: the present value of the expected stream of profits from the investment should be greater than the required expenditures. This kind of rule ignores the value of waiting related to the ability of delaying an irreversible investment. The valuation of real assets with characteristics of uncertainty over the future cash flows, irreversible or sunk costs and optimal timing of the investment decision in search for more information about prices, costs and other markets conditions, should be done using the real options approach to capital investments. In this type of valuation, one important variable is the volatility of the stochastic process followed by the value of the project's stream of revenues. This volatility of the expected gains represents the risk of the investment. Meanwhile, projects are usually non-traded assets, therefore we should establish proxies for their risk. The presence of a greater uncertainty means a higher volatility associated with the options to delay the investment decision before committing the irreversible resources. Therefore, the value of this flexibility grows with the volatility. In spite of the importance of this variable to the valuation of the real options, its influence hasn't been explored by the current literature in this subject. The goal of this dissertation is to explore the influence of the uncertainty associated with the proxies of the investments projects, analyzing their impact over the valuation of the real options. For this matter, we have chosen two

important industries in the Brazilian economy: telecommunications and petroleum. Throughout the statistical study of the data we are looking forward to distinguish the risk characteristics of these proxies associates with the volatilities of a long term investment in physical assets. We also analyse the impact of these different proxies over the real option's valuation process. The presence of the risk of a long term investment in Brazil can be verified by the need of higher rates of return to accept projects.

## **Keywords**

Real Options, Volatility, Investments

## Sumário

1. Introdução	1
2. Projetos de Investimento como Opções Reais	8
2.1. O Modelo de McDonald e Siegel	9
2.2. A Influência de Variações nos Parâmetros da Regra Ótima de Investimento	20
2.3. Examinando as Elasticidades do Valor Crítico	23
3. As Volatilidades Associadas ao Risco dos Projetos de Investimento	26
3.1. A Escolha das Proxies para o Risco dos Projetos	28
3.2. Descrição dos Dados Utilizados	30
3.3. A Volatilidade das Proxies Escolhidas	31
3.4. Testes Comparativos para as Volatilidades	41
4. O Impacto da Volatilidade sobre a Avaliação das Opções Reais	54
4.1. Calculando os Valores das Opções Reais de um Investimento	55
4.2. Interpretando o Valor Crítico do Projeto	59
4.3. O Valor Crítico do Projeto Normalizado	66
5. Conclusões	75
6. Referências Bibliográficas	80
Apêndice A	85
A.1. Estimação por Máxima Verossimilhança do Processo de Difusão	85
A.2. O Modelo Garch (1;1)	87
Apêndice B	90
B.1. Curvas para os Valores das Opções de Espera no Setor de Telecomunicações	90
B.2. Curvas para os Valores das Opções de Espera no Setor de Petróleo	92

## Índice de Tabelas e Gráficos

Tabela 2.1 – A Influência da Volatilidade sobre as Variáveis da Regra de Investimento	22
Tabela 2.2 – A Influência do Fluxo de Caixa sobre as Variáveis da Regra de Investimento	22
Tabela 2.3 – A Influência da Taxa de Juros sobre as Variáveis da Regra de Investimento	23
Tabela 2.4 – Elasticidades do Valor Crítico do Projeto – $V^*$	25
Tabela 3.1 – Composição da Carteira de Telecomunicações Brasileira	30
Tabela 3.2 – Composição da Carteira de Telecomunicações Internacional	31
Tabela 3.3 – Composição da Carteira das Oil Majors	31
Gráfico 3.1 – Volatilidade de 30 dias – Telecomunicações	34
Gráfico 3.2 – Volatilidade de 90 dias – Telecomunicações	34
Gráfico 3.3 – Volatilidade de 180 dias – Telecomunicações	35
Gráfico 3.4 – Volatilidade de 360 dias – Telecomunicações	35
Gráfico 3.5 – Volatilidade de 30 dias – Petróleo	35
Gráfico 3.6 – Volatilidade de 90 dias – Petróleo	36
Gráfico 3.7 – Volatilidade de 180 dias – Petróleo	36
Gráfico 3.8 – Volatilidade de 360 dias – Petróleo	36
Gráfico 3.9 – Volatilidade do modelo Garch (1,1) – Telecomunicações	39
Gráfico 3.10 – Volatilidade do modelo Garch (1,1) – Petróleo	39
Gráfico 3.11 – Diferença das Volatilidades Anuais de 30 dias em Valor Absoluto – Telecomunicações	42
Gráfico 3.12 – Diferença das Volatilidades Anuais de 90 dias em Valor Absoluto – Telecomunicações	42
Gráfico 3.13 – Diferença das Volatilidades Anuais de 180 dias em Valor Absoluto – Telecomunicações	43
Gráfico 3.14 – Diferença das Volatilidades Anuais de 360 dias em Valor Absoluto – Telecomunicações	43
Tabela 3.4 – Diferença entre as Volatilidades de 360 dias – Telecomunicações	45

Gráfico 3.15 – Diferença das Volatilidades Anuais de 30 dias em Valor Absoluto – Petróleo	45
Gráfico 3.16 – Diferença das Volatilidades Anuais de 90 dias em Valor Absoluto – Petróleo	46
Gráfico 3.17 – Diferença das Volatilidades Anuais de 180 dias em Valor Absoluto – Petróleo	46
Gráfico 3.18 – Diferença das Volatilidades Anuais de 360 dias em Valor Absoluto – Petróleo	46
Tabela 3.5 – Diferença entre as Volatilidades de 360 dias – Petróleo	47
Gráfico 3.19 – Não-Rejeição da Hipótese Nula em % da Amostra – Telecomunicações	51
Gráfico 3.20 – Não-Rejeição da Hipótese Nula em % da Amostra – Petróleo	52
Gráfico 4.1 – Juros dos Títulos do Tesouro Americano	56
Gráfico 4.2 – Inflação Anual - EUA	56
Tabela 4.1 – Parâmetros da Regra Ótima de Investimento em 26/03/2001	57
Tabela 4.2– Valores da Opção de Espera dos Investimentos em 26/03/2001	58
Gráfico 4.3 – Curva para o Valor Crítico do Projeto - Volatilidade de 30 dias – Telecomunicações	67
Tabela 4.3 – Estatísticas do Valor Crítico do setor de Telecomunicações Volatilidade de 30 dias	67
Gráfico 4.4 – Curva para o Valor Crítico do Projeto – Volatilidade de 90 dias – Telecomunicações	67
Gráfico 4.5 – Curva para o Valor Crítico do Projeto- Volatilidade de 180 dias – Telecomunicações	68
Tabela 4.5 – Estatísticas do Valor Crítico do setor de Telecomunicações Volatilidade de 180 dias	68
Gráfico 4.6 –Curva para o Valor Crítico do Projeto - Volatilidade de 360 dias – Telecomunicações	68

Gráfico 4.7 – Curva para o Valor Crítico do Projeto - Volatilidade de 30 dias – Petróleo	70
Tabela 4.7– Estatísticas do Valor Crítico do setor de Petróleo – Vol 30 dias	70
Gráfico 4.8 – Curva para o Valor Crítico do Projeto-Volatilidade de 90 dias – Petróleo	70
Tabela 4.8 – Estatísticas do Valor Crítico do setor de Petróleo – Volatilidade de 90 dias	70
Gráfico 4.9 – Curva para o Valor Crítico do Projeto – Volatilidade de 180 dias – Petróleo	71
Tabela 4.9 – Estatísticas do Valor Crítico do setor de Petróleo – Volatilidade de 180 dias	71
Gráfico 4.10 – Curva para o Valor Crítico do Projeto – Volatilidade de 360 dias – Petróleo	71
Tabela 4.10 – Estatísticas do Valor Crítico do setor de Petróleo – Volatilidade de 360 dias	71
Gráfico 4.11 – Curva para o Valor Crítico do Projeto - Volatilidade de 360 dias – Telecomunicações	73
Tabela 4.11 – Estatísticas do Valor Crítico Normalizado do setor de Telecomunicações	73
Gráfico 4.12 – Curva para o Valor Crítico do Projeto - Volatilidade de 360 dias – Petróleo	73
Tabela 4.12 – Estatísticas do Valor Crítico Normalizado do setor de Petróleo	73
Tabela 4.13 – Elasticidade da Opção Real do Projeto para o setor de Telecomunicações	74
Tabela 4.14 – Elasticidade da Opção Real do Projeto para o setor de Petróleo	74
Tabela A.1 – Coeficiente do Modelo Garch ( 1,1) para os retornos da Petrobrás	89
Tabela A.2 – Coeficiente do Modelo Garch ( 1,1) para os retornos do Petróleo	89
Tabela A.3 – Coeficiente do Modelo Garch ( 1,1) para os retornos das	

Oil Majors	89
Tabela A.3 – Coeficiente do Modelo Garch ( 1,1) para os retornos das Oil Majors	89
Tabela A.4 – Coeficiente do Modelo Garch ( 1,1) para os retornos da Carteira Telecom Int	89
Tabela A.5 – Coeficiente do Modelo Garch ( 1,1) para os retornos da Telemar	89
Tabela A.6 – Coeficiente do Modelo Garch ( 1,1) para os retornos da Telecom Br	89
Gráfico B.1 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(200) Volatilidade de 30 dias – Telecomunicações	90
Tabela B.1 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Telecomunicações	91
Gráfico B.2 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(200) Volatilidade de 90 dias – Telecomunicações	91
Tabela B.2 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Telecomunicações	91
Gráfico B.3 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(200) Volatilidade de 180 dias – Telecomunicações	91
Tabela B.3 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Telecomunicações	92
Gráfico B.4 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(200) Volatilidade de 360 dias – Telecomunicações	92
Tabela B.4 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Telecomunicações	92
Gráfico B.5 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(150) Volatilidade de 30 dias – Petróleo	93
Tabela B.5 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Petróleo	93
Gráfico B.6 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(150) Volatilidade de 90 dias – Petróleo	93
Tabela B.6 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Petróleo	94

Gráfico B.7 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(150) Volatilidade de 180 dias – Petróleo	94
Tabela B.7 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Petróleo	94
Gráfico B.8 – Curva para Valor da Opção do Projeto – F(150) Volatilidade de 360 dias – Petróleo	94
Tabela B.8 – Estatísticas do Valor da Opção de Espera do Setor de Petróleo	95