



**Davis Machado da Silva Teixeira**

**Avaliação de Licitação de Espectros de Radiofrequências  
para WiMAX: Uma Abordagem por Opções Reais**

**Dissertação de Mestrado**

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

Orientador: Luiz Eduardo Teixeira Brandão

Rio de Janeiro, outubro de 2007.



**Davis Machado da Silva Teixeira**

**Avaliação de Licitação de Espectros de Radiofrequências  
para WiMAX: Uma Abordagem por Opções Reais**

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

**Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão**

Orientador

Departamento de Administração - PUC-Rio

**Prof. Walter Lee Ness Junior**

Departamento de Administração – PUC-Rio

**Prof. Fernando Nascimento de Oliveira**

IBMEC

**Prof. João Pontes Nogueira**

Vice-Decano de Pós-Graduação do  
Centro de Ciências Sociais - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 31 de outubro de 2007.

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

### **Davis Teixeira**

Administrador de empresas pela UERJ, pós-graduado em Finanças Corporativas pelo IBMEC e concluiu o mestrado em Administração de Empresas pela PUC-RIO em 2007. Atuou nas áreas de Planejamento, Tesouraria, Crédito e Cobrança, Controle da Receita e *Revenue Assurance* em multinacionais de grande porte. Seus interesses de pesquisa são relacionados a avaliações de investimento e planejamento estratégico.

### Ficha Catalográfica

Teixeira, Davis Machado da Silva.

Avaliação de licitação de Espectros de Radiofrequência para WiMAX: Uma abordagem por Opções Reais / Davis Machado da Silva Teixeira; orientador: Luiz Eduardo Teixeira Brandão – 2007.

70 f.; il.; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Administração) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Inclui referências bibliográficas.

1. Administração – Teses. 2. Finanças. 3. Opções Reais. 4. Análise de Investimento. 5. Telecomunicações. 6. Licitação WiMAX. I. Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Administração. III. Título.

CDD: 658

À minha família

## **Agradecimentos**

Ao Professor Luiz Brandão por toda orientação na elaboração deste trabalho,

Aos Professores Walter Lee Ness Jr., Fernando Nascimento de Oliveira e Roberto Moreno Moreira por participarem da Comissão examinadora,

Aos meus pais, por todo o apoio que sempre deram,

À minha esposa Marianna, meu filho Matheus e meu filho (a) que esta a caminho, por tornarem minha vida mais feliz.

## Resumo

Teixeira, Davis Machado da Silva; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. **Avaliação de Licitação de Espectros de Radiofrequências para WiMAX: Uma Abordagem por Opções Reais**. Rio de Janeiro, 2007. 70p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O WiMAX é um padrão de tecnológico de *broadband wireless* que tem o potencial de oferecer infra-estrutura para conectividade de última milha para clientes corporativos e residências, abrangendo grandes distâncias e oferecendo uma alternativa ao DSL e cabo. Este novo padrão *wireless* é percebido pelas empresas de telecomunicações como uma oportunidade de ganhar penetração em localidades onde ainda não são oferecidas soluções de banda larga. Como qualquer padrão *wireless*, o WiMAX necessita de faixas de espectros de frequência para operar, e como as faixas de frequências são bens públicos e escassos, as mesmas são licitadas pelo órgão regulador garantindo exclusividade no seu uso. Este trabalho avalia quanto uma empresa pode ofertar numa licitação de blocos de frequência na faixa de 3,5GHz que serão utilizados para operar um rede WiMAX tanto pelo método tradicional do FCD quanto pela teoria das opções reais. No mercado de telecomunicações, este tipo de projeto apresenta grandes incertezas e também significativas flexibilidades gerenciais, o que indica que a teoria de opções reais pode ser mais adequada para este tipo de análise. Os resultados obtidos conferem isso e as opções do projeto aumentaram seu valor em 149%, permitindo à empresa elevar o valor máximo a ser ofertado na licitação em até 58% do valor original obtido pelo FCD, aumentando as chances de vencer a licitação e investir em um projeto rentável.

## Palavras-chave

Finanças; Opções Reais; Análise de Investimento; Telecomunicações; Licitação WiMAX.

## Abstract

Teixeira, Davis Machado da Silva; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. **Spectrum Frequency Bidding Valuation for WiMAX: A Real Options Approach.** Rio de Janeiro, 2007. 70p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

WiMAX is a broadband wireless technology developed as an alternative to DSL and cable, to offer infrastructure last mile connectivity for business and residential clients, covering great distance. This new wireless standard is considered in telecommunication marketing as an opportunity to offer broadband in areas where this service does not exist. As any wireless standard, WiMAX requires spectrum allocations to operate, and as frequency bands are scarce public assets, they are bid out by the regulatory agency to assure exclusivity. In this dissertation we value the bid for some frequency bands of the 3,5GHz WiMAX frequency spectrum, under both Discounted Cash Flow methods (DCF) and Real Option Valuation. In the telecommunications market, this type of project presents great uncertainty and flexibility, which implies that real option valuation is the best alternative for this analysis. The results shows that the options embedded in the project increase its value by up to 149% when compared to the DCF approach. This allows the firm to increase the value of its bid by up to 58%, increasing its chances of wining a profitable project.

## Keywords

Finance; Real Options; Investment Analysis; Telecommunication; WiMAX bidding.

## Sumário

1 Introdução	13
1.1. Contextualização	13
1.2. Licitação para Banda Larga	13
1.3. Relevância do Estudo	14
1.4. Delimitação do Estudo	15
1.5. Estrutura da Dissertação	16
2 Referencial Teórico	17
2.1. A Teoria das Opções Reais	17
2.1.1. Opções Financeiras	17
2.1.2. Modelo Black-Sholes-Merton	18
2.1.3. Processos Estocásticos	19
2.1.3.1. Movimento Geométrico Browniano	20
2.1.4. Modelo Binomial	21
2.1.4.1. Portfólio Replicante e Probabilidade Neutra a Risco	22
2.1.5. Opções Reais	23
2.2. Processo de Avaliação de Opções Reais	25
3 A Tecnologia Wireless, Padrão WiMAX e a Licitação das Faixas de 3,5Ghz	27
3.1. Introdução	27
3.2. O Padrão WiMAX	28
3.2.1. O Que é WiMAX?	28
3.2.2. Cidades Digitais	31
3.2.3. Espectros de Frequência	32
3.3. Ambiente Regulatório: Licitação	34
3.4. Banda Larga no Brasil	36
4 Aplicação ao Caso da Licitação para o Padrão WiMAX	38
4.1. O Projeto	38



4.1.1. Visão Geral	38
4.1.2. Investimento, Depreciação e Custos Operacionais.	39
4.1.2.1. Preço do Megahertz por População (PMP) – Valor de Referência.	39
4.1.3. Principais Incertezas	40
4.1.3.1. Risco do Mercado (Demanda)	40
4.1.3.2. Risco de Preço	42
4.2. Modelagem Financeira: FCD sem Opções Reais	43
4.3. Volatilidade do Projeto	45
4.4. O Projeto Analisado com Opções Reais	47
4.4.1. Árvore do Projeto	47
4.4.2. Opção de Não Expandir (Abandono da Expansão)	48
4.4.3. Opção de Abandono	51
4.4.4. Opção de Adiar, Não Expandir e Abandonar.	56
4.4.5. Valor do projeto com Opções Reais.	58
5 Conclusões e Recomendações	59
5.1. Conclusões	59
5.2. Limitações Metodológicas	61
5.3. Sugestões para Trabalhos Futuros	61
6 Referências Bibliográficas	62
Anexo I. Descrição Gráfica de Pares de Blocos de 1,75MHz.	65
Anexo II. Blocos Disponíveis por Regiões	66
Anexo III. Blocos Disponíveis por Área de Numeração	67
Anexo IV. Fluxo de Caixa Descontado do Projeto Total	68
Anexo V. Fluxo de Caixa Descontado do Projeto Total com Investimentos Adiados por um Ano	69
Anexo VI – Modelo com Opção de Não Expansão e Abandono com e sem Adiamento	70

## Lista de figuras

Figura 1 – Árvore Binomial Modelo Cox, Ross e Rubinstein	21
Figura 2 – WiMAX Network.	31
Figura 3 – Conexões WiMAX da Empresa: Simulação de Monte Carlo	42
Figura 4 – Preço Médio Projetado: Simulação de Monte Carlo	43
Figura 5 – Modelo Binomial	47
Figura 6 – Árvore de Decisão do Projeto	48
Figura 7 – Modelo com Opções de Não Expandir (Abandono da Expansão)	49
Figura 8 – Opção de Expandir Fase a Fase.	49
Figura 9 – Valor do Projeto com Opções de Não Expansão	50
Figura 10 – Política Ótima de Investimento para Opção de Não Expansão	50
Figura 11 - Sensibilidade do Valor do Projeto (R\$) a Volatilidade (%)	51
Figura 12 - Modelo com Opções de Abandono	52
Figura 13 - Valor do Projeto com Opção de Abandono	53
Figura 14 – Política Ótima de Investimento para Opção de Abandono	53
Figura 15 - Sensibilidade do Valor do Projeto (R\$) ao Valor de Abandono (%)	54
Figura 16 – Modelo com Opção de Não Expandir e Abandonar.	55
Figura 17 - Valor do Projeto com Opção de Não Expansão e Abandono	55
Figura 18 - Política Ótima: Opção de Não Expansão e Abandono	56
Figura 19 - Opção de Não Expansão e Abandono com e sem Adiamento.	57
Figura 20 – NPV x Valor da Licença.	60

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Opções Financeiras x Opções Reais	24
Tabela 2 – Padrões Wireless	27
Tabela 3 – Tipos de Acessos da Rede WiMAX.	29
Tabela 4 – Espectros WiMAX.	33
Tabela 5 – Preço Mínimo.	35
Tabela 6 – Cálculo do Valor de Referência da Licença.	40
Tabela 7 – Estimativas de Mercado	41
Tabela 8 – Fluxo de caixa do projeto.	44
Tabela 9 – Características do Projeto	45
Tabela 10 – Cálculo da Volatilidade	46
Tabela 11 – Valor de Abandono	52
Tabela 12 – Resultado das Opções Reais.	58

## Lista de Abreviaturas e Siglas

ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
FCD	Fluxo de Caixa Descontado
MGB	Movimento Geométrico Browniano
PMP	Preço do Megahertz por População
SoHo	<i>Small Office and Home Office</i>
TCU	Tribunal de Contas da União
VoIP	Voz sobre IP
VPL	Valor Presente Líquido
WiMAX	<i>World Interoperability for Microwave Access</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
WLL	<i>Wireless Local Loop</i>
WLAN	<i>Wireless Local Área Network</i>
3G	<i>Third Generation</i>