



Alexandre Caporal

**Avaliação de ativos de geração hidrelétrica através da
Teoria de Opções Reais em Tempo Discreto**

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: Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão
Co-Orientador: Prof. Marcelo Cabús Klotzle

Rio de Janeiro, agosto de 2006



Alexandre Caporal

**Avaliação de Ativos de Geração Hidrelétrica através da
Teoria de Opções Reais em Tempo Discreto**

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

Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão

Orientador

Departamento de Administração – PUC-Rio

Prof. Marcelo Cabus Klotzle

Departamento de Administração - PUC-Rio

Prof. Antonio de Araújo Freitas Júnior

FGV

Prof. João Pontes Nogueira

Vice-Decano de Pós-Graduação do CCS

Rio de Janeiro, 23 de agosto de 2006

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

Alexandre Caporal

Graduou-se em Administração de Empresas pela UFF em 2001 e concluiu o mestrado em Administração de Empresas pela PUC RIO em 2006. Atuou nas áreas de planejamento estratégico, financeiro e gestão financeira em empresas multinacionais de grande porte. Seus interesses de pesquisa estão relacionados à avaliação de projetos de investimento, avaliação de desempenho corporativo, administração de recursos de terceiros e planejamento estratégico.

Ficha Catalográfica

Caporal, Alexandre

Avaliação de ativos de geração hidrelétrica através da teoria de opções em tempo discreto / Alexandre Caporal ; orientador: Luiz Eduardo Teixeira Brandão ; co-orientador: Marcelo Cabús Klotzle. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Administração, 2006.

77 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Administração.

Inclui referências bibliográficas.

1. Administração – Teses. 2. Finanças. 3. Opções reais. 4. Análise de projetos. 5. Flexibilidade gerencial. 6. Análise de decisões. I. Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. II. Klotzle, Marcelo Cabús. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Administração. IV. Título.

CDD: 658

“ Não é um notável talento o que se exige para assegurar o êxito em qualquer empreendimento, mas sim um firme propósito “

Thomas Wittlam Atkinson

A minha família e a todos que me ajudaram nesta empreitada

Agradecimentos

Agradeço aos professores Luiz Brandão e Marcelo Cabús pela orientação e todo apoio neste trabalho.

Aos amigos de turma por todo apoio, troca de idéias, opinião, ajuda em diversas ocasiões e principalmente pela excelente convivência.

A minha família por toda compreensão e apoio em todos os momentos e decisões da minha vida.

Resumo

Caporal, Alexandre; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. **Avaliação de ativos de geração hidrelétrica através da Teoria de Opções Reais em Tempo Discreto**. Rio de Janeiro, 2006. 77p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O setor elétrico brasileiro vem sofrendo fortes mudanças estruturais, cujo principal objetivo é criar um caráter competitivo para permitir ao setor crescer não mais por investimentos estatais, mas sim pela atuação do capital privado. Assim sendo, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) passa a oferecer uma multiplicidade de oportunidades de investimentos, geradas principalmente pela recente implantação dos leilões de unidades geradoras de energia (em sua maioria hidrelétricas) e de linhas transmissoras. Em vista disso, essa dissertação propõe um modelo de avaliação de projetos de geração hidrelétrica sob condições de incerteza utilizando-se a metodologia de opções reais. Este trabalho busca incorporar a flexibilidade gerencial à avaliação de projetos através do uso de Árvores Binomiais de Decisão, com probabilidades neutras ao risco, para a avaliação por Opções Reais em Tempo Discreto. O método é computacionalmente intenso, mas de modelagem mais simples e intuitiva que os métodos tradicionais de Opções Reais, permitindo assim uma maior flexibilidade na elaboração do modelo. A aplicação prática foi realizada através da avaliação da opção de venda de energia de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH).

Palavras-chave

Finanças; Opções Reais; Análise de Projetos; Flexibilidade Gerencial; Análise de Decisões

Abstract

Caporal, Alexandre; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. **Hydroelectric Generation Asset Valuation by Real Options in Discrete Time**. Rio de Janeiro, 2006. 77p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The Brazilian electric sector comes suffering strong structural changes, whose main objective is to create a competitive to allow the sector to grow not more for state investments, but for the private capital. The Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) starts to offer a multiplicity of chances of investments, generated mainly for the recent implantation of the auctions of generating units of energy (in its hydroelectric majority) and of transmission lines. In sight of this, this work propose a model to hydroelectric generation asset valuation under uncertainty conditions using real options methodology. This work aims to incorporate managerial flexibility to the projects valuation using Decision Trees, with neutral probabilities to the risk, for the Real Options Valuation in Discrete Time. The method is computational intense, but simpler and more intuitive than the traditional methods of Real Options, thus allowing a bigger flexibility in the modeling of the problem. The practical application is applied to the problem of option of energy sale valuation of Small Hydroelectric Generation Asset.

KeyWords

Finance; Real Options; Capital Budgeting; Managerial Flexibility; Decision Analysis

Sumário

1 Introdução	13
1.1 O problema	13
1.2 Objetivos da Dissertação	14
1.3 Delimitação do Estudo	15
1.4 Estrutura da Dissertação	15
2 Referencial Teórico	16
2.1 Teoria das Opções Reais	16
2.2 Presença de Riscos e Incertezas	17
2.3 Analogia com Opções Financeiras	18
2.4 Apreçamento de Opções (Modelo Black-Scholes)	21
2.5 Modelo Binomial	24
2.6 Decision Tree Analysis (DTA)	25
2.7 Movimento Geométrico Browniano	29
2.8 Simulação de Monte Carlo	31
2.9 Tipos de Opções Reais	32
3 Mercado de Energia Elétrica no Brasil	35
3.1 Histórico	35
3.2 O Novo Modelo do Setor Elétrico	36
3.3 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's)	37
3.4 Procedimentos para implementação de PCH's no Brasil	37
3.5 Mecanismos de Venda de Energia Produzida por PCH	39
3.5.1 Power Purchase Agreement - PPA	40
3.5.2 PROINFA	41
3.5.3 Câmara de Comercialização de Energia e o mercado Spot	41
3.6 Preço Spot de Eletricidade no Brasil	43
4 Modelo Teórico	47
4.1 Premissas Teóricas	47
4.2 Avaliação – Modelagem em Tempo Discreto	47

5 Aplicação ao Caso de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH)	54
5.1 Introdução	54
5.2 Premissas	54
5.3 Modelo Financeiro	55
5.3.1 Potência Instalada	55
5.3.2 Custo do Investimento	56
5.3.3 Geração Total de Energia	56
5.3.4 Custo de Geração	56
5.3.5 Preço de venda da Energia	56
5.3.6 Taxa de Desconto e Taxa Livre de Risco	58
5.3.7 Vida Útil	59
5.4 Modelagem Financeira	59
5.5 Flexibilidade Gerencial do Projeto: Opções Reais	60
5.5.1 Opção de Contratar	60
5.6 Solução	62
5.6.1 Modelagem Determinística: FCD sem Opções	62
5.6.2 Determinação da Volatilidade do Projeto	63
5.6.3 Determinação do Risco do Projeto	64
5.6.4 Árvore do Projeto	64
5.6.5 Opção de Contratação	66
6 Conclusões e Recomendações	71
6.1 Conclusões	71
6.2 Limitações da Metodologia	72
6.3 Sugestões para Trabalhos Futuros	73
7 Referências Bibliográficas	74
8 Anexos	76

Lista de figuras

Figura 1 – Valorização de uma opção de compra no vencimento	19
Figura 2 – Valorização de uma opção de venda no vencimento	20
Figura 3 – Variação do preço da ação e da opção em uma árvore binomial	24
Figura 4 – Representação de um portfólio replicante	26
Figura 5 – Representação da Simulação de Monte Carlo para valor presente líquido	32
Figura 6 – Fluxograma das atividades presentes no estudo e no projeto básico de PCHs	38
Figura 7 – Contabilização da energia disponível no sistema	42
Figura 8 – Planejamento da operação e possíveis preços futuros do spot	44
Figura 9 – Evolução preço CMO	45
Figura 10 – Árvore de Eventos	49
Figura 11 – Árvore de Decisão	52
Figura 12 – O processo de avaliação em quatro etapas	53
Figura 13 – Modelo Binomial do Projeto	65
Figura 14 – Árvore de Decisão do Projeto	66
Figura 15 – Árvore de decisão com opção de contratação nos anos 0, 5, 10 e 15	67
Figura 16 – Valor do Projeto com a Opção de Contratar	68
Figura 17 – Política Ótima de Investimentos	69
Figura 18 – Valor do Projeto: Sensibilidade a volatilidade do preço spot	69
Figura 19 – Valor do Projeto: Sensibilidade ao preço inicial spot	70
Figura 20 – Valor do Projeto: Sensibilidade frente ao preço spot e a volatilidade	70

Lista de tabelas

Tabela 1 – Analogia entre opções financeiras e opções reais	21
Tabela 2 – Estatísticas descritivas do CMO (Set/00 a Dez/05)	45
Tabela 3 – Estatísticas descritivas do CMO (Jun/03 a Dez/05)	46
Tabela 4 – Parâmetros adotados para a avaliação da PCH	55
Tabela 5 – Fluxo de caixa Projetado	59
Tabela 6 – Opção de Contratação da PCH	61
Tabela 7 – Resultados da Simulação de Monte Carlo	63