



**Flávia Aguiar Fontanet**

**Avaliação de uma Opção de Espera de um  
Parque Eólico pelo Método de Opções Reais**

**Dissertação de Mestrado**

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

Orientador: Prof. Prof. Reinaldo Castro Souza  
Co-orientador: Prof. Marco Antônio Guimarães Dias

Rio de Janeiro  
Março de 2012



**Flávia Aguiar Fontanet**

**Avaliação de uma Opção de Espera de um  
Parque Eólico pelo Método de Opções Reais**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Reinaldo Castro Souza**  
**Orientador**

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

**Prof. Marco Antônio Guimarães Dias**

Co-Orientador  
Petrobrás

**Prof. Carlos Patrício Samanez**

Departamento de Engenharia Industrial- PUC-Rio

**Prof. José Francisco Moreira Pessanha**

UERJ

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro  
Técnico Científico

Rio de Janeiro, 29 de março de 2012

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

## **Flávia Aguiar Fontanet**

Graduou-se em Ciências Econômicas na Universidade Católica de Petrópolis (2002). Especializou-se em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas (2005) e em Métodos Computacionais Estatísticos na Universidade Federal de Juiz de Fora (2008).

### Ficha Catalográfica

Fontanet, Flávia Aguiar

Avaliação de uma opção de espera de um parque eólico pelo método de opções reais / Flávia Aguiar Fontanet; orientador: Reinaldo Castro Souza; co- orientador: Marco Antonio Guimarães Dias. – 2012.

90 f.; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2012.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Opção de espera. 3. Parque eólico. 4. Teoria das opções reais. I. Souza, Reinaldo Castro. II. Dias, Marco Antonio Guimarães. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD: 621.3

Dedico esta dissertação ao meu pai Fernando Fontanet Pou Neto.

Apesar de não estar mais presente na Terra,  
seus ensinamentos e seu amor me fizeram chegar até aqui.

## Agradecimentos

A Deus, por ter caminhado comigo em todos os momentos,

Ao meu orientador Prof. Reinaldo Souza Castro, pela oportunidade de estar aqui e pela aprendizagem enriquecedora,

Ao Prof. Marco Antonio Guimarães Dias pelos seus ensinamentos, os quais levarei para minha vida profissional,

A Martha Corrêa Dalbem, pelas sugestões concedidas,

À minha querida mãe Sônia, à minha irmã Fernanda, ao meu tio Pedro Paulo pelo amor incondicional,

Ao meu amor, por estar sempre ao meu lado,

À Ana Branco, pela presença e incentivo nos momentos mais difíceis,

Às amigas e irmãs do coração: Bianca, Nayara e Úrsula, pelo carinho e amizade sincera,

À Maria Beatriz e Lúcio Medeiros pela ajuda sempre que foi necessário,

Aos amigos que fiz na PUC-Rio, dos quais jamais me esquecerei: Albino, Ana, Alexandre, Bruno, Érika, Gláucia, João Paulo, Paulo Roberto, Rodrigo Calili e Rodrigo Farinazzo,

À CAPES e a PUC-Rio, pelo apoio financeiro.

## Resumo

Fontanet, Flávia Aguiar; Souza, Reinaldo Castro (Orientador); Dias, Marco Antonio Guimarães (Co-orientador). **Avaliação de uma Opção de Espera de um Parque Eólico pelo Método de Opções Reais**. Rio de Janeiro, 2012. 90p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O investimento em energias é fundamental para a manutenção do crescimento econômico. O aumento da demanda impulsiona a busca por novas fontes que sejam eficientes e renováveis. Nesse contexto, o aumento dos investimentos em energia eólica vem se expandindo em todo o mundo. Entretanto, no caso do Brasil, esses investimentos apresentam diversos fatores de risco, tanto na regulação quanto nas condições técnicas e de mercado. A Teoria de Opções Reais será utilizada como uma ferramenta para determinar o valor do projeto eólico. Essa técnica incorpora, ao valor do projeto, as incertezas inerentes ao fluxo de caixa e, principalmente, a flexibilidade da dinâmica de decisões ao longo do tempo. A metodologia proposta neste estudo é analisar o projeto imediato pelo Método tradicional (VPL) e postergado pelos métodos de opções reais: Método Binomial e *Contingent Claims*. Com isso, buscou-se avaliar o melhor momento para a realização de um investimento em um Parque Eólico fictício no Nordeste do Brasil, levando em consideração que o investidor pode realizar o projeto imediatamente ou esperar.

## Palavras-chave

Opção de Espera; Parque Eólico e Teoria das Opções Reais.

## Abstract

Fontanet, Flávia Aguiar; Castro, Reinaldo Souza (Advisor); Dias, Marco Antonio Guimarães (Co-Advisor). **Evaluation of an Option to Wait for a wind farm by the Method Real Options**. Rio de Janeiro, 2012. 90p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Investments in energy are crucial to maintaining economic growth. The demand growth drives the search for new sources that are both efficient and renewable. In this context, investments in wind power are increasing worldwide. However, in the Brazilian case, such investments have different risk factors, such as regulatory, technical and market conditions. We will use the Real Option Theory as a tool to determine the wind project's value. This method incorporates the uncertainties intrinsic to the cash flow, and especially the flexibility of the over time decision dynamic, in the project value. In this work, we propose a methodology that analyzes the immediate project by the traditional method (VPL) and compare it with the delayed project analyzed by the two real option variations: binomial method and Contingent Claims. Thus, we intend to assess the best moment for investing in a fictitious wind farm in the northeastern area of Brazil, considering the investor can wait or execute the project right away.

## Keywords

Option to Wait; Wind Farm and Real Options Theory.

## Sumário

<b>1. Introdução.....</b>	<b>13</b>
1.1. Problema.....	14
1.2. Objetivo.....	15
1.2. Estrutura da Dissertação.....	15
<b>2 Energia Eólica .....</b>	<b>16</b>
2.1. Breve Histórico da Energia Eólica .....	16
2.2. Aspectos Teóricos .....	17
2.2.1. O Comportamento dos Ventos.....	17
2.2.2. Aerogeradores .....	19
2.2.2.1. Rotor do Eixo Vertical .....	20
2.2.2.2. Rotor do Eixo Horizontal .....	20
2.2.3. A Potência do Vento .....	21
2.2.4. Custo da Energia .....	22
2.3. Vantagens e Desvantagens da Energia Eólica .....	24
2.4. Mercado Mundial da Energia Eólica .....	25
2.5. Mercado Brasileiro de Energia Eólica .....	28
2.5.1. Sucessos e Fracassos do Incentivo à Energia Eólica .....	30
2.5.2. Novo Modelo do Setor Elétrico .....	33
2.6. Leilões e Proinfa .....	34
<b>3. Referencial Teórico.....</b>	<b>36</b>
3.1. Método Tradicional de VPL .....	36
3.2. Taxa de Desconto Ajustada ao Risco .....	37
3.3. Críticas ao Método Tradicional do VPL .....	38
3.4. Teoria das Opções Reais .....	39
3.4.1. Características da Teoria das Opções Reais.....	40
3.4.2. Tipos das Opções Reais .....	41
3.4.2.1. Opção de adiar ou esperar o projeto.....	41
3.4.2.2. Opção de abandonar o projeto.....	41
3.5. Opções Financeiras .....	42
3.5.1. Analogias entre Opções Financeiras e Opções Reais .....	44
3.6. Processo Estocástico .....	45
3.6.1. Tipos de Processos Estocásticos .....	46
3.6.2. Processos de Markov .....	46
3.6.3. Processos de Wiener .....	46
3.6.4. Movimento Aritmético Browniano.....	47
3.6.5. Movimento Geométrico Browniano.....	47
3.6.6. Movimento de Reversão à Média.....	51
3.7. Método de Apreçamento de Opções Reais.....	54



3.7.1. <i>Contingent Claims</i> .....	55
3.7.2. Método Binomial .....	58
3.7.3. Avaliações por Simulação de Monte Carlo.....	60
3.7.4. Avaliação através do MAD original e MAD modificado.....	61
<b>4. Avaliação Financeira de um Parque Eólico .....</b>	<b>63</b>
4.1. Modelagem.....	63
4.2. Cálculo do Valor Presente Líquido do Projeto sem Opções .....	64
4.2.1. Fator de Capacidade .....	64
4.2.2. Preços Negociados .....	66
4.2.3. Composição do Fluxo de Caixa do Projeto.....	67
4.2.3.1. Receita de Venda .....	67
4.2.3.2. Crédito de Carbono.....	68
4.2.3.3. Investimento Inicial.....	68
4.2.3.4. Custo de Operação e Manutenção .....	69
4.2.3.5. Taxa da ANEEL.....	69
4.2.3.6. Financiamento.....	69
4.2.3.7. Impostos.....	70
4.2.3.8. Depreciação.....	70
4.2.4. Determinação da Taxa de Desconto Ajustada ao Risco.....	70
4.2.5. Análise do Resultado do Projeto .....	71
4.3. Análises das Variáveis Estocásticas do Projeto.....	72
4.3.1. Teste da Raiz Unitária.....	73
4.3.2. Teste da Normalidade.....	73
4.3.3. Teste da Autocorrelação.....	74
4.4. Correlação entre as Variáveis .....	76
4.5. Escolha do Processo Estocástico .....	76
4.6. Cálculo da Volatilidade Agregada do Parque Eólico.....	77
4.7. Estimacão dos Parâmetros do Processo Estocástico.....	78
4.7.1. Estimacão dos Parâmetros de um MGB.....	78
4.7.2. Estimacão dos Parâmetros de um MRM.....	79
4.8. Cálculo da Valor da Espera.....	80
4.8.1. Cálculo da Valor da Espera através de <i>Contingent Claims</i> .....	80
4.8.2. Cálculo da Valor da Espera através de Método Binomial.....	82
<b>5. Considerações Finais.....</b>	<b>84</b>
5.1. Conclusão.....	84
5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros.....	85
<b>6. Referências bibliográficas.....</b>	<b>86</b>
<b>Anexo A: Fluxo de Caixa.....</b>	<b>90</b>

## Lista de Tabelas

Tabela 3-1 – Comparação das opções reais e opções financeiras.....	45
Tabela 4-1 – Composição do Fluxo de Caixa.....	71
Tabela 4-2 – Estimação dos Parâmetros do Projeto.....	78
Tabela 4-3 – Estimação dos Parâmetros do Preço.....	78
Tabela 4-4 – Estimação dos Parâmetros de um MRM.....	79

## Lista de Figuras

Figura 2-1 – Evolução dos Aero geradores de 1985 a 2005.....	23
Figura 2-2 – Complementaridade entre a geração hidrelétrica e eólica.....	29
Figura 3-1 – Processo Estocástico MGB .....	49
Figura 3-2 – Processo Estocástico MRM .....	52
Figura 3-3 – Árvore Binomial de Eventos .....	58
Figura 4-1 – Fator de Capacidade de janeiro de 2000 a dezembro de 2008	64
Figura 4-2 – Período de Construção de um Parque Eólico.....	67
Figura 4-3 – Valor do Projeto pelo Método Binomial.....	83
Figura 4-4 – Valor da Opção de Espera pelo Método Binomial.....	83

## Lista de Gráficos

Gráfico 2-1 – Crescimento da Energia Eólica.....	26
Gráfico 2-2 – Evolução da Capacidade instalada da Energia Global.....	27
Gráfico 2-3 – Energias mais utilizadas na Matriz Energética Brasileira....	30
Gráfico 3-1 – Remuneração da Opção de Compra no Vencimento.....	43
Gráfico 3.2 – Remuneração da Opção de Venda no Vencimento.....	44
Gráfico 4-1 – Previsão do Fator de Capacidade.....	65
Gráfico 4-2 – FAC dos Erros do Fator de Capacidade .....	66
Gráfico 4-3 – Preço da Energia Eólica Simulado.....	66
Gráfico 4-4 – VPL Simulado.....	72
Gráfico 4-5 – Teste de Normalidade do Fator de Capacidade.....	74
Gráfico 4-6 – Função de Autocorrelação (FAC).....	75
Gráfico 4-7 – Função de Autocorrelação Parcial (FACP).....	75
Gráfico 4-8 – Valor da Opção de Espera .....	81