



Ivan Pablo Lobos Avilés

**Avaliação de *Smelter* de Alumínio Auto-Suficiente em
Geração de Energia Elétrica pela Metodologia de
Opções Reais**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão

Rio de Janeiro
Julho de 2009



Ivan Pablo Lobos Avilés

**Avaliação de *Smelter* de Alumínio Auto-Suficiente em
Geração de Energia Elétrica pela Metodologia de
Opções Reais**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título 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. Leonardo Lima Gomes

Departamento de Administração - PUC-Rio

Prof. Celso Funcia Lemme

COPPEAD/UFRJ

Prof. Nizar Messari

Vice-Decano de Pós-Graduação do CCS

Rio de Janeiro, 01 de Julho de 2009

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

Ivan Pablo Lobos Avilés

Ficha Catalográfica

Lobos Avilés, Ivan Pablo

Avaliação de smelter de alumínio auto-suficiente em geração de energia elétrica pela metodologia de opções reais / Ivan Pablo Lobos Avilés ; orientador: Luiz Eduardo Teixeira Brandão. – 2009.

93 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Administração)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia

1. Administração – Teses. 2. Alumínio. 3. Smelter. 4. Commodity. 5. Energia elétrica. 6. Incerteza. 7. Auto-eficiência. 8. Avaliação. 9. Opções reais. I. Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Administração. III. Título.

CDD: 658

Agradecimentos

Aos professores do IAG PUC-Rio e em especial ao Prof. Luiz Brandão pela dedicação e orientação.

A Carlos Bastian-Pinto e Marcelo Desterro, pelas importantíssimas contribuições ao longo da elaboração da dissertação.

As amizades construídas ao longo do curso, especialmente os amigos do chopp, que tornaram a árdua missão muito mais divertida e enriquecedora.

Aos meus familiares, com todo o carinho.

Resumo

Avilés, Ivan Pablo Lobos; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira. **Avaliação de Smelter de Alumínio Auto-Suficiente em Geração de Energia Elétrica pela Metodologia de Opções Reais**. Rio de Janeiro, 2009. 93p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Assim como diversos setores industriais, a indústria do alumínio primário está sujeita a incertezas não somente de flutuações de preços, por se tratar de uma commodity, mas de garantias de suprimentos estratégicos, as quais podem se tornar críticas em momentos de crise de falta de abastecimento ou de forte elevação de custo. No caso da indústria do alumínio primário brasileira cujas plantas, conhecidas como smelters, são altamente dependentes do suprimento de energia elétrica, o investimento em co-geração pode se tornar não somente uma proteção, ou hedge contra falta de energia, mas também uma nova fonte de valor, o que é um importante fator de tomada de decisão no momento de investir nessa alternativa. Esta dissertação avalia por metodologia de Opções Reais o valor agregado obtido pela capacidade de auto-suficiência de um smelter hipotético. Os resultados obtidos sugerem que esse valor é significativo.

Palavras-chave

Alumínio; *smelter*; *commodity*; energia elétrica; incerteza; auto-suficiência; avaliação; opções reais.

Abstract

Avilés, Ivan Pablo Lobos; Brandão, Luiz Eduardo Teixeira (Advisor). **Valuation of an Energy Self Sufficient Aluminium Smelter under the Real Options Approach.** Rio de Janeiro, 2009. 93p. MSc. Dissertation - Departamento de Administração, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

As occurs with many industrial sectors, the aluminum industry is subject to several uncertain variables, not only regarding prices fluctuations, but mostly with respect to strategic supplies, which can become critical in moments of crisis or cost increases. In the specific case of the Brazilian primary aluminum industry, whose smelters are highly dependent on electricity supply, investment in co-generation may be viewed not only as a hedge against energy shortages but also as a source of value, which can be an important factor in the decision making process for capital investment in this area. In this dissertation we use the Real Options approach to model the value obtained by self-sufficiency in electricity for a hypothetical smelter. The results suggest this value may be significant.

Key words

Aluminum; smelter; commodity; electric power; uncertainty; self-sufficiency; valuation; real options.

Sumário

1. Introdução	12
1.1. O Problema	12
1.2. Objetivos da Dissertação	13
1.3. Escopo do Trabalho	14
1.4. Estrutura da Dissertação	14
2. Revisão de Literatura	16
2.1. Relevância do Estudo	20
3. O Alumínio	21
3.1. Cadeia de Produção	22
3.2. A Indústria do Alumínio	25
3.2.1. A Indústria de Bauxita	25
3.2.2. A Indústria de Alumina	26
3.2.3. A Produção de Alumínio	28
3.3. Como Funciona o Mercado	30
4. O Mercado Brasileiro de Energia Elétrica	36
4.1. Histórico	39
4.2. Os Principais Agentes	42
4.3. Como Funcionam os Mercados	46
4.4. Precificação	49
5. Teoria de Opções Reais	53
5.1. Avaliação de Projetos via FCS VS. ROV	53
5.2. Teoria de Opções e Analogia com Opções Reais	55
5.3. Modo Binomial	55
5.4. Modelo Quadrinomial	57
6. Aplicação a <i>Smelter</i> de Alumínio	60
6.1. Introdução	60
6.2. Elementos da Opção	61
6.3. Premissas	62
6.4. Modelo Financeiro	63
6.4.1. Receitas Operacionais Líquidas	64
6.4.2. Custos de Produções e Despesas	65
6.4.3. Taxa de Juros	66
6.4.4. Vida Útil	67
6.5. As Opções Reais do <i>Smelter</i>	67
6.5.1. Opção de Alternância	67
6.5.2. Opção de Abandono	69
6.6. Solução	69
6.6.1. Séries de Alumínio e Energia Elétrica	69
6.6.2. Modelagem Quadrinomial	71

6.6.3. Avaliação das Opções	73
6.6.3.1. Fluxo de Caixa Base	73
6.6.3.2. Opção de Alternância	76
6.6.4. Opção de Abandono do Alumínio	79
6.6.5. Sensibilidade a Alterações nas Volatilidades	81
7. Conclusões	84
7.1. Conclusões, Limitações e Sugestões de Estudos	84
7.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	85
8. Referências Bibliográficas	87
9. Anexos	92
9.1. Demonstração de Resultados Albrás	92
9.2. Demonstração de Resultados CBA 2007	93

Lista de figuras

Figura 1 – Cadeia de Produção do Alumínio	23
Figura 2 – Evolução da Produção Mundial de Alumínio	28
Figura 3 – Cotação do Alumínio Primário (1987 a 2008)	34
Figura 4 – Matriz Energética Brasileira (Fontes Renováveis e Não Renováveis)	36
Figura 5 – Matriz Energética Brasileira	37
Figura 6 – Energia de Fonte Hidráulica	38
Figura 7 – Fontes de Energia Elétrica	38
Figura 8 – Agentes do Setor Elétrico Brasileiro	42
Figura 9 – Ambientes de Contratação de Energia Elétrica	47
Figura 10 – Mercado de Liquidação de Diferenças	48
Figura 11 – PLD por Subsistema	52
Figura 12 – Árvore Binomial: Um Período	56
Figura 13 – Árvore Binomial: Dois Períodos	57
Figura 14 – Árvore Quadrinomial	58
Figura 15 – Cotação do Alumínio (1987 – 2008)	70
Figura 16 – PLD Diário (2001 – 2008)	70
Figura 17 – Árvore do Preço do Alumínio (US\$/ton)	74
Figura 18 – Fluxo de Caixa em Cada Nó	75
Figura 19 – Cálculo do Valor Presente do Caso Base	76
Figura 20 – Árvore do Preço PLD	78
Figura 21 – Sensibilidade a Volatilidade do Alumínio	81
Figura 22 – Sensibilidade a Volatilidade do PLD, Com Limite Máximo	82
Figura 23 – Sensibilidade a Volatilidade do PLD, Sem Limite Máximo	83

Lista de tabelas

Tabela 1 – Produção de Bauxita (em 1.000 Toneladas)	26
Tabela 2 – Produção de Alumina (em 1.000 Toneladas)	27
Tabela 3 – Custos de Produção e Alumina (em %)	27
Tabela 4 – Produtores Instalados no Brasil (em 1.000 Toneladas)	29
Tabela 5 – Parâmetros de Consumo	29
Tabela 6 – Custos de Produção de Alumínio (em %)	30
Tabela 7 – Limites do PLD	52
Tabela 8 – Modelo Financeiro	64
Tabela 9 – Premissas do Modelo Financeiro	64
Tabela 10 – Opção de Alternância	68
Tabela 11 – Opção de Abandono	69
Tabela 12 – Parâmetros da Modelagem da Árvore Quadrinomial	71
Tabela 13 – Probabilidades Neutras ao Risco	72
Tabela 14 – Teste de Raiz Unitária para Alumínio	74
Tabela 15 – Teste de Raiz Unitária para PLD	77
Tabela 16 – Análise do Exercício da Opção de Alternância	79
Tabela 17 – Análise do Exercício da Opção de Abandono do Alumínio	80