



Samuel de Oliveira Cardoso

**Análise de Investimento de Capital na Indústria Brasileira
de papel e celulose por meio da Teoria das Opções Reais:
O Caso da Fibria Celulose S.A.**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Prof. Carlos Patrício Samanez

Rio de Janeiro, dezembro de 2014



Samuel de Oliveira Cardoso

**Análise de Investimento de Capital na Indústria Brasileira
de papel e celulose por meio da Teoria das Opções Reais:
O Caso da Fibria Celulose S.A.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre (opção profissional)
pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Produção da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão
Examinadora abaixo assinada.

Prof. Carlos Patrício Samanez

Orientador e Presidente

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Marco Antonio Guimarães Dias

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. André Barreira da Silva Rocha

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 03 de Novembro de 2014

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

Samuel de Oliveira Cardoso

Graduou-se *cum laude* em Licenciatura em Matemática pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em Dezembro de 2006. Graduou-se em Administração Pública e de Empresas pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em Setembro de 2007. Pós-graduou-se em MBE em Economia e Gestão da Sustentabilidade pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em Maio de 2010. No período de 2001 a 2007, trabalhou, no Comando da Aeronáutica, em cargo de nível técnico na área de Logística Militar. Entre 2007 e 2008, foi Professor I de Matemática, do Quadro Permanente do Município do Rio de Janeiro. De 2008 a 2009, foi Professor Substituto do Departamento de Matemática (DEMAT) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Desde 2008, trabalha como Administrador do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) na Área de Planejamento.

Ficha Catalográfica

Cardoso, Samuel de Oliveira

Análise de investimento de capital na indústria brasileira de papel e celulose por meio da teoria das opções reais: o caso da Fibria Celulose S.A. / Samuel de Oliveira Cardoso ; orientador: Carlos Patrício Samanez. – 2014.

148 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)—Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2014.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Celulose e papel. 3. Opções reais. 4. Processamento estocástico. 5. Reversão à média. 6. Simulação de Monte Carlo. 7. Método binomial. I. Samanez, Carlos Patrício. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Agradecimentos

Ao meu avô, João Norberto (*in memoriam*), pelo exemplo que me deixou nos nossos anos de convivência; aos meus pais, pelo carinho, dedicação e ensinamentos deixados: minha mãezinha, professora Moema e meu pai Rivaldo.

À minha querida e amada esposa, Aline, sempre presente em momentos importantes da minha vida. Ao meu orientador Carlos Patricio Samanez e aos demais professores da Comissão Examinadora pelos conhecimentos transmitidos.

Aos amigos Aquiles Poletti, Administrador do BNDES; e, Roberto Hollmann, Engenheiro da Petrobras e colega de Mestrado, pela generosidade na troca de conhecimentos.

À Secretária do Mestrado, Érica da Hora, pela sua dedicação aos assuntos acadêmicos.

Por fim, ao BNDES, pelo financiamento integral a este Curso de Mestrado.

Resumo

Cardoso, Samuel de Oliveira; Samanez, Carlos Patrício. **Análise de Investimento de Capital na Indústria Brasileira de papel e celulose por meio da Teoria das Opções Reais: O Caso da Fibria Celulose S. A.** Rio de Janeiro, 2014. 148p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O presente trabalho tem como objetivo final a verificação da aplicabilidade da Teoria das Opções Reais (TOR) em investimentos de papel e celulose, considerando o Movimento de Reversão à Média (MRM) nos fatores de risco, dado um modelo de gerenciamento de curto prazo, no âmbito de um estudo de caso da Fibria Celulose S.A. para o setor de papel e celulose no Brasil. Nesta dissertação, testa-se a aderência da série histórica de preços da celulose de fibra curta da Fibria, no período entre 2003 e 2013, a um modelo estocástico de reversão à média, sendo este modelo validado para o presente estudo. Uma vez o modelo validado, determinam-se os parâmetros para realização de cálculos e análises fundamentais para se chegar aos objetivos intermediários, etapa preliminar aos resultados do objetivo final. Dentre os cálculos e análises citados, ressaltam-se: determinação dos VPLs dinâmicos e os valores das Opções Reais europeias sequenciais para a Simulação de Monte Carlo com Processo Neutro ao Risco; construção e análise da Árvore Binomial com Processo Neutro ao Risco; construção e análise das Regiões de Gatilho para preços e lucros marginais em um Processo Real; comparação das Regiões de Gatilho com as determinadas pelas Árvore Binomiais. Assim, com tais análises, confirma-se, nesta dissertação, a aplicabilidade da Teoria das Opções Reais na Análise de Investimento no setor celulósico-papeleiro.

Palavras-chave

Celulose e papel; opções reais; processos estocásticos; reversão à média; simulação de Monte Carlo; método binomial.

Abstract

Cardoso, Samuel de Oliveira; Samanez, Carlos Patrício (Advisor). **Analysis of Capital Investment in the Brazilian pulp and paper industry by means of the Real Options Theory: The case of Fibria Celulose S. A.** Rio de Janeiro, 2014. 148p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The present work has the ultimate purpose of verifying the applicability of the Real Options Theory in the pulp and paper investment, considering the Mean Reversion Movement in the risk factors, given a short-term management model, within a study of Fibria Celulose S.A. for the pulp and paper industry in Brazil. This dissertation tests the adherence of Fibria's short fiber pulp historical price series, between 2003 and 2013 to a stochastic mean reversion model, being this model validated in the present study. Once the model is validated, the parameters for calculations and fundamental analyzes are determined to reach intermediate goals, preliminary step to the results of the final goal. Among the cited calculations and analyzes, it is emphasized: determination of dynamic NPVs and values of the sequential European Real Options for the Monte Carlo Simulation with Risk Neutral Process; construction and analysis of the Binomial Tree with Risk Neutral Process; construction and analysis of the Trigger Regions for prices and marginal profits in a Real Case; Comparison between Trigger Regions and those determined by the Binomial Trees. So with such analyzes, it is confirmed, in this work, the applicability of the Real Option Theory on Investment Analysis in pulp and paper industry.

Keywords

Pulp and Paper; Real Options; Stochastic Process; Mean Reversion; Monte Carlo Simulation; Binomial Method.

Sumário

1. Introdução	13
1.1. Posicionamento Acadêmico da Dissertação	15
1.2. Estrutura da Dissertação	15
1.3. Relevância do Estudo	17
1.4. Aspectos Metodológicos	18
1.5. Definição do Problema e dos Objetivos	18
1.5.1. Problema Investigado	19
1.5.2. Objetivos Intermediários	19
1.5.3. Objetivo Final	20
2. Cadeia Produtiva e Outros Aspectos Setoriais do Setor de Celulose e Papel	21
2.1. Cadeia Produtiva de Papel e Celulose	21
2.1.1. Etapa Florestal	23
2.1.2. Etapa Industrial	25
2.2. Outros Aspectos Setoriais	28
2.2.1. Fibria Celulose S/A	30
3. Referencial Teórico	33
3.1. Teoria das Opções Reais	33
3.1.1. Tipos de Opções	35
3.2. Processos Estocásticos	39
3.2.1. Processo de Markov	41
3.2.2. Processo de Wiener	41
3.2.3. Processo de Itô	43
3.2.4. Movimento Geométrico Browniano (MGB)	43
3.2.5. Movimento de Reversão à Média (MRM)	46
3.2.6. Validação dos Processos Estocásticos	51
3.2.6.1. Teste de Raiz unitária (Dickey-Fuller)	52
3.2.6.2. Teste da Razão de Variância	55
3.2.7. Modelos de Precificação das Opções	56
3.2.7.1. Modelo de Black e Scholes	56
3.2.7.2. Modelo Binomial	59
3.2.7.3. Simulação de Monte Carlo (SMC)	63
4. Metodologia, Aplicações e Resultados	68
4.1. Opções Reais e Fibria S/A	70
4.2. A Fibria	71
4.3. Premissas	71
4.4. Levantamento de Dados	73

4.5. Escolha e Validação do Processo Estocástico	74
4.5.1. Teste de Dickey-Fuller	75
4.5.2. Teste de Razão da Variância	79
4.6. Modelo de Reversão à Média (MRM)	80
4.7. SMC – Processo Neutro ao Risco (MRM)	87
4.8. SMC – Processo Real x Árvore Binomial com Processo Neutro ao Risco (MRM)	91
4.8.1. SMC – Processo Real	92
4.8.2. SMC – Árvore Binomial Neutra ao Risco (MRM)	96
4.8.3. SMC – Comparação das Regiões de Gatilho com os Valores da Árvore Binomial	101
4.9. Aspectos Gerais e Resultados do Estudo de Caso	102
5. Conclusão	106
5.1. Considerações Finais Sobre o Estudo de Caso	106
5.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	108
6. Referências Bibliográficas	109
7. Anexos	114
7.1. Algumas Definições Adicionais na Etapa Industrial do Processo da Celulose	114
7.2. Dados Utilizados	115
7.3. Simulações no @Risk	118
7.3.1. Introdução ao @Risk – Add-In do Microsoft Excel para Simulação e Análise de Riscos	118
7.3.2. Simulações no @Risk – Processo Neutro ao Risco	121
7.3.3. Simulações no @Risk – Processo Real	128

Lista de tabelas

Tabela 1 – Etapas do processo fabril da celulose	28
Tabela 2 – Tabela para Árvore Binomial Recombinante ($n=3$)	60
Tabela 3 – Dados gerais	72
Tabela 4 – Faixas de preço para o Gatilho	93
Tabela 5 – Faixas de lucro para o Gatilho	95
Tabela 6 – Parâmetros para Árvore Binomial	96
Tabela 7 – Caso geral – Tabela Binomial para $n = 12$	97
Tabela 8 – Análise Binomial Incremental ($n = 12$) com $P_0 = 479,91$	97
Tabela 9 – Análise das faixas de preços pelo Método Binomial	98

Lista de figuras

Figura 1 – Evolução das produções brasileiras de celulose e papel	28
Figura 2 – Evolução da produção mensal de celulose	30
Figura 3 – Valor da Flexibilidade: Incerteza e Capacidade de Reagir	35
Figura 4 – Classificação dos Tipos de Opções Reais	36
Figura 5 – Métodos de Resolução de OR	38
Figura 6 – Gráfico Intuitivo sobre o MGB	44
Figura 7 – Gráfico Intuitivo sobre o MRM	47
Figura 8 – Quadro resumo para estimação de parâmetros do MRM	51
Figura 9 – Árvore Binomial Recombinante (n=3)	60
Figura 10 – Inputs, Outputs e Distribuições Probabilísticas	63
Figura 11 – Inputs e Distribuições Probabilísticas no @Risk	64
Figura 12 – Células para os Outputs no @Risk	65
Figura 13 – Outputs e Distribuições Probabilísticas no @Risk	65
Figura 14 – Esquematização das etapas da SMC	67
Figura 15 – Modelo Conceitual para as simulações	70
Figura 16 – Resumo da escolha do processo estocástico	75
Figura 17 – Tela de entrada de Parâmetro do Teste	78
Figura 18 – Teste ADF no EViews 8	78
Figura 19 – Análise de Regressão no EViews 8	81

Lista de gráficos

Gráfico 1 – Preços deflacionados da celulose de fibra curta	73
Gráfico 2 – Histograma e Estatísticas	74
Gráfico 3 – Ln dos preços deflacionados da celulose de fibra curta	76
Gráfico 4 – Histograma e Estatísticas (Ln)	77
Gráfico 5 – Teste da Razão de Varância para o Ln do preço da Celulose	80
Gráfico 6 – Gráfico de Dispersão e Linha de Tendência Tendência	82
Gráfico 7 – Valoração do Lucro Estocástico – VPL pela TOR (Opção 1)	90
Gráfico 8 – Valoração do Lucro Estocástico – VPL pela TOR (Opção 2)	91
Gráfico 9 – Região das Curvas de Gatilho para os preços	94
Gráfico 10 – Região das Curvas de Gatilho para os lucros	95

Símbolos, acrônimos e abreviaturas

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas

ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

ADF - Dickey-Fuller Aumentado

BEKP - *Bleached Eucalyptus Kraft Pulp*

BHKP - *Beached Hardwood Kraft Pulp*

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social

BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

DF - Dickey-Fuller

DJSI - World - Índice *Dow Jones* de Sustentabilidade Global

ECF - *Elemental Chlorine Free*

FCD - Fluxo de Caixa Descontado

FGV - Fundação Getulio Vargas

IBRE - Instituto Brasileiro de Economia

IGP-DI - Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna

INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial

ISE - Índice de Sustentabilidade Empresarial

MAB - Movimento Aritmético Browniano

MGB - Movimento Geométrico Browniano

MMQ - Método dos Mínimos Quadrados

MRM - Movimento de Reversão à Média

NYSE - *New York Stock Exchange*

SGA - Sistemas de Gestão Ambiental

SMC - Simulação de Monte Carlo

TCF – *Totally Chlorine Free*

TIR - Taxa Interna de Retorno

TJLP - Taxa de Juros de Longo Prazo

TOR - Teoria das Opções Reais

VPL - Valor Presente Líquido