



Priscilla Figueirêdo Polari Pessoa

**Opções de Conversão com Movimento de
Reversão à Média com Saltos de Poisson: o Caso
do Setor Sucroalcooleiro**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Carlos Patrício Samanez

Rio de Janeiro
Agosto de 2011



Priscilla Figueirêdo Polari Pessoa

**Opções de Conversão com Movimento de
Reversão à Média com Saltos de Poisson: o Caso
do Setor Sucroalcooleiro**

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

Prof. Carlos Patrício Samanez

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. José Paulo Teixeira

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Kátia Maria Carlos Rocha

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 30 de Agosto de 2011

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

Priscilla Figueirêdo Polari Pessoa

Graduou-se em Engenharia de Produção pela PUC-Rio em Julho de 2008. Cursou o curso de Formação em Logística Empresarial pelo CEL/COPPEAD com término em Janeiro de 2009. Trabalhou como analista de Risco e Precificação na Seguradora Brasileira de Crédito à Exportação e atualmente trabalha como consultora na Visagio.

Ficha Catalográfica

Pessoa, Priscilla Figueirêdo Polari

Opções de conversão com movimento de reversão à média com saltos de Poisson ; o caso do setor sucroalcooleiro / Priscilla Figueirêdo Polari Pessoa ; orientador: Carlos Patrício Samanez. – 2011.

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

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2011.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Opções reais. 3. Processos estocásticos. 4. Commodity. 5. Reversão à média com saltos de Poisson. 6. Simulação de Monte Carlo. 7. Etanol. 8. Açúcar. I. Samanez, Carlos Patrício. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Aos meus avós.

Agradecimentos

Ao meu orientador, professor Carlos Patrício Samanez, por toda a paciência de ter me ajudado e orientado em todo o decorrer da dissertação, aos conselhos e contribuições pra dissertação.

A todos da secretaria do Departamento de Engenharia Industrial especialmente à Cláudia e à Ana que estavam sempre solícitas a responder nossas dúvidas e sempre dispostas a ajudar.

Aos amigos que fiz no mestrado, principalmente ao grupo de finanças: Eduardo Lage, Rafael Dutra e Thaís Filippo. Obrigada por me darem força em continuar cada vez que surgia uma vontade de desistir. Foi muito bom ter como contar com vocês tanto em bons como em maus momentos. São amigos que sei que terei para o resto da vida.

Aos amigos que fiz das outras ênfases e de outros departamento que passavam as tardes conversando e fofocando na favelinha divertindo a minha vida. Especialmente à Ana Carla Silva, Felipe Kaiuca, Antônio Ricardo, Marcel Zylbeberg, Úrsulla Monteiro e todo o resto.

Aos professores do departamento de engenharia de produção por toda a dedicação e carinho que vocês têm pelos alunos.

À PUC-Rio, porque universidade melhor do que essa não existe. Devo toda minha formação a ela. Foi também o lugar onde passei os melhores momentos da minha vida, onde conheci muita gente, onde me desenvolvi como a pessoa que sou hoje. Obrigada PUC-Rio por existir e fazer parte da minha vida.

À CAPES pela ajuda financeira.

E finalmente, à minha família por me suportar em todos os momentos.

Resumo

Pessoa, Priscilla Figueirêdo Polari; Samanez, Carlos Patrício. **Opções de conversão com movimento de reversão à média com saltos de Poisson: o caso do setor sucroalcooleiro.** Rio de Janeiro, 2011. 92p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Devido à crescente utilização de fontes alternativas de energia, as do tipo renováveis têm se mostrado cada vez mais atraentes e viáveis. O etanol, oriundo da cana-de-açúcar, é considerado um combustível promissor e uma alternativa menos poluente que o petróleo nos dias de hoje. Além disso, o volume de produção de etanol no Brasil também tem crescido de forma consistente. Tendo em vista aos fatores supracitados, o estudo de quando a indústria maximiza lucros com a produção de etanol ou açúcar se faz importante. A escolha do modelo estocástico pode influenciar de forma determinante o valor da opção real avaliada. Sendo assim, na presente dissertação propõe-se modelar opções de conversão de acordo com o Movimento de Reversão à Média com saltos de Poisson. Será analisado o caso açúcar/etanol, ou melhor, quando será mais eficiente produzir açúcar (commodity alimentícia) ou etanol (commodity energética). Foi escolhido o Movimento de Reversão à Média com saltos de Poisson, pois apesar de os preços de commodities serem relativamente bem modelados pelo Movimento de Reversão à Média, o etanol e o açúcar sofrem variações bruscas em intervalos curtos de tempo. Essas variações se devem a agentes externos, tais como preço de petróleo e ações governamentais. Dependendo dos preços relativos de etanol e açúcar, há a possibilidade de alteração do mix de produção através da opção de conversão. Através da modelagem de opções citadas, e utilizando a simulação de Monte Carlo, esta dissertação determina o valor das opções disponíveis à indústria.

Palavras-Chave

Opções Reais; Processos Estocásticos; Commodity; Reversão à Média com Saltos de Poisson; Simulação de Monte Carlo; Etanol; Açúcar

Abstract

Pessoa, Priscilla Figueirêdo Polari; Samanez, Carlos Patrício (Advisor). **Switch option with mean reversion process with Poisson jumps: the case of ethanol-sugar sector**. Rio de Janeiro, 2011. 92p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Due to the increasing employment of alternative sources of energy, renewable type has been proved more and more attractive and viable. Ethanol, derived from sugar cane, in the present days is being considered a promising fuel and also a less polluting alternative to oil. In addition, the volume of ethanol production in Brazil has grown consistently. Given the above mentioned factors, the study of the moment when the industry maximizes profits from the production of ethanol or sugar becomes relevant. The choice of the stochastic model may have greater influence on the assessed value of real option. Thus, in this paper, we propose to model switch options in accordance with the Mean Reversion Process with Poisson jumps. Sugar/ethanol case will be analyzed, or rather, when it will be more efficient to produce sugar (food commodity) or ethanol (energy commodity). The Mean Reversion Process with Poisson jumps has been chosen, despite of commodity prices being relatively well modeled by the Mean Reversion Process, because ethanol and sugar suffer abrupt changes in short intervals. These variations are due to external agents, such as oil price and government actions. Depending on the relative prices of ethanol and sugar, there is a possibility of changing the mix of production through the switch option. Through modeling above mentioned options, and using the Monte Carlo simulation, this paper determines the value of the options available to the industry.

Key-Words

Real Options; Stochastic Process; Commodity; Mean Reversion Process with Poisson Jumps; Monte Carlo Simulation; Ethanol; Sugar

Sumário

1	Introdução	13
1.1	Relevância do Estudo, Motivação e o Problema	15
1.2	Estrutura da Dissertação	15
2	Posicionamento da dissertação e Estado da Arte	17
3	Processos Estocásticos	23
3.1	Processo de Markov	23
3.2	Processo de Wiener	24
3.3	Movimento Aritmético Browniano	25
3.4	Movimento Browniano Generalizado – Processo de Ito	27
3.4.1	Movimento Geométrico Browniano	28
3.5	Movimento de Reversão à Média	30
3.5.1	Outros Modelos de Reversão à Média	35
3.5.1.1	Primeiro Modelo: Ornstein-Uhlenbeck	36
3.5.1.2	Segundo Modelo: Variação Modelo de dois fatores de Gibson e Schwartz	38
3.5.1.3	Terceiro Modelo: Modelo de Três Fatores	39
3.6	Movimento de Reversão à Média com saltos de Poisson	40
4	Opções Reais	45
4.1	Introdução	45
4.2	Opções Financeiras	48
4.3	Tipos de Opções Reais	50
4.3.1	Opção de Postergar o Investimento	51
4.3.2	Opção de default durante uma construção em fases (Opção time-to-build)	51
4.3.3	Opção de alterar a escala de uma operação (Expandir; Contrair; Desligar e Reiniciar as Operações)	52

4.3.4	Opção de Abandono para o Resgate do Valor Residual	52
4.3.5	Opção de Troca	53
4.3.6	Opção do Crescimento de Empresas	55
5	Simulação de Monte Carlo	56
6	Indústria do Etanol e Açúcar no Brasil	60
6.1	Overview do Mercado Brasileiro	60
6.2	Preços de Etanol e Açúcar	66
6.3	O problema: A Opção de <i>Switch</i>	70
7	Análise dos Dados e Cálculos	71
7.1	Validade dos Processos Estocásticos	71
7.1.1	Teste de Dickey-Fuller	71
7.1.2	Análise das Variâncias	74
7.1.3	Teste de Jarque-Bera	76
7.2	Aplicação da Simulação de Monte Carlo na determinação do valor da opção de conversão	79
8	Cálculo da Opção de Conversão	83
9	Conclusão	88
10	Bibliografia	90

Lista de Figuras

Figura 3.1 - Distribuição Aleatória do Tamanho dos Saltos	44
Figura 4.1 - Flexibilidade Gerencial é Valiosa	47
Figura 4.2 - 1 Input : N Outputs e N Inputs : 1 Output, respectivamente	53
Figura 6.1 - Fluxograma Simplificado de Produção	70
Figura 7.1 - Tela de Entrada de Parâmetros do teste de Dickey-Fuller	
Aumentado no E-views	72
Figura 7.2 - Tela do Saiph no Módulo Scenario Tool aba Forecast	
Models	79

Lista de Gráficos

Gráfico 6.1 - Brasil: Licenciamento de Automóveis e Comerciais Leves por Tipo de Combustível	62
Gráfico 6.2 - Produção Brasileira de Etanol (mil Litros)	63
Gráfico 6.3 - Produção Brasileira de Açúcar (tonelada)	64
Gráfico 6.4 - Cana-de-Açúcar processada pelas Usinas Brasileiras (tonelada)	65
Gráfico 6.5 - Médias de Preço Semanal de Açúcar Cristal e Etanol	67
Gráfico 6.6 - Médias de Preço Semanal de Açúcar Cristal e Etanol Sem Inflação – base Junho 2000	69
Gráfico 7.1 - Razão da Variância R_k para diferentes lag k :	75
Gráfico 7.2 - Histograma Séries Etanol, Açúcar, Etanol Deflacionado e Açúcar Deflacionado	77
Gráfico 7.3 - Histograma Séries $\ln(\text{Etanol})$, $\ln(\text{Açúcar})$, $\ln(\text{Etanol Deflacionado})$ e $\ln(\text{Açúcar Deflacionado})$	78
Gráfico 7.4 - Simulação dos Preços de Etanol	81
Gráfico 7.5 - Simulação dos Preços de Açúcar	81
Gráfico 8.1 - Fluxo de Caixa com os preços simulados para caso-base usina de açúcar com sub-produto etanol e usina de etanol puro (em mil reais)	86

Lista de Tabelas

Tabela 6.1 - Exportações Brasileiras	65
Tabela 7.1 - Teste de Raiz Unitária Dickey-Fuller Aumentado – Séries de Preço Açúcar e Etanol	72
Tabela 7.2 - Teste de Raiz Unitária Dickey-Fuller Aumentado – Séries de Preço Açúcar e Etanol Deflacionados	73
Tabela 7.3 - Etanol Deflacionado: Parâmetros utilizados na Reversão à Média com Saltos de Poisson	80
Tabela 7.4 - Açúcar Deflacionado: Parâmetros utilizados na Reversão à Média com Saltos de Poisson	80
Tabela 8.1 - Parâmetros utilizados para o Cálculo do VPL e Resultados	87

Lista de Siglas e Abreviaturas

Call – Opção De Compra

FCL – Fluxo De Caixa Livre

IGP-DI – Índice Geral De Preços – Disponibilidade Interna

MAB – Movimento Aritmético Browniano

MGB – Movimento Geométrico Browniano

MRM – Movimento De Reversão À Média

Put – Opção De Venda

VPL – Valor Presente Líquido