

Gustavo Maia Cantisano

**Impacto da variabilidade do preço
transoceânico de minério de ferro nos
projetos da cadeia logística: uma
abordagem pela simulação estocástica**

Dissertação de Mestrado

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

Orientador: Prof. Carlos Patrício Samanez

Rio de Janeiro
Maio de 2012



Gustavo Maia Cantisano

**Impacto da variabilidade do preço
transoceânico de minério de ferro nos
projetos da cadeia logística: uma
abordagem pela simulação estocástica**

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

Prof. Carlos Patrício Samanez

Orientador e Presidente

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Gerson Lachtermacher

Fundação Getúlio Vargas

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 24 de maio de 2012

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

Gustavo Maia Cantisano

Graduou-se em Engenharia Química na UFF (Universidade Federal Fluminense) em 2000. Cursou MBA Executivo em Gestão de Negócios pelo IBMEC-Rio em 2002. É Gerente Geral de Negócios da área de mineração da MRS Logística S.A, responsável pela carteira de clientes exportadores de minério de ferro. Desenvolveu uma série de projetos logísticos com contratos de curto, médio e longo prazo.

Ficha Catalográfica

Cantisano, Gustavo Maia

Impacto da variabilidade do preço transoceânico de minério de ferro nos projetos da cadeia logística: uma abordagem pela simulação estocástica / Gustavo Maia Cantisano ; orientador: Carlos Patrício Samanez. – 2012.

95 f. : il. color. ; 30 cm

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

Inclui bibliografia.

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Preço. 3. Minério de ferro. 4. Previsão. 5. Demanda. 6. Capacidade. 7. Terminal. 8. Ferrovia. 9. Infra-estrutura. 10. Investimentos. 11. Projeto. I. Samanez, Carlos Patrício. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de

CDD: 658.5

À Priscila e Bernardo, pelo incentivo e compreensão nos
períodos de minha ausência.

Agradecimentos

Aos meus pais pelo carinho e dedicação em todos os momentos da minha formação.

Aos meus gestores Carlos Henrique Waack, Eduardo Parente e Sergio Garcia pelo incentivo demonstrado e direcionamento para viabilização deste mestrado.

Ao meu orientador, Carlos Patrício Samanez, pela orientação nos momentos de maior complexidade.

Ao coordenador do curso, José Eugêneo Leal, pela contribuição na escolha do tema e na elaboração da linha de pesquisa.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Industrial pela colaboração, sempre que foi preciso.

Aos meus colegas de Mestrado que ajudaram a tornar os dois anos de estudo menos sacrificantes e mais divertidos.

A todas as pessoas que de alguma maneira contribuíram para o sucesso desta dissertação.

Resumo

Cantisano, Gustavo Maia; Samanez, Carlos Patrício. **Impacto da variabilidade do preço transoceânico de minério de ferro nos projetos da cadeia logística: uma abordagem pela simulação estocástica.** Rio de Janeiro, 2012. 95p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação teve como objetivo desenvolver uma metodologia e aplicá-la à uma cadeia de transporte ferroviário de minério de ferro, de forma a mensurar o impacto da oscilação de preços do minério de ferro nos projetos logísticos envolvendo produção, terminais de carga e descarga, transporte ferroviário e infra-estrutura portuária, de maneira a demonstrar a relevância que a previsibilidade do preço possui no planejamento dos investimentos e na viabilização de projetos em cada etapa da cadeia de exportação desta *commodity*. Para alcançar o objetivo da pesquisa proposta acima, realizou-se uma breve revisão conceitual dos principais métodos de previsão de preços de *commodities* e uma descrição dos processos logísticos de cada etapa da cadeia em estudo. Na sequência, foi apresentado o detalhamento da metodologia e sua aplicação utilizando uma base histórica de preços reais de mercado e custos referenciais da cadeia logística. O resultado da pesquisa permitiu identificar melhor os momentos de risco dos projetos de mineração e aperfeiçoar o processo decisório de investimentos em ativos ferroviários. A nova metodologia permitiu aumentar o nível de precisão da previsão do preço da tonelada de minério de ferro e com isso melhorar o nível de informação sobre a demanda que estimula os projetos logísticos da cadeia envolvida. Foi possível identificar melhor o potencial dos projetos apresentados por empresas de mineração e de empresas entrantes em sua área de atuação, aprimorando a seleção de projetos compartilhados e o processo decisório sobre quais investimentos priorizar no médio e longo prazo.

Palavras-chave

Preço; Minério de Ferro; Previsão; Demanda; Capacidade; Terminal; Ferrovia; Infra-estrutura; Investimentos; Projeto.

Abstract

Cantisano, Gustavo Maia; Samanez, Carlos Patrício (Advisor). **Impact of transoceanic iron ore price variability in logistic projects: an approach by stochastic simulation.** Rio de Janeiro, 2012. 95p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This work aimed to develop a methodology and apply it to a iron ore railway transport chain in order to measure the impact of transoceanic iron ore price fluctuation in logistics projects involving production, loading and unloading terminals, transport rail and port infrastructure trying to demonstrate the relevance of the market price predictability in the planning of investments and the viability of projects in each step of the supply chain process concerning the exportation of this mineral commodity. To achieve the goal of the research presented above, there was a brief conceptual overview of the main methods of forecasting commodity prices and a description of the logistics processes in each stage of the chain under study. Next, the details of the methodology and its application were presented using a historical basis of real market prices and benchmark supply chain costs. The survey results identified the best moments of risk of mining projects and improve the decision making process of investment in railway assets. The new methodology allowed to increase the assessed level of prediction accuracy of the price per ton of iron ore and thereby improve the level of information that stimulates demand chain logistics projects involved. It was possible to identify the potential of the projects presented by mining companies and new players in their area, improving the selection of projects and shared decision making about which investments to prioritize in medium and long term.

Keywords

Price; Iron Ore; Forecast; Demand; Capacity; Terminal; Railroad; Infrastructure; Investment; Project.

Sumário

1. Introdução	11
1.1. Objetivo	11
1.2. Motivação	12
2. A indústria de Minério de Ferro	13
2.1. Introdução	13
2.2. Produção Mundial de Aço	14
2.3. Minério de Ferro	17
2.3.1. Demanda & Oferta Transoceânica de Minério de Ferro	17
2.3.2. Preço no Mercado Transoceânico	20
2.4. Cadeia Logística	23
2.4.1. Transporte Ferroviário	23
2.4.2. Terminais de Carga e Descarga	37
2.4.3. Custos da Cadeia Logística	46
3. Referencial Teórico	48
3.1. Métodos de Previsão	48
3.1.1. Introdução	48
3.1.2. Descrição Teórica dos Métodos de Previsão	49
3.2. Processos Estocásticos de Preços de Commodities	52
3.2.1. Processos Estocásticos	52
3.2.1.1. Movimento Geométrico Browniano	55
3.2.1.2. Movimento de Reversão à Média	55
3.2.1.3. Lema de Itô	58
3.2.1.4. Processo de Difusão com Saltos	58
3.3. Viabilidade Econômico-Financeira de Projetos	60
3.3.1. Introdução	60
3.3.2. Métodos relevantes para avaliação de projetos	62
3.3.3. Risco e incerteza	73
4. Metodologia Proposta	77
4.1. Abordagem da Metodologia	77
4.2. Modelagem de Previsão de Preço	78
4.3. Simulação	80
4.4. Análise de Sensibilidade	84
4.5. Impacto e Viabilidade de Projetos	86
5. Avaliação de Resultados	89
5.1. Análise de Resultados	89
5.2. Limitações da Metodologia	90
6. Conclusão	92
7. Referências Bibliográficas	94

Lista de Figuras

Figura 1 – Produção mundial de aço histórica e China	14
Figura 2 – Países produtores de aço	15
Figura 3 – Consumo aparente per capita de aço	16
Figura 4 – Consumo de aço x PIB per capita	16
Figura 5 – Principais exportadores transoceânicos	18
Figura 6 – Produção brasileira de minério de ferro	19
Figura 7 – Preços minério de ferro FOB (sem frete marítimo) nomercado transoceânico.....	21
Figura 8 – Frete marítimo destino China	22
Figura 9 – Evolução do volume de transporte ferroviário de minério de ferro.....	23
Figura 10 – Evolução dos investimentos da MRS Logística	25
Figura 11 – Ferrovias brasileiras.....	29
Figura 12 – Corredor EFVM.....	30
Figura 13 – Corredor FCA	31
Figura 14 – Corredor MRS.....	32
Figura 15 – Corredor Carajás EFC	33
Figura 16 – Participação corredores da Vale	34
Figura 17 – Localização de terminais de carga	36
Figura 18 – Terminal Olhos D`agua com silo de carregamento	38
Figura 19 – Terminal Agua Santa próximo a mina de Fábricas da VALE	39
Figura 20 – Terminal Otavio Dapievi - Andaime em formato circular de pêra.....	41
Figura 21 – Portos privados em desenvolvimento no Estado do RJ.....	42
Figura 22 – Virador de vagões no terminal de descarga	43
Figura 23 – Stacker e correia de transferência na área de armazenagem	44
Figura 24 – Berços de atracação de navios no porto de Itaguaí e projeto Sudeste.....	45
Figura 25 – Custos por tonelada na cadeia de valor do minério de ferro.....	47
Figura 26 – Histórico de preços FOB (free on board) destino Europa e Ásia	81
Figura 27 – Simulação de preços FOB (free on board) destino Europa e Ásia.....	83
Figura 28 – Volatilidade de preços FOB (free on board) destino Europa e Ásia.....	84
Figura 29 – Velocidade de reversão á média de preços FOB (free on board) destino Europa e Ásia.....	85
Figura 30 – Capex projeto exportação minério de ferro destino Europa e Ásia	86
Figura 31 – Opex projeto exportação minério de ferro destino Europa e Ásia.....	87

Lista de Tabelas

Tabela 1: quadro resumo para a estimação de parâmetros do MRM	82
Tabela 2: quadro resumo de dados para simulação do preço futuro de minério de ferro	83
Tabela 3 – VPL projeto exportação minério de ferro destino Europa e Ásia.....	88