



Betty Clara Barraza De La Cruz

**CONTRIBUIÇÃO PARA A ANÁLISE DA
COMPETITIVIDADE DA SOJA EM GRÃOS:
uma aplicação do modelo de equilíbrio espacial ao
estado de Tocantins**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Nélio Domingues Pizzolato

Rio de Janeiro, março de 2007.

Betty Clara Barraza De La Cruz

**CONTRIBUIÇÃO PARA A ANÁLISE DA
COMPETITIVIDADE DA SOJA EM GRÃOS:
uma aplicação do modelo de equilíbrio espacial ao
estado de Tocantins**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção. Aprovada pela comissão examinadora abaixo assinada.

Prof. Nélio Domingues Pizzolato

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial PUC-Rio

Prof. Luiz Felipe Scavarda do Carmo

Departamento de Engenharia Industrial PUC-Rio

Prof. André Lacombe Penna da Rocha

Departamento de Administração PUC-Rio

Prof. Edson José Dalto

IBMEC-RJ

Prof. Fabiano Mezadre Pompermayer

Companhia Vale do Rio Doce – CVRD

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico PUC-Rio

Rio de Janeiro, 07 de março de 2007

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

Betty Clara Barraza De La Cruz

Ficha Catalográfica

Barraza De La Cruz, Betty Clara

Contribuição para a análise da competitividade da soja em grãos: uma aplicação do modelo de equilíbrio espacial ao estado de Tocantins/ Betty Clara Barraza De La Cruz; orientador: Nélio Domingues Pizzolato. – 2007.

148 f. : il. ; 30 cm

Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Logística. 3. Soja. 4. Custos logísticos. 5. Armazenagem. 6. Transporte. 7. Programação não linear. I. Pizzolato, Nélio Domingues. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Dedico a...

Minha, pré-adolescente, Estrela Guia

Vanessa.

Agradecimentos

Ao Departamento de Engenharia Industrial da PUC-RIO, pela oportunidade que me foi concedida de cursar o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Ao Prof. Nélio Domingues Pizzolato pela amizade, atenção, paciência e por todo o conhecimento transmitido durante todo o processo de orientação.

Ao Prof. Andrés Lázaro Barraza De La Cruz, um agradecimento mais do que especial, pelo apoio durante todas as fases deste trabalho, pelas críticas e sugestões sempre construtivas.

Aos Professores e Funcionários do Departamento de Engenharia Industrial.

Aos Prof. André Lacombe, Prof. José V. Caixeta-Filho, Prof. José Alberto Garcia Salazar, Prof. Luis Remo Fellin, Fabiano M. Pompermayer, Andréa L. R. Ojima e E. Gomes Pela atenção dispensada durante a pesquisa.

Ao CNPq pelo suporte financeiro.

Aos colegas de Doutorado, em especial a Alessandra, Javier, Cristina e Fabrício.

A Minha compreensiva e amada filha Vanessa, pelo impulso na reta final e por encher de alegria meus dias.

A minha Mãe Dina, meus Irmãos: Eusebia, Andrés Lázaro e Yris Júlia pela amizade, pelo exemplo de coragem, determinação e nobreza de espírito; aos meus afilhados, cunhados, sobrinhos e em especial a meu Pai Andrés e Irmão Samuel que mesmo em outro plano mantém em mim viva a chama de seu amor. Meu Pai meu exemplo e minha eterna saudade.

Resumo

Barraza De La Cruz, Betty Clara; Pizzolato, Nélio Domingues. **Contribuição para a análise da competitividade da soja em grãos: uma aplicação do modelo de equilíbrio espacial ao estado de Tocantins.** Rio de Janeiro: 2007. 148 p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O sistema logístico da soja brasileira em grãos é um elemento importante na cadeia produtiva, pois a maior parte dos custos desta oleaginosa é dada pelos custos de transportes e os custos de armazenagem. Nesse sentido, a otimização desse segmento é essencial para aumentar a competitividade da soja brasileira no mercado internacional. Nesta tese, propõe-se desenvolver um modelo de equilíbrio espacial multimodal e intertemporal de programação não linear para a análise da competitividade da soja em grãos ao Estado de Tocantins. A aplicabilidade do modelo é avaliada num estudo de caso sobre a exportação da soja do Estado de Tocantins, situado na região norte do cerrado brasileiro cuja competitividade será considerada em relação aos Estados do Maranhão e Piauí, os quais têm os mesmos corredores de transporte. Finalmente, são propostos cenários alternativos para uma melhor análise da competitividade do Estado tocantinense. Os dados são tratados com o uso do programa GAMS/MINOS, desenvolvido para problemas não lineares. Os resultados mostram, nos quatro cenários analisados, que os custos logísticos são reduzidos quando a multimodalidade acontece num ambiente intertemporal. Eles também mostram que a inclusão da Hidrovia Tocantins torna o Estado do Tocantins competitivo. Espera-se que estes resultados possam oferecer subsídios, no sentido de possibilitar uma melhor percepção quanto aos investimentos em infra-estrutura de transporte e armazenagem, para o governo do Tocantins .

Palavras-Chave

Logística; soja; custos logísticos; armazenagem; transporte; programação não linear

Abstract

Barraza De La Cruz, Betty Clara; Pizzolato, Nélio Domingues (Advisor). **Contribution for the analysis of the competitiveness of the soy beans in grains: an application of the spatial equilibrium model to the state of Tocantins.** Rio de Janeiro: 2007. 148 p. DSc. Thesis – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The logistics system for soy beans in grains is an important element in its production chain, since most of the corresponding costs is a result of transportation and warehousing costs. In this way, the optimization of this segment is essential for the competitiveness of the Brazilian soy beans in the international markets. In this dissertation, the proposal is to develop a spatial multimodal and intertemporal equilibrium model using non linear programming. The applicability of the model is tested in a case study about the exports of soy beans produced in the state of Tocantins in the north part of the Brazilian cerrado, whose competitiveness is related to those of the neighboring states of Maranhão and Piauí, that have the same transportation corridors. Finally, some alternative scenarios are considered to analyse the competitiveness of the focused State. The results show, in the four evaluated scenarios, that the logistics costs are reduced when the multimodality happens in a intertemporal environment. They also show that the inclusion of the Hidrovia Tocantins becomes the State of Tocantins competitive. The data are treated by the GAMS/MINOS program developed for non linear problems. It is hoped that the results might offer subsidies to the State of Tocantins in order to allow a better evaluation of its transportation and warehousing infrastructure investments.

Key words

Logistics; soy beans; logistics costs; warehousing; transportation; non linear programming

Sumário

1	Introdução	14
1.1	O Problema	17
1.2	Objetivos	17
1.3	Contribuições	18
1.4	Organização do trabalho	18
2	A soja	20
2.1	Histórico	20
2.2	A soja como impulsionadora do agronegócio brasileiro	21
2.3	Estrutura da oferta e demanda mundial	23
2.4	Fatores de competitividade da soja	28
2.5	Fatores de competitividade do mercado brasileiro	30
2.6	A soja produzida no Tocantins	34
2.7	A soja produzida no Maranhão	38
2.8	A soja produzida no Piauí	41
3	Logística da soja	45
3.1	Definindo a logística	45
3.2	A Logística da soja brasileira	49
3.3	Logística da soja no Tocantins	61
3.4	Logística da soja no Maranhão	76
3.5	Logística da soja no Piauí	77
4	Metodologia	80
4.1	Breve Histórico do modelo de equilíbrio espacial	81
4.2	Análise do bem-estar em equilíbrio espacial	83
4.3	Excedente do consumidor e do produtor	84
4.4	Modelo de equilíbrio espacial	86
4.5	A ferramenta GAMS	91
4.6	Metodologia para solução de PNL: MINOS	93

4.7	Metodologia para análise da competitividade	95
5	Formulação do modelo de programação	96
5.1	Funções de oferta e demanda	96
5.2	Inclinação e intercepto das funções de oferta e demanda	97
5.3	Funções de oferta e demanda da forma não linear	98
5.4	Inclinação e intercepto das novas funções de oferta e demanda	99
5.5	Fluxograma do modelo multimodal, intertemporal com armazenagem	100
5.6	Formulação do modelo	101
5.7	Fontes de informação para o ano 2005	107
6	Resultados e discussão	111
6.1	Estudo de Caso	111
7	Conclusões	129
8	Referências bibliográficas	133
	Anexos	141

Lista de Figuras

Figura 1 -	Principais países produtores de soja	24
Figura 2 -	Principais países exportadores de soja	24
Figura 3 -	Principais países importadores de soja	24
Figura 4 -	Evolução da área plantada de soja no Brasil	25
Figura 5 -	Principais áreas potenciais de produção da soja	27
Figura 6 -	Quantidades de soja colhida no Estado do Tocantins por município	38
Figura 7 -	Distribuição da área plantada com soja no Maranhão por município	41
Figura 8 -	Distribuição da área plantada com soja no Piauí por município	44
Figura 9 -	Ciclo crítico da logística	48
Figura 10 -	Evolução na participação dos portos brasileiros na exportação da soja em grãos	54
Figura 11 -	Malha viária e principais portos utilizados no escoamento da soja brasileira	58
Figura 12 -	Divisão política de Tocantins	62
Figura 13 -	Alternativas de transporte intermodal de Tocantins	66
Figura 14 -	Rodovias	67
Figura 15 -	Hidrovia Tocantins-Araguaia	69
Figura 16 -	Plano Bulhões 1882	70
Figura 17 -	Ferrovia Norte-Sul	71
Figura 18 -	Ferrovia Norte-Sul em operação	72
Figura 19 -	Rede Ferroviária CFN	78
Figura 20 -	Excedente do Consumidor	84
Figura 21 -	Excedente do Produtor	85
Figura 22 -	Excedente total	86

Figura 23 - Equilíbrio de mercado entre duas regiões sem fluxo comercial inicial	87
Figura 24 - Equilíbrio de mercado entre duas regiões com custo de transporte	88
Figura 25 - Modelo gráfico de movimentação da soja	101
Figura 26 - Corredor estratégico de desenvolvimento do Estado do Tocantins	108
Figura 27 - Corredor estratégico de desenvolvimento do Estado do Maranhão	108
Figura 28 - Corredor estratégico de desenvolvimento do Estado do Piauí	109
Figura 29 - Área colhida real e estimada do Tocantins -linear	114
Figura 30 - Área colhida real e estimada do Maranhão -linear	115
Figura 31 - Área colhida real e estimada do Piauí –linear	116
Figura 32 - Área colhida real e estimada do Tocantins –não linear	117
Figura 33 - Área colhida real e estimada do Maranhão –não linear	118
Figura 34 - Área colhida real e estimada do Piauí –não linear	119
Figura 35 - Quantidade de exportação, armazenagem e fluxo da soja em grão do Estado de TO (cenário 1)	121
Figura 36 - Quantidade de exportação, armazenagem e fluxo da soja em grão do Estado do MA (cenário 1)	122
Figura 37 - Quantidade de exportação, armazenagem e fluxo da soja em grão do Estado do PI (cenário 1)	123
Figura 38 - Quantidade de exportação, armazenagem e fluxo da soja em grão do Estado do TO (cenário 2)	124
Figura 39- Quantidade de exportação, armazenagem e fluxo da soja em grão do Estado TO (cenário 3)	125
Figura 40 - Quantidade de exportação, armazenagem e fluxo da soja em grão do Estado TO (cenário 4)	127

Lista de tabelas

Tabela 1 -	Evolução da área plantada de soja no Brasil	26
Tabela 2 -	Custos de produção da soja (US\$/ha)	29
Tabela 3 -	Competitividade na produção de soja em grão	29
Tabela 4 -	Produção de soja do Estado do Tocantins, área plantada e a produtividade	35
Tabela 5 -	Microrregiões de soja do Tocantins: área plantada e produção	35
Tabela 6 -	Produção de soja do Estado do Maranhão: área e produtividade	39
Tabela 7 -	Principais municípios produtores de soja do Maranhão: área e produção	40
Tabela 8 -	Produção de soja do Estado do Piauí: área plantada e produção	42
Tabela 9 -	Principais municípios produtores de soja do Piauí: área e produção	43
Tabela 10 -	Matriz de transporte da soja no Brasil, Argentina e EUA	51
Tabela 11 -	Principais plataformas portuárias na exportação de soja e farelo	53
Tabela 12 -	Frete Rodoviário	74
Tabela 13 -	Frete Ferroviário	74
Tabela 14 -	Capacidade estática de armazenamento	75
Tabela 15 -	Distâncias rodoviárias até portos marítimos	78
Tabela 16 -	Safra Tocantinense, Maranhense e Piauiense de soja em grãos	107
Tabela 17 -	Dados utilizados para estimar a função oferta do Tocantins	112

Tabela 18 -	Dados utilizados para estimar a função oferta do Maranhão	112
Tabela 19	Dados utilizados para estimar a função oferta do Piauí	113
Tabela 20 -	Equações de Oferta de grãos de soja no Tocantins (1997-2005)	113
Tabela 21 -	Equação de Oferta de grãos de soja no Maranhão (1994-2005)	114
Tabela 22 -	Equação de Oferta de grãos de soja no Piauí (1998-2005)	115
Tabela 23 -	Equação de Oferta de grãos de soja no Tocantins (1997-2005). Não linear	116
Tabela 24 -	Equação de Oferta de grãos de soja no Maranhão (1994-2005). Não linear	117
Tabela 25 -	Equação de Oferta de grãos de soja no Piauí (1998-2005). Não linear	118