



Silvia Araújo dos Reis

**Modelo de Programação Estocástica para o
Planejamento Tático da Cadeia Logística da
Soja**

Tese de Doutorado

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

Orientador: Prof. José Eugenio Leal

Rio de Janeiro
Outubro de 2013



Silvia Araújo dos Reis

**Modelo de Programação Estocástica para o
Planejamento Tático da Cadeia Logística da Soja**

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

Prof. José Eugenio Leal

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Antônio Galvão Naclério Novaes

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Dr. Fabiano Mezadre Pompermayer

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA/DF

Prof. Fernanda Maria Pereira Raupp

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. Hugo Miguel Varela Repolho

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Dr. Leonardo Campo Dall'Orto

Brasil Foods

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 16 de outubro de 2013

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

Silvia Araújo dos Reis

Graduou-se em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa-UFV. É mestre em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro-PUC-Rio. É professora efetiva do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Uberlândia-UFU. Possui experiência em consultoria na área de logística agroindustrial, desenho de rede logística e transporte.

Ficha Catalográfica

Reis, Silvia Araújo dos

Modelo de programação estocástica para o planejamento tático da cadeia logística da soja / Silvia Araújo dos Reis; orientador: José Eugenio Leal. – 2013.

162 f. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2013.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Logística. 3. Programação estocástica. 4. Mercado de soja. I. Leal, José Eugenio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Aos meus pais, Silvio e Marina,
pelo amor, apoio e confiança.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus. Agradeço a Deus por esta oportunidade de aprimoramento profissional e pessoal, pelas portas que se abriram e pela oportunidade de escrever esta tese. Agradeço a Deus pelas pessoas que Ele colocou em meu caminho em toda a minha trajetória pessoal, acadêmica e profissional, meus mestres, que tanto me ensinaram, com paciência e seriedade, e aos meus familiares e amigos, que durante todo este tempo tiveram muito amor e paciência com minha falta de tempo.

Em especial, quero agradecer diretamente ao meu orientador, José Eugênio Leal, que há oito anos, desde o mestrado, tem me ensinado e orientado com muita sabedoria. Obrigada professor, eu aprendi muito com o senhor, desde o conhecimento científico, quanto à maneira de lidar com as situações, sempre com mansidão, ética e seriedade. Trago os ensinamentos e exemplos do senhor para minha profissão e vida.

Aos professores do Colégio Militar, pelos ensinamentos iniciais, e aos Professores da PUC-Rio, Fernanda Raupp, Sílvio Hamacher, Nélio Domingues Pizzolato e Luis Felipe Scavarda, pelos ensinamentos em otimização, modelagem matemática, logística, transporte e gestão da cadeia de suprimentos.

Aos doutores convidados que gentilmente aceitaram o convite de participar da banca examinadora desta tese.

Aos meus pais, Marina e Silvio, minha irmã Isabela, e ao Leonardo. Não tenho palavras para descrever o quanto me senti amada nestes tempos de tantas mudanças em minha vida, obrigada meus pais, pela educação, pela oportunidade de estudar, pelo exemplo de vida, pelos ensinamentos, pela motivação, pelo apoio, pela segurança, pelo conforto, pela alegria e amor, muito amor.

Ao Bernardo pelos conselhos, apoio, colo, paciência, força, tranquilidade e amor.

Aos meus amigos, de todas as áreas, tanto aqueles que estiveram comigo proporcionando alegria, quanto aqueles que me ampararam com relação ao

tema desta tese, seja na parte teórica, e nesta parte agradeço em especial a Adriana Leiras e Fabrício Oliveira, seja na parte da cadeia logística da soja, que em especial agradeço ao Adiemir Hortega e ao Renato Guerardi.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Industrial, Cláudia, Isabel, Fernanda, Celi, Gilvan e Eduardo.

À Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, pela realização deste curso de doutorado, bem como à CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro.

À Universidade Federal de Uberlândia, aos amigos docentes e aos alunos.

Obrigada Senhor Jesus, por tudo. Obrigada pelo trabalho de docência e pela oportunidade de poder crescer nesta profissão que tenho tanto encanto.

Resumo

Reis, Silvia Araújo dos; Leal, José Eugenio (Orientador). **Modelo de Programação Estocástica para o Planejamento Tático da Cadeia Logística da Soja**. Rio de Janeiro, 2013. 162p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A natureza incerta e a importância do mercado da soja para economia do Brasil são forças motrizes para melhorias no processo de planejamento da cadeia logística da soja. Esta tese apresenta um novo modelo matemático de programação estocástica para auxiliar no planejamento tático da cadeia logística da soja. Os principais componentes espaciais e temporais da indústria da soja, sob o ponto de vista do embarcador, são abordados no modelo. A função objetivo do modelo maximiza o lucro obtido com base na diferença entre a receita da venda de grãos, farelo e óleo de soja e os custos de transporte, processamento, armazenamento e venda de grãos, farelo e óleo de soja. As decisões relacionadas ao planejamento tático encontram-se dentro de um horizonte temporal de um ano. Aspectos inerentes aos contratos de transportes e de compra de soja em grão são incorporados no modelo. O modelo de programação estocástica proposto é linear de dois estágios com estrutura de recurso fixo. O modelo foi aplicado a um exemplo real com 21 pontos de origem, 11 silos, 6 fábricas de processamento, 5 pontos de mercado interno, 6 portos e 225 arcos de transportes, considerando 243 cenários, oriundos da combinação de quatro fontes de incertezas: preço de compra e venda da soja em grão, a demanda externa da soja em grão e a quebra de safra.

Palavras-chave

Logística; programação estocástica; mercado de soja.

Abstract

Reis, Silvia Araújo dos; Leal, José Eugenio (Advisor). **A Stochastic Programming Model for the Tactical Planning of the Soybean Logistic Chain**. Rio de Janeiro, 2013. 162p. DSc. Thesis – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The uncertain nature and importance of the soybean market for Brazil's economy are driving forces for improvement in the planning process of soybean's supply chain. This thesis presents a new stochastic programming mathematical model to assist in tactical planning of the soybean logistics chain. The model was conceived as a tool to assist the decision making of any trader involved in this highly complex market. The main spatial and temporal components of the soybean industry are addressed in the model. The objective function of the model maximizes the profit achieved based on the difference between the revenue from the sale of grain, meal and oil and the costs of transportation, processing, storage and the sale of grain, meal and oil. The model is intended to be applied for decisions related to tactical planning within a time horizon of one year. Aspects related to transport and purchase of soybeans contracts are incorporated in the model. The stochastic programming model is linear of two-stage with fixed resource structure. The model was applied to a real example with 21 points of origin, 11 silos, 6 processing plants, 5 points of the internal market, 6 ports and 225 arcs of transport, considering 243 scenarios, derived from the combination of four sources of uncertainty: purchase price and sale price of soybeans, foreign demand of soybeans and crop failure.

Keywords

Logistics; stochastic programming; soybean market.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivos da Pesquisa	18
1.2. Estrutura do Trabalho	19
2. MERCADO DO COMPLEXO DA SOJA	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
3.1. Níveis de Planejamento	31
3.1.1. Planejamento Estratégico	31
3.1.2. Planejamento Tático	32
3.1.3. Planejamento Operacional	33
3.2. Programação Estocástica	35
3.2.1. Modelos de Dois Estágios com Recurso Fixo	38
3.2.2. Medidas de Comparação entre Modelos Estocásticos e Determinísticos	40
3.2.2.1. Valor Esperado da Informação Perfeita	41
3.2.2.2. O Valor da Solução Estocástica	42
3.3. Modelos de Planejamento da Cadeia de Suprimentos de Alimentos Agrícolas	43
3.3.1. Modelos de Planejamento da Cadeia de Suprimentos de Alimentos Não Perecíveis	47
3.3.2. Influência de fatores incertos na oferta de produtos agrícolas	49
3.4. Geração de Cenários	50
3.4.1. Dados para os cenários	52
3.4.2. Métodos de Previsão	54
4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	57
4.1. Descrição do Problema	57
4.1.1. Compra da soja em grão	57
4.1.2. Quebra de Safra	58
4.1.3. Transportes	59
4.1.4. Transbordo	61
4.1.5. Armazenagem	61
4.1.6. Processamento do Grão de Soja	63
4.1.7. Capacidades	63
4.1.8. Venda de Grão, Farelo e Óleo de Soja	63
4.1.9. Planejamento dos embarcadores	64
4.2. Descrição da Rede	66
5. MODELO MATEMÁTICO PARA O PLANEJAMENTO TÁTICO DA CADEIA LOGÍSTICA DA SOJA	70
5.1. Modelo Matemático Estocástico	70
5.2. Modelo Determinístico	89
6. APLICAÇÃO DO MODELO	97
6.1. Descrição do Caso Estudado	97

6.1.1. Rede Analisada	98
6.1.2. Parâmetros Associados à Incerteza	103
6.1.3. Geração de Cenários	104
6.1.3.1. Cenários para Preço de Compra de Soja em Grão	106
6.1.3.2. Cenários para Quebra de Safra	107
6.1.3.3. Cenários para Preço de Venda de Soja em Grão	110
6.1.3.4. Cenários para a Demanda Externa de Soja em Grão	110
6.2. Desempenho Computacional	112
6.3. Análise dos Resultados	113
6.3.1. Resultados Iniciais	114
6.3.2. Solução Espere-e-Veja	116
6.3.3. Soluções Obtidas Através do Modelo Estocástico	120
6.3.4. Valor Esperado da Informação Perfeita (EVPI) e Valor da Solução Estocástica (VSS)	124
6.3.5. Análise das Decisões de Primeiro Estágio.	125
6.3.6. Resumo das análises dos resultados	129
7. CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	131
7.1. Sugestões para Pesquisas Futuras	133
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134
APÊNDICE A	142
APÊNDICE B	154

Lista de tabelas

Tabela 1- Conjuntos do Modelo Tático	72
Tabela 2- Variáveis do Modelo Tático	73
Tabela 3- Parâmetros do Modelo Tático	74
Tabela 4- Desempenho Computacional	113
Tabela 5- Resultados das variáveis de primeiro estágio	126
Tabela 6- Cenários utilizados	142
Tabela 7- Probabilidade de cada parâmetro estocástico	148
Tabela 8- Solução espere-e-veja (WS) para cada cenário	154

Lista de figuras

Figura 1- Evolução da Produção de Soja no Brasil- ABIOVE (2012) e USDA (2013).	20
Figura 2- Volume Produzido por Região no Brasil x Volume Produzido no País, em 2011 (IBGE, 2012).	21
Figura 3- Ilustração da porcentagem da produção de soja em 2011 no Brasil por estado, segundo dados da IBGE (2012).	22
Figura 4- Produção mundial de soja em grãos em 2012 (USDA, 2013).	23
Figura 5- Exportação mundial de soja em grãos em 2012 (USDA, 2013).	23
Figura 6- Importação mundial de soja em 2012 (USDA, 2013).	24
Figura 7- Picos na produção de soja nas regiões do Brasil (CONAB e IBGE, 2012).	25
Figura 8- Estrutura da cadeia logística da soja.	26
Figura 9- Volume Produzido e Exportado de Farelo de Soja no Brasil (ABIOVE, 2012).	27
Figura 10- Volume Produzido e Exportado de Óleo de Soja no Brasil (ABIOVE, 2012).	27
Figura 11- Diagrama das relações existentes entre os níveis de planejamento da cadeia logística de soja, sob o ponto de vista do embarcador	35
Figura 12- Classificação dos Modelos Estocásticos. Adaptado de Di Domenica <i>et al.</i> (2007).	37
Figura 13- Modelos de Planejamento da Cadeia de Suprimentos de Alimentos Agrícolas. Fonte: Ahumada e Villalobos, 2009.	45
Figura 14- Cenário identificado em uma árvore de cenários.	51
Figura 15- Produção, exportação e consumo interno de grão, farelo e óleo de soja no Brasil.	64
Figura 16- Rede Logística da Soja.	66
Figura 17- Rede Logística Adaptada.	67
Figura 18- Rede do estudo de caso.	98

Figura 19- Representatividade de cada estado com relação à produção de soja no Brasil do ano 2011 (IBGE, 2012).	99
Figura 20- Clusters escolhidos no estado do Mato Grosso.	99
Figura 21- Clusters escolhidos em Mato Grosso do Sul.	100
Figura 22- Cidades escolhidas no Paraná.	101
Figura 23- Clusters escolhidos no Rio Grande do Sul.	101
Figura 24- Clusters escolhidos no estado de São Paulo.	102
Figura 25- Localização das unidades consideradas na rede do estudo de caso.	103
Figura 26- Divisão da curva Normal para cada valor previsto.	105
Figura 27- Volume de soja em grão produzido.	108
Figura 28- Exemplo da árvore de cenários construída no estudo de caso.	112
Figura 29- Exemplo da árvore de cenários construída, com as probabilidades dos parâmetros.	112
Figura 30- Solução espere-e-veja (WS).	116
Figura 31- Solução Espere e Veja obtida para o cenário mais pessimista, conservador e mais otimista (WS).	117
Figura 32- Resultados do modelo espere-e-veja (WS).	118
Figura 33- Probabilidade de cada cenário acontecer.	119
Figura 34- Lucro da solução estocástica para os cenários mais pessimista, conservador e mais otimista.	120
Figura 35- Lucro da solução estocástica.	121
Figura 36- Resultados ótimos encontrados através do modelo estocástico e através da solução espere-e-veja.	122
Figura 37- Lucros obtidos através do modelo estocástico, solução espere-e-veja e modelo determinístico na ocorrência de cada cenário	123
Figura 38- Valores do EVPI e VSS.	125
Figura 39- Volume de soja em grão contratado antecipadamente.	127
Figura 40- Volume contratado de transporte ferroviário antecipadamente.	128
Figura 41- Volume contratado de transporte rodoviário antecipadamente.	128

Apresentando Soluções para o Desenvolvimento e o Progresso

Nós criamos hábitos para facilitar operações e situações cotidianas. Se não fossem por eles gastaríamos grande parte do nosso tempo pensando em como executar as mais simples atividades. Mas ao mesmo tempo, se nos deixarmos levar pela força dos hábitos em situações que requerem um pensamento mais cauteloso no que estamos fazendo, é possível que mais cedo ou mais tarde nos transformemos em formigas humanas, andando e circulando numa procissão sem começo nem fim. O mundo é imenso e continuará do mesmo tamanho, enquanto que a população cresce, e junto dela cresce também o tamanho e a quantidade de filas à procura de manter o mínimo necessário à sobrevivência.

É urgente e inadiável que sejam explorados novos recursos para o melhor aproveitamento do que há em disponibilidade e inexplorado. Se o ouro e o diamante já foram a grande busca da riqueza e do progresso, hoje, porém, sentimos o progresso sendo freado e travancado pela escancarada face da fome e da miséria, que se espalha por toda a população mundial. A tragédia da fome é, em grande parte, devido à falta de controle e de melhor aproveitamento de tudo que se produz nesta abençoada terra.

Não há quem arrisque conhecer nem calcular o tamanho do desperdício na produção e aproveitamento de toda a cadeia agrícola do nosso alimento de cada dia. A análise da situação do problema, com certeza, sugere uma ação e/ou uma solução inteligente.

Esta tese trata de assunto vital que vem ao encontro deste importante objetivo: a logística do agronegócio. A logística tem como objetivo atender um nível de serviço desejado pelo cliente a um preço que ele aceite pagar com o menor custo possível e com maior retorno sob o investimento. Otimizar a cadeia logística de alimentos é, portanto, objetivo da logística.

Espera-se que o tema desta tese desperte nos leitores o interesse para a construção de ferramentas de otimização para apoio a tomada de decisão na cadeia de suprimentos de alimentos a fim de que o fluxo de produtos alimentícios no mundo seja conduzido de maneira eficaz e eficiente, a ponto de atender a demanda sem desperdícios.

Silvio dos Santos Reis
(Meu pai)

INTRODUÇÃO

A soja constitui uma das principais *commodities* agrícolas comercializadas no mercado mundial. No ano de 2012, foram produzidas 239 milhões de toneladas de soja no mundo e transacionadas no comércio exterior 92 milhões de toneladas. Neste contexto, o Brasil ocupou a posição de segundo maior produtor e exportador da cultura, responsável por 28% da produção e 39% da exportação mundial (USDA, 2013).

No Brasil, o cultivo da soja é responsável por 49% da área plantada em grãos (Ministério da Agricultura, 2012). De acordo com o relatório divulgado em 2011 pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), o PIB da cadeia de soja de R\$ 36 bilhões, em 2009, foi equivalente a 33% do montante gerado por todas as culturas temporárias do país.

O volume escoado também é grande, exigindo bastante da estrutura logística do país. Segundo dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), em 2012, o Brasil produziu 67 milhões de toneladas de soja e exportou 36 milhões de toneladas de grãos, 15 milhões de toneladas de farelo e 1,9 milhões de toneladas de óleo.

A análise dos dados dos últimos anos indica que este volume tende a aumentar. No período compreendido entre os anos de 2000 e 2011, o volume anual de exportação de soja em grão aumentou 300%, enquanto o volume de farelo e óleo de soja cresceu 53% e 62% respectivamente. Como consequência, o crescimento da receita obtida com as exportações deste complexo, chamado complexo soja, cresceu 600% neste período (ABIOVE, 2012).

Em descompasso com os impactos positivos que o processo de crescimento das exportações do complexo soja tem gerado, o Brasil tem apresentado uma série de deficiências logísticas, fragilidade de comercialização e distribuição e carência de ferramentas adequadas para garantir eficiência no sistema de comercialização para a exportação.

O complexo soja é afetado por vários fatores incertos que impactam a comercialização e distribuição de seus produtos. Entre os fatores externos, os

três principais são: as condições climáticas, a quebra de safra e a economia mundial.

As condições climáticas tem grande importância na cadeia de suprimentos da soja. A chuva é um fator natural, difícil de ser previsto, que influencia em várias etapas: na colheita da soja, no transporte, no carregamento de navios e no rendimento da safra.

A quebra de safra, que dentre outros fatores, pode ser ocasionada pelo excesso ou falta de chuva, não é particular do Brasil, mas ocorre com frequência neste país. No ano de 2012, a safra da soja no Brasil teve redução de aproximadamente 7 milhões de toneladas do volume previsto, devido à seca ocorrida no continente Sul Americano (CONAB, 2012).

A situação econômica do mundo também interfere diretamente no mercado do complexo soja, principalmente a situação econômica da China (Santos, 2003), responsável por importar 25% de toda soja produzida no mundo (USDA, 2013).

Em um mercado competitivo como o das *commodities*, o aumento da eficiência e busca pela otimização dos sistemas, sejam produtivos, financeiros ou logísticos, deixou de ser uma opção de maior rentabilidade e tornou-se uma necessidade crescente, em decorrência da volatilidade dos retornos sobre o capital investido (Bizerra *et al.*, 2010).

No contexto do complexo soja, a otimização do sistema logístico, de comercialização e distribuição requer ferramentas de apoio à tomada de decisão que abordem as incertezas do processo, a fim de que este seja tratado de maneira correta.

Contudo, mediante pesquisa bibliográfica, não foi encontrado pela autora deste trabalho nenhum modelo de otimização estocástica para planejamento operacional, tático e estratégico da cadeia logística da soja, contemplando as diversas etapas presentes nesta cadeia.

A aplicação dos modelos estocásticos, em contrapartida a sua extrema importância, tem aumentado apenas recentemente. Isto pode ser explicado, em parte, pela crescente e rápida melhora na capacidade computacional. O fato do número de cenários existentes em um modelo estocástico multiplicar o número de variáveis fazia com que a quantidade de variáveis resultantes tornasse o

modelo impraticável de ser utilizado, devido o tempo gasto com resolução computacional (Di Domenica *et al.*, 2007).

Difícilmente um processo executado de acordo com um planejamento que não incorpora corretamente os fatores que o influenciam alcança o ponto ótimo.

Conduzir adequadamente a cadeia de soja requer, além de realizar com eficiência o processo de compra e venda dos itens, distribuir, no melhor conjunto de vias e modos de transportes existentes, o volume certo, no momento certo. Essas atitudes tem alta representatividade na formação do PIB da soja. Observa-se que o segmento serviço representou, em 2009, 39,8% do PIB da soja, sendo o transporte responsável por 12% desta parcela e atividades de comércio por 26% (CEPEA, 2011).

Diante dessas oportunidades e desafios, o objetivo deste trabalho é a construção de um modelo matemático para auxiliar no planejamento tático da cadeia logística de soja, contemplando os fatores inerentes ao processo e as incertezas dos mesmos.

A motivação deste estudo acontece a partir da constatação da importância de ferramentas científicas para apoio a tomada de decisão, da carência de publicações que tratem da modelagem da cadeia logística de soja, da importância do mercado de soja para a economia do Brasil e para o mundo, da alta representatividade dos custos logísticos na cadeia de suprimentos de *commodities* agrícolas, da importância do planejamento na condução de um projeto considerando as incertezas do processo, e da eficácia do emprego de modelos de programação estocástica em planejamento de situações que contemplem parâmetros incertos.

Neste sentido, este trabalho propõe um modelo de programação estocástica de dois estágios com estrutura de recurso fixo para o planejamento tático da cadeia da soja, sob o ponto de vista do embarcador.

Esta tese traz como contribuições científicas os seguintes aspectos:

- Um modelo matemático estocástico para otimização da cadeia logística de grãos sob o ponto de vista do embarcador;
- A modelagem e incorporação no modelo matemático do fenômeno da quebra de safra e seus efeitos;

- A modelagem e incorporação no modelo matemático dos contratos *Take or Pay* nos transportes rodoviário e ferroviário e multas para o não cumprimento dos mesmos.

O modelo poderá ser adaptado para o planejamento tático logístico de outras *commodities* agrícolas, como milho e açúcar, tendo em vista a semelhança do processo. O modelo, inclusive, permite o planejamento conjunto de mais de um produto agrícola.

Para análise do modelo, foi realizado um estudo de caso com dados de uma grande empresa do mercado da soja no Brasil, considerando 243 cenários oriundos da combinação de quatro fontes de incerteza.

Embora o modelo proposto seja sob o ponto de vista do intermediário da cadeia de suprimentos, a disseminação e utilização de sistemas logísticos eficientes em toda cadeia poderia viabilizar a produção em regiões mais remotas, alavancando o desenvolvimento e balança comercial do Brasil.

1.1

Objetivos da Pesquisa

Com intuito de auxiliar no planejamento tático da cadeia logística da soja, foi desenvolvido ao longo deste estudo um modelo de programação estocástica de dois estágios com estrutura de recurso fixo. O modelo, classificado como linear, é multimodal, multiperíodo e aborda os processos de compra e venda da soja em grão, por parte do embarcador, passando pela sua distribuição, processamento, armazenagem, até o momento da venda e entrega dos itens do complexo soja.

O modelo é baseado na abordagem de análise de cenários e trata quatro fontes de incerteza: preço de compra e preço de venda da soja em grão no mercado *spot*, quebra de safra e demanda externa.

A função objetivo do modelo maximiza o valor esperado da diferença obtida entre a receita alcançada com a venda da soja, farelo e óleo e os custos com a compra da soja, processamento, transporte e armazenagem dos itens do complexo soja.

Este modelo de dois estágios tem sua utilização para o planejamento com horizonte de tempo de um ano. As variáveis de primeiro estágio são as que tratam das decisões que devem ser tomadas no início do planejamento, antes do acontecimento das incertezas: a quantidade de soja a ser comprada com antecedência e o volume de carga do transporte ferroviário e rodoviário a ser contratado, por trecho. As variáveis de segundo estágio abordam as decisões a serem tomadas mensalmente, como: quanto comprar, estocar, esmagar, e vender de soja, óleo e farelo.

1.2

Estrutura do Trabalho

A presente tese está organizada em 7 capítulos, incluindo este introdutório.

O Capítulo 2 contextualiza o leitor com relação ao mercado do complexo soja no Brasil e no mundo, e passa noções importantes sobre a organização desta cadeia integrada no país.

O Capítulo 3 tem como principal objetivo apresentar os conceitos envolvidos com o tema desta tese, sob forma de revisão bibliográfica. A Seção 3.1. trata dos níveis de planejamento, estratégico, tático e operacional. A Seção 3.2. expõe os conceitos relacionados à programação estocástica. A Seção 3.3. aborda os modelos de planejamento de cadeia de suprimentos de alimentos e a Seção 3.4. apresenta os conceitos relacionados à geração de cenários.

O Capítulo 4 descreve o problema da cadeia de soja detalhadamente e apresenta conceitualmente a rede logística utilizada para construção do modelo matemático.

O Capítulo 5 apresenta a formulação matemática do modelo proposto nesta tese.

O Capítulo 6 é introduzido com uma descrição do estudo de caso utilizado na avaliação do modelo matemático. As seções seguintes do Capítulo 6 apresentam dados sobre o desempenho computacional do modelo e análise dos resultados obtidos.

O Capítulo 7 finaliza o trabalho com as conclusões obtidas pela autora e sugestões para trabalhos futuros.

2

MERCADO DO COMPLEXO DA SOJA

A soja chegou ao Brasil com os primeiros imigrantes japoneses, em 1908, e teve sua expansão efetiva a partir do ano de 1970, com o interesse na crescente indústria de óleo e na demanda do mercado internacional. O desenvolvimento de novas técnicas de cultivo pelos cientistas levou a soja para diversas regiões brasileiras, dando estabilidade às novas áreas de fronteira agrícola e tornando sua logística mais complexa devido à necessidade de transporte e armazenamento (Ojima, 2004).

Desde a década de 70 até o momento, o volume de grão de soja produzido aumentou aproximadamente 700%. Segundo o Ministério da Agricultura (2012) a cultura da soja ocupa uma área de 24,2 milhões de hectares, 49% da área plantada em grãos no Brasil, se destacando como uma das principais atividades do agronegócio deste país. De acordo com o relatório divulgado em 2011 pelo CEPEA, o PIB da cadeia de soja de R\$ 36 bilhões, em 2009, foi equivalente a quase 33% do montante gerado por todas as culturas temporárias do país. A Figura 1 ilustra o crescimento da produção de grão de soja no Brasil, no período 1977-2012.

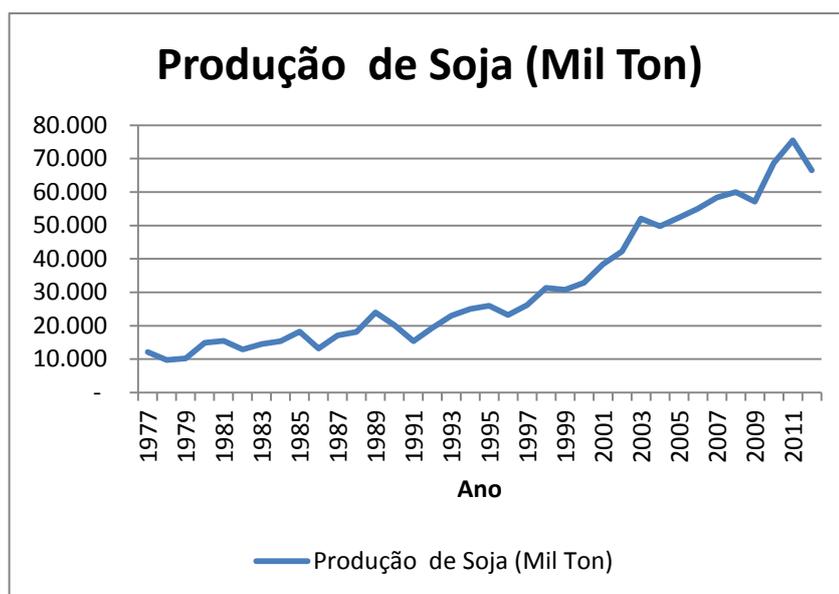


Figura 1- Evolução da Produção de Soja no Brasil- ABIOVE (2012) e USDA (2013).

Entre outros fatores, o crescimento aconteceu devido à disseminação da cultura, à melhoria na produtividade e ao aumento da exportação. Os avanços científicos na cultura levaram o país a aumentar de forma significativa sua capacidade de produção e competitividade ao longo das últimas décadas (CEPEA, 2011). No período compreendido entre os anos de 2000 e 2011, o volume anual de exportação de soja em grão aumentou 300%, enquanto o volume de farelo e óleo cresceu 53% e 62% respectivamente. Como consequência, o crescimento da receita obtida com as exportações deste complexo cresceu 600% neste período (ABIOVE, 2012).

No Brasil, as regiões Sul e Centro-Oeste destacam-se pela elevada produtividade, tornando-as as principais regiões produtoras do grão no país. Segundo o IBGE (2012) em 2011, ano em que o Brasil produziu 75,5 milhões de toneladas de soja em grão, a região Sul produziu 28 milhões de toneladas sendo o Paraná seu principal estado produtor, enquanto a região Centro-Oeste foi responsável pela produção de 34 milhões de toneladas, sendo Mato Grosso o principal estado produtor da região e o maior do Brasil, com uma notável produção de 21 milhões de toneladas. O volume produzido de soja nas regiões do Brasil pode ser visualizado na Figura 2.

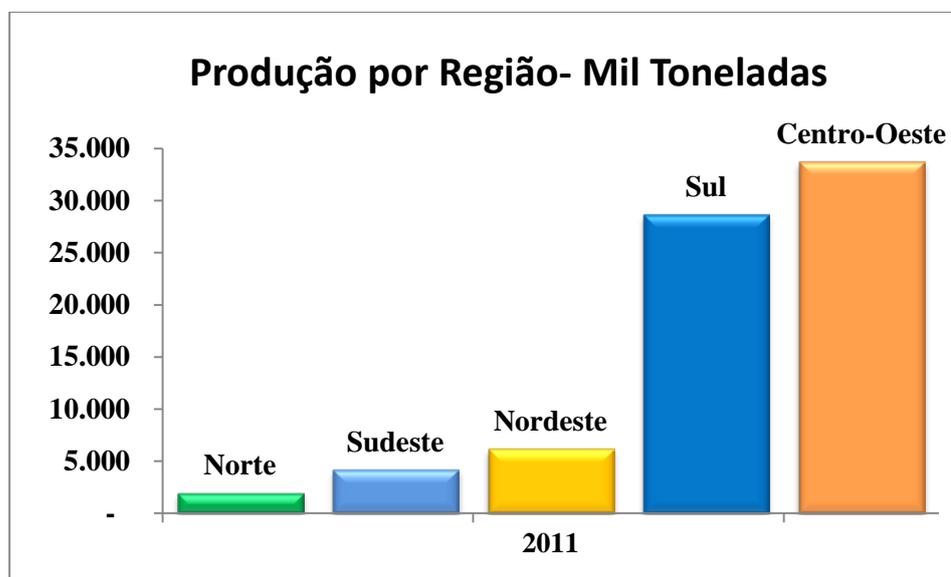


Figura 2- Volume Produzido por Região no Brasil x Volume Produzido no País, em 2011 (IBGE, 2012).

As regiões Norte e Nordeste tiveram sua participação efetiva no mercado da soja a partir da década de 1990, ainda assim, a sua participação é pequena com relação às demais áreas. A Figura 3 ilustra o percentual de produção de soja de cada estado.

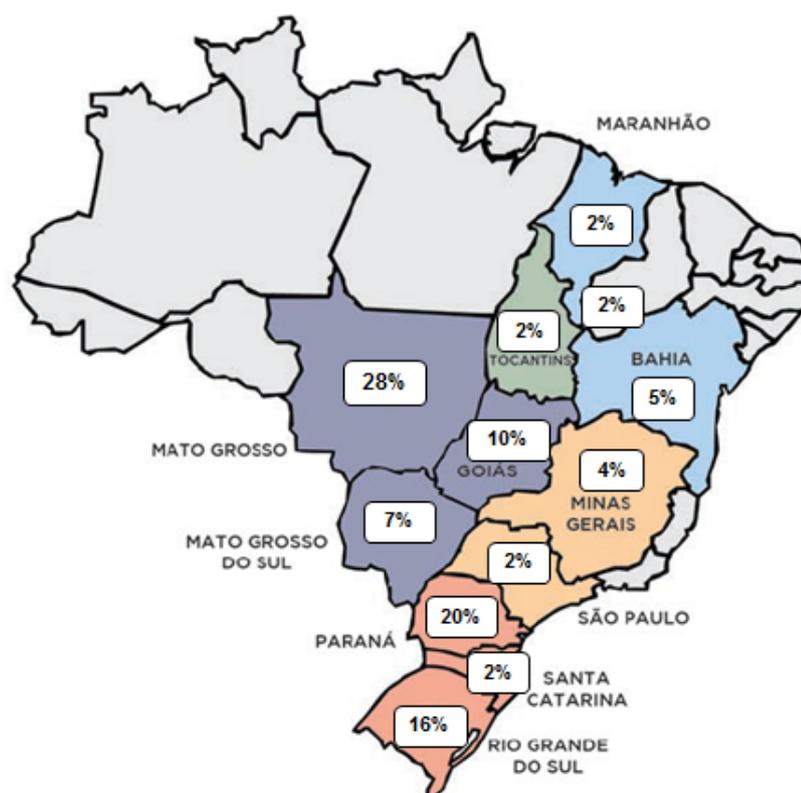


Figura 3- Ilustração da porcentagem da produção de soja em 2011 no Brasil por estado, segundo dados da IBGE (2012).

Cabe ressaltar que parte da produção nacional é destinada à exportação, em forma de grãos, farelo e óleo, e parte é destinada ao mercado interno, na maior parte em forma de farelo e óleo. Em 2012, ano em que o Brasil produziu 67 milhões de toneladas de soja, o país exportou 36 milhões de toneladas de grãos, 15 milhões de toneladas de farelo e 1,9 milhões de toneladas de óleo e destinou ao mercado interno 3 milhões de toneladas de grãos, 14 milhões de toneladas de farelo e 5,4 milhões de toneladas de óleo (USDA, 2013). O Brasil, os Estados Unidos e a Argentina são os principais produtores e exportadores de soja em grão, juntos, no ano de 2012, eles foram responsáveis por 87% da exportação de soja no mundo (USDA, 2013). A Figura 4 ilustra o volume e o

percentual de soja produzido pelos principais representantes do mercado de soja e a Figura 5 apresenta o volume e o percentual exportado pelos principais países exportadores de soja.



Figura 4- Produção mundial de soja em 2012 (USDA, 2013).



Figura 5- Exportação mundial de soja em grãos em 2012 (USDA, 2013).

A maior parte da soja mundial em grão exportada tem como destino o mercado asiático. A China, que já há algum tempo tem se destacado na importação desse produto, é responsável por comprar aproximadamente 63% do volume de soja em grãos transacionado no comércio exterior. A Figura 6

ilustra o volume e o percentual importado pelos principais importadores de soja no mundo.

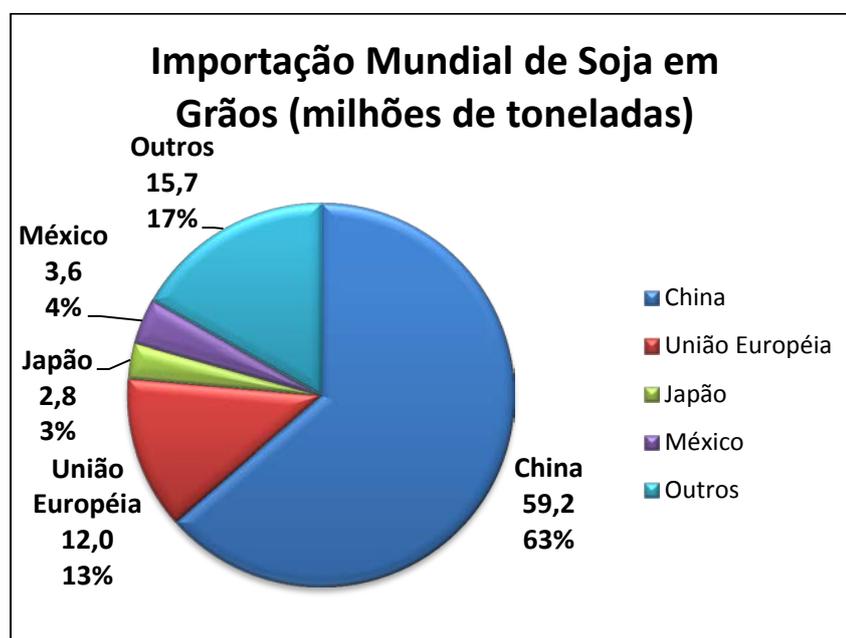


Figura 6- Importação mundial de soja em 2012 (USDA, 2013).

Tanto no Brasil, quanto no mundo, embora a produção de soja apresente tendência de crescimento, ela não é facilmente previsível. Isto acontece, principalmente, pelo fato do plantio poder ser atingido por fatores externos que são imprevisíveis para um horizonte distante, como fatores climáticos e pragas. Na Figura 7 é possível visualizar as quebras de produção para cada região do Brasil. A região Sul aparenta ser a região em que ocorrem problemas na safra com maior frequência.

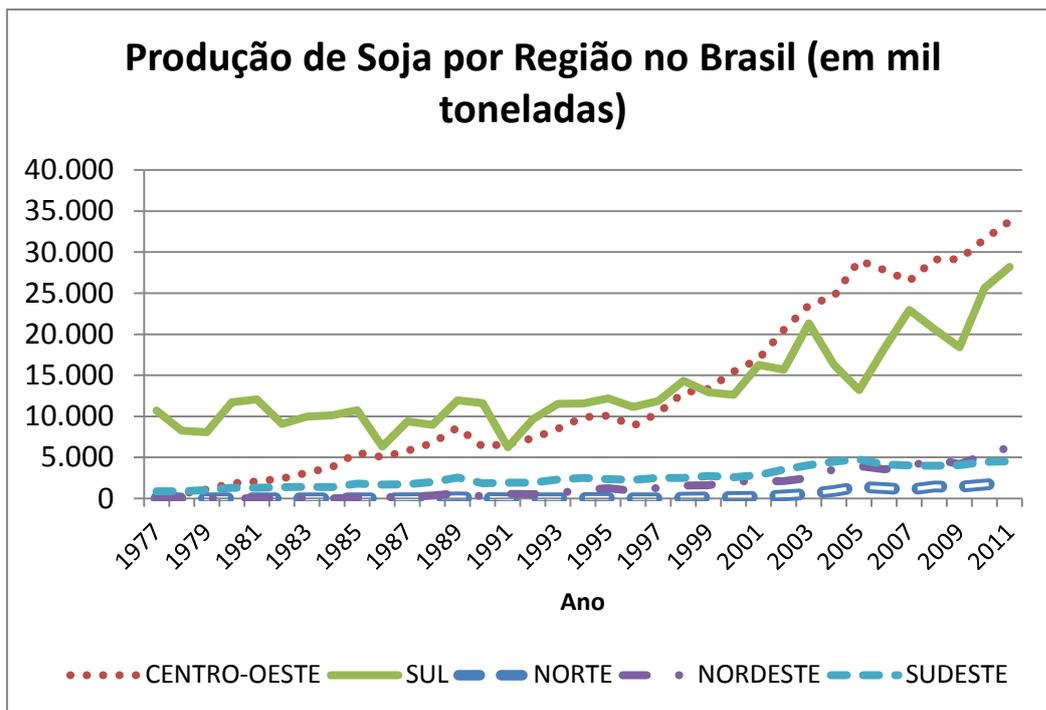


Figura 7- Picos na produção de soja nas regiões do Brasil (CONAB e IBGE, 2012).

Este tipo de acontecimento afeta diretamente a cadeia do complexo soja. Como parte da soja e dos modais de transporte são contratados com antecedência, a falta deste produto desestrutura o planejamento tático e ocasiona muitas perdas econômicas. Se houvesse, no país, maior capacidade de armazenagem, os efeitos da quebra de safra poderiam ser reduzidos, pois permitiria o acúmulo de um período para outro. Os investimentos em infraestrutura de armazenagem no Brasil, entretanto, não têm acompanhado o dinamismo da agricultura, o que tem gerado um déficit de armazenagem de grãos. Uma das funções do armazenamento agrícola, que vai além do simples acondicionamento, é criar utilidade de tempo (Nogueira e Tsunehiro, 2011).

A possibilidade de quebra de safra é um dos fatores que levam as *Tradings Companys*, empresas especializadas na compra e venda de *commodities* e sua movimentação física, a não comprarem com antecedência toda a soja que está prevista para ser comercializada durante o ano.

O mercado da soja no Brasil é dominado por grandes empresas, sendo quatro delas as principais: ADM, Bunge, Cargill e Louis Dreyfus. Estas *Tradings Companys* atuam como elos entre a origem da carga e seu destino, sendo responsáveis pelas etapas de compra, venda, processamento e

distribuição, assumindo o papel de embarcadores. As *tradings*, que possuem o contato dos produtores e dos consumidores finais, funcionam como um intermediário da cadeia logística da soja, muitas das vezes o risco da operação (Judice, 2008).

A cadeia da soja começa pelas indústrias de insumos agrícolas (fertilizantes, defensivos, máquinas, etc.), passando pelos produtores agrícolas, que, por sua vez, entregam a soja para indústrias esmagadoras, *tradings*, cooperativas e outros intermediários.

No segmento industrial de beneficiamento (constituído pelas indústrias esmagadoras, refinadoras e produtores de derivados de óleo), a soja pode ser transformada em farelo e óleo. Parte do farelo é exportada pelas indústrias, seja por meio de *tradings* ou pelos departamentos comerciais internos das próprias indústrias, e parte é comercializada domesticamente, com destino para as indústrias de rações.

O óleo obtido ainda segue as etapas de degomagem e refino, podendo ser transformado em margarinas, maioneses e gorduras vegetais. O óleo bruto degomado também pode ser direcionado para a produção de biodiesel. Os distribuidores de óleo são representados pelos segmentos atacadistas e varejistas, que recebem indiretamente outros produtos de soja, por meio da indústria de rações/carnes e de outras indústrias em geral e os distribuem aos consumidores finais (CEPEA, 2011). A Figura 8 ilustra a estrutura da cadeia logística da soja.

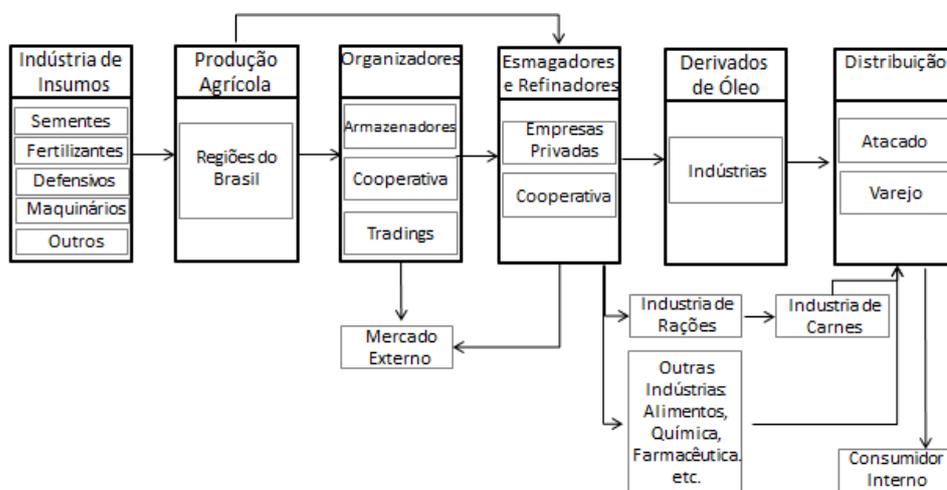


Figura 8- Estrutura da cadeia logística da soja.

A importação de grãos e derivados de soja não foi representada na Figura 8, pelo fato deste volume ser pouco representativo. Segundo dados da USDA (2013), em 2012, o volume importado pelo Brasil foi em média 1% do volume produzido.

Um fato interessante é que no Brasil o volume exportado de farelo e óleo de soja não tem acompanhado o crescimento da produção dos mesmos, como pode ser visto nas Figuras 9 e 10, o que sugere que o consumo interno neste país, de farelo e óleo de soja, tem aumentado.

Os volumes produzidos e exportados de farelo e óleo podem ser vistos nas Figuras 9 e 10 respectivamente.

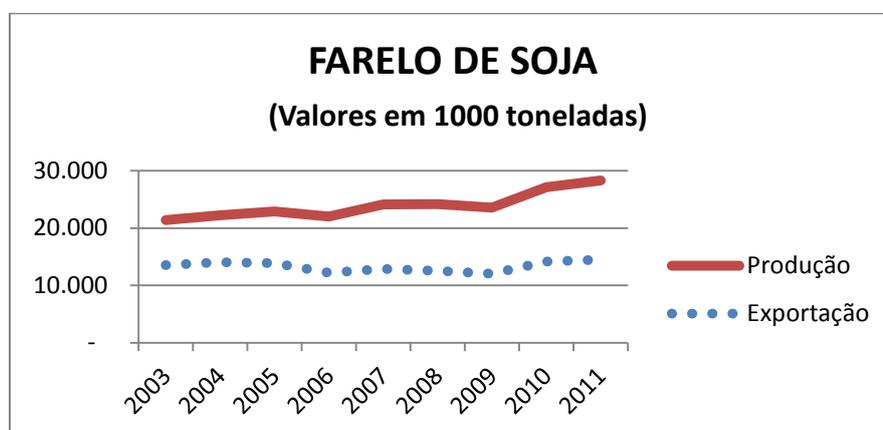


Figura 9- Volume Produzido e Exportado de Farelo de Soja no Brasil (ABIOVE, 2012).

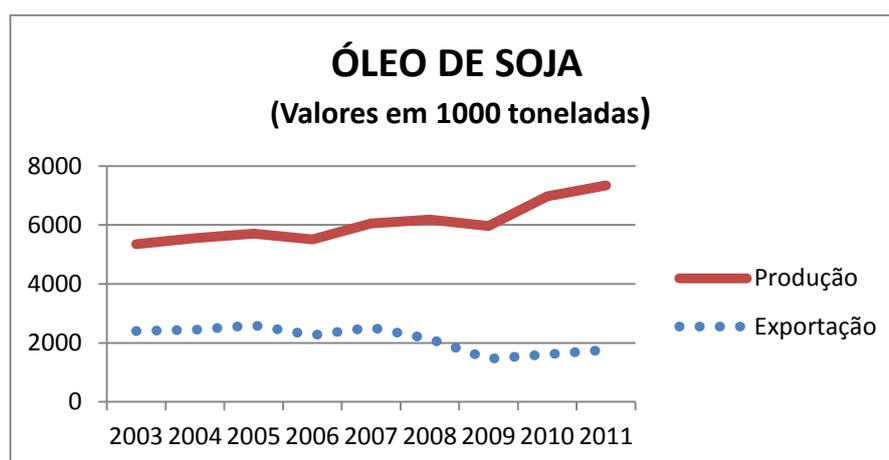


Figura 10- Volume Produzido e Exportado de Óleo de Soja no Brasil (ABIOVE, 2012).

De acordo com informações obtidas nas entrevistas realizadas com os representantes das *tradings companys*, o mercado de farelo e óleo é relativamente estável e não demanda grandes análises.

Os principais desafios das *tradings companys* são, verdadeiramente, aumentar a eficiência buscando a otimização no processo de compra de soja em grão e distribuí-la da melhor maneira, lidando com as possibilidades de quebra de safra, de crise econômica, e a dificuldade ou impossibilidade de escoamento da safra.

Para comprar o volume certo, no momento certo, de soja em grão é necessária uma ferramenta de apoio à tomada de decisão que contemple análise econômica e as características inerentes aos contratos de compra de soja.

Os contratos de compra e venda de soja podem ser realizados em diferentes horizontes de tempo entre o ato da realização do contrato de venda e a entrega efetiva do produto. Pode haver contratos com dois anos de antecedência da entrega, assim como existem aqueles realizados com dias de antecedência. O mais usual, entretanto, são os contratos de compra realizados no início do ano, para a entrega da soja durante aquele ano, ou seja, da safra daquele ano. Este evento acontece, principalmente, pelo fato dos produtores de soja ofertarem cerca de 50% do volume do grão esperado para aquela safra nesta época.

Normalmente a demanda no mercado internacional é maior do que a oferta existente no Brasil, e pelo fato do país produzir a soja a um preço menor do que de outras regiões, a soja oriunda desta nação é bastante disputada. Devido a este motivo, as *tradings companys* compram um grande volume no início do ano, no período em que os produtores ofertam grande volume de soja, para poder vender durante o ano.

Quando um contrato é realizado, é definido entre as partes quando acontecerá o pagamento, se é no ato do contrato, ou no ato da entrega, e, neste caso, se é com o preço do dia da realização do contrato ou do dia da entrega. Este preço é estabelecido pela Bolsa de Chicago.

O tipo de contrato mais comum é aquele em que o pagamento da venda do grão de soja é feito no ato da entrega do produto. Neste tipo de acordo, o embarcador, no caso a *trading company*, não desembolsa previamente dinheiro, evitando maiores prejuízos se houver quebra de safra. É sabido que o

embarcador antecipa a contratação de uma parte dos modos de transportes que serão utilizados, dos armazéns, do espaço no porto e etc, e se não houver soja para transportar é cobrada uma multa contratual por parte do contratado. Ainda, o embarcador necessita arcar com os custos de não atendimento do volume de grão, farelo e óleo já vendidos, além do custo fixo existente na operação, no caso da quebra de safra.

Outro fator que atinge o mercado de soja no Brasil é a expectativa de safra e a produção dos Estados Unidos. Os Estados Unidos, que também são um grande produtor e exportador de soja, tem sua safra começando no período em que a safra brasileira está terminando. Como os Estados Unidos são um grande concorrente, e o Brasil apresenta déficit em espaço de armazenagem, os embarcadores tentam escoar todo o volume de soja brasileira antes do período de maior oferta dos Estados Unidos. É neste momento em que fica mais visível a falta de infraestrutura logística do Brasil. Ocorre formação de filas nos portos, de caminhões e navios, as transportadoras aumentam muito o preço do transporte de soja e esporadicamente não cumprem o contrato estabelecido.

Segundo Hijjar (2004), a soja e seus derivados são os produtos agrícolas que mais geram volume (em toneladas) de exportação no Brasil, com relação ao volume de todos os produtos agrícolas escoados, exigindo bastante da estrutura logística do país.

O Brasil, no mercado mundial, apresenta vantagens no custo de produção de soja em relação aos outros produtores mundiais, mas perde em custos logísticos (Merege e Assumpção, 2002).

O grão da soja tem um valor agregado baixo, o que junto à estrutura logística deficiente, representada pelas condições precárias das rodovias, pela baixa eficiência e falta de capacidade das ferrovias, e pela desorganização e excesso de burocracia dos portos, afeta a margem de lucratividade do exportador, ameaçando a competitividade internacional (Fleury, 2005).

Segundo Oliveira (2006), a infraestrutura ferroviária e hidroviária do país é insuficiente para realizar o transporte de grãos, fazendo com que seja necessária a utilização do modal rodoviário para o transporte de grande parte da produção de soja brasileira, mesmo quando se trata de longas distâncias. Segundo o Ministério dos Transportes (2012), o transporte rodoviário é

responsável por 50% do transporte de cargas no Brasil, o modo ferroviário por 30%, o transporte de cabotagem por 8% e o modo hidroviário por 5%.

A dificuldade inerente a essa predominância do transporte rodoviário também se dá pelo baixo aproveitamento do transporte, pois um caminhão carrega cerca de 200 vezes menos soja do que uma composição ferroviária e aproximadamente 600 vezes menos do que um comboio de barcaças numa hidrovia como a do rio Madeira (Oliveira,2006).

Existem muitos fatores que afetam a cadeia logística da soja, e, por ser um mercado importante, devem ser analisados a fim de que os processos sejam conduzidos de maneira eficiente.

Diante de todos esses aspectos é clara a necessidade de se ter planos de comercialização, produção e distribuição do complexo soja, estabelecidos nos níveis de gerenciamento estratégico, tático e operacional. Ainda, os planejamentos se aproximarão mais da realidade se abordarem os fatores incertos que afetam esta cadeia logística. A otimização pode servir de ferramenta na obtenção de planos eficientes, e, assim, auxiliar a tomada de decisão.

3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta, sob forma de revisão bibliográfica, os principais conceitos envolvidos com o tema desta tese. A Seção 3.1. trata dos níveis de planejamento, estratégico, tático e operacional. A Seção 3.2. expõe os conceitos relacionados à programação estocástica. A Seção 3.3. aborda os modelos de planejamento de cadeia de suprimentos de alimentos e a Seção 3.4. apresenta os conceitos relacionados à geração de cenários.

3.1

Níveis de Planejamento

Segundo Shobrys e White (2000), Gupta e Maranas (2003) e Chopra e Meindl (2010), modelos de planejamento podem ser classificados em três categorias baseados no nível de decisão: estratégico, tático e operacional.

3.1.1

Planejamento Estratégico

O planejamento estratégico envolve o mais alto nível de gerenciamento e decisão sobre grandes investimentos para um longo horizonte de tempo. Decisões estratégicas determinam políticas gerais de desenvolvimento e moldam amplamente as estratégias de funcionamento do sistema. O planejamento estratégico é feito em níveis internacionais, nacionais e regionais. São exemplos de decisões estratégicas: desenho da rede física, localização das instalações, definição de política de tarifas, momentos ótimos de investimentos, necessidade de expansão da capacidade do corredor de exportação (Santoso *et al.*, 2005; Crainic e Laporte, 1997; Crainic, 1998).

Esse tipo de planejamento visa alcançar uma boa simulação do comportamento global do sistema para oferecer uma representação correta da

situação atual e servir como uma ferramenta de análise adequada para cenários previstos ou planejados de acordo com a política de cada instituição.

Para sistemas com redes multimodais, o planejamento estratégico considera simultaneamente os tipos de transportes e os serviços das transportadoras. A metodologia de planejamento estratégico identifica e representa os componentes fundamentais do sistema de transporte: demanda, suprimentos, medidas de performance e critérios de decisão e a interação destes (Crainic e Kim, 2007).

A modelagem do planejamento estratégico da cadeia das *commodities* agrícolas sob o ponto de vista do embarcador acontece a partir da necessidade de verificação da viabilidade de grandes investimentos. É necessário definir se haverá aumento da capacidade portuária, aquisição de novos armazéns, aumento da capacidade produtiva, melhoramento e extensão da capacidade das vias de acesso, etc. Isto se dá após o planejamento estratégico de aumento de vendas, *market share* e objetivos futuros da companhia.

Para a cadeia logística da soja, o planejamento estratégico contempla a incorporação de novos fornecedores, a necessidade e a localização de mais armazéns, o investimento em vias de acesso ferroviário juntamente com as concessionárias deste segmento, a aquisição de espaço em portos e o aumento de fábricas de esmagamentos. É a partir deste planejamento que é tomada a decisão da viabilidade de investimento.

O modelo estratégico para a cadeia de soja é normalmente realizado para um período de, aproximadamente, cinco anos, podendo se estender para um horizonte maior. O modelo, dividido em períodos anuais, contempla toda a rede logística com suas limitações e custos, de uma maneira macro.

3.1.2

Planejamento Tático

O planejamento tático objetiva garantir, sobre um horizonte médio de tempo, uma alocação racional e eficiente dos recursos existentes de forma a melhorar a performance do sistema como um todo (Crainic e Laporte, 1997).

Neste nível, dados são desagregados, políticas são abstraídas e decisões são sensíveis somente para grandes variações nos dados e nos parâmetros do sistema sem incorporar informações do dia a dia (Crainic e Laporte, 1997).

O planejamento tático de operações da cadeia de suprimentos envolve, por exemplo, decidir as quantidades agregadas de materiais para aquisição e os volumes de itens para processamento e distribuição (Santoso *et al.*, 2005).

São exemplos de decisões táticas: gerenciamento da produção e distribuição, escolha de rota e tipo de serviço para operar, regras gerais de funcionamento para cada terminal e reposicionamento de recursos (Crainic, 1998).

Os modelos táticos consideram o gerenciamento de inventário ao longo do tempo e a limitação de vários recursos. Eles também podem avaliar a presença de um ou múltiplos centros produtores na cadeia de suprimento (Ribas, 2008).

Para a cadeia logística da soja, em geral, o planejamento tático abrange aproximadamente um horizonte de um ano, dividido em períodos mensais.

O modelo é construído a partir das informações obtidas do planejamento estratégico, da estrutura existente da rede logística e dos fatores inerentes ao processo. Neste momento não é mais analisada a viabilidade de aumento de rede ou outros grandes investimentos.

Sob o ponto de vista do embarcador, decisões táticas estão ligadas a realização de contratos de duração de um ano. Exemplos destes contratos são os volumes a serem contratados com ferrovia, rodovia e armazéns. No Brasil, como é reduzida a oferta do modal ferroviário, se a empresa embarcadora de soja não realizar um contrato de volume com antecedência, existe grande possibilidade de não haver disponibilidade deste modo de transporte no mercado *spot*, ou seja, no mercado em que a negociação de compra e venda é feita próxima à entrega do serviço ou produto.

3.1.3

Planejamento Operacional

É o planejamento feito pela gerência local, em um ambiente altamente dinâmico, em que o fator tempo e representações detalhadas são essenciais.

(Crainic e Laporte, 1997). Estes modelos são caracterizados por decisões de curto prazo.

São exemplos de decisões tomadas no planejamento operacional: programação da sequência exata de produção, agendamentos de serviço, quantidade de material envolvido em cada operação, tempo de início e fim do processo (Crainic e Laporte, 1997).

Em uma mesma firma ou cadeia podem existir vários planejamentos operacionais, como: trimestral, mensal, semanal e diário (Ahumada, 2011; Ribas, 2008). Por ser feito para um nível de gerenciamento mais detalhado da cadeia, ele é feito para os diversos elos que a compõe. As informações resultantes do modelo do planejamento tático entram como input do modelo do planejamento operacional.

Para a cadeia de soja são necessários inúmeros planejamentos operacionais. O modelo é, geralmente, subdivido em períodos diários e contempla a rede. Cada modelo de planejamento será específico para uma etapa, porém precisa abordar os componentes que também influenciam outras etapas. Com as respostas do planejamento tático, dos contratos realizados e parte da compra e venda de produtos já acordados, é necessário decidir sobre a contratação de navios, a frequência de atendimento dos modais, a quantidade a ser comprada e vendida de produto, a quantidade a ser contratada de transporte no mercado *spot*, e o que fazer frente às situações adversas que acontecem ao longo do período. Algumas destas situações são: atraso de transporte, quebra de contratos, quebra da safra, chuvas inesperadas, diminuição da demanda e etc.

Na Figura 11 é possível visualizar um diagrama das relações existentes entre modelos de planejamento da cadeia logística de soja, com foco no aspecto estrutural.

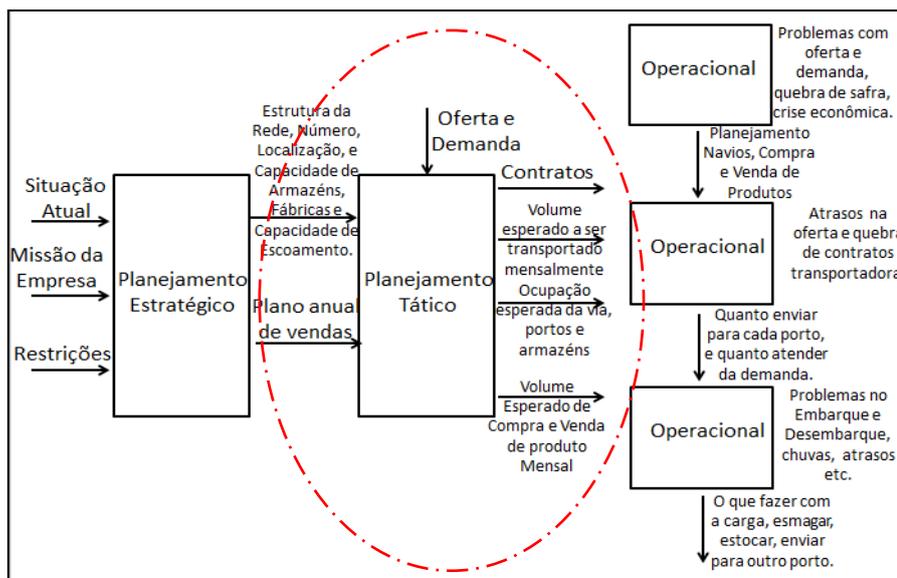


Figura 11- Diagrama das relações existentes entre os níveis de planejamento da cadeia logística de soja, sob o ponto de vista do embarcador.

Segundo Bashiri *et al.* (2012), dependendo da política de decisão da empresa, decisões consideradas em um nível de planejamento em uma firma podem ser alocadas em outro nível de planejamento, por exemplo, decisões estratégicas em uma firma podem ser consideradas como táticas, em outras.

3.2

Programação Estocástica

No ambiente de modelagem, até algum tempo atrás, a grande maioria dos problemas eram representados de maneira determinística, ou seja, todos os valores de seus parâmetros eram considerados conhecidos. Contudo, os avanços em hardware e em software possibilitaram a disseminação do uso de ferramentas que contemplam parâmetros cujos valores são incertos, permitindo a representação de problemas de maneira mais próxima da realidade (Di Domenica *et al.*, 2007).

Segundo Di Domenica *et al.* (2007), projetos em finanças e planejamento da cadeia de suprimentos são áreas típicas onde modelos de otimização determinísticos têm provado ser inadequados, uma vez que os valores dos parâmetros do modelo são, por sua própria natureza, incertos.

Um grande número de problemas em planejamento e programação da produção, localização, transporte, finanças, telecomunicações e projetos de engenharia necessitam que suas decisões sejam feitas considerando incertezas. (Sahinidis, 2004). Parâmetros como, demanda, preços, e capacidade de recursos são quase sempre incertos (Santoso *et al*, 2005).

A Programação Estocástica (Stochastic Programming –SP- em inglês) pode ser definida, simplificada, como um campo de programação matemática que lida com dados incertos, quando eventos futuros não podem ser perfeitamente previstos (Junior, 2006).

Na essência, cada dado incerto é representado por uma variável aleatória sobre algum espaço de probabilidade canônica, permitindo que modeladores incorporem essa incerteza de forma quantificável no modelo (Di Domenica *et al.*, 2007).

Os modelos de programação estocástica combinam o paradigma de alocação ótima de recursos com a modelagem dos parâmetros aleatórios, fornecendo as melhores decisões que protegem o tomador de decisão das incertezas do futuro.

As incertezas podem ser classificadas como de curto prazo, médio prazo ou longo prazo. Incertezas de curto prazo referem-se a fatores imprevisíveis nos processos internos, tais como variações operacionais e falhas de equipamentos. Alternativamente, incertezas em longo prazo representam fatores externos, como oferta, demanda, e as flutuações de preços, que afetam o processo de planejamento por um longo período de tempo. Incertezas de médio prazo incluem tanto as incertezas de curto prazo como as de longo prazo (Gupta e Maranas, 2003).

A principal dificuldade na otimização sob incerteza é lidar com o grande espaço que a incerteza ocupa e que frequentemente conduz para um problema de otimização de grande escala (Sahinidis, 2004). Porém, como já foi citado, os avanços em hardware e softwares tem permitido resolver problemas de grande escala mais facilmente (Di Domenica *et al.*, 2007).

Segundo Di Domenica *et al.* (2007), a programação estocástica possui três tipos de abordagens: Modelos de Distribuição, Modelos de Recurso e Modelos Probabilísticos. A Figura 12 apresenta esta classificação.

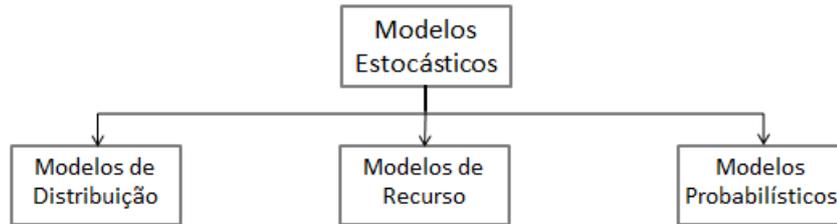


Figura 12- Classificação dos Modelos Estocásticos. Adaptado de Di Domenica *et al.* (2007).

- Modelos de Distribuição (Distribution Models): são problemas de otimização que proporcionam a distribuição do valor da função objetivo para diferentes realizações dos parâmetros aleatórios e para seus valores esperados (Di Domenica *et al.*, 2007).
- Modelos de Recurso (Recourse Models): são aqueles nos quais decisões ou ações de recursos podem ser tomadas depois da incerteza ter acontecido Dantzig (1955). Estes modelos usam ações corretivas para compensar a violação das restrições que surgiram após a ocorrência das incertezas. São utilizados para problemas de múltiplos estágios e mais comumente para dois estágios. Detalhes desta abordagem serão apresentados na Seção 3.2.1.
- Modelo Probabilístico (Chance-Constrained Programming), proposto por Charnes e Cooper (1959), permite que restrições do segundo estágio sejam expressas em termos de declarações probabilísticas das decisões do primeiro estágio. Visto que restrições do segundo estágio podem ser violadas desde que incorporem medida de risco, as ações corretivas presentes nos modelos de recurso são evitadas. Este tipo de modelo é útil quando os custos e benefícios associados às decisões de segundo estágio são difíceis de serem avaliados.

O modelo probabilístico básico é ilustrado como o modelo linear abaixo:

$$\begin{aligned}
 & \min c^T x \\
 & \text{s. a } Ax \leq b \\
 & \quad x \geq 0
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

onde, $x \in \mathfrak{R}^n$, $c \in \mathfrak{R}^n$, $b \in \mathfrak{R}^m$, $A \in \mathfrak{R}^{m \times n}$. Assume-se que c e A são parâmetros determinísticos e b é um vetor aleatório com função

distribuição marginal acumulada conhecida. Nesta abordagem simplificada, define-se o nível de confiança $\alpha \in \mathfrak{R}^n$ para reescrever a restrição $Ax \leq b$ como:

$$\Pr \left\{ \sum_{j=i}^n A_{ij} x_j \leq b_j \right\} \geq \alpha_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.2)$$

em que \Pr é a medida de probabilidade (Birge e Louveaux, 2011).

3.2.1

Modelos de Dois Estágios com Recurso Fixo

O modelo proposto nesta tese para o planejamento tático do complexo soja é um modelo de programação linear de dois estágios com recurso fixo.

O modelo contempla o fato de que existem decisões a serem tomadas sem a informação completa de eventos aleatórios, que influenciam o resultado do modelo. Estas decisões são chamadas de primeiro estágio. Posteriormente, com a informação recebida pela realização do vetor aleatório ξ , as ações corretivas do segundo estágio são obtidas.

O problema clássico de programação estocástica de dois estágios com recurso introduzido por Dantzig e Beale (1955) pode ser formulado da seguinte maneira (Birge e Louveaux, 2011):

$$\text{Min } z(x, \xi) = c^T x + E[Q(x, \xi)] \quad , s. a \quad Ax = b, x \geq 0 \quad (3.4)$$

$$\text{onde, } Q(x, \xi) = \min\{q^T y | Wy = h - Tx, y \geq 0\} \quad (3.5)$$

$$x \in \mathfrak{R}_+^{n_1}, y \in \mathfrak{R}_+^{n_2} \quad (3.6)$$

Neste modelo, $x \in \mathfrak{R}_+^{n_1}$ é o vetor das variáveis de decisão de primeiro estágio que deve ser fixado antes dos valores aleatórios tornarem-se conhecidos e $y \in \mathfrak{R}_+^{n_2}$ é o vetor das variáveis de segundo estágio, que também podem ser chamadas ações-recurso, ações corretivas ou decisões de controle. Essas variáveis são determinadas após a realização das variáveis aleatórias. O valor ótimo para y depende das decisões de primeiro estágio e da realização das variáveis aleatórias.

Ainda, $c \in \mathfrak{R}^{n_1}$ é o vetor custo do primeiro estágio, $A \in \mathfrak{R}^{m_1 \times n_1}$ é a matriz dos coeficientes do primeiro estágio e $b \in \mathfrak{R}^{m_1}$, representa a quantidade de

recursos disponíveis. Esses parâmetros são referentes ao primeiro estágio, e, portanto, são determinísticos.

No segundo estágio, ξ é o vetor aleatório que influencia q, h e T . Para cada realização de um evento aleatório os dados do segundo estágio do problema, $q \in \mathfrak{R}^{n_2}, h \in \mathfrak{R}^{m_2}$ e $T \in \mathfrak{R}^{m_2 \times n_1}$, tornam-se conhecidos. Cada componente de q, h, T é, então, uma possível variável aleatória, com distribuição de probabilidade conhecida. Neste modelo, $q \in \mathfrak{R}^{n_2}$ é o vetor custo do segundo estágio, e $W \in \mathfrak{R}^{m_2 \times n_2}$ é a matriz dos coeficientes de segundo estágio (chamada matriz recurso).

Assume-se que o vetor aleatório ξ possui um número finito de realizações $\xi_1, \xi_2, \xi_3 \dots \xi_s$, com respectivas probabilidades $p_1, p_2, p_3 \dots p_s$. Assim, o valor esperado $E[Q(x, \xi)]$ pode ser escrito em função do somatório:

$$E[Q(x, \xi)] = \sum_{s=1}^S p_s Q_s(x, \xi_s) \quad (3.7)$$

Assumindo o modelo discreto, pode-se reescrevê-lo na forma:

$$\text{Min } z(x, \xi) = c^T x + \sum_{s=1}^S p_s Q_s(x, \xi_s) \quad , s. a \quad Ax = b, x \geq 0, \quad (3.8)$$

onde $Q_s(x, \xi_s)$ é o valor ótimo do problema de segundo estágio para cada realização $s = 1, 2, 3 \dots S$.

No primeiro estágio deve ser tomada a decisão do tipo “aqui e agora” (here-and-now) do vetor x , antes da realização das incertezas. O vetor x será o mesmo para todos os possíveis eventos que venham a ocorrer no segundo estágio do problema (Birge e Louveaux, 2011).

No segundo estágio, onde as informações ξ já estão disponíveis, é tomada a decisão sobre o valor do vetor y . No primeiro estágio é minimizado o custo $c^T x$ mais o valor esperado do custo do problema de segundo estágio. A decisão tomada no problema de segundo estágio reflete o comportamento ótimo no momento em que a incerteza é revelada, considerando as decisões tomadas no primeiro estágio.

De acordo com Junior (2006), os modelos com recurso podem ser classificados em algumas categorias, dependendo do tipo de matriz recurso que possuem:

- Recurso fixo, se a matriz W do problema recurso for determinística.
- Recurso completo, se o problema de segundo estágio for factível para qualquer valor das variáveis de primeiro estágio.
- Recurso completo relativo, se o problema de segundo estágio for factível para qualquer valor das variáveis de primeiro estágio que satisfazem as restrições do primeiro estágio.
- Recurso simples, se a matriz recurso W puder ser expressa com $[I,-I]$, em que I é a matriz identidade.

O modelo desenvolvido nesta tese é de recurso fixo, isto implica que a matriz dos coeficientes de segundo estágio W é determinística.

3.2.2

Medidas de Comparação entre Modelos Estocásticos e Determinísticos

De acordo com Birge e Louveaux (2011) existem dois indicadores que podem medir a vantagem da aplicação do modelo estocástico com relação ao determinístico: o valor esperado da informação perfeita (*Expected Value of Perfect Information- EVPI*) e o valor da solução estocástica (*Value of the Stochastic Solution- VSS*).

Ainda, existem dois tipos de soluções que podem ser consideradas no tratamento dos problemas: a solução espere-e-veja (*wait-and-see-WS*) e aqui-e-agora (*here-and-now-RP*). Para solução WS é permitido esperar a realização do parâmetro incerto para posteriormente determinar os valores das variáveis de decisão, é uma situação imaginária, como se o agente de decisão soubesse o que iria acontecer no futuro. Na situação aqui-e-agora deve-se determinar os valores das variáveis de decisão antes da realização da variável aleatória e é possível tomar ações corretivas caso as decisões tomadas precisem ser corrigidas. Esse tipo de solução é obtida no problema com recurso, definido na Seção 3.2.1. Por este motivo, a notação utilizada para representar a solução aqui-e-agora são as iniciais do termo “problema com recurso” em inglês (RP).

3.2.2.1

Valor Esperado da Informação Perfeita

O valor esperado da informação perfeita (EVPI) mede o valor máximo que o tomador de decisão pagaria para obter a informação perfeita, ou seja, supondo que ele pudesse obter as informações do futuro, quanto ele pagaria para obtê-las para otimizar seu processo. Seja ξ a variável aleatória cujas realizações correspondem aos vários cenários, define-se:

$$\begin{aligned} \text{Min } z(x, \xi) &= c^T x + \min\{q^T y \mid Wy = h - Tx, y \geq 0\} & (3.11) \\ \text{s. a } Ax &= b, x \geq 0. \end{aligned}$$

Para todo ξ existe no mínimo uma solução viável $x \in \mathfrak{R}_+^n$. A solução espere-e-veja (WS) corresponde ao valor ótimo do problema quando as realizações futuras de ξ são conhecidas. O valor esperado da solução WS é dado por:

$$WS = E_{\xi} \left[\text{Min}_x z(x, \xi) \right] = E_{\xi} [z(x^*(\xi))] \quad (3.12)$$

onde $x^*(\xi)$ é a solução ótima e $z(x^*(\xi), \xi)$ é o valor ótimo da função objetivo para cada cenário.

O valor ótimo do problema de recurso definido na Seção 3.2.1. resulta de solução ótima denominada aqui-e-agora (RP):

$$RP = \min_x E_{\xi} [z(x, \xi)] \quad (3.13)$$

onde o valor RP é referente à tomada de decisão sem o conhecimento da realização das incertezas de ξ .

Portanto, o valor esperado da informação perfeita é a diferença entre as soluções espere-e-veja e aqui-e-agora:

$$EVPI = |WS - RP| \quad (3.14)$$

Assim, o EVPI representa a diferença entre a solução obtida pelo agente com poder de predição perfeita (conhece o futuro) e a solução obtida com o conhecimento somente da descrição de probabilidade de ocorrência das variáveis aleatórias, ξ .

3.2.2.2

O Valor da Solução Estocástica

Apesar de existirem incertezas nos dados de problemas reais, algumas vezes pode não ser relevante introduzi-las no modelo. O valor da solução estocástica (VSS) é uma medida utilizada para determinar a importância da inclusão da aleatoriedade no sistema. Seu cálculo envolve a diferença entre o resultado esperado de usar a solução do valor esperado (EEV) e a solução aqui-e-agora (RP).

O problema do valor esperado (EV) consiste em substituir todas as variáveis aleatórias do problema pelos seus respectivos valores esperados. Matematicamente o EV pode ser escrito da seguinte forma:

$$EV = \min_x z(x, \bar{\xi}) \quad (3.15)$$

em que $\bar{\xi} = E(\xi)$ denota a esperança de ξ e $x^*(\bar{\xi})$ é a solução ótima de Z.

O valor esperado do resultado (EEV) calcula o desempenho médio de $x^*(\bar{\xi})$, para cada realização de ξ :

$$EEV = E_{\xi} [z(x^*(\bar{\xi}))] \quad (3.16)$$

A partir destes dois cálculos o valor da solução estocástica (VSS) pode ser definido:

$$VSS = |EEV - RP| \quad (3.17)$$

O valor da solução estocástica pode ser entendido como benefício esperado do agente de decisão que preferiu considerar a incerteza dada por ξ , ou ainda, como a perda esperada do agente que optou pela modelagem determinística utilizando o valor esperado de ξ (Ribas,2008).

Também é possível definir o VSS em termos de porcentagem:

$$Ganho = \frac{VSS}{RP} * 100\% \quad , \quad (3.18)$$

que mostra o quanto grande é o VSS em termos da função objetivo RP, e pode representar o quanto o agente de decisão pode ganhar por resolver o modelo estocástico (Junior, 2006).

3.3

Modelos de Planejamento da Cadeia de Suprimentos de Alimentos Agrícolas

Os interesses na área de planejamento logístico, tanto por parte da indústria como da academia, têm aumentando nos últimos anos. A indústria tem percebido a importância de um melhor planejamento e gerenciamento dos complexos sistemas logísticos, e, tem começado a romper as tradicionais barreiras organizacionais, levando a cooperação entre diferentes departamentos, ampliando o alcance e a dimensão destes sistemas de planejamento. Ao mesmo tempo, sistemas de informação e comunicação têm sido largamente implementados, permitindo acesso de dados entre os componentes da cadeia de suprimentos. (Muriel e Simchi-Levi, 2003)

Porém, como em muitos outros sistemas de negócios, problemas logísticos e de gerenciamento da cadeia de suprimentos não são tão rígidos ou bem definidos a ponto das soluções poderem ser inteiramente delegadas aos programas computacionais. Em muitos casos, a flexibilidade, intuição e sugestões, que são característica única de humanos, são essenciais para o efetivo gerenciamento do sistema. Há, entretanto, muitos aspectos destes sistemas que somente podem ser entendidos e efetivamente analisados com a ajuda de um computador (Muriel e Simchi-Levi, 2003).

Uma das ferramentas disponíveis mais confiáveis para suporte à decisão é a otimização. Os objetivos deste instrumento incluem construir e resolver modelos matemáticos de sistemas produtivos reais, permitindo ao agente de decisão explorar uma grande variedade de possíveis alternativas para seu sistema. Os modelos de planejamento são modelos de otimização utilizados em sistemas para um determinado horizonte de tempo (Escudero *et al.*, 1999).

Os modelos de planejamento em cadeia de suprimentos servem para integrar e atender os anseios dos membros participantes desta cadeia, da melhor forma possível, em um horizonte de curto, médio e longo prazo. Entretanto, muitas vezes o modelo é visto sob o ponto de vista de um destes constituintes que tenta obter o melhor *trade-off* para seu empreendimento. É visível a preocupação de pesquisadores em integrar a cadeia de forma que o ganho geral da cadeia seja máximo. Porém, para haver esse equilíbrio, alguns

agentes ganharão mais com a perda de outros, o que tem dificultado este processo (Chopra e Mendel, 2010).

Muriel e Simchi-Levi (2003) dividiram os problemas da cadeia de suprimentos em três partes, de forma que, em cada uma delas, existem modelos de otimização para apoio à decisão:

- Sistema de produção e distribuição: modelos de otimização são utilizados para ajudar a determinar o nível de produção, o nível de inventário e a política de estoque para um conjunto de plantas de manufaturas, armazéns e vendedores. Geralmente, trabalhando com uma demanda incerta, o objetivo é determinar a política que minimiza o custo total.
- Preço para melhorar o desempenho da cadeia de suprimentos: técnicas dinâmicas de preços são utilizadas para uma variedade de indústrias, com foco naquelas que possuem estoques perecíveis. Nestes modelos, preço, produção e decisões de inventário, são considerados simultaneamente para um horizonte finito e infinito para o fluxo de um único produto, com objetivo de maximizar o lucro sob certas condições impostas.
- Desenho de rede logística: a configuração da rede envolve questões relacionadas à localização, a quantidade e o tamanho de fábricas, armazéns e clientes.

Swaminathan e Tayur (2003), em seu trabalho de modelos de planejamento tático da cadeia de suprimentos, estabeleceram uma série de parâmetros presentes em grande parte destes modelos. Entre eles: demanda, previsões e informações, contratos, tempo de entrega, rendimento, capacidade de produção, custo de produção e de inventário, características dos processos de produção e decisões operacionais. O trabalho de Ahumada e Villalobos (2009) corrobora com a proposta de Swaminathan e Tayur (2003), quando apresenta uma série de artigos, em diversos níveis de planejamento, inclusive o tático, abordando os parâmetros citados por estes últimos autores.

Ahumada e Villalobos (2009) realizaram um estudo de revisão bibliográfica da cadeia de suprimentos de alimentos agrícolas. Segundo os autores, a principal divisão existente em relação às características destas cadeias é entre alimentos perecíveis e não perecíveis.

Alimentos perecíveis podem ser identificados como aqueles que o tempo de vida útil é muito pequeno, podendo ser medidos em dias, como frutas e

vegetais. Alimentos não perecíveis são aqueles que podem ser estocados por longos períodos de tempo, como grãos, batatas e castanhas. Pelas suas características, a soja é caracterizada como um tipo de alimento não perecível.

Os trabalhos encontrados na literatura de modelagem da cadeia de suprimentos de alimentos, sob os três níveis de planejamento, abordam diferentes particularidades, que podem ser visualizados na Figura 13.

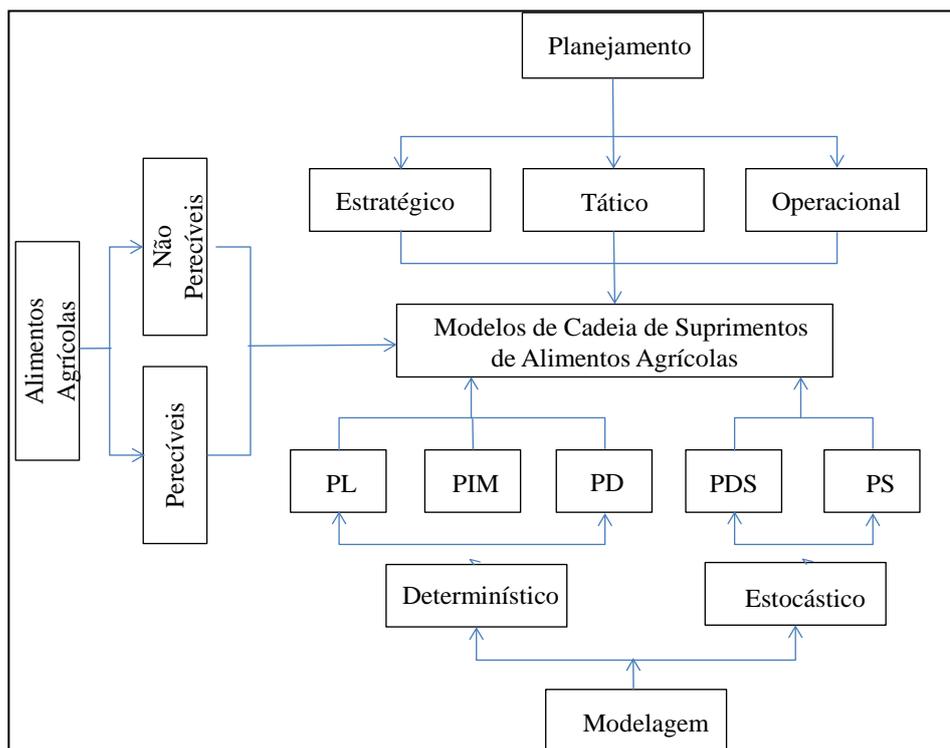


Figura 13- Modelos de Planejamento da Cadeia de Suprimentos de Alimentos Agrícolas. Fonte: Ahumada e Villalobos, 2009.

Os modelos encontrados com mais frequência na literatura de cadeia de suprimentos de alimentos agrícolas se dividem entre determinísticos e estocásticos. Dentre os determinísticos encontram-se os de programação linear (PL), programação linear inteira-mista (PIM) e programação dinâmica (PD). Já na área de estocásticos, os mais encontrados são: programação estocástica (PS), programação dinâmica estocástica (PDS), simulação e análise de risco. Modelos multi-objetivos ou multi-critérios também são encontrados, mas não em número significativo.

A cadeia de suprimentos de alimentos agrícolas possui quatro áreas funcionais principais: produção, colheita, estoque, e distribuição. Decisões

realizadas na etapa de produção incluem as relacionadas com a terra: aonde alocar cada tipo de plantio, época de semeadura e a determinação dos recursos necessários para o crescimento da cultura.

Durante a colheita são realizadas decisões como: o momento certo da colheita, nível de recursos necessários para realizar esta atividade, programação de equipamentos e transporte, e algumas vezes programação da planta de empacotamento e de produção (Ahumada e Vilallobos, 2009).

Na etapa de controle de inventário, decisões como quantidade a ser vendida ou a ser estocada, em cada período do planejamento, podem ser o diferencial para uma empresa ser mais competitiva que os concorrentes. Em algumas cadeias logísticas de produtos agrícolas, como na da soja, o embarcador tem grande atuação nesta fase, ele é o responsável pelo processo de compra do produtor, venda e estoque dos produtos agrícolas. Neste sentido, Neto(1998) desenvolveu um modelo markoviano de decisão na comercialização de produtos agrícolas para apoiar a decisão do embarcador a respeito do melhor momento de comprar, vender e estocar o produto agrícola.

Finalmente a distribuição envolve o fluxo de produtos entre todos os elos da cadeia, desde o produtor até o cliente final. Assim como na etapa anterior, esta etapa esta muitas vezes fica sob responsabilidade do embarcador, que seleciona o melhor conjunto de modais de transporte para distribuir os produtos com menor custo atendendo a um nível de serviço desejado.

Métodos aplicados em diversas cadeias de suprimentos podem não ser tão eficazes quando aplicados na de alimentos devido às peculiaridades da mesma. A cadeia de suprimentos de alimentos é caracterizada pela incerteza da sua oferta e demanda.

Essa complexidade cresce quando se trata de alimentos frescos, pois adicionado à incerteza de demanda, os produtos possuem restrições relacionadas à manutenção da qualidade do produto, além de possuírem um tempo de vida muito curto.

Ahumada *et al.* (2012) desenvolveram um modelo linear estocástico de dois estágios para o planejamento tático da produção e distribuição de produtos perecíveis. O primeiro estágio é formado por decisões de plantio. O segundo estágio contempla os parâmetros incertos: rendimento e preço do produto,

representados por cenários. Para a resolução do modelo, devido sua complexidade, foi necessário utilizar um método de decomposição.

Caixeta-Filho (2006) desenvolveu um modelo de programação linear determinístico, contemplando restrições químicas, biológicas e logísticas, para a colheita de frutas, com o objetivo de maximizar a receita obtida no processo.

3.3.1

Modelos de Planejamento da Cadeia de Suprimentos de Alimentos Não Perecíveis

Grande parte dos trabalhos encontrados que abordam o tema cadeia de suprimentos de alimentos não perecíveis está focada na parte de plantio. Na revisão bibliográfica realizada por Ahumada e Vilallobos (2009), dos 40 artigos analisados nesta área, 29 se concentram na fase de plantio e somente 4 não contemplam esta área.

Em relação aos níveis de planejamento, no mesmo trabalho de Ahumada e Vilallobos (2009), o planejamento tático foi o mais contemplado, seja tratado isoladamente, seja integrado aos outros níveis. O nível estratégico foi o segundo mais abordado e o operacional, o menos, com apenas 6 artigos.

Com relação ao planejamento estratégico, Nickel *et al.* (2012) construíram um modelo estocástico de desenho de rede logística de *commodities* utilizando programação linear inteira mista, considerando o nível de serviço e gerenciamento de risco, em que as incertezas da demanda e taxa de juros foram descritas em forma de cenário. Liste (2007) elaborou um modelo estocástico de dois estágios para desenho de rede de uma cadeia de suprimentos, contemplando logística reversa, onde a demanda e os retornos foram considerados incertos. Torkamani (2005) elaborou um modelo de programação estocástica não-linear para o planejamento estratégico que maximiza a função utilidade do fazendeiro, ponderando as opções tecnológicas. Apaiah e Hedrix (2005) realizaram um planejamento determinístico estratégico para desenho da rede da cadeia de suprimentos utilizando um modelo linear inteiro misto, com o objetivo de minimizar o custo total, contemplando a parte de plantio, colheita, transporte e processamento. Visagie *et al.* (2004) também elaborou um modelo de programação linear

inteira mista para o planejamento estratégico integrado de plantio e pecuária utilizando análise de risco.

Em se tratando de planejamento tático, Bashiri *et al.* (2012) desenvolveram um modelo determinístico de programação linear inteira mista, com dois níveis de decisões integrados- estratégico e tático- contemplando quatro elos da cadeia: suprimentos, unidades de produção, armazéns e clientes. O modelo contempla dois períodos de tempo em que decisões de desenho de rede, plano de expansão, planejamento de produção e distribuição são encontradas simultaneamente. Junqueira e Morabito (2006) desenvolveram um modelo de otimização linear determinístico para auxiliar nas decisões do planejamento tático da produção, estocagem e transporte de sementes de milho, de forma a minimizar custos de produção, logísticos e fiscais, atendendo às restrições de programação da colheita, capacidade das plantas e demanda dos clientes. Junqueira e Morabito (2008) analisaram a aplicação deste modelo para gerar um planejamento agregado otimizado em um estudo de caso de uma safra completa de uma empresa do setor de sementes de milho.

Jiao *et al.* (2005) construíram um modelo linear determinístico para planejamento tático de colheita para cana-de-açúcar a fim de maximizar a quantidade de açúcar contida na planta. Gigler *et al.* (2002) desenvolveram um modelo de programação dinâmica para a cadeia agrícola sob o ponto de vista de um representante de toda a cadeia, encontrando os melhores fluxos e caminhos, a fim de minimizar o custo total e satisfazer a demanda. Recio *et al.* (2003) elaboraram um planejamento tático-operacional para fazendeiros utilizarem como ferramenta de apoio à decisão, envolvendo o agendamento de tarefas de campo, análise de investimento, seleção de máquinas, análise custo / benefício, e outros aspectos do processo de produção agrícola, utilizando um modelo determinístico de programação linear inteira.

Jones *et al.* (2003) desenvolveram um modelo de programação estocástica para o planejamento de plantio de milho, considerando a incerteza do rendimento e demanda, com o objetivo de minimizar custo. Maatman *et al.* (2002) desenvolveram um modelo de programação estocástica para representar o processo de produção, compra, venda e armazenagem de produtos agrícolas dada a incerteza da chuva, para ser utilizado por fazendeiros na região Oeste da África. Lien e Hardaker (2001) analisaram os impactos de subsídios, do grau

de aversão ao risco e da curva de função utilidade dos fazendeiros no momento da decisão do plano de plantio das culturas, utilizando um modelo de programação estocástica de dois estágios. Schilizzi e Kingwell (1999) estimaram o impacto das incertezas do preço e da produtividade do plantio, permitindo a rotação de culturas, com o objetivo de maximizar a utilidade esperada do fazendeiro. Adesina e Sanders (1991) desenvolveram um modelo estocástico para decisões sequenciais do processo, via seleção de tecnologias para cereais, com o objetivo de maximizar o lucro, sob a incerteza do clima. O estudo também analisa as implicações políticas de um preço mínimo para deter a queda substancial dos preços dos cereais em anos bons de chuva, quando os agricultores têm maior volume de grãos para vender.

Com relação ao planejamento operacional, Higgins (2002) desenvolveu um modelo de planejamento operacional de programação linear inteira mista para a programação da colheita de cana-de-açúcar, minimizando o custo de transporte e processamento do plantio. Higgins *et al.* (1998) apresentaram um modelo de planejamento operacional para programação de colheita e operações de replantio, utilizando programação linear, considerando a capacidade de processamento disponível com objetivo de maximizar a receita líquida. Bin Deris e Ohta (1990) desenvolveram um sistema de produção que minimiza a demanda de maquinário em dois estágios de aplicação, utilizando programação linear e dinâmica.

3.3.2

Influência de fatores incertos na oferta de produtos agrícolas

Devido à natureza biológica dos processos de produção agrícolas, as cadeias de suprimentos de produtos desta categoria são propensas a fatores que não são completamente controláveis por humanos. Para produção agrícola, decisões de planejamento de oferta devem ser realizadas meses antes da atual demanda ser realizada, com quase nenhuma flexibilidade de aumento de fornecimento tardio. A quantidade produzida é afetada pelas condições ambientais, tais como, por exemplo, clima, quantidade e propriedade do sol (Tan e Çomden, 2012).

Embora os riscos não possam ser controlados completamente, eles devem ser considerados durante a fase de planejamento para que a relação entre a oferta e demanda seja efetiva (Tan e Çomden, 2012).

Kaiser *et al.* (1993) utilizaram programação estocástica para verificar como mudanças de fatores climáticos poderiam interferir no plantio de grãos e qual a melhor estratégia a ser utilizada pelos fazendeiros para maximizar seus rendimentos. Tan e Çomden (2012) apresentaram uma metodologia de planejamento de uma firma, intermediária na cadeia de suprimentos de alimentos perecíveis, que realiza a compra do produto, processa e vende. Ela deve decidir em quais fazendas investir na plantação de culturas, sabendo das incertezas inerentes deste processo e da demanda. Para lidar com as incertezas, os autores utilizaram programação estocástica e os fatores incertos foram identificados como representados por uma distribuição normal.

Os fatores incertos, quando considerados, precisam estar relacionados à sua possibilidade de ocorrência. Cada um destes acontecimentos é denominado na área de programação estocástica como um cenário, tema que será tratado na próxima seção.

3.4

Geração de Cenários

Um problema de programação estocástica é um problema de programação matemática que apresenta incertezas em relação aos valores dos parâmetros. Ao invés de valores únicos, estes parâmetros, geralmente, são expressos em termos de distribuições contínuas (univariadas ou multivariadas), ou discretas ou por processos estocásticos (Kaut e Wallace, 2003). A resolução destes modelos fica, portanto, condicionada a descrição da estocasticidade dos parâmetros.

Segundo Kaut (2006) a descrição da estocasticidade pode ser realizada a partir de:

- Conhecimento da probabilidade descrita pelas funções densidades ou pela distribuição de probabilidade acumulada;
- Dados históricos, isto é, amostras discretas;
- Algumas propriedades de distribuição, como por exemplo, momentos.

Exceto para alguns casos especiais, como o modelo de média-variância de um período de Markowitz, dificilmente um modelo é resolvido utilizando integralmente sua distribuição contínua ou todos os seus vários valores discretos. Isto acontece devido aos métodos de solução de modelos de programação matemática e ao limite de cardinalidade do conjunto da distribuição discreta imposto pela capacidade computacional existente (Kaut e Wallace, 2003).

Na maior parte das aplicações, as distribuições dos parâmetros estocásticos devem ser aproximadas por uma distribuição discreta com um número limitado de representantes. A discretização é usualmente chamada de árvore de cenários ou árvore de eventos (Kaut e Wallace, 2003). Segundo Birge e Louveaux (2011) modelos de programação estocástica utilizam como padrão a árvore de cenários.

A Figura 14 exemplifica uma árvore de cenários. Um cenário (caminho grifado na Figura 14) pode ser exemplificado como um caminho que liga a raiz da árvore a uma folha.

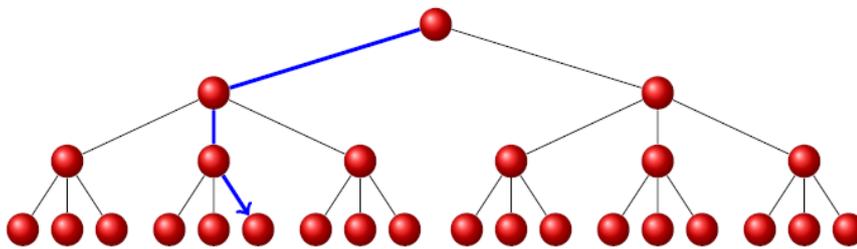


Figura 14- Cenário identificado em uma árvore de cenários.

A árvore de cenários cresce exponencialmente com o número de alternativas de cada parâmetro e com isso o tempo de resolução computacional também aumenta. O desafio é obter valores discretos que representem “bem” a distribuição de cada parâmetro estocástico e construir árvores reduzidas e estáveis.

3.4.1

Dados para os cenários

Os dados para a construção dos cenários, segundo Keefer e Bodily (1983) e Kaut (2006), podem ser obtidos através de dados históricos, quando o passado é um bom representante do futuro, através de simulação baseada em modelos estatísticos e matemáticos, através de parâmetros estimados de casos reais ou a partir de opiniões de especialistas. Segundo os mesmos autores um bom caminho é estimar a distribuição através de dados históricos e usar modelos matemáticos e/ou opinião de especialistas para ajustar a distribuição.

Após a obtenção de dados, o desafio passa a ser a seleção de valores que representem de maneira adequada o conjunto de valores encontrados para o parâmetro estocástico.

Os parâmetros estocásticos podem ser univariados ou multivariados e podem possuir distribuição estatística discreta ou contínua. Para ambas distribuições é usual a escolha de poucos pontos representativos a fim de que a árvore de cenários não fique muito grande, visto as restrições computacionais. Segundo Keefer e Bodily (1983) e Keefer (1994) é muito comum a escolha de três pontos a fim de representar a distribuição contínua, sendo um ponto para o cenário pessimista, um para o cenário conservador e um para o cenário otimista.

Keefer e Bodily (1983) e Keefer (1994) testaram vários métodos de aproximação por três pontos de uma função de uma variável aleatória univariada com distribuição contínua. O principal objetivo das pesquisas foi avaliar as grandes diferenças obtidas com as aproximações impostas pelos métodos e sugerir uma aproximação de três pontos. Em seu primeiro trabalho em 1983, entre os métodos testados, uma extensão do método de Pearson e Tukey (1965) mostrou ser a melhor. Este método sugere uma divisão de uma curva contínua em três pontos, sendo dois pontos, cada um com 18,5% de chance de ocorrer, e um ponto com 63% de chance. Em 1994, após novos testes com novos métodos, a extensão do método de Pearson e Tukey (EP-T) (Pearson e Turkey, 1965) e o método (Z-DI) proposto por Zaino e D'Errico (1989), que utiliza os cinco primeiros momentos de uma distribuição, foram

os que melhores representaram uma curva, quando esta não apresenta picos e desníveis

A ideia central Keefer e Bodily (1983) e Keefer (1994) foi comparar os valores da média e variância, calculados por cada método proposto, com os verdadeiros valores de uma distribuição triangular. Aqueles métodos que obtiveram menores erros foram os escolhidos.

A ideia de escolher uma distribuição triangular foi devido ao fato de muitos parâmetros estocásticos não possuírem dados históricos e a sua distribuição ser construída através de pontos sugeridos por “*expert*”, ou então, devido ao uso de simulação, na maior parte das vezes, do tipo Monte Carlo, que gera valores usualmente vistos como pertencentes de uma distribuição triangular Keefer e Bodily(1983).

Embora os testes de Keefer e Bodily (1983) e Keefer (1994) tenham sido baseados em uma distribuição triangular, o mesmo autor salienta que resultados aproximados teriam sido obtidos em curvas normais (Keefer, 1994). Segundo Hirschfield (2000) a discretização da curva normal em três e cinco pontos é bem aceita e as probabilidades associadas sugeridas pelo autor para a discretização em três pontos são de 66% para o valor médio, e 17% para os valores do cenário otimista e pessimista.

Os casos testados por Keefer (1983, 1994) foram para uso, preferencialmente, de séries univariadas. Muitos dados, porém, são multivariados. Høyland e Wallace (2001) sugere uma alternativa para a definição conjunta de probabilidades e construção da árvore de cenários quando as séries são correlacionadas.

Há vários estilos de construção de cenários e árvore de cenários, com relação à probabilidade de acontecimento de cada evento. É notável a preocupação dos pesquisadores desta área em captar aspectos subjetivos importantes para os tomadores de decisão, assim como sobre a qualidade da informação e os impactos cruzados das mesmas. Detalhes podem ser visto em Mitchell *et al.* (1977), Turoff (1972), Høyland e Wallace (2001), Pflug (2001), Kouwenberg (2001), Høyland, Kaut, Wallace (2003).

Quando as árvores são muito grandes e o esforço computacional necessário é demasiadamente grande, existem maneiras de diminuir ou fragmentar a árvore para resolução do problema, entre eles, método redução de

cenários proposto por Dupařcová *et al.* (2003), o método de rearranjo de árvore proposto por Heitsch and Römisch (2005), o método de cortes proposto por Dempster e Thomson(1999), o método de decomposição estocástica proposto por Hagle e Sen (1996), o método de decomposição de Benders, visto em Dantzig e Infanger (1991) e os métodos de agregação de cenários encontrados em Casey e Sen (2005) e Kuhn (2008).

3.4.2

Métodos de Previsão

Os parâmetros estocásticos contemplados no modelo desenvolvido neste trabalho são: o preço de compra da soja em grão, a quebra de safra, a demanda externa por soja em grão e o preço de venda da soja em grão.

Para o modelo é necessário prever para cada parâmetro estocástico um conjunto de valores para o horizonte de um ano.

Embora existam muitos métodos de previsões, há muitos fatores que não podem ser previstos e controlados com segurança, sendo necessário trabalhar com o melhor método de previsão disponível para determinado assunto e a revisão frequente destas previsões (Davis *et al.*, 2001).

Os métodos de previsão a serem adotados dependem de uma série de fatores, incluindo: horizonte de previsão, disponibilidade de dados, precisão necessária, tamanho do orçamento para previsão e disponibilidade de pessoal qualificado (Davis *et al.*, 2001).

Os vários métodos de previsão podem ser classificadas em dois grupos: métodos qualitativos e métodos quantitativos.

Os métodos qualitativos são subjetivos e são baseados em estimativas e opiniões. Estes métodos são utilizados, principalmente, quando não existem dados disponíveis. Davis *et al.* (2001) identifica três métodos qualitativos: método Delphi, pesquisa de mercado, analogia histórica.

Os métodos quantitativos se baseiam em dados históricos e ferramentas estatísticas, conduzindo a resultados semelhantes mesmo quando aplicado por diferentes pessoas (Coeli, 2004).

Os métodos quantitativos podem ser divididos em dois grupos principais: análise de séries temporais, baseada na ideia de que a história dos

acontecimentos ao longo do tempo pode ser usada para prever o futuro, e causal, que tenta compreender o sistema que envolve o item a ser previsto (Davis *et al.*, 2001).

O método de séries temporais examina o padrão de comportamento passado de um fenômeno no tempo e usa uma análise para prever o comportamento futuro do fenômeno (Slack *et al.*, 1997).

Os métodos causais procuram compensar as falhas da análise de séries temporais, buscando identificar os fatores que influenciam o comportamento do parâmetro.

Para este trabalho, através de estudos das séries que seriam utilizadas, notou-se que os parâmetros estocásticos deveriam ser previstos através de métodos quantitativos. A consideração de fatores que poderiam influenciar no comportamento do parâmetro, definição do método causal, esbarraria na ausência de dados confiáveis referentes a muitos deles.

Através dos dados históricos obtidos para cada um dos parâmetros foram feitas análises de previsões dos valores futuros a fim de se chegar a um resultado estatisticamente satisfatório.

Para a previsão dos parâmetros foram testadas as técnicas de Médias Móveis, Amortecimento Exponencial e Box & Jenkins. Segundo Ballou (2006) a técnica Amortecimento Exponencial é reconhecida dentre as melhores técnicas de previsão em curto prazo.

Como é visto em Souza (2004), estão disponíveis inúmeras variações dessas técnicas para séries com relação ao nível, tendência e sazonalidade. Todavia, todas têm a mesma característica: a informação atual é ponderada com as informações contidas em instantes anteriores. Os parâmetros do modelo de previsão sofrem atualização sequencial, e a chegada de uma nova observação resulta numa nova estimativa dos parâmetros.

Embora cada técnica de previsão tenha características e abordagens próprias, alguns critérios devem ser considerados para comparação dos resultados obtidos. Para isso, são utilizadas métricas diversas, todas elas baseadas no erro de previsão gerado pelos modelos. Entre elas: BIC (Bayesian Information Criterion,) e AIC (Akaike Information Criterion), Durbin Watson, Ljung-Box, Forecast Error, Mean Absolute Percentage Error (MAPE) e Root Mean Square Error (RMSE) Souza (2004).

Neste trabalho foram utilizados o software Forecast Pro For Windows (FPW)- Versão 3 e o Excel para a previsão das séries. No software FPW é possível prever através de várias técnicas, entre elas, Médias Móveis, Amortecimento Exponencial e Box & Jenkins, além de um modo de seleção automático, que através da análise da série e dos erros de previsão seleciona automaticamente o melhor modelo de previsão e a técnica que obtém as melhores estimativas dos parâmetros.

4

APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Este capítulo apresenta o modelo de programação estocástica de dois estágios com estrutura de recurso fixo para o planejamento tático da cadeia logística de soja, sob o ponto de vista do embarcador.

4.1

Descrição do Problema

Esta tese tem como propósito sugerir um modelo de apoio a decisão para os embarcadores para o planejamento tático da cadeia logística da soja.

Os embarcadores desta cadeia de suprimentos são responsáveis pela compra de soja em grão, processamento da soja em grão em farelo e óleo de soja, venda, transporte e estocagem da soja em grão e dos processados farelo e óleo de soja.

4.1.1

Compra da soja em grão

O processo se inicia com a compra da soja em grão dos produtores. No Brasil a oferta por este produto é geralmente menor do que a procura. Isto gera necessidade do embarcador garantir parte desta compra com antecedência, tanto para as novas vendas no ano para o qual o planejamento está sendo feito, como para o atendimento da demanda de grão, farelo e óleo de soja, acertada anteriormente.

A compra da soja em grão pode acontecer quando há oferta deste produto no mercado. Cada oferta é caracterizada por um preço, volume e região de produção (que irá refletir diretamente no preço do frete).

De acordo com análise de dados dos últimos cinco anos do IMEA (2013), o volume de soja disponível para compra ao longo do ano no mercado *spot* é aproximadamente 40% do volume total de soja produzido. Os outros 60% são

vendidos até o primeiro mês do ano daquela safra. Entre os meses de dezembro do ano anterior e janeiro, é ofertado um grande volume, cerca de 65% destes 60%, ou seja, aproximadamente 40% do volume total é ofertado neste período que antecede a safra.

Dessa forma, para as grandes *tradings*, a opção para a compra de um volume maior de soja é através da compra com antecedência. A desvantagem desta ação é que caso a demanda seja menor do que a prevista ou exista quebra de safra, o embarcador poderá ter prejuízos.

No momento da compra com antecedência, é definido no contrato aonde o produtor irá entregar a soja, em qual mês, e se o preço da compra será o preço do dia de entrega ou o preço do dia da compra.

Neste trabalho foi considerado que o embarcador compra a soja buscando a mesma no produtor e o preço de compra com antecedência é o preço do dia da compra.

O problema do embarcador com relação à oferta está em decidir: se antecede ou não a compra, o local da compra e o volume a ser comprado.

4.1.2

Quebra de Safra

Outro problema enfrentado pelo embarcador é a quebra de safra. A quebra de safra é geralmente inesperada e pode acontecer por diferentes motivos, como por excesso ou escassez de chuvas e por pragas.

A consequência para o embarcador quando compra com antecedência a soja de um local em que ocorre quebra de safra é a perda da garantia da entrada no seu sistema daquele volume de soja. Além disso, se há pouca oferta de soja no mercado *spot*, fica difícil para o embarcador cumprir o planejamento anual de vendas, seja pelo preço de compra que pode estar alto demais devido a pouca oferta existente, seja pela ausência de oferta da soja em grão.

Como a quebra de safra é um caso fortuito, nem o embarcador tem obrigação de pagar pelo grão não entregue, nem o produtor tem a obrigação de entregar o volume que foi perdido.

O objetivo do embarcador é comprar uma quantidade ideal, no local ideal, por um preço baixo, tal que minimize custos, inclusive da perda com a quebra de safra, e atenda suas necessidades.

Este fato é tipicamente estocástico e está incluído no modelo matemático defendido nesta tese.

4.1.3

Transportes

Outra questão de grande impacto no planejamento da cadeia logística da soja é a seleção do transporte. A representatividade do transporte na matriz de custos logísticos é alta.

No Brasil, em especial, existem peculiaridades que tornam este processo mais caro e mais complexo. O transporte ferroviário, o mais adequado para o transporte de soja, é insuficiente para atender a demanda de grãos no país e é administrado por poucas concessionárias, o que não permite grande concorrência entre elas.

A ferrovia embora seja ideal para o transporte de carga de baixo valor agregado, ainda é proporcionalmente menos utilizada do que em países desenvolvidos (Fleury, 2002). Segundo Barros e Lobo (2009), o terceiro motivo mais citado pelos transportadores por utilizarem menos ou não utilizarem as ferrovias é a indisponibilidade de vagões.

O transporte rodoviário, alternativa mais utilizada para transporte do grão, farelo e óleo de soja, é pouco confiável com relação ao cumprimento de contrato e apresenta alta variabilidade nos preços. Segundo entrevista com os profissionais da área, é normal haver atrasos na chegada do caminhão para carregamento e quebra de contratos por parte das transportadoras.

Todavia, o embarcador precisa transportar seus produtos e tenta minimizar os custos com este processo atendendo suas demandas.

A contratação do transporte ferroviário para a soja é geralmente realizada com antecedência de um ano, entre os meses de novembro, dezembro e janeiro. Esta contratação com antecedência visa garantir a oferta deste modal para o período contratado. Este modo de transporte apresenta um preço de frete frequentemente mais baixo do que o modal rodoviário para um mesmo trecho

origem-destino e apresenta escassez de oferta, principalmente na época de safra.

A carência de armazéns no Brasil dificulta a armazenagem da soja para venda em outros períodos distantes da época da safra. Se houvesse maior disponibilidade de espaços em armazéns, o embarcador poderia transportar a carga em períodos cuja oferta de transporte fosse maior ou o preço de venda fosse melhor. Entretanto, há um déficit de armazéns no Brasil com relação à produção de grãos, e os armazéns que as tradings possuem geralmente são utilizados para armazenar a soja que será processada para atendimento da demanda destes produtos ao longo do ano.

Os contratos anuais realizados entre o embarcador e a concessionária ferroviária são na maioria das vezes do tipo *Take or Pay*. Neles são definidos volumes mensais por trecho que devem ser atendidos por ambas as partes. É permitida uma porcentagem de falha no atendimento por ambas as partes. No caso da soja, o percentual geralmente acordado de falha é de 10% do volume contratado. Ou seja, a *trading* deve transportar no mínimo 90% do volume acordado para um dado mês em um dado trecho. Sob o volume que não foi cumprido é aplicado uma multa que consiste na cobrança da tarifa daquele trecho multiplicado por uma porcentagem. Esta porcentagem pode variar de acordo com cada contrato, mas é em geral 40% no caso da soja.

A contratação do transporte rodoviário acontece tanto pelo mercado *spot*, quanto via contrato anual. O contrato anual é realizado pelo embarcador na tentativa de pagar tarifas de fretes mais baixas do que no mercado *spot* e de ter a oferta do transporte rodoviário na época de safra. A desvantagem, assim como no transporte ferroviário, é que caso ocorra algum problema com a oferta ou demanda prevista, o embarcador deverá arcar com a multa contratual. Os termos contratuais são os mesmos dos da ferrovia.

No modelo matemático proposto neste trabalho são contempladas as possibilidades de contratação da ferrovia e rodovia por contrato anual, com o modelo de contrato do tipo *Take or Pay*, e rodovia no mercado *spot*.

Neste trabalho não foram incluídas as possibilidades de falhas das transportadoras, tanto da ferrovia quanto da rodovia, devido à ausência de dados históricos confiáveis com relação a estas falhas. E não foi incluída a possibilidade do transporte fluvial, visto que uma pequena porcentagem do

volume escoado acontece por este modal. Ambas as limitações podem, entretanto, ser incorporadas ao modelo.

4.1.4

Transbordo

O transbordo consiste na etapa do processo em que o produto é passado de um modo de transporte para outro modo. No caso da soja é normal a utilização do transbordo como ponto de transferência do modo de transporte rodoviário para o ferroviário. Os pontos de transbordos servem também como local de acúmulo das cargas oriundas de diversas regiões próximas cujo destino da carga é o mesmo.

Embora o transporte ferroviário seja o mais atrativo com relação ao frete, esta etapa do processo gera um custo para o embarcador, seja na perda do tempo que a carga leva para passar de um modo para outro ou na espera do acúmulo de carga, seja na perda de produto devido ao processo de transferência da carga.

Neste trabalho são consideradas as possibilidades de transbordo, de um modo de transporte para um armazém, do armazém para o modo de transporte. Estes armazéns são os existentes no terminal ferroviário, nas fábricas e nos portos.

4.1.5

Armazenagem

No Brasil há falta de espaços em armazéns para a armazenagem da produção agrícola. Embora as safras das *commodities* não aconteçam em épocas exatamente iguais, em vários períodos elas coincidem e o espaço de armazéns no país não comporta toda a produção.

A falta de armazéns nos pontos de origem gera grandes picos de entrega de soja por parte dos produtores para os embarcadores, pois os contratos de entrega são para entrega no mês e não na semana ou dia, e ocorre algumas vezes, após um período de chuva, por exemplo, da colheita ser realizada no mesmo período, e assim que é feita a colheita, é realizada a entrega para os

embarcadores. Estes, por sua vez, também tem pouco espaço para armazenar a soja e uma vez que os armazéns já estão cheios, eles começam a usar o transporte como meio de estocagem, enviando os caminhões para descarregar no porto em um número maior que a capacidade de descarregamento do local. Neste momento há formação de filas nos portos.

Esta carência de espaço em armazéns diminui a capacidade do produtor ou do embarcador de escolher o melhor período para a venda e transporte da soja em grão.

Grande parte do espaço dos armazéns das *tradings* é utilizado para guardar a soja em grão que irá ser processada durante o ano para atender a demanda de processados que acontece durante este período.

Os armazéns que o embarcador utiliza podem ser próprios ou alugados. Nos pontos de transbordo, nas fábricas e nos portos também existem armazéns. Todos eles possuem restrição de capacidade de entrada, saída e armazenagem de soja em grãos e processados.

Além dos custos de armazenagem, incluindo o custo de manuseio de entrada e saída do armazém, existe o custo de estoque que consiste em calcular o custo de oportunidade daquele produto que está parado dentro do armazém.

Cargas estocadas permitem ao embarcador a venda no momento mais oportuno e a disponibilidade para atender a demanda já acertada. Por outro lado, este processo gera custos operacionais e de estoque. O estoque de segurança, também contemplado no modelo, é definido de acordo com a política da empresa, e visa garantir o atendimento da demanda prevista para um determinado período.

No modelo matemático proposto neste trabalho são contempladas as restrições de capacidade de entrada, saída e armazenagem de soja em grãos e processados, os custos de armazenagem, incluindo o custo de manuseio de entrada e saída do armazém, o custo de oportunidade, o valor do aluguel dos armazéns alugados e o estoque de segurança.

4.1.6

Processamento do Grão de Soja

Cerca de 50% da soja em grão produzida no Brasil é transformada em farelo e óleo de soja. Do processamento da soja em grão tem-se 73% de coeficiente de rendimento do farelo e 19% do óleo, ou seja, em cada 100 toneladas de soja em grão obtêm-se 73 toneladas de farelo e 19 de óleo.

Cada fábrica é caracterizada por sua capacidade de processamento e armazenagem.

4.1.7

Capacidades

As fábricas, os armazéns, os pontos de transbordo e os portos possuem restrição de capacidade de entrada e saída de grão, farelo e óleo de soja e de armazenagem. As fábricas possuem capacidade de processamento e os portos possuem capacidade de exportação.

4.1.8

Venda de Grão, Farelo e Óleo de Soja

Segundo análise dos dados históricos do mercado de soja (ABIOVE, 2012), aproximadamente 50% da soja em grão produzida é exportada e os outros 50% são processados em farelo e óleo de soja. Do total produzido de farelo cerca de 50% é destinado ao mercado interno e 50% ao mercado externo. Do total produzido de óleo de soja, por volta de 65% é destinado ao mercado interno e 35% ao mercado externo. A Figura 15 ilustra o volume de soja produzido, exportado, processado e o volume de farelo e óleo de soja destinado ao mercado externo e interno, no período compreendido entre 2006 a 2011.

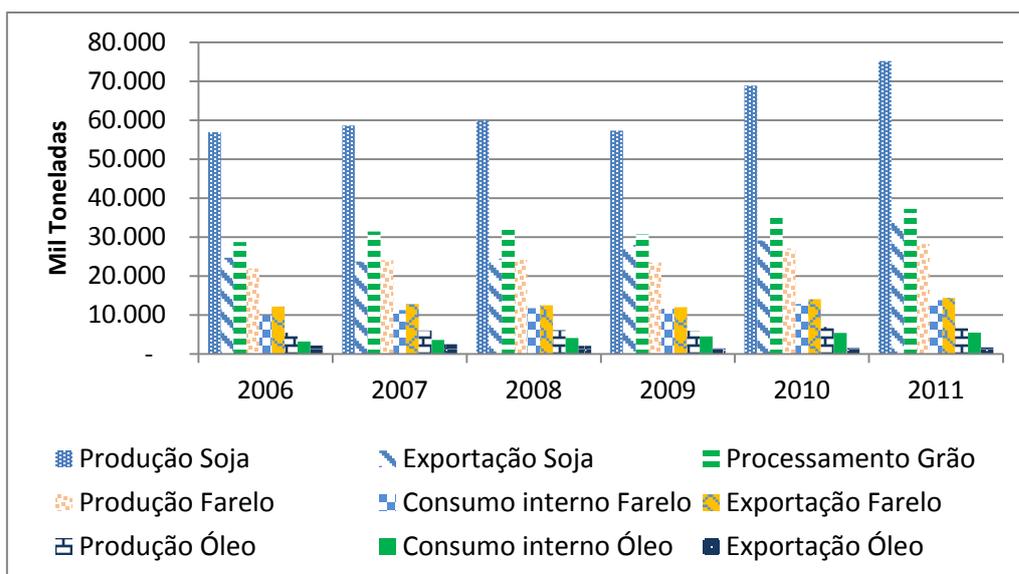


Figura 15- Produção, exportação e consumo interno de grão, farelo e óleo de soja no Brasil.

Os preços do grão, óleo e farelo de soja são formados na *Chicago Board of Trade* (CBOT) (Moraes, 2002). Segundo Paula e Filho (1998) e Santos (2003), os preços da soja guardam relação direta com os valores internacionais e são praticados em sintonia com a Bolsa de Chicago.

Segundo Barros *et al.* (1997), os preços dos produtos do complexo soja no Brasil são baseados nas cotações da Bolsa de Chicago, aos quais se acrescenta um ágio ou deságio (prêmio), chegando-se aos preços nos portos brasileiros. Deste preço no porto são deduzidos custos portuários, fretes e etc, chegando-se ao preço na processadora. A partir deste valor, deduzindo-se, posteriormente, os custos de frete, operacionais, entre outros, e considerando a concorrência em cada região, obtém-se o preço a ser pago ao produtor.

Com relação à demanda de soja, segundo Santos (2003), esta é bastante dependente da China, qualquer alteração nesta economia afeta a demanda mundial.

4.1.9

Planejamento dos embarcadores

De acordo com a descrição das principais etapas existentes na condução da cadeia logística da soja sob o ponto de vista do embarcador, e de

considerações apresentadas nos capítulos anteriores, pôde-se chegar à conclusão que um modelo de apoio à decisão para o embarcador no nível tático de planejamento é necessário.

No início de todo ano o embarcador precisa tomar decisões para o horizonte de um ano. Essas decisões são:

- O volume a ser contratado com antecedência de transporte ferroviário, por par Origem-Destino- Contrato *Take or Pay*;
- O volume a ser contratado com antecedência de transporte rodoviário, por par Origem-Destino - Contrato *Take or Pay*;
- Quantidade de soja em grão a ser adquirida com antecedência de um ano, por origem;

Além dessas decisões, ele precisa ter conhecimento do valor esperado do volume que irá comprar, processar, vender e transportar mensalmente como suporte para o planejamento operacional, a fim de que se cumpra o plano anual da empresa.

Apesar de muitos fatos incertos ocorrerem durante o ano, o embarcador precisa arcar com suas decisões que foram tomadas no início do período. O modelo proposto neste trabalho visa apoiar a tomada de decisão do embarcador, maximizando lucro, definido neste trabalho com o retorno obtido entre a diferença da receita alcançada com a venda de soja, óleo e farelo e os custos ocasionados pela compra, armazenagem, transporte e processamento. Para isso o modelo seleciona para cada período mensal os locais e volumes de compra de grão de soja, os caminhos e modos de transporte, as fábricas e volume de grão a ser processado, os armazéns e o volume a ser estocado e os locais por onde devem ser escoados que trarão o menor custo esperado considerando as incertezas que podem ocorrer durante o período planejado.

Este modelo poderá ser aplicado em outros países produtores de soja ou de outras culturas, cuja situação do mercado do produto seja semelhante ao da cadeia de soja no Brasil. Fatores como, compra antecipada de transporte rodoviário e da soja, e as decisões de segundo estágio, de acordo com a revisão bibliográfica efetuada neste estudo, são semelhantes aos outros países. Uma característica tipicamente brasileira, mas que pode ser adaptada para outros países, é o fato da oferta de transporte ferroviário ser escassa e, portanto, necessitar de que os contratos com as concessionárias ferroviárias sejam

necessariamente acordados com antecedência. Este processo está representado no modelo como uma decisão de primeiro estágio e multa para o não cumprimento do contrato nas decisões de segundo estágio.

4.2

Descrição da Rede

A rede logística da soja, visualizada sob o ponto de vista do embarcador é ilustrada na Figura 16.

Como citado anteriormente os embarcadores desta cadeia de suprimentos são responsáveis por toda etapa de compra de soja em grão, processamento da soja em grão em farelo e óleo de soja, venda para o mercado interno e externo, transporte e armazenagem da soja grão e dos processados farelo e óleo de soja.

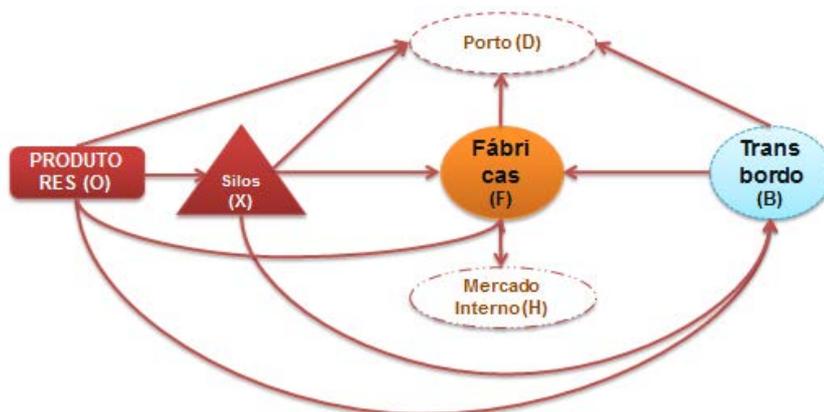


Figura 16 - Rede Logística da Soja

Os índices escritos entre parênteses, logo após cada nome de cada etapa do processo, foram utilizados no modelo matemático descrito no Capítulo 5.

Para elaboração do modelo e incorporação de alguns artifícios, como a possibilidade da quebra de safra, a rede precisou ser adaptada. A Figura 17 mostra a rede logística adaptada, da maneira como foi utilizada para construção do modelo matemático.

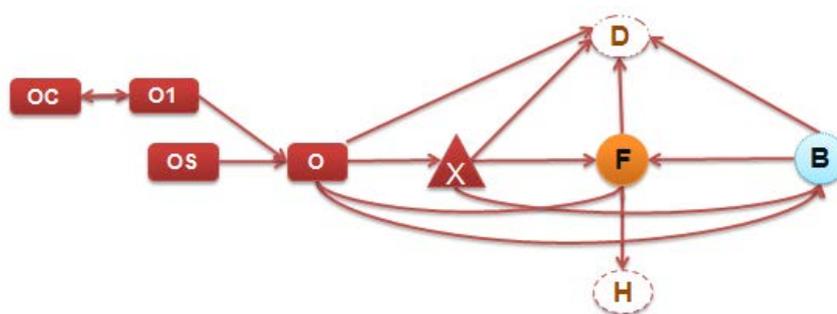


Figura 17- Rede Logística Adaptada

A rede descrita abaixo, referente à Figura 17, foi utilizada para a elaboração do modelo matemático proposto nesta tese, definido no capítulo 5. Considere a rede $G = (N, A)$ composta de nós N e arcos direcionados A . O conjunto de nós é subdividido em oito subconjuntos: O , o conjunto dos nós da origem; X , o conjunto de nós que representam os armazéns; B , o conjunto de nós que representam os pontos de transbordo; F , o conjunto de nós que representam as fábricas; H , o conjunto de nós que representam o mercado interno; D , o conjunto de nós que representam os portos ou destino exportação ou mercado externo; V , o conjunto de nós que representam os pontos de vendas, ou seja, a união dos conjuntos H e D ; S , o conjunto total de nós que possuem local de estoque para os produtos Z , ou seja, a união dos conjuntos B, F, X, D .

Os nós de origens $O \in N$, representam os nós produtores de grãos. Para cada nó $j \in O$ foram criados três nós virtuais $\in NV_j$ (conjunto de nós virtuais do nó j). Os nós virtuais criados foram: $OC_j, O1_j, OS_j$. Para a representação destas etapas foram inseridos os conjuntos $OC_{(j \in O)}$, $OS_{(j \in O)}$ e $O1_{(j \in O)}$. O conjunto $OC_{(j \in O)}$ representa para cada nó $j \in O$ o local em que há possibilidade de compra de grãos sob contrato. O conjunto $O1_{(j \in O)}$ representa para cada nó $j \in O$ o local de devolução do dinheiro gasto pelo embarcador com a safra que não foi entregue a ele, devido à quebra de safra. O conjunto $OS_{(j \in O)}$ representa para cada nó $j \in O$ o local em que há possibilidade de compra de grãos no mercado *spot*.

A criação de nós virtuais representando a origem foi necessária para permitir a decisão de primeiro estágio de compra da soja em grão e representar a possibilidade de quebra de safra. O embarcador ao comprar a soja

antecipadamente (neste caso na decisão de primeiro estágio do modelo), não precisa pagar pela soja caso ela não seja entregue devido à quebra de safra.

Considere que um elemento de A será denotado por (i, j) , onde i, j são elementos de N . O conjunto de arcos de transporte $a \in A$ pode ser dividido em treze subconjuntos: arcos origem-armazém, $\mathbf{A}_{OX} = \{(i, j) \in A: i \in O, j \in X\}$; arcos origem-fábrica, $\mathbf{A}_{OF} = \{(i, j) \in A: i \in O, j \in F\}$; arcos origem-porto, $\mathbf{A}_{OP} = \{(i, j) \in A: i \in O, j \in P\}$; arcos origem-transbordo, $\mathbf{A}_{OB} = \{(i, j) \in A: i \in O, j \in B\}$; arcos armazém-fábrica, $\mathbf{A}_{XF} = \{(i, j) \in A: i \in X, j \in F\}$; arcos armazém-porto, $\mathbf{A}_{XD} = \{(i, j) \in A: i \in X, j \in D\}$; arcos armazém-transbordo, $\mathbf{A}_{XB} = \{(i, j) \in A: i \in X, j \in B\}$; arcos fábrica-porto, $\mathbf{A}_{FD} = \{(i, j) \in A: i \in F, j \in D\}$; arcos fábrica-mercado interno, $\mathbf{A}_{FH} = \{(i, j) \in A: i \in F, j \in H\}$; arcos transbordo-fábrica, $\mathbf{A}_{BF} = \{(i, j) \in A: i \in B, j \in F\}$; arcos transbordo-porto, $\mathbf{A}_{BD} = \{(i, j) \in A: i \in B, j \in D\}$; arcos origem-origem, $\mathbf{A}_{OO} = \{(i, j) \in A: i \in O, j \in O\}$; arcos fabrica-origem, $\mathbf{A}_{FO} = \{(i, j) \in A: i \in F, j \in O\}$;

O conjunto de arcos virtuais originados do nó $j \in O$ pode ser dividido em quatro subconjuntos: arcos virtuais OrigemC-Origem1, $\mathbf{A}_{(OC(j), O1(j))} = \{(OC_j, O1_j) \in A: j \in O\}$; arcos virtuais Origem1-OrigemC, $\mathbf{A}_{(O1(j), OC(j))} = \{(O1_j, OC_j) \in A: j \in O\}$; arcos virtuais Origem1-Origem, $\mathbf{A}_{(O1(j), j)} = \{(OC_j, j) \in A: j \in O\}$; arcos virtuais OrigemS-Origem, $\mathbf{A}_{(OS(j), j)} = \{(OS_j, j) \in A: j \in O\}$;

A possibilidade de quebra de safra é representada nos arcos $\mathbf{A}_{(OS(j), j)}$ e $\mathbf{A}_{(O1(j), j)}$, sob forma de restrição de capacidade. Estes arcos permitem que apenas uma porcentagem do volume comprado possa passar e consiga, portanto, chegar ao conjunto de nós reais, Origem ($j \in O$). Com relação ao volume de soja comprado com antecedência no nó $OC(j \in O)$, a porcentagem da safra que quebrou, que é representada no arco $\mathbf{A}_{(O1(j), j)}$, não consegue passar devido à restrição de capacidade, e é “vendida” de volta ao produtor, no nó $O1(j \in O)$, pelo mesmo preço pago pelo embarcador na decisão de primeiro estágio. Este dinheiro volta, portanto, para o embarcador. O artifício utilizado para obrigar o modelo a vender somente o volume não entregue devido à quebra de safra é explicado após as restrições (5.4), (5.5) e (5.6), no capítulo 5.

Já no conjunto de nós $OS(j \in O)$ somente é permitida a compra da soja em grão por parte do embarcador no mercado *spot*. O volume ofertado de soja em grão em cada uma destas regiões produtoras, representados por nós de origens reais, é, portanto, separado entre o volume ofertado para compra no primeiro estágio, sendo representado no conjunto de nós $OC(j \in O)$, e para compra no mercado *spot*, sendo representado no conjunto de nós $OS(j \in O)$.

Os produtos comercializados (grão, farelo e óleo) que se movem através da rede são representados pelo conjunto Z, o qual é dividido nos subconjuntos: P, representando o produto em grão; Kf, representando o farelo; e Ko, representando o óleo.

O conjunto dos cenários é representado por C: $c=1,2,3,4,\dots,C$.

O conjunto dos períodos, representando o horizonte de planejamento anual, é dividido em 12 meses e é representado por T: $t=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12$.

Os modos de transportes são representados pelo conjunto M. O conjunto M é subdividido em quatro subconjuntos: Q, conjunto do modo de transporte ferroviário; R, conjunto do modo de transporte rodoviário; RS, conjunto do modo de transporte rodoviário que é contratado no mercado *spot*; e G, conjunto formado pela união dos subconjuntos Q e R.

5

MODELO MATEMÁTICO PARA O PLANEJAMENTO TÁTICO DA CADEIA LOGÍSTICA DA SOJA

Neste capítulo são desenvolvidos um modelo linear de programação estocástica de dois estágios com estrutura de recurso fixo e um modelo linear determinístico, ambos para auxiliar no planejamento tático da cadeia da soja. Os modelos são multiperíodo, multimodal e multiproduto. Os modelos foram elaborados focados na cadeia logística da soja, englobando as características intrínsecas deste mercado. O motivo, entretanto, de serem multiproduto se deve ao fato de que a maior parte dos embarcadores de soja comercializa outras *commodities*, como milho e açúcar. Como a estrutura da rede poderá ser disputada entre todos os produtos comercializados, eles poderão ser incluídos no modelo de planejamento.

A seguir serão apresentados os modelos estocástico e determinístico. O intuito de se apresentar o modelo estocástico primeiro é que algumas variáveis e parâmetros utilizados neste modelo são fixados no modelo determinístico, e a explicação destes parâmetros e variáveis fica melhor durante a apresentação do modelo estocástico.

5.1

Modelo Matemático Estocástico

O modelo linear de programação estocástica de dois estágios com estrutura de recurso fixo apresenta dois momentos de decisão, um primeiro momento antes da realização das incertezas do processo, que chamamos de variáveis de primeiro estágio, e o segundo para as decisões que devem ser tomadas após o acontecimento das incertezas, chamadas de variáveis de segundo estágio.

As variáveis de primeiro estágio são, portanto, as decisões que precisam ser tomadas antes do acontecimento da incerteza, ou seja, no momento em que é realizado o planejamento tático, antes do início da safra, são elas:

- Quantidade de grãos a ser adquirida com antecedência;
- O volume mensal a ser contratado com antecedência de transporte ferroviário por trecho;
- O volume mensal a ser contratado com antecedência de transporte rodoviário;

As variáveis de segundo estágio são mensais e definidas depois que a incerteza ocorreu:

- Compra de grão no mercado *spot*;
- Produção de farelo e óleo;
- Fluxo na rede de grão, farelo e óleo;
- Estoque de grão, farelo e óleo;
- Venda de grão, farelo e óleo, por ponto de origem e destino.
- Volume de transporte rodoviário contratado no mercado *spot* por trecho.

Ainda, o modelo tem como restrição entregar o volume vendido antes do início da safra, de grãos e processados, ou seja, antes da utilização do modelo de planejamento. Esta demanda é chamada neste trabalho como volume vendido antecipadamente. A demanda máxima externa de grãos é estocástica.

Este modelo é baseado na abordagem de análise de cenários e trata quatro fontes de incerteza: preço da compra do grão no mercado *spot*, quebra de safra, preço de venda do grão no mercado externo e demanda por grão de soja no mercado externo.

A Tabela 1 apresenta os conjuntos e subconjuntos do modelo. Estes conjuntos e subconjuntos já foram definidos no Capítulo 4, na Seção 4.2.- Descrição da Rede.

A Tabela 2 apresenta as variáveis, enquanto que a Tabela 3 apresenta os parâmetros do modelo. Em seguida, são expostas a função objetivo de maximização e as restrições.

Tabela 1- Conjuntos do Modelo Tático

Conjuntos	
Conjunto de Nós	\mathbf{N}
Origem	$\mathbf{O} \subset \mathbf{N}$
Armazém	$\mathbf{X} \subset \mathbf{N}$
Transbordo	$\mathbf{B} \subset \mathbf{N}$
Fábrica	$\mathbf{F} \subset \mathbf{N}$
Venda	$\mathbf{V} \subset \mathbf{N}$
Mercado Interno	$\mathbf{H} \subset \mathbf{V}$
Porto	$\mathbf{D} \subset \mathbf{V}$
Estoque	$\mathbf{S} \subset \mathbf{N}$
Produtos	\mathbf{Z}
Grãos	$\mathbf{P} \subset \mathbf{Z}$
Processado	$\mathbf{K} \subset \mathbf{Z}$
Farelo	$\mathbf{KF} \subset \mathbf{K}$
Óleo	$\mathbf{KO} \subset \mathbf{K}$
Conjunto de Modos de Transporte	\mathbf{M}
Transportes Contratos	$\mathbf{G} \subset \mathbf{M}$
Transporte Rodoviário	$\mathbf{R} \subset \mathbf{G}$
Transporte Ferroviário	$\mathbf{Q} \subset \mathbf{G}$
Transporte Rodospot	$\mathbf{RS} \subset \mathbf{M}$
Conjunto de Cenários	\mathbf{C}
Conjunto de Períodos	\mathbf{T}
Conjunto de Nós Virtuais para $\forall j \in O$	$\mathbf{NV}_{(j \in O)}$
OrigemC	$\mathbf{OC}_{(j \in O)} \subset \mathbf{NV}_{(j \in O)}$
OrigemI	$\mathbf{OI}_{(j \in O)} \subset \mathbf{NV}_{(j \in O)}$
OrigemS	$\mathbf{OS}_{(j \in O)} \subset \mathbf{NV}_{(j \in O)}$

Tabela 2- Variáveis do Modelo Tático

Variáveis	1° Estágio
$VTOPV_{i,j,t,g}$	Volume do contrato realizado de <i>Take or Pay</i> , nos arcos (i,j), no período t, para os modos de transporte ferroviário ou rodoviário.
$VCA_{OC(j \in O),p,t}$	Volume de grãos comprado com antecedência no primeiro estágio.
	2° Estágio
$Aux_{i,j,g,t,c}$	Variável auxiliar para multa de <i>Take or Pay</i> dos contratos de transporte.
$VF_{i,j,z,t,m,c}$	Fluxo físico de produtos, nos arcos (i,j), em t, no modo de transporte m, no cenário c.
$VE_{i \in S,z,t,c}$	Volume estocado de produtos nos locais que possuem armazéns, no período t, no cenário c.
$VP_{i \in F,p,t,c}$	Volume de grãos que será processado, em cada fábrica, no período t, no cenário c.
$VCS_{OS(j \in O),p,t,c}$	Volume de grãos comprados mensalmente no mercado <i>spot</i> .
$VCSS_{OS(j \in O),p,t,c}$	Volume de grãos comprados, com um preço acima do normal, para suprir uma ocasional ausência de oferta para o embarcador. Variável auxiliar.
$VVSK_{i \in V,k,t,c}$	Volume vendido de processados no mercado <i>spot</i> interno e externo.
$VVSP_{i \in d,p,t,c}$	Volume vendido de grãos no mercado <i>spot</i> externo.
$DF_{O1(j \in O),p,t,c}$	Demanda forçada estocástica- Variável auxiliar
$VFVC_{OC(j \in O),O1(j \in O),p,t,c}$	Fluxo virtual de grãos nos arcos formados pelos nós artificiais $OC(j \in O)$ e $O1(j \in O)$.
$VFV1_{O1(j \in O),j \in O,p,t,c}$	Fluxo virtual de grãos nos arcos formados pelo nó artificial $O1(j \in O)$ e nó $j \in O$.
$VFVS_{OS(j \in O),j \in O,p,t,c}$	Fluxo virtual de grãos nos arcos formados pelo nó artificial $OS(j \in O)$ e nó $j \in O$.
$VFVCV_{O1(j \in O),OC(j \in O),p,t,c}$	Fluxo virtual de grãos nos arcos formados pelos nós artificiais $O1(j \in O)$ e $OC(j \in O)$, correspondente ao que não é movimentado no sistema devido a quebra de safra.

Tabela 3- Parâmetros do Modelo Tático

Parâmetros	Determinísticos
	Parâmetros Relacionados à Oferta
$OFS_{j \in O, p, t}$	Oferta de grãos, disponível na origem, no período t, para compra no mercado <i>spot</i> .
$OA_{j \in O, p, t}$	Volume de grãos que já havia sido comprado no momento em que é feito o planejamento. Estes grãos entram como um volume existente no sistema e são chamados neste trabalho de oferta existente.
$OP_{j \in O, p, t}$	Volume máximo de grãos que pode ser comprado no primeiro estágio, em cada origem, para cada período.
$ONP_{j \in O, p, t}$	Volume mínimo de grãos que pode ser comprado no primeiro estágio, em cada origem, para cada período.
	Parâmetros Relacionados à Demanda
$DA_{i \in V, z, t}$	Volume de produtos z que já havia sido vendido no momento em que é feito o planejamento. Este volume deverá ser obrigatoriamente atendido no sistema e é chamado neste trabalho de volume vendido antecipadamente.
$DM_{i \in V, z, t}$	Demanda máxima de produtos z, no mercado interno e externo, em cada período.
$DN_{i \in V, z, t}$	Demanda mínima de produtos z, no mercado interno e externo, em cada período.
	Parâmetros Relacionados ao Preço
$PCA_{j \in O, p, t}$	Preço do grão para compra no 1º estágio
$PCSS_{j \in O, p, t}$	Preço do grão, no mercado artificial, com valor acima da média, para ser multiplicado pela variável <i>VCSS</i> .
$RK_{i \in V, k, t}$	Preço de venda de processados, no mercado externo e interno, no período t.
$RDA_{j \in O, p, t}$	Preço da demanda forçada (Compra do grão pelo produtor). É através deste parâmetro que o valor investido no primeiro estágio com a compra do grão volta para o modelo caso a safra quebre e o volume não seja entregue.
	Parâmetros Relacionados ao Frete
$F_{i, j, z, t, g}$	Valor do frete nos arcos (i,j) para os contratos decididos no 1º estágio, em cada mês, para cada produto.
$FRS_{i, j, z, t, rs}$	Valor do frete nos arcos (i,j) no mercado <i>spot</i> , em cada mês, para cada produto.
	Parâmetros Relacionados ao Estoque
$EI_{i \in S, z}$	Estoque inicial de cada produto z, nos locais que possuem espaço para armazenagem do produto z.
$EF_{i \in S, z}$	Estoque final exigido de cada produto z, nos locais que possuem espaço para armazenagem do produto z.

$ES_{i \in S, z}$	Estoque de segurança de cada produto z , nos locais que possuem espaço para armazenagem do produto z .
$CAE_{i \in S, z}$	Capacidade de estoque de cada produto z , nos locais que possuem espaço para armazenagem do produto z .
	Parâmetros Relacionados ao Custo de Estoque e Armazenagem
$PE_{i \in S, z, t}$	Custo de estoque. Custo da carga ficar parada, relacionado ao custo de capital.
$PEPA_{i \in X, t}$	Custo de aluguel de espaço em armazém, quando o armazém é alugado.
$PTI_{i \in X}$	Custo de manuseio na entrada do armazém.
$PTO_{i \in X}$	Custo de manuseio na saída do armazém.
	Parâmetros Relacionados à Capacidade de Entrada e Saída nos Armazéns e Escoamento
$CAI_{i \in S, z, m}$	Capacidade de entrada (<i>Input</i>) dos produtos nos armazéns.
$CAO_{i \in S, z, m}$	Capacidade de saída (<i>Output</i>) dos produtos nos armazéns.
$CAIPD_{d, t}$	Capacidade de escoamento de grão e farelo do porto (d).
$CAIPDO_{d, t}$	Capacidade de escoamento de óleo do porto (d).
	Parâmetros Relacionados à Produção de Farelo e Óleo de Soja
$CAESM_{p, f}$	Capacidade de esmagamento de grão na fábrica.
$PPR_{i \in F, p}$	Custo de processamento do grão em cada fábrica
$YL_{i \in F, p, k}$	Rendimento do processo de conversão do grão em farelo e óleo.
	Parâmetros Relacionados ao Contrato de <i>Take or Pay</i>
$MP_{i, j, g}$	Multa em % incidente sobre o volume não utilizado em relação ao contratado de <i>Take or Pay</i> para ferrovia ou rodovia, por trecho (i,j).
$MF_{i, j, g}$	Porcentagem mínima de utilização do volume contratado de transporte no primeiro estágio para não haver cobrança de multa.
	Parâmetros Relacionados ao Transbordo
$TEN_{i \in B}$	Taxa de perda no ponto de transbordo
	Parâmetros Estocásticos
PR_c	Probabilidade do cenário c acontecer.
$VMPQSA_{01(j \in O), j \in O, p, t, c}$	Porcentagem do volume permitido de passagem de acordo previsão de quebra de safra.
$RPES_{i \in D, p, t, c}$	Preço de venda do grão, no porto, em cada período e

	em cada cenário.
$PCS_{j \in O, p, t, c}$	Preço de compra do grão no mercado <i>spot</i> .
$VMPQS_{OS(j \in O), j \in O, p, t, c}$	Volume permitido de passagem de acordo com previsão de quebra de safra. O arco $A_{(OS(j), j)}$ apresenta restrição de passagem.
$DMEPA_{p, c}$	Demanda máxima externa anual de grão.

Função Objetivo: MAXIMIZAR	1° Estágio
$- \sum_{j \in O, p \in P, t \in T} VCA_{OC(j), p, t} * PCA_{j, p, t}$	Valor gasto com o volume comprado de p no primeiro estágio.
	2° Estágio
$+ \sum_{c \in C} PR_c * \{$	Probabilidade de ocorrência de cada cenário.
$\sum_{j \in O, p \in P, t \in T} DF_{O1(j), p, t, c} * RDA_{j, p, t}$	Receita devolvida ao embarcador referente ao volume da safra que foi comprado no 1° estágio e não foi entregue devido à quebra de safra.
$+ \sum_{i \in V, k \in K, t \in T} (VVS_{i, k, t, c} * RK_{i, k, t})$	Receita obtida com o volume vendido de processados no mercado externo e interno, em todos os períodos.
$+ \sum_{i \in D, p \in P, t \in T} (VVS_{i, p, t, c} * RPES_{i, p, t, c})$	Receita obtida com o volume vendido no mercado <i>spot</i> externo, em t , de p , com preço do cenário c .
$- \left(\sum_{i \in N, j \in N, p \in P, g \in G, t \in T} MF_{i, j, g} * VT_{OPV_{i, j, g, t}} \right. \\ \left. - Aux_{i, j, g, t, c} \right) * F_{i, j, p, g, t} \\ * MP_{i, j, g}$	Cobrança da multa do transporte ferroviário quando a firma não transporta o volume contratado mínimo permitido. Esta expressão será explicada na apresentação da restrição de Equação 5.13.
$- \sum_{i \in N, j \in N, p \in P, t \in T, g \in G} (VF_{i, j, z, t, g, c} * F_{i, j, z, t, g})$	Custo de transporte rodoviário e ferroviário, dos produtos z , no arco (i, j) , no período t , para os casos dos contratos realizados no primeiro estágio.
$- \sum_{i \in N, j \in N, z \in Z, t \in T, rs \in RS} (VF_{i, j, z, t, rs, c} * FRS_{i, j, z, t, rs})$	Custo de transporte dos produtos z , no arco (i, j) , no tempo t , no modal rodoviário, contratado no mercado <i>spot</i> .
$- \sum_{i \in S, z \in Z, t \in T} (VE_{i, z, t, c} * PE_{i, z, t})$	Custo de estoque do produto estocado z .
$- \sum_{i \in X, p \in P, t \in T} (VE_{i, p, t, c} * PEPA_{i, t})$	Custo de aluguel de armazém, para o caso de armazéns terceirizados.

$- \sum_{i \in N, j \in X, p \in P, t \in T, m \in M} (VF_{i,j,p,t,m,c} * PTI_j)$	Custo de manuseio da entrada de p no armazém.
$- \sum_{i \in X, j \in N, p \in P, t \in T, m \in M} (VF_{i,j,p,t,m,c} * PTO_i)$	Custo de manuseio da saída de p no armazém.
$- \sum_{i \in F, p \in P, t \in T} (VP_{i,p,t,c} * PPR_{i,p})$	Custo de processamento de p . Volume processado de p , vezes o custo de processamento de p .
$- \sum_{j \in O, p \in P, t \in T} (VCS_{OS(j),p,t,c} * PCS_{j,p,t,c})$	Custo de compra de p no mercado <i>spot</i> .
$- \sum_{j \in O, p \in P, t \in T} (VCSS_{OS(j),p,t,c} * PCSS_{j,p,t})$	Custo de compra de p com o preço bastante alto. Esta expressão será explicada durante a exposição da Restrição 5.7.
}	Equação (5.1)

Restrições:

Compra da soja em grão no 1° estágio

A Equação (5.2) se refere à conservação do fluxo de soja em grão no 1° estágio: o volume comprado pelo embarcador é igual ao volume vendido pelo produtor. Todo grão que sai da origem $OC_{(j \in O)}$, nó de origem de onde só é possível a compra de grão por contrato no primeiro estágio, segue para o nó $O1_{(j \in O)}$, e é igual ao que foi comprado na decisão de primeiro estágio do modelo, para cada mês.

$$VFVC_{OC(j),O1(j),p,t,c} = VCA_{OC(j),p,t} \quad (5.2)$$

$$\forall j \in O, p \in P, t \in T, c \in C$$

A restrição de compra de primeiro estágio é representada pela Restrição (5.3). O volume deverá estar entre o valor máximo permitido para compra e um valor mínimo, de acordo com o volume ofertado e com a política de mercado do embarcador.

$$ONP_{j,p,t} \leq VCA_{OC(j),p,t} \leq OP_{j,p,t} \quad \forall j \in O, p \in P, t \in T, c \in C \quad (5.3)$$

Quebra de Safra

O valor que foi investido com a compra de grãos no primeiro estágio pode ser arrecadado de volta, caso a safra do grão quebre. Esta possibilidade é expressa na Equação (5.4), em que $DF_{O1(j),p,t,c}$ recebe o volume de quebra de safra e é contabilizado na função objetivo com um preço de venda do grão. Porém, somente para o volume que não foi entregue devido à quebra de safra, é possível obter o investimento de volta. Todo volume que sai do nó $O1_{j \in O}$ segue e está sujeito à restrição de capacidade de passagem, representado pelo parâmetro estocástico $VMPQSA_{O1(j),j,p,t,c}$, no arco $A_{(O1(j),j)}$, que é o arco que representa a quebra de safra. O parâmetro estocástico $VMPQSA_{O1(j),j,p,t,c}$ representa o percentual do volume da safra que não quebrou, em cada cenário. Exemplo, se 40% da safra quebrou, então, $VMPQSA$ terá o valor de 60%, ou seja, 60% do volume comprado serão escoados e para os 40% restantes o embarcador terá de volta o valor investido.

$$DF_{O1(j),p,t,c} = VCA_{OC(j),p,t} - (VMPQSA_{O1(j),j,p,t,c} * VCA_{OC(j),p,t}) \quad \forall j \in O, p \in P, t \in T, c \in C \quad (5.4)$$

A Equação (5.5) garante o balanço de massa, voltando para o nó $OC_{j \in O}$, o volume de grãos que não foi entregue, o quanto comprou menos o que passou.

$$VFVCV_{O1(j),OC(j),p,t,c} = DF_{O1(j),p,t,c} \quad \forall j \in O, p \in P, t \in T, c \in C \quad (5.5)$$

A Equação (5.6) garante que o volume de grãos que continuará no processo oriundo da compra de primeiro estágio, por contrato anual, será o volume comprado no primeiro estágio menos o volume que não foi entregue devido à quebra de safra.

$$VFV1_{O1(j),j,p,t,c} = VFVC_{OC(j),O1(j),p,t,c} - DF_{O1(j),p,t,c} \quad \forall j \in O, p \in P, t \in T, c \in C \quad (5.6)$$

Compra da soja em grão no mercado *spot*

A restrição (5.7) indica que todo grão que sai do nó $OS_{j \in O}$, no período t é igual ao volume que já havia sido comprado antecipadamente, antes da realização do planejamento tático, mais o que foi comprado no mercado *spot* (indicado pelo modelo), mais o volume da variável artificial $VCSS_{OS_{(j)},p,t,c}$. A variável $VCSS_{OS_{(j)},p,t,c}$ pode ser utilizada para dois propósitos: como uma variável artificial para evitar que o modelo não possua um valor ótimo, caso a demanda de grãos seja menor que a oferta, colocando um valor “BigM” para valor de compra dela, ou para o caso de quando o embarcador deseja comprar um volume além do previsto e ele sabe que o valor será muito maior do que o considerado inicialmente no mercado *spot* e neste caso não restringe a oferta para esta variável.

$$VFVS_{OS_{(j)},j,p,t,c} \leq OA_{j,p,t} + VCS_{OS_{(j)},p,t,c} + VCSS_{OS_{(j)},p,t,c} \quad \forall j \in O, p \in P, t \in T, c \in C \quad (5.7)$$

O volume comprado de grãos no mercado *spot* durante cada período t , em cada origem $OS_{j \in O}$, é no máximo igual ao volume ofertado naquele período, como indica a Restrição (5.8).

$$VCS_{OS_{(j)},p,t,c} \leq OFS_{j,p,t} \quad \forall j \in O, p \in P, t \in T, c \in C \quad (5.8)$$

A Restrição (5.9) mostra que o fluxo de grãos a partir da origem $OS_{j \in O}$ deverá ser menor ou igual à restrição de capacidade do arco $A_{(OS_{(j)},j)}$. A variável $VCSS_{OS_{(j)},p,t,c}$ entra do lado direito da equação justamente por ela representar uma alternativa para suprir uma ocasional ausência de oferta. No estudo de caso desta tese, o valor de compra do grão relacionado a esta variável foi considerado maior que o valor de venda, não sendo, portanto, economicamente viável adquiri-la, a não ser na ocorrência de algum problema. É como se o embarcador tivesse que atender uma demanda já acertada e a sua disponibilidade de soja inicialmente prevista tivesse se esgotado. Supondo que neste momento a procura pelo produto seria muito maior que a oferta, o

embarcador teria que pagar um preço bem alto, podendo ser o de venda ou maior, para conseguir adquiri-lo. O preço estimado de compra para essa variável pode ficar a cargo do embarcador decidir. No caso de não se desejar colocar esta possibilidade no sistema, acrescenta-se uma restrição igualando a variável $VCSS_{OS(j),p,t,c}$ a zero.

A restrição de passagem deste arco indica o volume da safra previsto que não quebrou. Exemplo, se na origem $OS_{j \in O}$ estava previsto um volume de 10 unidades para este embarcador, de acordo com a porcentagem de *market share* do mesmo, e 20% da safra quebrou, então $VMPQS$ assume o valor de 8 unidades permitidas ($10 \cdot 80\%$). Os valores das capacidades dos arcos (volume ofertado para o embarcador no mercado *spot* multiplicado pela porcentagem da safra que não quebrou) para cada origem, grão, período e cenário, deverão ser previamente calculados e entrar como *input* no modelo. Os valores do parâmetro $VMPQS_{OS(j),j,p,t,c}$ foram obtidos através do volume que espera ser ofertado para o embarcador no mercado *spot* vezes o parâmetro $VMPQSA_{O1(j),j,p,t,c}$ (porcentagem da safra que não quebrou). O cálculo é feito sob o volume que espera ser ofertado para o embarcador no mercado *spot*. No exemplo, se das 10 unidades ofertadas ao embarcador, quebrasse 20% da safra, ele teria até 8 unidades como oferta no mercado *spot*. Esta decisão é de segundo estágio, portanto, o embarcador só compra no mercado *spot* no máximo o volume permitido para ele em cada cenário, ou seja, compra no máximo o que consegue passar no arco $A_{(OS(j),j)}$, em cada cenário de quebra de safra.

$$VFVS_{OS(j),j,p,t,c} \leq VMPQS_{OS(j),j,p,t,c} + VCSS_{OS(j),p,t,c} \quad \forall j \in O, p \in P, t \in T, c \in C \quad (5.9)$$

Fluxo a partir de cada Origem (O)

A Equação (5.10) apresenta o balanço de fluxo no nó $j \in O$ para grãos. Todo volume de grãos que sai do nó $j \in O$, de cada p , em cada período, em cada cenário é igual a todo volume que chega no nó $j \in O$, oriundos dos nós $OS_{j \in O}$, $O1_{j \in O}$ e de outras origens ($j \in O$), de cada p , em cada período, em cada cenário.

$$\begin{aligned}
VFV1_{O1(j),j,p,t,c} + VFVS_{OS(j),j,p,t,c} \\
+ \sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,p,t,m,c} = \sum_{l \in N, m \in M} VF_{j,l,p,t,m,c} \quad (5.10) \\
\forall j \in O, p \in P, t \in T, c \in C
\end{aligned}$$

A Equação (5.11) apresenta o balanço de fluxo no nó $j \in O$ para processados. Todo volume de processados que sai do nó $j \in O$, em cada período, em cada cenário é igual a todo volume que chega em $j \in O$ oriundo de outras origens ($j \in O$) de cada k , em cada período, em cada cenário.

$$\begin{aligned}
\sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,k,t,m,c} = \sum_{l \in N, m \in M} VF_{j,l,k,t,m,c} \quad (5.11) \\
\forall j \in O, k \in K, t \in T, c \in C
\end{aligned}$$

Multa de *Take or Pay*

De acordo com cada contrato realizado para o modo de transporte ferroviário ou rodoviário, decidido com antecedência, no primeiro estágio, é especificado o volume máximo permitido de não cumprimento do contrato. Usualmente, no mercado da soja, ambas as partes devem garantir no mínimo 90% do volume contratado. A multa incide sobre o volume não transportado, com relação ao mínimo permitido. O valor da multa é a tarifa do trecho vezes um percentual acordado entre as partes, usualmente 40%. Por exemplo: para um volume contratado de 100 toneladas e realizado de 30 toneladas, a multa será de $[40\% * (90\% * 100 - 30) * \text{TarifaTrecho}]$, no qual o parâmetro $MF_{i,j,g}$ assume o valor de 90% e $MP_{i,j,g}$ assume o valor de 40% .

As Expressões (5.12) e (5.13) representam as multas contratuais para o modo de transporte ferroviário e rodoviário. Para a representação da multa foi inserida uma variável auxiliar $Aux_{i,j,t,g,c}$ que será explicada em seguida.

$$Aux_{i,j,t,g,c} \leq \sum_{z \in Z} VF_{i,j,z,t,g,c} \quad \forall i \in N, j \in N, g \in G, t \in T, c \in C \quad (5.12)$$

$$Aux_{i,j,t,g,c} \leq MF_{i,j,g} * VTOPV_{i,j,t,g} \quad \forall i \in N, j \in N, g \in G, t \in T, c \in C \quad (5.13)$$

Como a função objetivo é de maximização e existe o termo:

$$-\left(\sum_{i \in N, j \in N, p \in P, g \in G, t \in T} MF_{i,j,g} * VTOPV_{i,j,g,t} - Aux_{i,j,g,t,c} \right) * F_{i,j,p,g,t} * MP_{i,j,g}$$

a variável auxiliar $Aux_{i,j,t,g,c}$ tenderá a assumir o maior valor possível, para diminuir a diferença. Por outro lado, as Expressões (5.12) e (5.13) obrigam que ela seja menor que dois valores: o volume mínimo acordado ($MF_{i,j,g} * VTOPV_{i,j,g,t}$), e o fluxo de grãos e de processados. Dessa maneira, se o fluxo no cenário c for menor que o volume mínimo acordado, ela tende a assumir o valor do fluxo, implicando na cobrança da multa na função objetivo, porém, se o fluxo atingir o volume mínimo acordado, a variável auxiliar irá assumir o seu valor máximo, não gerando cobrança de multa na função objetivo já que $Aux_{i,j,t,g,c}$ passa a ser igual a ($MF_{i,j,g} * VTOPV_{i,j,g,t}$).

Volume do *Take or Pay*

A Expressão (5.14) define que o volume permitido de passagem pela rodovia ou ferrovia, via contrato anual, é no máximo o volume contratado para aquele modo de transporte, definido no primeiro estágio pela variável $VTOPV_{i,j,g,t}$.

$$\sum_{z \in Z} VF_{i,j,z,t,g,c} \leq VTOPV_{i,j,t,g} \quad (5.14)$$

$$\forall i \in N, j \in N, g \in G, t \in T, c \in C$$

Equilíbrio do Volume *Take or Pay* Contratado

O volume permitido de contrato mensal da ferrovia para cada trecho deve ser um valor próximo aos volumes contratados nos outros meses. No caso da soja este volume deve ser menor do que 140% e maior do que 60% da média do volume transportado nos outros meses, conforme a Expressão (5.15).

$$\begin{aligned}
\sum_{t \in T} 0.60 * VT_{oPV_{i,j,t,q}} &\leq 12 * VT_{oPV_{i,j,t,q}} \\
&\leq \sum_{t \in T} 1.40 * VT_{oPV_{i,j,t,q}} \quad (5.15) \\
&\forall i \in N, j \in N, q \in Q
\end{aligned}$$

Geralmente as *tradings* que comercializam soja comercializam também outras *commodities* agrícolas, cujas safras não acontecem exatamente no mesmo período. Isto permite ao embarcador contratar o transporte ferroviário para o ano inteiro, sendo que, uma parte ele utiliza para o carregamento da soja nos meses de safra e, a outra, para outras *commodities* no período referente entre as safras da soja. Visto que este modelo será utilizado no estudo de caso somente para o produto soja (Capítulo 6), optou-se por limitar esta restrição somente para os meses de fevereiro, março, abril e maio, para o modelo ficar condizente com a realidade, pois, verificou-se, a partir da análise dos contratos realizados nos últimos anos, que a partir de junho o milho já começa a ser escoado, entrando no lugar da soja. Assim, o somatório de t é para $\forall t \in \{2,3,4,5\}$ e em vez da divisão da média aritmética ser por 12 meses, passou a ser dividida por 4 meses (fevereiro, março, abril e maio), portanto na aplicação do modelo (Capítulo 6), a fórmula $12 * VT_{oPV_{i,j,t,q}}$ passou a ser $4 * VT_{oPV_{i,j,t,q}}$, $\forall t \in \{2,3,4,5\}$.

Balço nos Nós

Armazéns

A Equação (5.16) estabelece que todo fluxo que sai dos silos mais o que fica estocado para o próximo período é igual a todo fluxo que chega aos silos (armazéns) mais o volume que estava estocado.

$$\begin{aligned}
\sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,p,t,m,c} + VE_{j,p,t,c} \\
= \sum_{l \in N, m \in M} VF_{j,l,p,t,m,c} + VE_{j,p,t+1,c} \quad \forall j \in X, p \in P, t \\
\in T, c \in C \quad (5.16)
\end{aligned}$$

Transbordo

A Equação (5.17) estabelece que todo fluxo que sai mais o que fica estocado para o próximo período mais o volume que foi perdido nesta etapa, para grão e processado, é igual a todo fluxo que chega ao ponto de transbordo em cada período mais o volume que havia em estoque.

$$\begin{aligned}
 \sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,z,t,m,c} + VE_{j,z,t,c} \\
 &= \sum_{l \in N, m \in M} VF_{j,l,z,t,m,c} + VE_{j,z,t+1,c} \\
 &+ \sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,z,t,m,c} * TEN_j \quad \forall j \in B, z \in Z, t \\
 &\in T, c \in C
 \end{aligned} \tag{5.17}$$

Armazenagem

Capacidade Entrada

A Restrição (5.18) mostra que o volume que chega aos armazéns deve ser menor que a capacidade mensal de entrada. Com relação às capacidades de entrada e saída de produtos, podem ser acrescentadas outras restrições de capacidade como: capacidade de entrada e saída de todos os produtos juntos, ou de todos os grãos e farelos, ou de todos os grãos somente. No caso da aplicação deste modelo no Cap.6, o exigido foi capacidade de entrada e saída para cada produto, para cada modo de transporte.

$$\sum_{i \in N} VF_{i,s,z,t,m,c} \leq CAI_{s,z,m} \quad \forall s \in S, z \in Z, t \in T, m \in M, c \in C \tag{5.18}$$

Capacidade Saída

A Restrição (5.19) mostra que o volume que sai dos armazéns deve ser menor que a capacidade mensal de saída.

$$\sum_{j \in N} VF_{s,j,z,t,m,c} \leq CAO_{s,z,m} \quad \forall s \in S, z \in Z, t \in T, m \in M, c \in C \tag{5.19}$$

Capacidade Armazém

A Restrição (5.20) mostra que o volume estocado nos armazéns deve ser menor que a capacidade física do armazém, para grãos e processados.

$$VE_{s,z,t,c} \leq CAE_{s,z} \quad \forall s \in S, z \in Z, t \in T, c \in C \quad (5.20)$$

Estoque Inicial

A Equação (5.21) mostra que o volume estocado nos armazéns no primeiro período é igual ao estoque inicial.

$$VE_{s,z,t,c} = EI_{s,z} \quad \forall s \in S, z \in Z, t = 1, c \in C \quad (5.21)$$

Estoque de Segurança

A Restrição (5.22) estabelece que o volume estocado em cada período, em cada armazém, deve ser maior ou igual ao valor do estoque de segurança, definido pelo embarcador.

$$VE_{s,z,t,c} \geq ES_{s,z} \quad \forall s \in S, z \in Z, t \in T/t \neq 1, c \in C \quad (5.22)$$

Mercado Interno

Tudo que chega ao mercado interno de k deve ser igual a demanda interna total. Esta demanda é formada pelo volume vendido antes da utilização do modelo matemático para o planejamento tático mais o que foi vendido ao longo do modelo. Esta restrição está representada pela Equação (5.23).

$$\sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,k,t,m,c} = DA_{j,k,t} + VVSK_{j,k,t,c} \quad (5.23)$$

$$\forall j \in H, k \in K, t \in T, c \in C$$

A Restrição (5.24) mostra que o volume total vendido no mercado interno de processado deve estar entre um valor mínimo e máximo, definido pelo embarcador. Como o volume de vendas de grãos para o mercado interno é baixo, cerca de 4% do volume comprado, como foi citado no Capítulo 2, não foi inserido esta alternativa no modelo. Entretanto, para inserir esta possibilidade somente é necessário colocar as variáveis para qualquer produto p , ao invés de qualquer processado k .

$$DN_{i,k,t} \leq (VVSK_{i,k,t,c} + DA_{i,k,t}) \leq DM_{i,k,t} \quad \forall i \in H, k \in K, t \in T, c \in C \quad (5.24)$$

Porto

A Equação (5.25) demonstra que tudo que chega ao porto de p , mais o que havia estocado de p , deve ser igual ao volume vendido antes do início do planejamento ($DA_{j,p,t}$) mais o que foi vendido ao longo do tempo mais o que fica estocado para o próximo mês.

$$\begin{aligned} \sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,p,t,m,c} + VE_{j,p,t,c} \\ = DA_{j,p,t} + VVSPE_{j,p,t,c} + VE_{j,p,t+1,c} \quad \forall j \\ \in D, p \in P, t \in T, c \in C \end{aligned} \quad (5.25)$$

A Equação (5.26) mostra que tudo que chega ao porto de k mais o que havia estocado deve ser igual ao volume vendido antes do início do planejamento ($DA_{j,k,t}$) mais o que foi vendido ao longo do tempo mais o que ficará estocado para o próximo mês.

$$\begin{aligned} \sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,k,t,m,c} + VE_{j,k,t,c} \\ = DA_{j,k,t} + VVSK_{j,k,t,c} + VE_{j,k,t+1,c} \quad \forall j \\ \in D, k \in K, t \in T, c \in C \end{aligned} \quad (5.26)$$

Capacidade de Escoamento

A quantidade escoada em cada porto d deve ser menor que a capacidade de escoamento do porto d , o que pode ser visto na Restrição (5.27) para farelo e grão, e Restrição (5.28) para óleo.

$$\begin{aligned} \sum_{p \in P} DA_{i,p,t} + VVSPE_{i,p,t,c} + \sum_{kf \in KF} DA_{i,kf,t} + VVSK_{i,kf,t,c} \\ \leq CAIPD_{i,t} \quad \forall i \in D, t \in T, c \in C \end{aligned} \quad (5.27)$$

$$\sum_{k \in KO} DA_{i,ko,t} + VVSK_{i,ko,t,c} \leq CAIPDO_{i,t} \quad \forall i \in D, t \in T, c \in C \quad (5.28)$$

Demanda externa de k

A Restrição (5.29) mostra que a quantidade vendida mensalmente de k para o mercado externo mais a demanda mensal que já havia sido vendida antecipadamente deve estar entre um valor mínimo e máximo.

$$DN_{i,k,t} \leq (VVSK_{i,k,t,c} + DA_{i,k,t}) \leq DM_{i,k,t} \quad \forall i \in D, k \in K, t \in T, c \in C \quad (5.29)$$

Demanda externa de p

A Restrição (5.30) mostra que a quantidade vendida mensalmente de p mais a demanda inicial deve estar entre um valor mínimo e máximo, definido pelo embarcador.

$$DN_{i,p,t} \leq (VVSPE_{i,p,t,c} + DA_{i,p,t}) \leq DM_{i,p,t} \quad \forall i \in D, p \in P, t \in T, c \in C \quad (5.30)$$

Demanda Externa Anual Estocástica de p

A Restrição (5.31) indica que a quantidade vendida durante todo o ano mais o que havia sido vendido deve ser menor ou igual à demanda anual estocástica.

$$\sum_{i \in D, t \in T} VVSPE_{i,p,t,c} + \sum_{i \in D, t \in T} DA_{i,p,t} \leq DMEPA_{p,c} \quad \forall p \in P, c \in C \quad (5.31)$$

Fábrica- Processamento

A Equação (5.32) mostra que tudo que chega de p na fábrica f mais o que já tinha em estoque de p deve ser igual à quantidade estocada de p para o próximo período mais a quantidade processada de p .

$$\sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,p,t,m,c} + VE_{j,p,t,c} = VP_{j,p,t,c} + VE_{j,p,t+1,c} \quad (5.32)$$

$$\forall j \in F, p \in P, t \in T, c \in C$$

A Equação (5.33) mostra que o volume de grãos, processado na fábrica f , será convertido no produto k , de acordo com a constante de rendimento YL deste.

$$(VP_{i,p,t,c} * YL_{i,p,k}) + VE_{i,k,t,c}$$

$$= \sum_{j \in N, m \in M} VF_{i,j,k,t,m,c} + VE_{i,k,t+1,c} \quad \forall i \in F, p$$

$$\in P, k \in K, t \in T, c \in C \quad (5.33)$$

A Restrição (5.34) aponta a restrição de capacidade de processamento da fábrica. O volume de p esmagado, por período, na fábrica, deve ser menor ou igual a capacidade de processamento da fábrica.

$$VP_{i,p,t,c} \leq CAESM_{i,p} \quad \forall i \in F, p \in P, t \in T, c \in C \quad (5.34)$$

A Expressão (5.35) restringe as variáveis.

$$VTOPV_{i,j,t,g}, VCA_{OC(j \in O),p,t}, Aux_{i,j,g,t,c}, VF_{i,j,z,t,m,c}, VE_{i \in S,z,t,c}, VP_{i \in F,p,t,c},$$

$$VCS_{OS(j \in O),p,t,c}, VCSS_{OS(j \in O),p,t,c}, VVSK_{i \in V,k,t,c}, VVSP_{i \in d,p,t,c}, DF_{O1(j \in O),p,t,c},$$

$$VFVC_{OC(j \in O),O1(j \in O),p,t,c}, VFV1_{O1(j \in O),j \in O,p,t,c}, VFVS_{OS(j \in O),j \in O,p,t,c} \quad (5.35)$$

$$VFVCV_{O1(j),OC(j),p,t,c} \in \mathbb{R}^+$$

Embora seja um modelo multiproduto, podendo ser aplicado tanto para mais de um produto simultaneamente, quanto para outras commodities agrícolas que apresentam a cadeia logística semelhante a da soja, este modelo foi criado de acordo com as características intrínsecas do mercado de soja. Qualquer característica específica de outra *commodity* deve ser inserida com as devidas adaptações no modelo.

5.2

Modelo Determinístico

O modelo determinístico foi construído com os mesmos objetivos do modelo estocástico, porém, sem contemplar a probabilidade de ocorrência dos cenários. Os dados de entrada do modelo determinístico são de somente um cenário, e, portanto, o modelo é utilizado para determinar a solução ótima para cada cenário que ele for utilizado.

No modelo não existe a cobrança de multa de *Take or Pay*, visto que, pela lógica, o volume que será contratado para o transporte ferroviário e rodoviário com antecedência é justamente aquele que será utilizado. Com relação ao volume de soja comprado antecipadamente, a quantidade adquirida será a quantidade necessária e que conseguirá passar nos arcos com restrição de capacidade, restrição essa que apresenta um valor fixo, para porcentagem ou volume previsto esperado de quebra de safra.

Este modelo determinístico servirá como uma ferramenta de apoio à decisão quando informações sobre a probabilidade de ocorrência dos possíveis cenários não estiverem disponíveis.

O modelo é formado pela a função objetivo de maximização (Restrição 5.36) e pelas Restrições 5.37 à 5.67. A função objetivo e as restrições são conceitualmente as mesmas do modelo estocástico, sem o sub índice c que denota o cenário e sem as restrições relativas ao *take or pay* do transporte contratado.

$$\begin{aligned}
\text{MAXIMIZAR : } & \left(\sum_{j \in O, p \in P, t \in T} DF_{O1(j),p,t} * RDA_{j,p,t} \right. \\
& + \sum_{i \in V, k \in K, t \in T} (VVS_{i,k,t} * RK_{i,k,t}) \\
& + \sum_{i \in D, p \in P, t \in T} (VVS_{i,p,t} * RPES_{i,p,t}) \\
& - \sum_{j \in O, p \in P, t \in T} VCA_{OC(j),p,t} * PCA_{j,p,t} \\
& - \sum_{i \in N, j \in N, p \in P, t \in T, g \in G} (VF_{i,j,z,t,g} * F_{i,j,z,t,g}) \\
& - \sum_{i \in N, j \in N, z \in Z, t \in T, rs \in RS} (VF_{i,j,z,t,rs} * FRS_{i,j,z,t,rs}) \\
& - \sum_{i \in S, z \in Z, t \in T} (VE_{i,z,t} * PE_{i,z,t}) - \sum_{i \in X, p \in P, t \in T} (VE_{i,p,t} * PEPA_{i,t}) \\
& - \sum_{i \in N, j \in X, p \in P, t \in T, m \in M} (VF_{i,j,p,t,m} * PTI_j) \\
& - \sum_{i \in X, j \in N, p \in P, t \in T, m \in M} (VF_{i,j,p,t,m} * PTO_i) \\
& - \sum_{i \in F, p \in P, t \in T} (VP_{i,p,t} * PPR_{i,p}) \\
& - \sum_{j \in O, p \in P, t \in T} (VCS_{OS(j),p,t} * PCS_{j,p,t}) \\
& \left. - \sum_{j \in O, p \in P, t \in T} (VCSS_{OS(j),p,t} * PCSS_{j,p,t}) \right)
\end{aligned} \tag{5.36}$$

SUJEITO A

$$\begin{aligned}
VFVC_{OC(j),O1(j),p,t} &= VCA_{OC(j),p,t} \\
\forall j \in O, p \in P, t \in T
\end{aligned} \tag{5.37}$$

$$ONP_{j,p,t} \leq VCA_{OC(j),p,t} \leq OP_{j,p,t} \quad \forall j \in O, p \in P, t \in T \tag{5.38}$$

$$\begin{aligned}
DF_{O1(j),p,t} &= VCA_{OC(j),p,t} - (VMPQSA_{O1(j),j,p,t} \\
& * VCA_{OC(j),p,t}) \quad \forall j \in O, p \in P, t \in T
\end{aligned} \tag{5.39}$$

$$\begin{aligned}
VFVCV_{O1(j),OC(j),p,t} &= DF_{O1(j),p,t} \\
\forall j \in O, p \in P, t \in T
\end{aligned} \tag{5.40}$$

$$VFV1_{01(j),j,p,t} = VFVC_{0C(j),01(j),p,t} - DF_{01(j),p,t} \quad (5.41)$$

$$\forall j \in O, p \in P, t \in T$$

$$VFVS_{OS(j),j,p,t} \leq OA_{j,p,t} + VCS_{OS(j),p,t} + VCSS_{OS(j),p,t} \quad \forall j \in O, p \in P, t \in T \quad (5.42)$$

$$VCS_{OS(j),p,t} \leq OFS_{j,p,t} \quad \forall j \in O, p \in P, t \in T \quad (5.43)$$

$$VFVS_{OS(j),j,p,t} \leq VMPQS_{OS(j),j,p,t} + VCSS_{OS(j),p,t} \quad \forall j \in O, p \in P, t \in T \quad (5.44)$$

$$VFV1_{01(j),j,p,t} + VFVS_{OS(j),j,p,t} + \sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,p,t,m} = \sum_{l \in N, m \in M} VF_{j,l,p,t,m} \quad (5.45)$$

$$\forall j \in O, p \in P, t \in T$$

$$\sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,k,t,m} = \sum_{l \in N, m \in M} VF_{j,l,k,t,m} \quad (5.46)$$

$$\forall j \in O, k \in K, t \in T$$

$$\sum_{z \in Z, t \in T} 0.60 * VF_{i,j,z,t,q} \leq \sum_{z \in Z} 12 * VF_{i,j,z,t,q} \leq \sum_{z \in Z, t \in T} 1.40 * VF_{i,j,z,t,q} \quad (5.47)$$

$$\forall i \in N, j \in N, t \in T, q \in Q$$

$$\sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,p,t,m} + VE_{j,p,t} = \sum_{l \in N, m \in M} VF_{j,l,p,t,m} + VE_{j,p,t+1} \quad \forall j \in X, p \in P, t \in T \quad (5.48)$$

$$\sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,z,t,m} + VE_{j,z,t} = \sum_{l \in N, m \in M} VF_{j,l,z,t,m} + VE_{j,z,t+1} \quad (5.49)$$

$$+ \sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,z,t,m} * TEN_j \quad \forall j \in B, z \in Z, t \in T$$

$$\sum_{i \in N} VF_{i,s,z,t,m} \leq CAI_{s,z,m} \quad \forall s \in S, z \in Z, t \in T, m \in M \quad (5.50)$$

$$\sum_{j \in N} VF_{s,j,z,t,m} \leq CAO_{s,z,m} \quad \forall s \in S, z \in Z, t \in T, m \in M \quad (5.51)$$

$$VE_{s,z,t} \leq CAE_{s,z} \quad \forall s \in S, z \in Z, t \in T \quad (5.52)$$

$$VE_{s,z,t} = EI_{s,z} \quad \forall s \in S, z \in Z, t = 1 \quad (5.53)$$

$$VE_{s,z,t} \geq ES_{s,z} \quad \forall s \in S, z \in Z, t \in T / t <> 1 \quad (5.54)$$

$$\sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,k,t,m} = DA_{j,k,t} + VVSK_{j,k,t} \quad (5.55)$$

$$\forall j \in H, k \in K, t \in T$$

$$DN_{i,k,t} \leq (VVSK_{i,k,t} + DA_{i,k,t}) \leq DM_{i,k,t} \quad \forall i \in H, k \in K, t \in T \quad (5.56)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,p,t,m} + VE_{j,p,t} \\ = DA_{j,p,t} + VVSPE_{j,p,t} + VE_{j,p,t+1} \quad \forall j \\ \in D, p \in P, t \in T \end{aligned} \quad (5.57)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,k,t,m} + VE_{j,k,t} \\ = DA_{j,k,t} + VVSK_{j,k,t} + VE_{j,k,t+1} \quad \forall j \\ \in D, k \in K, t \in T \end{aligned} \quad (5.58)$$

$$\begin{aligned} \sum_{p \in P} DA_{i,p,t} + VVSPE_{i,p,t} + \sum_{kf \in KF} DA_{i,kf,t} + VVSK_{i,kf,t} \\ \leq CAIPD_{i,t} \quad \forall i \in D, t \in T \end{aligned} \quad (5.59)$$

$$\sum_{ko \in KO} DA_{i,ko,t} + VVSK_{i,ko,t} \leq CAIPDO_{i,t} \quad \forall i \in D, t \in T \quad (5.60)$$

$$\begin{aligned} DN_{i,k,t} \leq (VVSK_{i,k,t} + DA_{i,k,t}) \leq DM_{i,k,t} \\ \forall i \in D, k \in K, t \in T \end{aligned} \quad (5.61)$$

$$\begin{aligned} DN_{i,p,t} \leq (VVSPE_{i,p,t} + DA_{i,p,t}) \leq DM_{i,p,t} \\ \forall i \in D, p \in P, t \in T \end{aligned} \quad (5.62)$$

$$\sum_{i \in D, t \in T} VVSPE_{i,p,t} + \sum_{i \in D, t \in T} DA_{i,p,t} \leq DMEPA_p \quad \forall p \in P \quad (5.63)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i \in N, m \in M} VF_{i,j,p,t,m} + VE_{j,p,t} = VP_{j,p,t} + VE_{j,p,t+1} \\ \forall j \in F, p \in P, t \in T \end{aligned} \quad (5.64)$$

$$\begin{aligned} (VP_{i,p,t} * YL_{i,p,k}) + VE_{i,k,t} \\ = \sum_{j \in N, m \in M} VF_{i,j,k,t,m} + VE_{i,k,t+1} \quad \forall i \in F, p \in P, k \\ \in K, t \in T \end{aligned} \quad (5.65)$$

$$VP_{i,p,t} \leq CAESM_{i,p} \quad \forall i \in F, p \in P, t \in T \quad (5.66)$$

$$\begin{aligned} &VCA_{OC_{(j \in O)},p,t}, VF_{i,j,z,t,m}, VE_{i \in S,z,t}, VP_{i \in F,p,t}, \\ &VCS_{OS_{(j \in O)},p,t}, VCSS_{OS_{(j \in O)},p,t}, VVSK_{i \in V,k,t}, VVSP_{i \in d,p,t}, DF_{O1_{(j \in O)},p,t}, \\ &VFVC_{OC_{(j \in O)},O1_{(j \in O)},p,t}, VFV1_{O1_{(j \in O)},j \in O,p,t}, VFVS_{OS_{(j \in O)},j \in O,p,t}, \\ &VFVCV_{O1_{(j)},OC_{(j)},p,t} \in \mathbb{R}^+ \end{aligned} \quad (5.67)$$

As Expressões (5.37) e (5.38) referem-se à compra da soja em grão com antecedência, no início do período de planejamento.

A Equação (5.39) define o valor que o embarcador receberá de volta pela soja que não será entregue devido ao volume esperado de quebra de safra. Como o modelo é determinístico, a porcentagem esperada de quebra de safra é fixa a priori. O volume que será contratado com antecedência será uma quantidade definida considerando que uma parte deste volume, definido por $DF_{O1_{(j)},p,t}$, não conseguirá passar pelo arco $A_{(O1_{(j)},j)}$. O valor percentual da safra que não quebrou é atribuído a $VMPQSA_{O1_{(j)},j,p,t}$.

O modelo opta por adquirir com antecedência um volume de grão já contabilizando que uma parte deste volume, definido por $DF_{O1_{(j)},p,t}$, não será entregue a ele.

A Equação (5.40) garante o balanço de massa, voltando para o nó $OC_{j \in O}$, o fluxo que foi impedido de passar.

A Equação (5.41) garante que o volume que continuará no processo oriundo da compra com antecedência, por contrato anual, será o volume comprado menos o que não será entregue devido à quebra de safra.

A Restrição (5.42) indica que tudo de que sai do nó $OS_{j \in O}$, no período t é igual à quantidade que já havia sido comprada antes da realização do planejamento mais o que foi comprado no mercado *spot* mais o que foi comprado com preço muito alto.

O volume comprado de soja em grão no mercado *spot* durante cada período, em cada origem $OS_{j \in O}$, é no máximo igual ao volume ofertado naquele período, como indica a Restrição (5.43).

A Restrição (5.44) mostra que o fluxo de soja em grão que seguirá no modelo a partir da origem $OS_{j \in O}$ deverá ser menor ou igual à capacidade de passagem do arco $A_{(OS(j), j)}$. A capacidade de passagem deste arco indica o volume da safra previsto que não quebrou. O parâmetro $VMPQS_{OS(j),j,p,t}$ indica o volume previsto de grão, já descontando o volume previsto de quebra de safra. Os valores do parâmetro $VMPQS_{OS(j),j,p,t}$ foram calculados através do volume que espera ser ofertado para o embarcador no mercado *spot* multiplicado pelo parâmetro $VMPQSA_{O1(j),j,p,t}$ (porcentagem da safra que não quebrou).

A Equação (5.45) estabelece o balanço de fluxo no nó $j \in O$ para grãos. Todo volume de grãos que sai do nó $j \in O$ é igual a todo volume que chega no nó $j \in O$, oriundos dos nós $OS_{j \in O}$, $O1_{j \in O}$ e de outras origens ($j \in O$).

A Equação (5.46) apresenta o balanço de fluxo no nó $j \in O$ para processados. Todo volume de processados que sai do nó $j \in O$ é igual a todo volume que chega em $j \in O$ oriundo de outras origens ($j \in O$) de cada processado.

A Restrição (5.47) estabelece que o volume utilizado de ferrovia para cada trecho em um dado período (volume contratado com antecedência de transporte ferroviário) deve ser um valor próximo aos volumes contratados nos outros meses.

A Equação (5.48) estabelece que todo fluxo que sai dos silos (armazém) em um período mais o volume que fica estocado é igual a todo fluxo que chega aos silos mais o que estava estocado do período anterior.

A Equação (5.49) mostra que todo fluxo que sai do ponto de transbordo em um período mais o volume que fica estocado mais o volume que foi perdido nesta etapa é igual a todo fluxo que chega mais o que estava estocado do período anterior, para cada tipo de grão e processado.

A Restrição (5.50) mostra que o volume que chega aos armazéns deve ser menor que a capacidade mensal de entrada.

A Restrição (5.51) estabelece que o volume que sai dos armazéns deve ser menor que a capacidade mensal de saída.

A Restrição (5.52) mostra que o volume estocado no armazém deve ser menor que a capacidade física do armazém, para grãos e processados.

A Equação (5.53) mostra que o volume existente em cada armazém no primeiro período é igual ao estoque inicial.

A Restrição (5.54) estabelece que o volume estocado em cada período, em cada armazém, deve ser maior que o valor do estoque de segurança, definido pelo embarcador.

Tudo que chega ao mercado interno de processado deve ser igual à volume vendido antecipadamente (antes de utilizar o modelo matemático) mais o que foi vendido ao longo do modelo. Esta restrição do modelo está representada pela Equação (5.55)

A Restrição (5.56) mostra que a quantidade vendida mensalmente de processado de soja mais a demanda interna existente deve estar entre um valor mínimo e máximo.

As Equações (5.57) e (5.58) demonstram que tudo que chega ao porto, mais o que havia estocado, deve ser igual à demanda externa existente (vendida antes de utilizar o modelo matemático), mais o que foi vendido ao longo do modelo, mais o que ficará estocado para o próximo mês, para cada grão e processado, respectivamente.

A quantidade escoada em cada porto deve ser menor que a capacidade de escoamento deste porto, o que pode ser visto na Restrição (5.59), para grão e farelo e na Restrição (5.60) para óleo.

A quantidade vendida mensalmente de processados e grãos, no mercado externo, mais a demanda externa existente, deve estar entre um valor mínimo e máximo, o que pode ser visualizado nas Restrições (5.61) e (5.62), respectivamente.

A quantidade vendida de grãos durante todo o ano para o mercado externo, mais a demanda externa existente, deve ser menor ou igual à demanda anual, o que pode ser visto na Restrição (5.63).

A Equação (5.64) mostra que a quantidade processada de grãos, em cada período, em cada fábrica, mais a quantidade que fica estocada de grãos para o próximo período, é igual a tudo que chega de grãos, mais o que havia em estoque de grãos, em cada fábrica, em cada período.

A Equação (5.65) mostra que o volume de grão, processado em cada fábrica, será convertido em farelo e óleo, de acordo com a constante de rendimento YL deste.

A Restrição (5.66) aponta a restrição de capacidade de processamento de cada fábrica. O volume de grão esmagado, por período, na fábrica deve ser menor ou igual a sua capacidade de esmagamento.

A Expressão (5.67) restringe as variáveis.

6

APLICAÇÃO DO MODELO

Os modelos de programação estocástica e determinística, descritos no Capítulo 5, foram utilizados em um estudo considerando dados reais sobre a cadeia logística do complexo soja. O estudo serviu como base para avaliar o desempenho dos modelos propostos na otimização de um problema complexo. Neste capítulo serão apresentados: a descrição da rede analisada, informações relevantes sobre os dados utilizados na geração de cenários, o desempenho computacional do modelo e a análise de resultados obtidos dos modelos.

6.1

Descrição do Caso Estudado

O estudo foi feito utilizando dados reais oriundos de uma das principais *tradings* que comercializam soja no Brasil, responsável pela compra de 27% da soja produzida no país.

O embarcador desta cadeia de suprimentos é responsável por toda etapa de compra de soja em grão, processamento da soja em grão em farelo e óleo de soja, venda, transporte e estocagem da soja grão e dos processados farelo e óleo de soja.

O embarcador necessita de uma ferramenta de apoio à decisão para o planejamento tático da cadeia de soja. A safra da soja começa em janeiro, e o embarcador precisa decidir, antes desse período, qual o volume que ele irá contratar de transporte ferroviário e rodoviário, em quais trechos, e qual o volume de soja em grão ele irá comprar com antecedência e de qual local, para o horizonte de um ano, visto que o período considerado para este planejamento tático é de 12 meses.

6.1.1

Rede Analisada

A rede estudada segue o processo ilustrado na Figura 18.

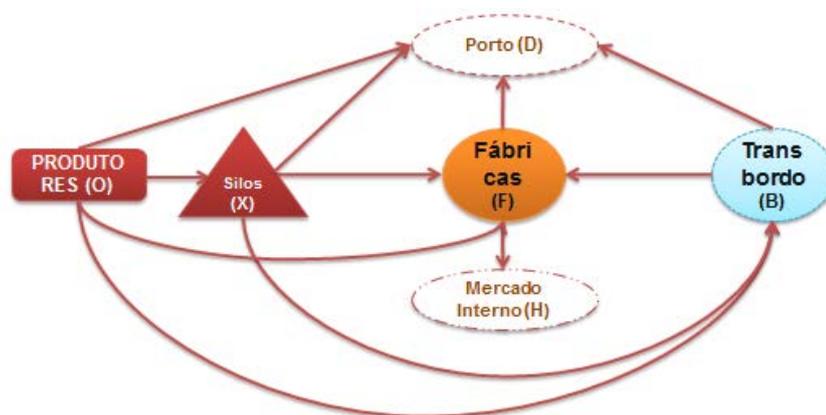


Figura 18- Rede do estudo de caso.

A rede estudada é constituída por 21 nós de origem, representando os produtores, onde há oferta de soja em grão, 11 nós representando os silos, 6 nós representando as fábricas de processamento de soja, 6 nós representando os pontos de transbordo, 5 nós representando o mercado interno e 6 nós representando os portos, totalizando 55 nós.

Foram analisadas todas as possíveis combinações de origem-destino e foram retiradas da rede todas aquelas combinações inviáveis de serem utilizadas, seja pela distância, seja pelo preço do frete. Na rede foram, portanto, contemplados 19 trechos em que é possível o uso da ferrovia, 82 trechos em que é possível o uso do modo rodoviário, via contrato anual e 124 alternativas de vias para uso do modo rodoviário, contratado no mercado *spot*.

Como a oferta da soja em grão pode acontecer em todo Brasil, em momentos e locais diferentes, foram considerados neste estudo 21 locais de oferta de soja, chamados aqui neste trabalho de clusters, esses clusters representam o município e a região vizinha, aglomerando toda a produção desta região.

As regiões produtoras consideradas neste estudo foram as pertencentes aos estados: Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás, Mato Grosso do

Sul, Minas Gerais, São Paulo e a região conhecida no mercado da soja como MAPITO, formada pelo Maranhão, Piauí e Tocantins. Estas regiões, juntas, representam aproximadamente 92% do volume de soja produzido no Brasil, como pode ser visualizado na Figura 19.

Região	Representatividade	Total
MT	28%	28%
PR	20%	48%
RS	16%	63%
GO	10%	74%
MS	7%	80%
MG	4%	84%
SP	2%	86%
MA	2%	88%
TO	2%	90%
PI	2%	92%

Figura 19- Representatividade de cada estado com relação à produção de soja no Brasil do ano 2011 (IBGE, 2012).

Os clusters escolhidos na região do Mato Grosso podem ser vistos na Figura 20, são eles: Sapezal (1), Sorriso (2), Canarana (3), Diamantino (4), Rondonópolis (5).

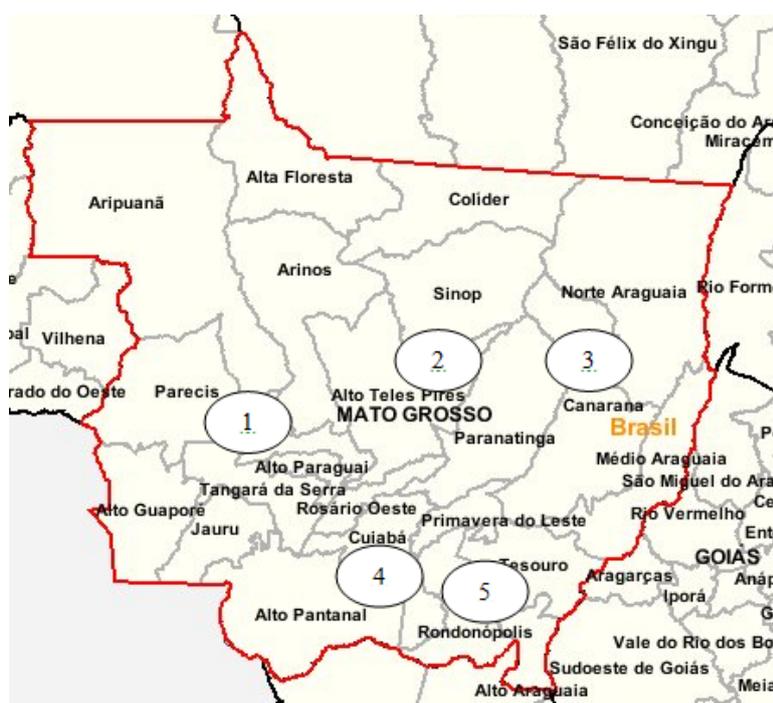


Figura 20- Clusters escolhidos no estado do Mato Grosso.

As regiões escolhidas para representar o Mato Grosso do Sul foram Campo Grande (6), representando as regiões de Centro Norte e Leste, e Dourados (7) representando a região de Sudoeste. Estas localidades podem ser vistas na Figura 21.



Figura 21- Clusters escolhidos em Mato Grosso do Sul.

Os clusters da região do Paraná foram: Cascavel (9) representando a região Oeste e Sudoeste, Guarapuava(10) representando a região Centro- Sul, Centro Ocidental, Maringá(11) representando a região do Norte Central e Noroeste, e Ponta Grossa (12) representando as regiões, Centro Oriental, Sudeste e Norte. Estes clusters podem ser visualizados na Figura 22.



Figura 22- Cidades escolhidas no Paraná.

Os clusters do Estado do Rio Grande do Sul foram: Santa Rosa (13), Cruz Alta (14) e Passo Fundo (15), as três cidades representando as região Noroeste e Nordeste. Santa Maria (16) representando as regiões Centro-Ocidental, Sudoeste, Centro Oriental, Sudeste e Metropolitana. A Figura 23 ilustra esta região.

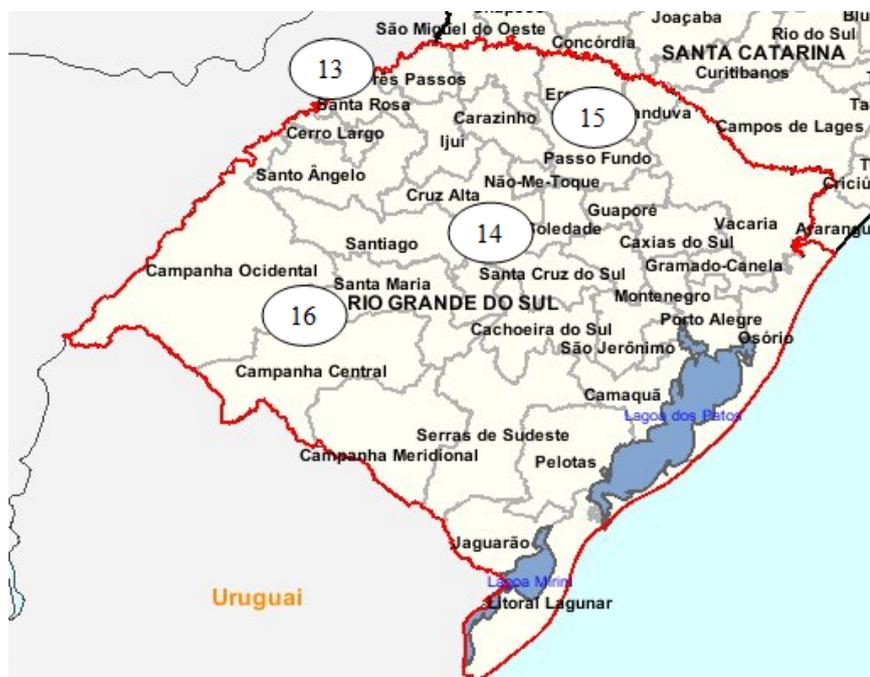


Figura 23- Clusters escolhidos no Rio Grande do Sul.

Em São Paulo, Ourinhos (18) foi escolhido para representar Assis e as microrregiões Presidente Prudente, Marília, Macro Região Paulista, Bauru, Itapetininga. Ribeirão Preto (19) foi escolhido para representar São José do Rio

Preto, Ribeirão Preto, Piracicaba, Campinas, Araraquara e Araçatuba. As regiões escolhidas de São Paulo podem ser visualizadas na Figura 24.



Figura 24- Clusters escolhidos no estado de São Paulo.

Em Maranhão foi selecionado o município Balsa e em Tocantins foi escolhido Palmas.

Uberlândia foi a região escolhida para representar Minas Gerais, devido 96% da produção deste estado estar concentrada nesta região. Em Goiás, Rio Verde foi a cidade escolhida.

As fábricas estão situadas em Rondonópolis-MT, Dourados-MS, Ponta Grossa-PR, Passo Fundo-RS, Uruçuí-PI e Luiziania-GO. Juntas as fábricas possuem capacidade de processar 684 mil toneladas de soja por mês.

Os silos, no total de 11, estão situados em Sapezal-MT, Sorriso-MT, Canarana-MT, Diamantino-MT, Rondonópolis-MT, Dourados-MS, Rio Verde-GO, Maringá-PR, Cascavel-PR, Cruz Alta-RS e Uberlândia-MG.

Os pontos de transbordos estão localizados na região do Alto Araguaia-MT, Chapadão do Sul-MS, Ponta Grossa-PR, Maringá-PR, Cruz Alta-RS e Uberlândia-MG.

Os locais de venda representando o mercado interno foram Campo Grande-MS, Curitiba-PR, Porto Alegre-RS, Belo Horizonte-MG e Salvador-BA.

Finalmente, os portos considerados foram: Porto de Santos-SP, Porto de Paranaguá-PR, Porto de São Francisco-SC, Porto de Rio Grande-RS, Porto de Vitória-ES e Porto de São Luís-MA.

A capacidade total de armazenagem, dos silos e dos locais que possuem armazéns, para grãos e processados foi de 7,607 milhões de toneladas.

A Figura 25 aponta a localização dos nós considerados neste estudo.

Origem	Silos	Transbordo	Fábrica	Mercado Interno	Porto
Sapezal	MT	Sapezal			
Sorriso	MT	Sorriso			
Canarana	MT	Canarana	AltoAraguaia		
Diamantino	MT	Diamantino			
Rondonópolis	MT	Rondonópolis	Rondonópolis		
Campo Grande	MS	Chapadão do Sul		Campo Grande	
Dourados	MS	Dourados	Dourados		
Rio Verde	GO	Rio Verde	Luiziana		
Ponta Grossa	PR	Ponta Grossa	Ponta Grossa		
Guarapuava	PR				Paranagua
Maringá	PR	Maringá		Curitiba	Sao Francisco
Cascavel	PR	Cascavel			
Passo Fundo	RS		Passo Fundo		
Santa Rosa	RS				Rio Grande
Cruz Alta	RS	Cruz Alta		Porto Alegre	
Santa Maria	RS				
Uberlândia	MG	Uberlândia		Belo Horizonte	Vitoria
Ourinhos	SP				
Ribeirão Preto	SP				Santos
Balsas	MA				Sao Luis
Palmas	TO		Uruçui	Salvador	

Figura 25- Localização das unidades consideradas na rede do estudo de caso.

6.1.2

Parâmetros Associados à Incerteza

Os parâmetros com valores incertos que foram considerados no modelo estocástico foram os preços de compra e venda de soja em grão, a demanda e a quebra de safra. A escolha deles foi feita devido à importância destes parâmetros na condução da cadeia logística da soja e a presença de dados históricos confiáveis para os mesmos. Alguns outros parâmetros, embora considerados determinísticos neste trabalho, são altamente imprevisíveis,

porém, devido à falta de dados confiáveis ou da restrição da capacidade computacional, não foram considerados como estocásticos. Exemplos destes parâmetros são: a capacidade de escoamento portuária (devido a chuvas e greves), a possibilidade de quebra de contrato por parte dos transportadores rodoviários e o preço do transporte rodoviário no mercado *spot*.

6.1.3

Geração de Cenários

Para cada parâmetro considerado estocástico neste trabalho foram feitas análises das séries históricas disponíveis e consideradas as opiniões dos especialistas da área.

As previsões dos parâmetros estocásticos deste trabalho foram feitas com o auxílio do software Forecast Pro (FPW) 3.0. Para as previsões foram escolhidos os modelos e técnicas associados aos menores erros de previsão.

Para cada série prevista através da técnica Amortecimento Exponencial foram obtidos os valores de n passos à frente. Cada valor previsto para o horizonte n segue uma distribuição Normal, com média (μ), desvio padrão (σ), um limite superior ($+1,96 \sigma$) e um limite inferior ($-1,96 \sigma$), com 95% de significância.

Este trabalho segue a sugestão de Kaut (2006) para geração de cenários: através de séries históricas, distribuição estatística e opinião de especialistas.

Para os valores previstos, pertencentes a uma curva de distribuição Normal, de cada parâmetro estocástico, foram definidos três valores para representar a curva Normal, como defendem Keefer (1983, 1994) e Hirschfield (2000). Os três valores escolhidos seguiram a orientação de Keefer (1983, 1994) e foram definidos, portanto, de acordo com o método estendido de Pearson e Tukey (1965). Este método sugere uma divisão de uma curva contínua em três pontos, sendo dois pontos com 18,5% de chance de ocorrerem e um ponto com 63% de chance. Para isso foi identificado na curva normal de cada valor previsto três áreas, de forma que, cada área tivesse as probabilidades de 18,5%, 63%, e 18,5%, e para cada área foi retirado o valor médio que a representa. A Figura 26 ilustra as três áreas delimitadas na curva Normal.

Dessa forma, para cada parâmetro estocástico, o cenário pessimista tem 18,5% de chance de ocorrência (área 1), o conservador 63% de chance de ocorrência (área 2), e o otimista 18,5% de chance de ocorrência (área 3).

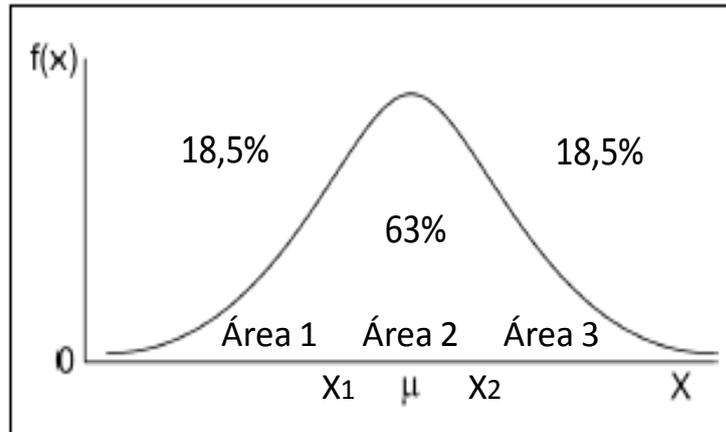


Figura 26- Divisão da curva Normal para cada valor previsto.

Toda variável aleatória que tem distribuição Normal, com média (μ) e variância (σ^2), segue uma distribuição Normal padrão representada pela variável:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (6.1)$$

com média 0 e variância 1 (Pinheiro *et al.*, 2009).

Para o cálculo dos três valores que representam cada uma destas três áreas foi realizado, primeiramente, a padronização de cada curva normal de cada variável aleatória. Foi encontrado o valor de $\phi(z)$, na Tabela de Distribuição Normal Padrão Acumulada (Pinheiro *et al.*, 2009), em que ϕ representa a distribuição acumulada correspondente à normal padrão e $\phi(z) = P(-\infty < Z \leq z)$, tal que $P(Z \leq z) \cong (1 - 0,185)$. O valor encontrado de z foi de 0,90. Como a curva Normal é simétrica, o valor de z , tal que $P(Z \leq z) \cong (0,185)$ é -0,90. Substituindo em (6.1), foram encontrados os valores de X_1 e X_2 , ilustrados na Figura 26. À X_1 foi somado o valor que corresponde a 3σ , e deste somatório foi calculada média aritmética, obtendo desta forma o valor médio representativo da área 1. O mesmo foi feito para X_2 obtendo o valor médio representativo da área 3. O valor médio da área 2 é μ . A

área da curva Normal situada entre -3σ e $+3\sigma$ representa 99,73 % da distribuição da variável aleatória.

Para a estimativa dos valores dos parâmetros preço de compra, preço de venda de soja em grão e demanda externa foram utilizados modelos de regressão. Para as variações nos dados previstos para os cenários pessimista e otimista foi utilizada a opinião de especialistas da área para estimar a probabilidade dos cenários otimista e pessimista, o valor calculado através da função obtida com a regressão constitui o cenário conservador.

Como defendido em Keefer (1983), é comum cenários serem formados a partir de opiniões de especialistas, sendo que estes parâmetros são geralmente distribuídos por uma distribuição triangular. O método de seleção de três pontos de Pearson e Tukey (1965) é válido para distribuição triangular. Assim, o cenário pessimista, conservador e otimista, oriundos do método de regressão e opinião de especialistas terão as respectivas probabilidades: 18,5%, 63%, e 18,5%.

A seguir haverá um detalhamento maior de cada parâmetro estocástico analisado.

6.1.3.1

Cenários para Preço de Compra de Soja em Grão

Dados históricos mensais do preço de compra da soja, do ano de 1996 ao ano de 2012, foram utilizados para previsão do preço de compra da soja grão em cada cluster definido na Seção 6.1.1.

Para cada série foi construído um gráfico de dispersão. Para cada gráfico utilizou-se regressão com a curva de tendência que mais se ajustava à série e com menor erro de previsão.

A partir da fórmula obtida pela regressão, foram calculados os preços de compra de cada cluster para os meses de janeiro a dezembro de 2013 para compra no mercado *spot*.

O valor de janeiro foi fixado para compra com antecedência com entrega para vários meses, já que no mercado da soja, ao se comprar em soja grão do produtor com antecedência, estabelece-se um acordo de qual mês o produtor irá entregar.

De acordo com a opinião dos especialistas da área, uma variação conservadora dos valores do preço de compra da soja é de 10% de aumento para um cenário pessimista e 10% de redução para um cenário otimista. Entretanto, os especialistas temem por um grande aumento repentino no preço, como aconteceu no ano de 2012. Este aumento pode chegar a 50% do preço, e pode ocorrer por vários fatores. Segundo Giembinsky (2006), os procedimentos econométricos indicaram que os preços da Bolsa de Chicago afetam consideravelmente os preços internos, enquanto que alterações nos preços domésticos não causam impacto nos preços internacionais, aqui representados pela Bolsa de Chicago.

No estudo de caso desta tese foi analisada uma situação conservadora para a variação do preço de compra da soja, com o preço da soja variando em 10% para o cenário pessimista e otimista. As probabilidades de ocorrência foram de 18,5%, 63%, e 18,5% para o cenário pessimista, conservador e otimista, respectivamente, de acordo com metodologia de Pearson e Tukey (1965).

Segundo Santos (2003), dentro do país o preço da oleaginosa está fortemente correlacionado. Ou seja, quando em um estado o preço apresenta um cenário otimista este mesmo cenário irá acontecer nos outros estados. Dessa forma, foi definido que quando um cenário acontece em uma região do Brasil, em relação ao preço de compra da soja, este mesmo cenário estará acontecendo em todas as regiões do país.

6.1.3.2

Cenários para Quebra de Safra

A partir dos dados de produção de soja em grãos, por microrregião, referente ao período de 1995 a 2011, obtidos no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE- (2012), foi calculada a curva de regressão de produção para cada microrregião. Os pontos de pico ou queda foram ajustados na série de dados, antes da estimativa da curva de regressão, para que a curva de regressão pudesse refletir a previsão de uma série sem quebras de safra ou superprodução. Através da curva de regressão foram calculados os valores previstos da produção para cada ano, de 1995 a 2011. A partir desta nova série

estimada foi calculada a diferença entre o volume estimado e o volume realmente produzido no ano. A diferença, portanto, entre a produção realmente obtida ($Real_t$) e a produção planejada ($Planejado_t$) (calculada pela curva de regressão), originou uma série de erros de previsão ($Erro_t$), onde t indica o ano. Para cada cluster de origem foi feito uma série de previsão de quebra de safra. Esta série, chamada $Erro_t$, foi designada como sendo a série de probabilidade de quebra de safra anual de cada cluster:

$$Erro_t = \frac{Planejado_t - Real_t}{Planejado_t} \quad (6.2)$$

Esta série prevista de quebra de safra, calculada, apresenta a porcentagem do erro de previsão do volume esperado.

Através da análise das séries históricas da produção de todos os estados brasileiros ficou evidenciado que duas áreas sofrem severamente este problema: a região Centro Oeste e a região Sul. Os picos de queda de produção, aqui nomeados como quebra de safra, podem ser vistos na Figura 27 abaixo:

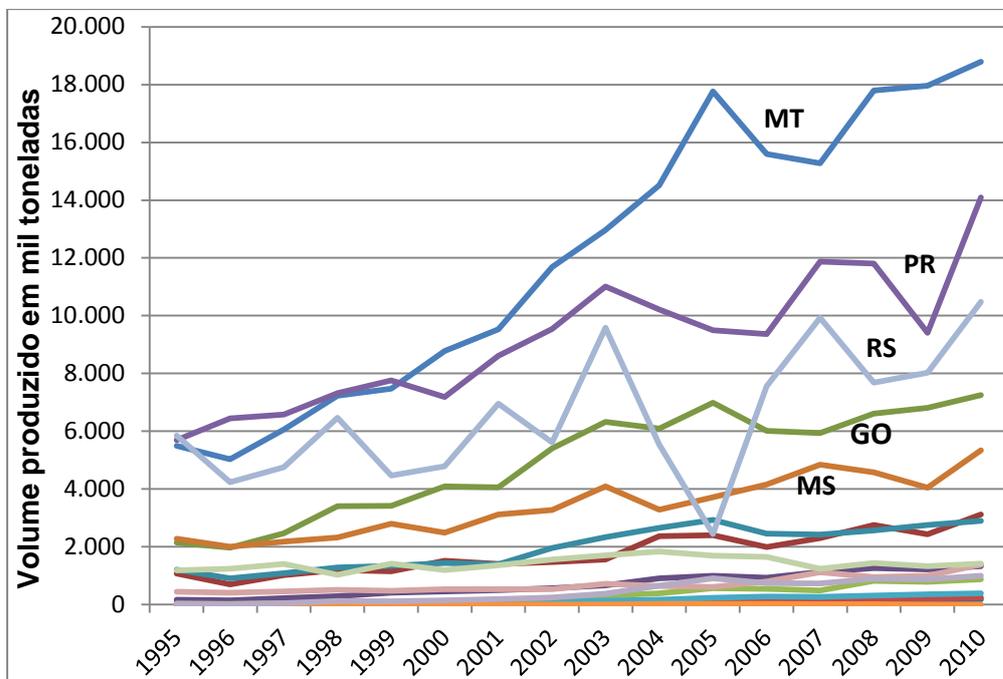


Figura 27- Volume de soja em grão produzido.

Para cada estado foi analisada a produção de cada microrregião (região delimitada pelo IBGE) a fim de verificar se a queda do volume planejado é uniforme entre todas as microrregiões e concluiu-se que quando ocorre quebra de safra em uma microrregião obtêm-se um valor proporcional próximo de redução de volume em todas as microrregiões daquele estado. Ainda, verificou-se que o volume “reduzido” da produção nos estados da região Sul é proporcional para toda região. O mesmo acontece com os estados de Goiás e Mato Grosso na região Centro-Oeste. Através da análise das séries deste parâmetro, foram estabelecidos duas áreas de quebra de safra que apresentam perfil semelhante, PR e RS (área 1), MT e GO (área2).

Através da série de quebra de safra obtida pela Equação (6.2) para cada estado, fez-se a previsão da porcentagem de quebra de safra para o ano desejado, através do método de Amortecimento Exponencial. Cada cluster presente em cada estado constituinte de cada uma das duas áreas definidas teve uma curva de previsão de quebra de safra. A realização de um cenário em uma destas duas áreas implica a realização deste cenário para os estados pertencentes a esta área. Exemplo, quando o cenário pessimista ocorrer na área 1, o percentual provável de quebra de safra para o estado do PR ou RS será aquele referente ao cenário pessimista, enquanto neste mesmo período poderá ocorrer qualquer um dos três cenários na área 2.

Os estados não definidos nas áreas 1 e 2 não foram contemplados com a possibilidade de quebra de safra, devido a menor variação existente entre volume produzido esperado e o realizado, e devido a limitação computacional, pois qualquer área inserida aumentaria o número de cenários em três vezes, aumentando, conseqüentemente o número de variáveis e restrições no modelo. Cada parâmetro não correlacionado considerado como estocástico, quando são atribuídas três possibilidades de ocorrência para ele, multiplica em três vezes o número de cenários neste trabalho.

Para a curva normal prevista de quebra de safra para cada cluster, foram, portanto, definidos três pontos, com 18,5%, 63%, e 18,5% de chance de ocorrer, para o cenário pessimista, conservador e otimista respectivamente. O percentual médio encontrado de quebra de safra no cenário pessimista foi de 30% com relação ao volume esperado contemplado pelo cenário conservador. Como a probabilidade de quebra de safra foi calculada para cada cluster, houve

cluster em que a estimativa de safra foi de 36% do volume previsto inicialmente, ou seja, 64% de quebra de safra, enquanto outros clusters apresentaram menos de 10% de probabilidade esperada de quebra.

6.1.3.3

Cenários para Preço de Venda de Soja em Grão

Segundo Paula e Filho (1998) e Santos (2003), os preços da soja guardam relação direta com os valores internacionais e são praticados em sintonia com a bolsa de Chicago.

A partir da série histórica mensal do preço da soja na bolsa de Chicago-CBTO, entre os anos de 1996 a 2012, obtida através da ABIOVE, foi feita a previsão do preço de venda da soja em grão para o próximo ano, através do modelo de regressão. Escolheu-se a curva de tendência que mais se ajustava à série e com menor erro de previsão. Da mesma maneira como foi feito com o preço de compra da soja em grão, as possíveis variações nos preços foram obtidas com ajuda dos especialistas da área. As variações foram de queda de 10% no preço para o cenário pessimista e 10% de aumento no preço para o cenário otimista. As probabilidades de ocorrência foram de 18,5%, 63%, e 18,5% para o cenário pessimista, conservador e otimista, respectivamente, de acordo com metodologia de Pearson e Tukey (1965).

6.1.3.4

Cenários para a Demanda Externa de Soja em Grão

O volume previsto de demanda externa de grãos foi calculado da seguinte forma: primeiro foi feita a previsão de produção de soja no Brasil, através da técnica amortecimento exponencial. Este volume previsto foi multiplicado pelo percentual que a empresa tem por meta comprar, isto é, o *market share* da empresa, já computando a meta de aumento de representatividade neste segmento para o ano de 2013. A partir deste volume foi retirada a quantidade prevista para processamento, de acordo com as metas de aumento de venda da empresa neste segmento, e o volume restante foi considerado como a possível demanda de exportação. Assumindo a premissa que todo volume que empresa

consegue comprar e tem capacidade escoar ela consegue vender, tudo que não for transformado em farelo e óleo, poderá ser vendido para o mercado externo. A variação percentual para os cenários pessimista e otimista foram obtidos através da opinião de especialistas, foi definido 10% de decréscimo da demanda para o cenário pessimista, com a probabilidade de 18,5% de ocorrência, e 10% de acréscimo no volume da demanda para o cenário otimista, com a probabilidade de 18,5% de ocorrência. O cenário conservador tem a probabilidade de 63% de ocorrência. O cálculo da demanda externa foi feito através do volume previsto de produção, pois segundo um especialista, a demanda existente para esta empresa é maior do que a oferta e o que limita o comércio de soja são a oferta do produto, a falta de capacidade de armazenagem e a capacidade de escoamento portuária.

Os parâmetros estocásticos considerados neste trabalho, preço de compra e venda da soja em grão, demanda externa e quebra de safra foram considerados como sendo univariados.

Não foi feito um estudo estatístico aprofundado com respeito à correlação entre os parâmetros estocásticos e a interferência de fatores externos na série de cada parâmetro por não ser o foco deste trabalho. Neste sentido, Bernardo e Queiroz (2011) concluíram que não é possível definir uma relação direta ou inversa entre o preço e a quantidade demandada ou ofertada da cultura de soja. Segundo Santos (2003), para os produtores, os preços da soja estão sempre sujeitos a oscilações cuja causa são de difícil previsão, causando de certa forma muita dificuldade na tomada de decisões com relação a comercialização de seus produtos.

Dessa forma, optou-se por considerar as séries como univariadas já que a consideração de fatores que poderiam influenciar nas séries esbarraria na ausência de dados confiáveis referentes a muitos deles.

Para a construção da árvore de cenários realizou-se a combinação das probabilidades de ocorrência de todos os cenários, dos quatro parâmetros estocásticos. Considerando que o parâmetro “quebra de safra” possui 3 possibilidades de ocorrência em duas “áreas” distintas, chegou-se ao total de 3^5 cenários, ou seja, 243 cenários. Assumindo que os parâmetros associados à incerteza são variáveis aleatórias independentes, a probabilidade de cada

combinação gerada é dada pelo produto entre as probabilidades de ocorrência de cada uma das variáveis aleatórias.

As Figuras 28 e 29 ilustram uma parte da árvore de cenários construída neste trabalho. A descrição completa da árvore de cenários encontra-se no Apêndice A.

Cenário	PreçoCompra	Safra1	Safra2	PreçoVenda	Demanda	Probabilidade do Cenário
25	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,00021669987
26	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	Conservador	0,00073795089
27	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	Otimista	0,00021669987
28	Pessimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,00073795089
29	Pessimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	Conservador	0,00251302196
30	Pessimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	Otimista	0,00073795089
31	Pessimista	Pessimista	Conservador	Conservador	Pessimista	0,00251302196
32	Pessimista	Pessimista	Conservador	Conservador	Conservador	0,00855785858
33	Pessimista	Pessimista	Conservador	Conservador	Otimista	0,00251302196

Figura 28- Exemplo da árvore de cenários construída no estudo de caso.

Cenário	%PreçoCompra	%Safra1	%Safra2	%PreçoVenda	%Demanda	Probabilidade do Cenário
25	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185	0,00021669987
26	0,185	0,185	0,185	0,185	0,63	0,00073795089
27	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185	0,00021669987
28	0,185	0,185	0,63	0,185	0,185	0,00073795089
29	0,185	0,185	0,63	0,185	0,63	0,00251302196
30	0,185	0,185	0,63	0,185	0,185	0,00073795089
31	0,185	0,185	0,63	0,63	0,185	0,00251302196
32	0,185	0,185	0,63	0,63	0,63	0,00855785858
33	0,185	0,185	0,63	0,63	0,185	0,00251302196

Figura 29- Exemplo da árvore de cenários construída, com as probabilidades dos parâmetros.

6.2

Desempenho Computacional

Para o problema complexo analisado, o modelo estocástico resultou em 2.286.792 restrições e 1.987.225 variáveis. Já o modelo determinístico gerou 9.814 restrições e 9.601 variáveis.

Tabela 4- Desempenho Computacional

Modelo	Estocástico	Determinístico
Nº de Cenários	243	1
Nº de Restrições	2.286.792	9.814
Nº de Variáveis Contínuas	1.987.225	9.601
Nº de Iterações	64	25
Tempo de CPU (segundos)	1.798	0,26
Pico de Memória (Mb)	6.430	33

Os resultados da Tabela 4 indicam que o tempo de resolução não foi crítico, o modelo estocástico com aproximadamente dois milhões de restrições e dois milhões de variáveis rodou em 1798 segundos, aproximadamente 29,96 minutos.

Os modelos propostos foram implementados no sistema de modelagem AIMMS 3.12 (Advanced Integrated Multidimensional Modeling Software), versão 6, e resolvidos com o solver CPLEX 12.5, através do algoritmo Barreira Logarítmica. A performance computacional do solver foi obtida em um computador com processador Intel Core 2 Duo, 2.53GHz com 8Gb de memória RAM.

É importante salientar que o algoritmo Barreira Logarítmica, apesar de ter sido o mais eficiente em termos de tempo de resolução, ocupa bastante memória. O algoritmo Simplex ocupa menos memória, porém, sua utilização não foi satisfatória para este estudo de caso, o solver gastou mais de 150 mil segundos para chegar ao valor ótimo, utilizando o Primal, e mais de 400 mil segundos através do Dual.

6.3

Análise dos Resultados

Esta seção apresenta os resultados e as análises da aplicação dos modelos lineares estocástico e determinístico, definidos no capítulo 5.

A Seção 6.3.1. apresenta um resumo dos resultados do modelo estocástico, relacionando os valores encontrados na função objetivo e nas variáveis de primeiro estágio e algumas de segundo estágio, com o que

acontece hoje em dia na empresa, a fim de mostrar a consistência do modelo. A Seção 6.3.2. exibe os valores da função das soluções do tipo espere-e-veja (WS), calculadas através do modelo determinístico. A Seção 6.3.3. exibe os resultados da função objetivo do modelo estocástico e a comparação entre os resultados alcançados através do modelo estocástico, da solução espere-e-veja, e para o caso em que o embarcador não considera as incertezas dos parâmetros. A Seção 6.3.4. apresenta as análises de ganho, através dos indicadores Valor Esperado da Informação Perfeita (EVPI) e Valor da Solução Estocástica (VSS), com a aplicação do modelo estocástico. A Seção 6.3.5. exibe a análise das decisões de primeiro estágio e a Seção 6.3.6. apresenta um resumo das análises dos resultados.

6.3.1

Resultados Iniciais

A função objetivo do modelo estocástico alcançou o valor ótimo de R\$8.547.099.355 e a função objetivo do modelo determinístico, considerando os valores esperados dos parâmetros, alcançou o valor ótimo de R\$8.623.657.218. O valor da função objetivo, chamado neste trabalho de lucro, é a diferença entre a receita obtida com a venda da soja em grão, farelo e óleo, e os custos de compra, armazenagem, transporte, e processamento.

Os valores das variáveis expostos nesta Seção 6.3.1 são oriundos da aplicação do modelo estocástico. No início do modelo existiam 3.957.200 toneladas de soja em grão que já haviam sido compradas e pagas e 1.146.500 toneladas de farelo e óleo que estavam em estoque, este volume entrou sem custo de compra do grão. Ainda, existiam 1.687.600 toneladas de grão vendidos no início do modelo, o que não gerou receita de venda. Debitando o custo de compra do grão da oferta pré-existente e farelo e óleo, e acrescentando a receita de venda da demanda pré-existente, o lucro diminuiu para R\$ 5.428.375.580. Dividindo este lucro pelo volume movimentado, que foi comprado e vendido no modelo, o “lucro” calculado é cerca de R\$ 290/tonelada, o que se mostra coerente. É muito importante salientar que sob o valor de R\$ 5,4 bilhões ainda necessitam ser descontados outros custos e

despesas, como por exemplo, impostos, custos fixos, mão de obra direta e indireta, etc.

De acordo com a solução obtida, das 11.891.000 toneladas de soja em grão ofertadas para compra no primeiro estágio, foram compradas 8.639.065 toneladas.

No início do planejamento, já havia sido feita a compra de 3.957.000 toneladas de soja. Somando 8.639.065 com 3.957.000 tem-se que 12.596.065 toneladas de soja foram adquiridas com antecedência mínima de um ano.

Como o modelo sugere um valor para cada variável de segundo estágio para cada cenário, o volume mínimo, médio e máximo, comprados de grão no mercado *spot*, no 2º estágio, foi: 3.941.000, 5.550.000, e 7.067.000 toneladas.

No cenário em que mais foi comprado soja, o volume total foi de 19.663.065 toneladas de soja em grão (12.596.065 + 7.067.000) e no cenário em que menos foi comprado foram obtidas 16.537.065 toneladas. Os valores indicam que o embarcador deverá contratar antes da safra de soja começar, entre 65% e 76% da soja que irá utilizar durante todo o ano. A prática na empresa atualmente é começar com 70% do volume que será utilizado. O volume máximo vendido ao mercado externo de grãos de soja foi 11.754.000 toneladas, o volume médio, 10.524.000 toneladas, e o volume mínimo, 9.616.000 toneladas. O volume máximo processado foi de 6.874.000 toneladas de soja em grão, e a variação entre os valores máximo e mínimo ficou em torno de 10%. Considerando que no início do período existia um volume de farelo e óleo estocados produzidos a partir de cerca de 1.175.000 toneladas de soja, o percentual de soja em grão convertidos em farelo e óleo ficou entre 41% e 49%. A prática na empresa atualmente é processar 50% do volume de soja em grãos comprados. É importante salientar que o volume movimentado de soja em grão deverá ser menor ou igual ao volume máximo adquirido, devido ao volume perdido na quebra de safra e na operação de transbordo.

Ainda, como decisões de primeiro estágio, o volume contratado para o transporte ferroviário foi de 6.598.987 toneladas e para o transporte rodoviário foi de 20.215.000 toneladas e cerca de 2.000.000 toneladas no *rodospot*. O modelo sugere que 23% do volume transportado seja via ferroviário. Na prática a empresa utiliza 30% do volume transportado via modo de transporte ferroviário.

Na empresa, no último ano, cerca de 25 milhões de toneladas foram transportadas anualmente. Destes 25 milhões, 30% foram via ferrovia (contrato) e 70% foram via rodovia, destes, 60% foram via contrato anual e 40% foram via mercado *spot*.

6.3.2

Solução Espere-e-Veja

O modelo determinístico foi utilizado para calcular a solução ótima para cada um dos 243 cenários individualmente. A solução obtida para cada um dos cenários é do tipo espere-e-veja (wait and see), descrita no Capítulo 3.2, e pode ser visualizada na Figura 30 e no Apêndice B. Cada cenário, com seus respectivos valores para os parâmetros, é resolvido no modelo determinístico, com probabilidade de 100% de ocorrência, como se existisse somente este cenário e como se o agente de decisão soubesse que este cenário iria acontecer. Sabe-se, entretanto, que existe uma probabilidade de ocorrência para cada um dos cenários.

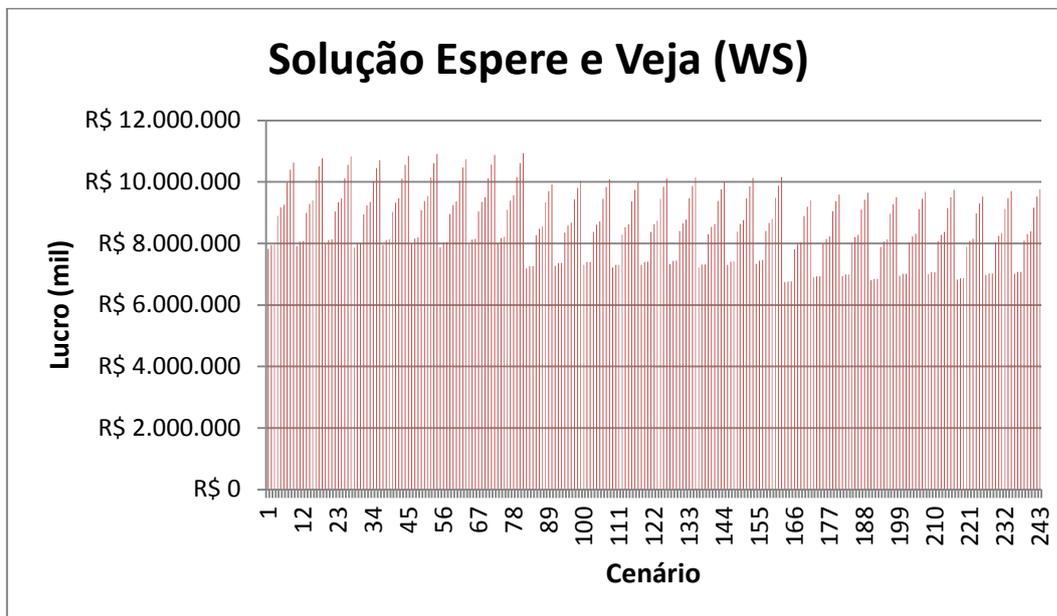


Figura 30- Solução espere-e-veja (WS).

De acordo com a Figura 30 e a árvore de cenários (Apêndice B) nota-se que parâmetros “preço de compra” e “preço de venda” são os que mais

impactam no valor do lucro da função objetivo, já que no cenário 1 á 81, os preços de compra estão baixos, e é a região da Figura 30 em que os lucros aparecem, em média, maiores, do cenário 82 á 163 os preços de compra encontram-se no cenário conservador e do cenário 163 á 243 o preço de compra é alto e é a região em que os lucros aparecem, em média, menores. Os picos representando os maiores lucros estão nos cenários em que o preço de compra e venda está a favor do embarcador.

A Figura 31 mostra o lucro obtido com a solução determinística espere-e-veja para o cenário mais pessimista, chamado de extremamente pessimista neste trabalho, em que há ocorrência do cenário pessimista para todos os parâmetros estocásticos considerados neste trabalho, para o cenário conservador, em que há ocorrência do cenário conservador para todos os parâmetros estocásticos, e para o cenário otimista, chamado de extremante otimista, em que há ocorrência do cenário otimista para todos os parâmetros estocásticos.

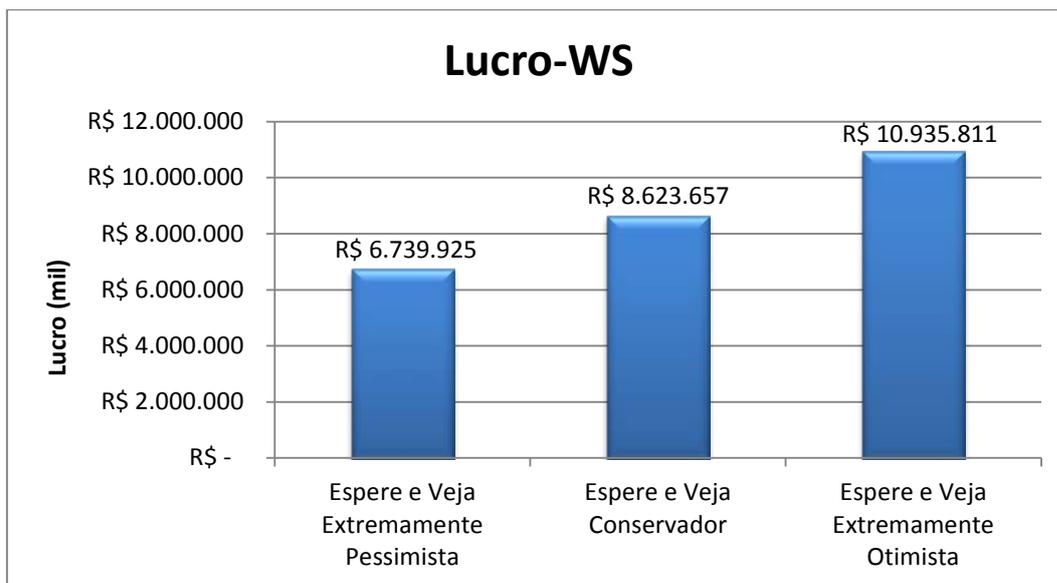


Figura 31- Solução espere-e-veja obtida para o cenário mais pessimista, conservador e mais otimista

O cenário conservador corresponde à solução EV (*expected value*), isto é, a solução do problema que usa como dados de entrada a média dos parâmetros estocásticos (valor esperado de ξ).

Para verificar o grau de influência da variação de cada parâmetro estocástico no resultado da função objetivo do modelo, foram selecionados

dentre os 243 cenários estudados, aqueles em que há variação de somente um parâmetro estocástico enquanto os outros são mantidos no cenário conservador. Estes cenários escolhidos foram solucionados através do modelo determinístico a fim de se obter a solução espere-e-veja. A Figura 32 ilustra o resultado encontrado para cada um destes cenários.

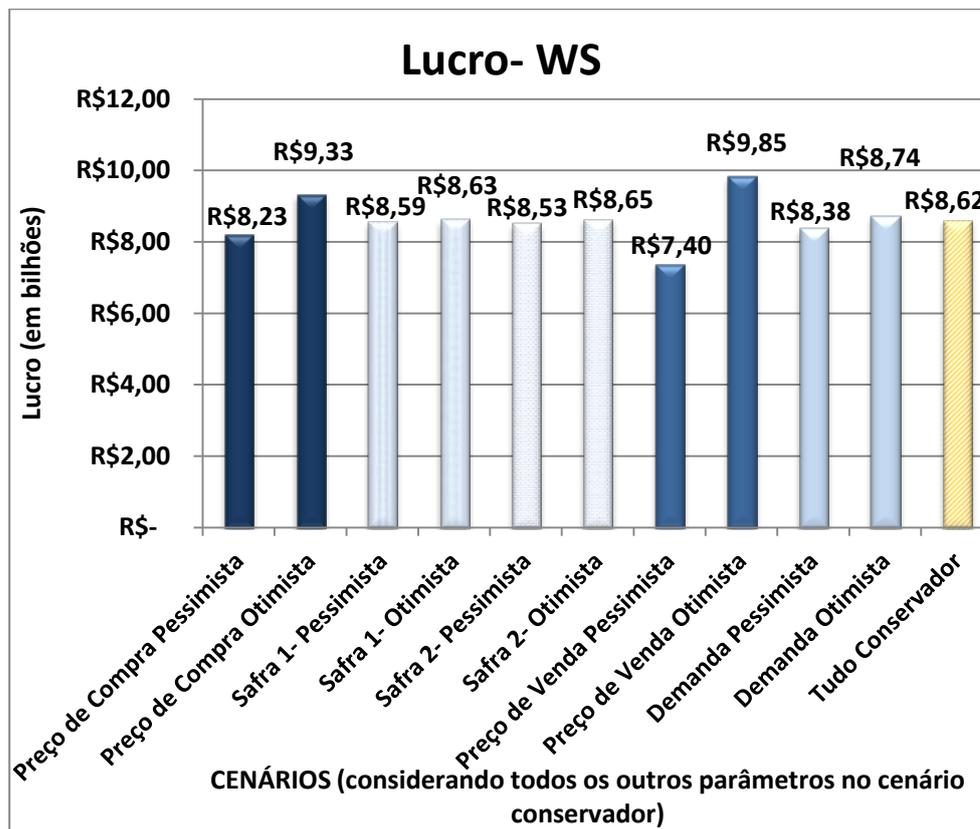


Figura 32- Resultados do modelo espere-e-veja (WS).

A Figura 32 ilustra os resultados da função objetivo quando um parâmetro estocástico está com valor do cenário pessimista ou otimista e os demais parâmetros estão com valores do cenário conservador. Exemplo, o valor esperado do lucro de R\$8,23 bilhões obtido para o cenário “Preço de Compra Pessimista” indica o cenário em que o parâmetro “Preço de Compra” assumiu valores do seu cenário pessimista e os outros parâmetros estocásticos assumiram valores do cenário conservador, ou seja, o valor médio esperado para aquele parâmetro.

É possível perceber através da Figura 32, que os parâmetros preço de compra e preço de venda da soja em grão são os que mais impactam o resultado do modelo, pois foram os cenários que apresentaram maiores e

menores lucros. A variação do lucro obtido entre os cenários otimista e pessimista para o preço de venda da soja em grão é de R\$ 2,45 bilhões.

A variação do lucro obtido entre os cenários otimista para o preço de venda da soja em grão e o cenário conservador são de R\$ 1,1 bilhões. A menor variação ocorre entre o cenário otimista para o parâmetro quebra de safra referente a área 1 (MT e GO) e o cenário conservador, de R\$ 27 milhões.

O valor esperado da solução espere-e-veja (WS) definido na Seção 3.2. por:

$$WS = E_{\xi} [z(x^*(\xi))] = \sum_{c=1}^c p_c z(x_c^*, \xi_c) \quad (6.3)$$

é dado pela soma do produto entre a probabilidade de cada cenário, definida na Seção 6.1.3. e ilustrada na Figura 33, e a solução espere-e-veja obtida para cada cenário. A solução espere-e-veja para cada cenário está ilustrada na Figura 30. O valor esperado WS para o problema estudado é de R\$ 8.638.458.560, este é o valor ótimo esperado se o agente decisor (neste trabalho, o embarcador) tivesse a informação perfeita do que aconteceria no futuro. A probabilidade de cada cenário é ilustrada na Figura 33 abaixo, de acordo com a Tabela 7, no Apêndice A.

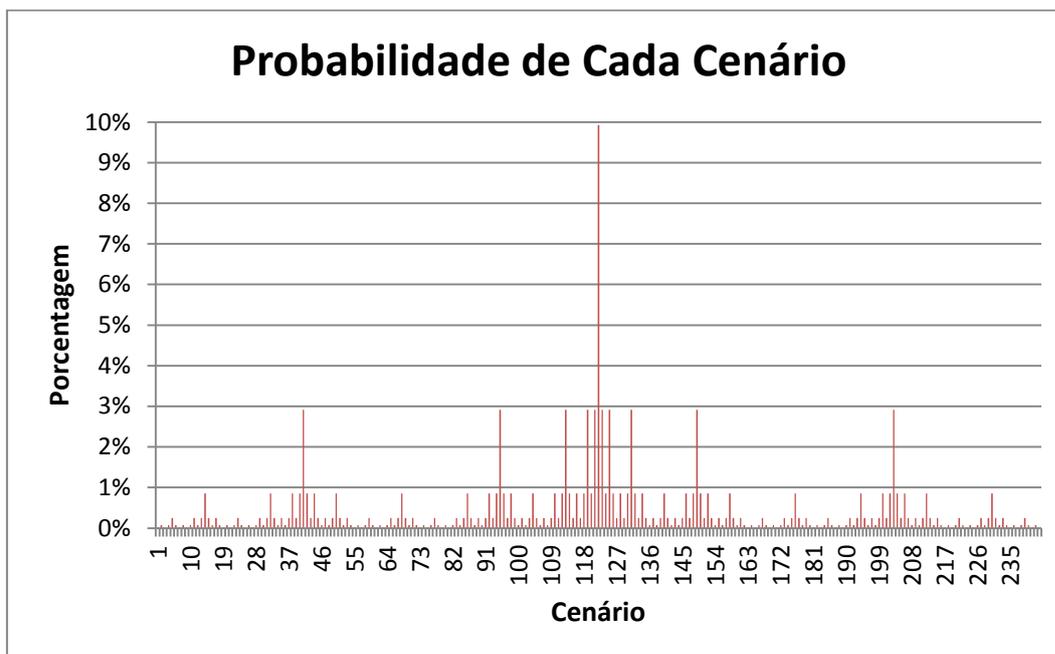


Figura 33- Probabilidade de cada cenário acontecer.

6.3.3

Soluções Obtidas Através do Modelo Estocástico

O modelo estocástico foi utilizado para o cálculo da solução ótima do problema de recurso fixo proposto. A função objetivo do modelo estocástico alcançou o valor ótimo de R\$8.547.099.355, quando todos os cenários e suas respectivas probabilidades de ocorrência foram considerados. As Figuras 34 e 35 mostram o lucro obtido com a solução estocástica para cada um dos cenários ilustrados. Os resultados correspondem às realizações de segundo estágio avaliadas com a solução de primeiro estágio fixa, definida pelo modelo estocástico, ou seja, dado que embarcador decidiu realizar as diretrizes estabelecidas no primeiro estágio, qual o lucro ele terá quando ocorrer algum cenário, dentre os 243 cenários definidos.

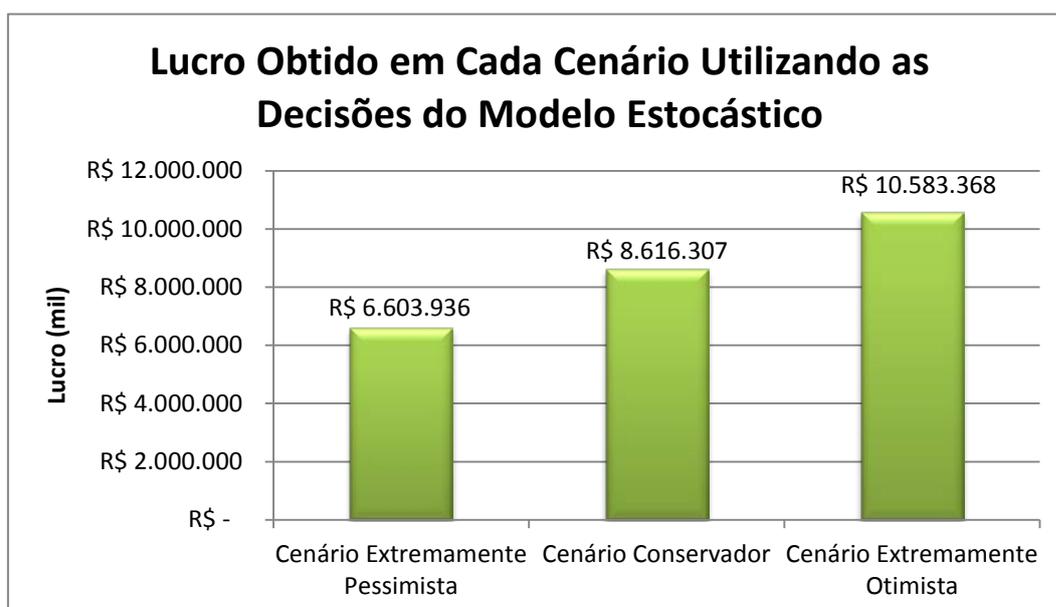


Figura 34- Lucro da solução estocástica para os cenários mais pessimista, conservador e mais otimista.

Na Figura 34, o cenário denominado “Extremamente Pessimista” aponta para o cenário em que todos os parâmetros estão com os valores dos seus cenários pessimistas, o cenário denominado “Extremamente Otimista” indica o cenário em que todos os parâmetros estão com os valores de seus cenários otimistas e o cenário denominado “Conservador” aponta para o cenário em que todos os parâmetros estão com os valores de seus cenários conservadores. O

lucro obtido no cenário em que todos os parâmetros se encontram no cenário pessimista é 23% menor do que lucro obtido quando os todos os parâmetros apresentam-se no cenário conservador. O lucro obtido quando todos os parâmetros têm valores referentes ao cenário otimista é aproximadamente 23% maior do que o lucro obtido no cenário conservador.

A Figura 35 ilustra os valores da função objetivo para os cenários em que os valores de quatro parâmetros encontram-se no cenário conservador e há variação de apenas um parâmetro.

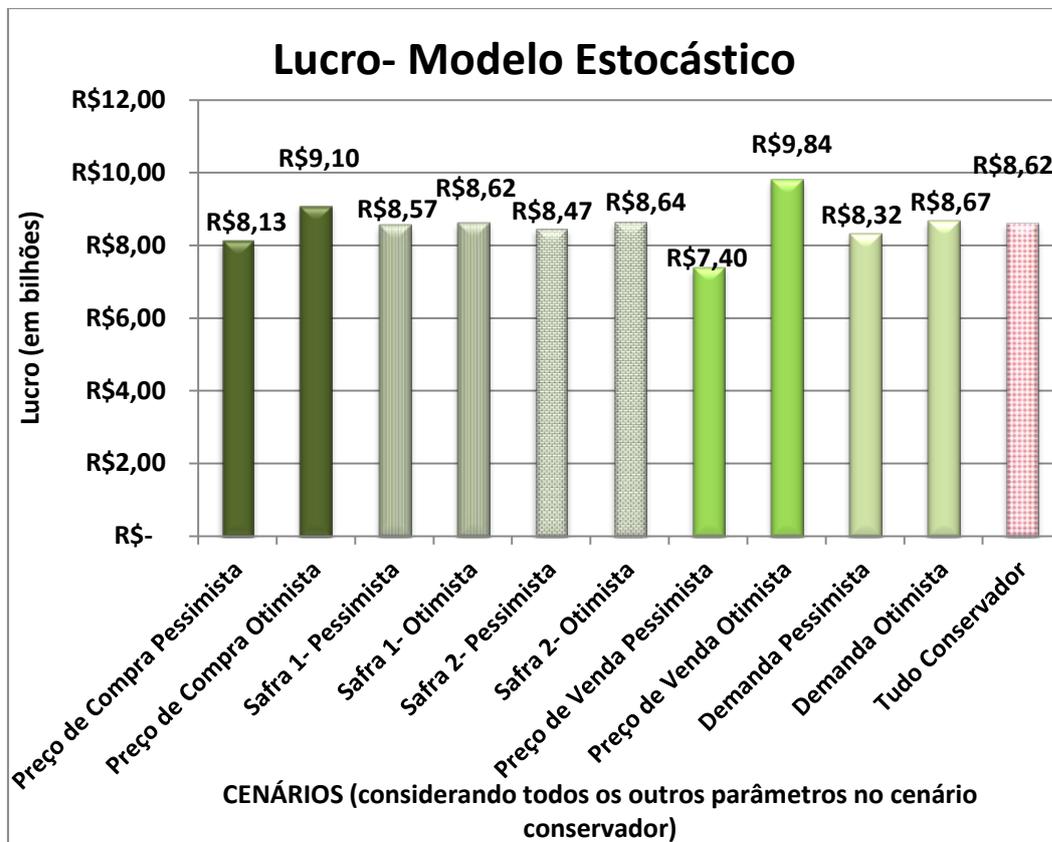


Figura 35- Lucro da solução estocástica.

A média obtida entre estes valores é de R\$ 8,58 bilhões e o desvio médio entre estes valores é de R\$ 0,37 bilhões. A solução estocástica apresentou o mesmo comportamento observado na solução espere-e-veja, ou seja, os cenários com variação no preço de venda e compra de soja em grão apresentaram os maiores retornos e os menores lucros.

O valor esperado da solução estocástica (RP) definido na Seção 3.2 por:

$$RP = E[z(x, \xi)] = \sum_{c=1}^c p_c z(x, \xi_c) \quad (6.4)$$

é obtido pela soma do produto entre a probabilidade de cada cenário definida na Seção 6.1.3. e a solução estocástica obtida para cada cenário. O valor esperado RP para o caso estudado é de R\$ 8.547.099.351

A solução espere-e-veja (WS) é um limite superior para o problema estocástico de maximização (Birge e Louveaux, 2011). A comparação das diferenças dos resultados obtidos através do modelo estocástico com as soluções espere-e-veja permite verificar a proximidade do resultado alcançado através modelo estocástico e o melhor resultado possível de se alcançar (calculado pela solução espere-e-veja). A Figura 36 ilustra esta comparação.

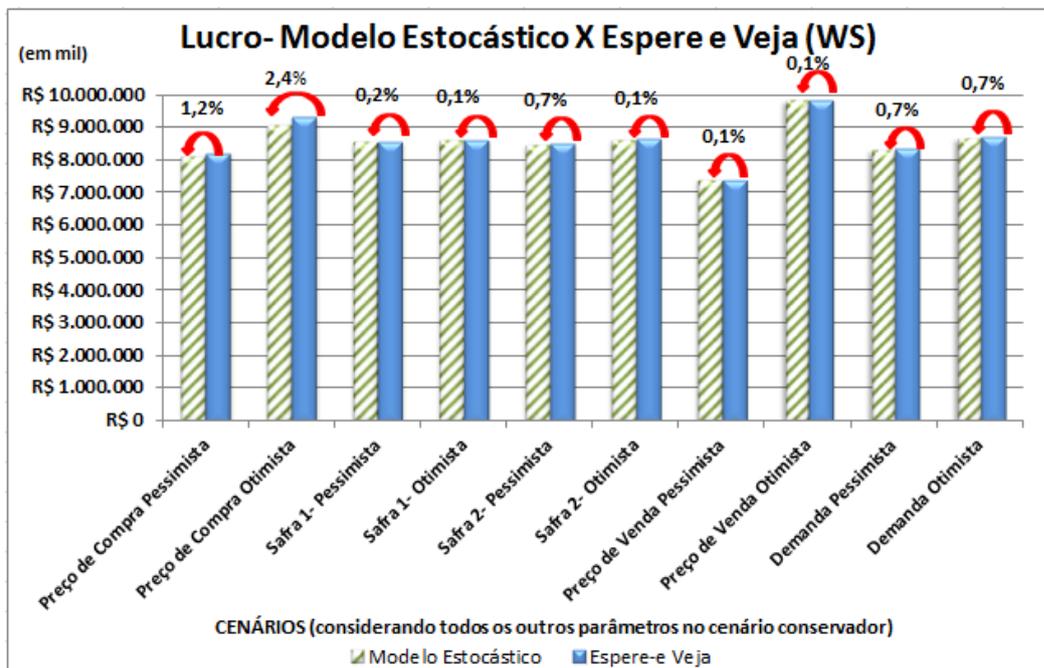


Figura 36- Resultados ótimos encontrados através do modelo estocástico e através da solução espere-e-veja.

Através da Figura 36 pode-se notar a diferença entre o lucro encontrado pelo modelo estocástico e o lucro máximo permissível. As maiores diferenças estão nos cenários em que há variação dos preços de compra da soja em grão.

A média entre as variações percentuais entre a solução espere-e-veja e a solução estocástica, para estes cenários apresentados, foi de 0,6%.

A Figura 37 ilustra os resultados para a solução estocástica, a solução espere-e-veja e a solução obtida quando o embarcador decide não considerar as probabilidades dos cenários (considera somente um cenário e utiliza como dados para este cenário os valores esperados dos parâmetros). Esta última solução será chamada a partir de agora neste trabalho de solução determinística. A solução estocástica, para cada um dos cenários apresentados, apresenta o valor que será obtido quando ocorrer cada um dos cenários, sabendo que as decisões de primeiro estágio já foram tomadas, ou seja, já foram contratados os volumes indicados para serem adquiridos com antecedência, de soja e transporte rodoviário e ferroviário. A solução determinística indica, para cada um dos cenários apresentados, o valor que será obtido quando ocorrer cada um dos cenários, sabendo que as decisões de primeiro estágio foram decididas e realizadas não considerando as probabilidades de ocorrência de cada cenário, ou seja, considerando o valor esperado dos valores de cada parâmetro.

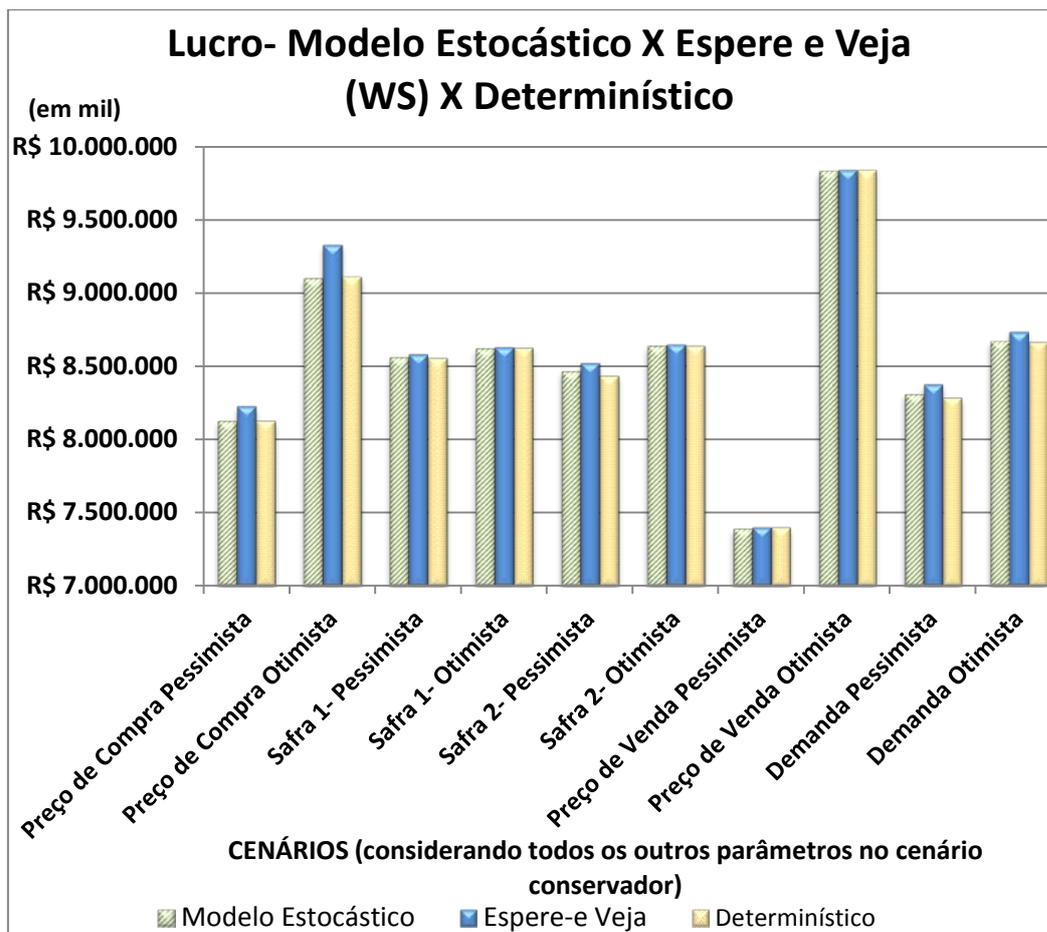


Figura 37- Lucros obtidos através do modelo estocástico, solução espere-e-veja e modelo determinístico na ocorrência de cada cenário.

Pela Figura 37 é possível perceber que o modelo estocástico apresenta maiores lucros que o determinístico principalmente nas situações em que há variação da demanda e quando a safra da área 2 está no cenário pessimista, neste caso o modelo estocástico apresentou um lucro 29 milhões maior.

6.3.4

Valor Esperado da Informação Perfeita (EVPI) e Valor da Solução Estocástica (VSS)

O valor esperado da informação perfeita (EVPI) mostra o valor máximo que o tomador de decisão pagaria para obter a informação perfeita. Como definido na Seção 3.2., o EVPI é medido pela diferença entre o valor esperado das soluções espere-e-veja (WS) e Estocástica (RP):

$$EVPI = |WS - RP| \quad (6.5)$$

Dado que WS= R\$ 8.638.458.558 e RP= R\$ 8.547.099.355, a partir da Equação (6.5) encontrou-se o EVPI igual a R\$ 91.359.210. O embarcador estaria, portanto, disposto a pagar até R\$ 91.359.210 para obter a informação perfeita.

O valor da solução estocástica pode ser entendido como benefício esperado do agente de decisão (embarcador) por ter considerado a incerteza. O valor da solução estocástica (VSS) é dado por:

$$VSS = |EEV - RP| \quad (6.6)$$

em que EEV mede o desempenho da solução de primeiro estágio obtida através do modelo determinístico, utilizando como dados de entrada a média dos parâmetros estocásticos (valor esperado de ξ). Ou seja, caso o embarcador decida não considerar a estocasticidade dos parâmetros, deseja-se saber o valor esperado da função objetivo, considerando que as variáveis de primeiro estágio foram decididas baseadas na solução do modelo determinístico, utilizando o valor esperado dos parâmetros estocásticos, e dado a probabilidade de ocorrência de cada cenário. O EEV encontrado foi de R\$ 8.537.639.965.

O VSS calculado foi de R\$ 9.459.386. A Figura 38 ilustra os valores obtidos para o EVPI e VSS para o problema estudado.

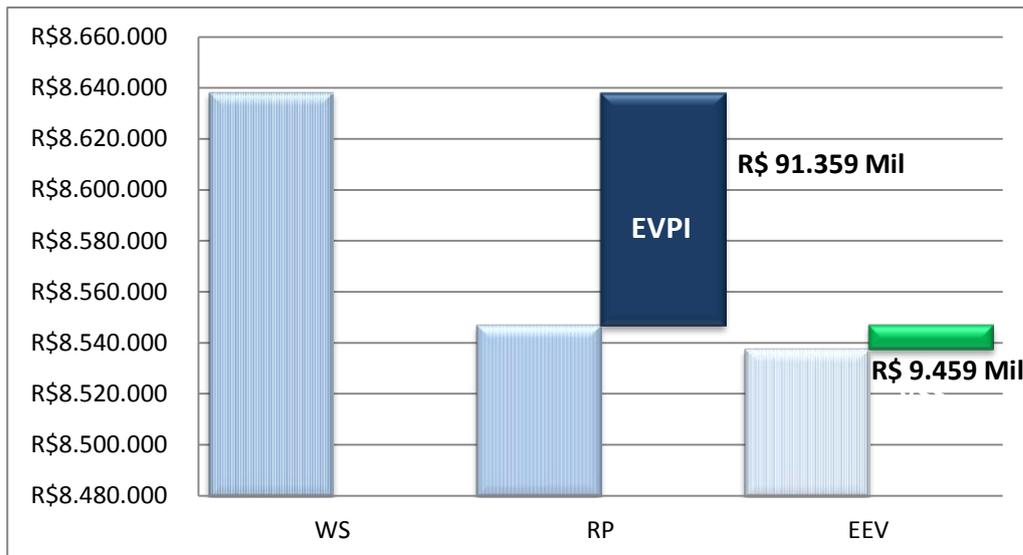


Figura 38- Valores do EVPI e VSS.

O EVPI encontrado no valor de R\$ 91.359.210 representa a diferença entre a solução obtida pelo agente com poder de predição perfeita (WS) e o agente que resolve o problema sob incerteza (RP), ou seja, quanto menor o valor do EVPI melhor o modelo estocástico acomoda as incertezas. O VSS de R\$ 9.459.386 pode ser interpretado como o ganho esperado do embarcador, por ele ter considerado a incerteza dos parâmetros, ou ainda, como a perda esperada do agente que optou pela modelagem determinística, utilizando a média dos parâmetros estocásticos.

O valor encontrado para o VSS representa 0,11% do valor do lucro da função objetivo. Esta porcentagem encontra-se próxima aos ganhos encontrados em outros trabalhos que abordam modelo estocástico para planejamento da cadeia de suprimentos, como em Ribas (2008). É válido ressaltar que a porcentagem encontrada em relação ao lucro real do embarcador será provavelmente maior, visto que o lucro calculado neste modelo não desconta alguns custos e despesas do embarcador.

6.3.5

Análise das Decisões de Primeiro Estágio

As decisões de primeiro estágio do modelo estocástico apresentado foram:

- Volume contratado de soja em grão com antecedência (VCA);
- Volume contratado do modo de transporte ferroviário com antecedência (VToPV- Ferrovia);
- Volume contratado do modo de transporte rodoviário com antecedência (VToPV- Rodovia);

As decisões de primeiro estágio obtidas através da utilização do modelo estocástico e através da utilização do modelo determinístico estão na Tabela 5.

Tabela 5- Resultados das variáveis de primeiro estágio.

Variáveis de 1º Estágio	Volume Contratado (mil toneladas) Modelo Estocástico	Volume Contratado (mil toneladas) Modelo Determinístico
VCA- Soja	8.639	8.521
VToPV-Ferrovia	6.599	6.907
VToPV-Rodovia	20.077	21.480

Com relação ao modelo estocástico foram utilizados 12 (63%) dos 19 trechos disponibilizados para uso do modo ferroviário, 41 (51%) dos 80 trechos disponibilizados para uso do modo rodoviário com compra antecipada e contratadas 8.639.000 toneladas de soja em grão (73%) oriundos dos 21 clusters, de um total de 11.891.000 toneladas de soja disponibilizadas.

De acordo com os resultados obtidos, ilustrados na Tabela 5, verifica-se que o volume comprado de soja em grão com antecedência no modelo determinístico é menor do que o estocástico, o modelo estocástico sugere a compra de cerca de 118 mil toneladas a mais do que o determinístico. Mesmo sendo iguais os riscos de aumento e diminuição do preço de compra de soja em grão, o modelo sugere que o embarcador adquira com antecedência um volume 1,3% maior do que o modelo determinístico.

Com relação aos volumes contratados do modo de transporte ferroviário e rodoviário, é possível verificar que o volume contratado no modelo determinístico é maior do que o do modelo estocástico. Percebe-se que o custo da multa em alguns cenários, devido o não uso do transporte contratado, ocasionados pelos cenários pessimistas dos parâmetros estocásticos, é mais caro do que o contrato do transporte com antecedência com o preço do frete mais baixo.

As Figuras 39, 40 e 41 mostram as decisões de primeiro estágio para os cenários apresentados, para as soluções estocástica, espere-e-veja e determinística.

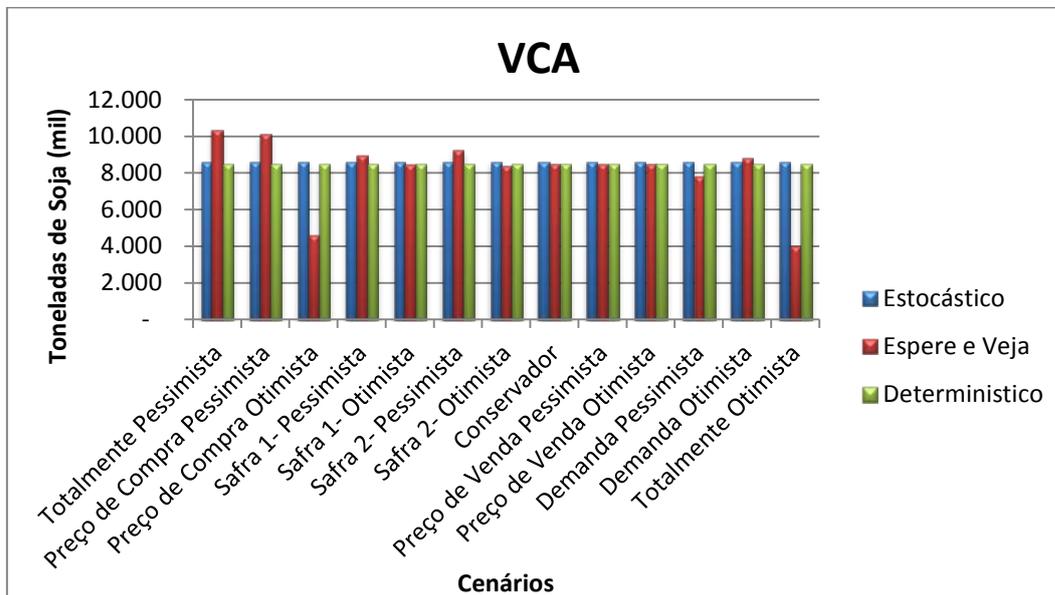


Figura 39- Volume de soja em grão contratado antecipadamente.

Através da Figura 39 pode ser visto que os cenários em que ocorrem maior variação entre os volumes de soja contratados antecipadamente são aqueles em que há variação no preço de compra, tanto no cenário pessimista quanto no otimista, os cenários em que as safra 1 e 2 estão nos cenários pessimistas, nos cenários em que ocorrem variação da demanda e no cenário “totalmente otimista”. Nota-se que a solução WS (espere-e-veja) aponta para um volume bem maior quando o preço de compra da soja em grão aumenta no mercado *spot* e um volume bem menor quando o preço de compra diminui. A Figura 40 ilustra o volume contratado do modo ferroviário para o transporte de soja em grão, farelo e óleo.

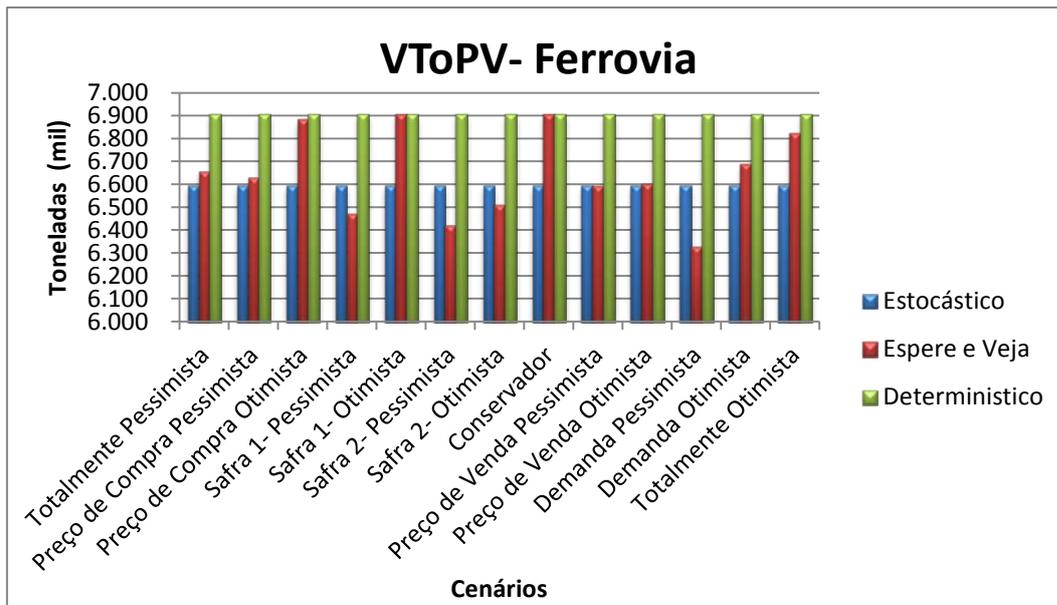


Figura 40- Volume contratado de transporte ferroviário antecipadamente.

Nota-se, pela Figura 40, que os valores sugeridos pela solução estocástica estão mais próximos dos resultados da solução espere-e-veja do que as soluções do determinístico.

A Figura 41 ilustra o volume contratado do modo rodoviário para o transporte de soja em grão, farelo e óleo.

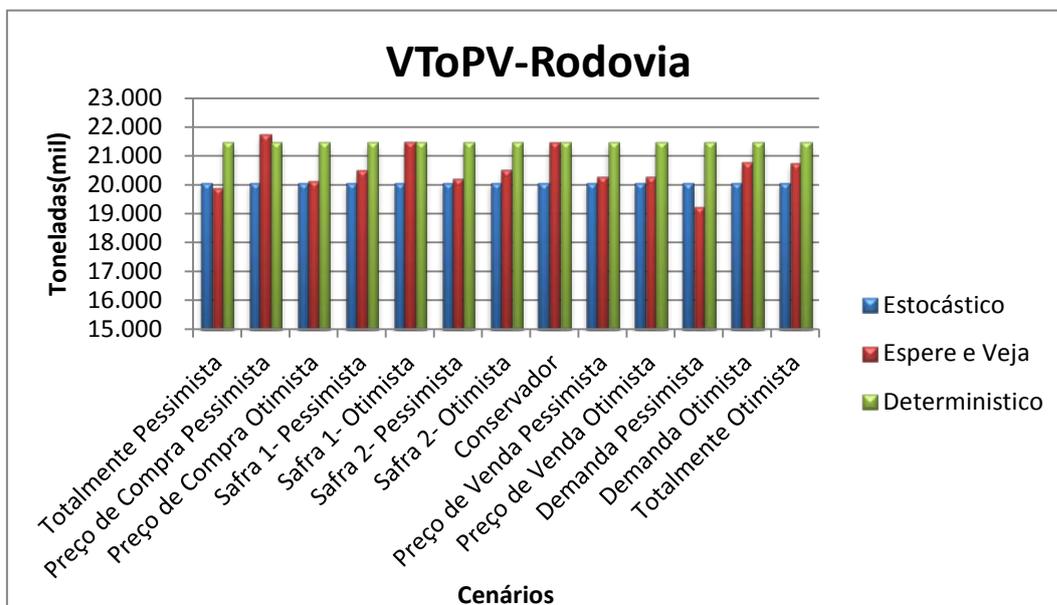


Figura 41- Volume contratado de transporte rodoviário antecipadamente.

Como já foi citado anteriormente, com relação aos volumes contratados do modo de transporte ferroviário e rodoviário, é possível verificar que o volume contratado no modelo determinístico é maior do que o do modelo estocástico. Percebe-se que o risco de pagar multa em alguns cenários é mais caro do que o contrato do transporte com antecedência com um preço de frete mais baixo.

Foi possível visualizar, através das Figuras 40 e 41, que os resultados estocásticos estão mais próximos da solução espere-e-veja do que os determinísticos. Apesar desta análise se basear somente nos cenários apresentados nas referidas figuras, espera-se este comportamento nos outros cenários, pois, como o lucro esperado do modelo estocástico é maior do que o do determinístico e o resultado espere-e-veja é o melhor resultado possível de se encontrar, deduz-se que na maior parte dos cenários, ou naqueles de maior probabilidade, os valores da variável de primeiro estágio do resultado espere-e-veja estão mais próximos do modelo estocástico do que os do determinístico.

6.3.6

Resumo das análises dos resultados

A cadeia logística representada no âmbito do planejamento tático mostrou-se apresentar variação com relação ao valor ótimo da função objetivo e valores das variáveis quando as incertezas do processo foram consideradas.

Foi analisado o caso de uma grande *trading* no Brasil do mercado de soja, considerando as incertezas de quatro parâmetros do processo: preço de compra e venda de soja em grão, demanda externa de soja em grão e quebra de safra.

Foram analisados o desempenho computacional e a coerência com a realidade do processo, foram feitas as análises dos resultados comparativas entre as soluções estocástica, espere-e-veja e determinística, e dos indicadores dos ganhos de se utilizar o modelo estocástico.

O ganho esperado em se utilizar o modelo estocástico é de R\$ 9,5 milhões. Para obter este ganho esperado observou-se que o modelo “protege” o embarcador quando os cenários são pessimistas, minimizando as perdas.

O modelo, além disso, contempla as fases da cadeia logística do complexo soja, indicando o que fazer em cada cenário para alcançar o melhor retorno, isto é, quando, quanto e de onde comprar soja em grão, por onde transportar e de qual maneira, quanto, quando e onde processar e estocar, e quanto, quando e por onde vender os processados e a soja em grão. O fato de não ter sido encontrado na literatura nenhum modelo de planejamento tático para a cadeia de soja e este modelo ter apresentado bom desempenho computacional, agrega a este modelo grande importância para esta cadeia logística neste nível de planejamento.

Outro grande ganho relacionado ao modelo estocástico está na diversidade de análises que podem ser realizadas através dos resultados. As análises dos resultados para cada cenário, ou para um conjunto deles, permite ao embarcador visualizar o que realmente impacta o seu processo, diminuindo o desperdício de esforço em situações menos importantes.

Assim, a inclusão de incertezas em um modelo de planejamento tático da cadeia integrada do complexo soja altera a decisão inicial do embarcador com relação a contratação com antecedência do transporte ferroviário, rodoviário e soja em grão, o que implica em menos perdas, em muitos cenários pessimistas, maiores retornos em cenários otimistas e traz um aumento esperado de R\$ 9.459.390 no lucro do processo.

7

CONCLUSÕES GERAIS E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo estocástico para o planejamento tático da cadeia logística do complexo soja considerando as incertezas associadas aos preços de compra e venda da soja em grão, a demanda externa da soja em grão e a quebra de safra. Inicialmente foi apresentada uma breve discussão sobre a situação atual do mercado da soja e da carência de publicações na área de planejamento da cadeia logística da soja, com o intuito de contextualizar o leitor sobre a realidade do problema tratado por esta tese.

Como motivações deste trabalho foram apresentadas a relevância do mercado da soja, a importância da realização de planejamento da cadeia logística e a constatação, tendo como base a pesquisa realizada, de que até o momento não havia na literatura nenhum modelo de otimização estocástica, para nenhum nível de planejamento, contemplando as diversas etapas da cadeia logística da soja.

As incertezas presentes na cadeia logística da soja e a necessidade da tomada de decisões antes do acontecimento das incertezas conduziram para a construção de um modelo de programação estocástica de dois estágios com estrutura de recurso fixo. A necessidade da modelagem de fatores intrínsecos do processo, como os contratos de *Take or Pay* e a possibilidade de quebra de safra, permitiu a construção de um modelo com características ainda não vistas no ambiente científico.

Desta forma esta tese trouxe como contribuições científicas os seguintes aspectos:

- Um modelo matemático estocástico para otimização da cadeia logística de grãos sob o ponto de vista do embarcador;
- A modelagem e incorporação no modelo matemático do fenômeno da quebra de safra e seus efeitos;

- A modelagem e incorporação no modelo matemático dos contratos *Take or Pay* nos transportes rodoviário e ferroviário e multas para o não cumprimento dos mesmos.

Neste sentido, este trabalho apresentou um modelo de programação estocástica de dois estágios com estrutura de recurso fixo para o planejamento tático da cadeia da soja, sob o ponto de vista do embarcador.

A partir da análise dos parâmetros que influenciam o complexo soja foram gerados cenários com as devidas probabilidades de ocorrência.

O modelo foi utilizado considerando uma instância complexa com a probabilidade de ocorrência de 243 cenários, e obteve bom desempenho computacional. De acordo com as análises dos resultados foi verificado que o modelo produziu resultados consistentes. O modelo poderá ser utilizado como uma ferramenta de apoio à decisão, sendo incorporado no processo de planejamento tático.

Os resultados desta tese foram avaliados utilizando também o modelo equivalente determinístico e foram apresentados com um elevado nível de detalhe permitindo uma boa avaliação do modelo proposto. O modelo estocástico apresentou ganhos mais próximos dos resultados das soluções do tipo espere-e-veja do que o modelo determinístico. Com relação aos parâmetros considerados estocásticos, os resultados mostraram que as variações dos parâmetros preços de compra e venda de soja em grão foram as mais impactantes. O ganho esperado por se utilizar o modelo estocástico foi de R\$ 9.459.390.

O modelo estocástico desenvolvido nesta tese apoia a tomada de decisão do embarcador com relação às decisões iniciais que necessitam ser decididas antes do acontecimento das incertezas, permite verificar o impacto de cada cenário na condução da cadeia logística e mostra quais as decisões ótimas a serem tomadas frente à ocorrência de cada um dos cenários. Além disso, o modelo também poderá ser utilizado para outras *commodities* agrícolas que apresentam semelhança com processo logístico da soja, ou também para a análise de duas ou mais cadeias logísticas de *commodities* agrícolas que sejam conduzidas paralelamente, compartilhando a mesma estrutura logística do embarcador. Partes do modelo também poderão ser utilizadas para outras

culturas agrícolas, como a modelagem da quebra de safra e dos contratos de *Take or Pay*.

A importância do mercado da soja para a economia do país indica que a condução deste complexo deve ser feita baseada em planejamentos, apoiados em ferramentas de otimização. As inúmeras incertezas que envolvem este setor o caracterizam como um processo estocástico em que as diversas probabilidades de acontecimentos devem ser consideradas, deixando clara a importância de se adotar um modelo de planejamento que permita avaliar o impacto dos parâmetros incertos.

7.1

Sugestões para Pesquisas Futuras

Sugere-se como temas de futuros trabalhos a elaboração de modelos estocásticos para o nível estratégico e operacional da cadeia logística da soja. O nível operacional da cadeia logística da soja é muito complexo e podem ser necessários vários modelos de planejamento a fim de otimizar de modo eficaz cada parte do processo. O fator incerto chuva, embora muito difícil de ser previsto, impacta muito negativamente a condução desta cadeia integrada, e seria muito útil inseri-lo nos modelos de planejamento operacional.

Sugere-se a inserção neste modelo das possibilidades de falhas das transportadoras, tanto da ferrovia quanto da rodovia, utilizando fonte confiável de dados.

Sugere-se um estudo da correlação dos parâmetros preço de compra, preço de venda e demanda da cadeia logística da soja.

Sugere-se ainda um estudo de caso com a inclusão de impostos presentes na cadeia logística da soja, principalmente os relacionados ao transporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIOVE- Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais -. **Complexo Soja- Exportações**. Disponível em: <www.abiove.com.br/exporta_br.html> Último acesso em: 02/07/2012, 2012.

ADESINA, A.A.; SANDERS, J.H. **Peasant farmer behavior and cereal technologies: Stochastic programming analysis in Niger**. *Agricultural Economics* 5, p. 21-38, 1991.

AHUMADA, O.; VILLALOBOS, R. **Application of planning models in the agri-food supply chain: A Review**. *European Journal of Operational Research* 195, 2009.

AHUMADA, O.; VILLALOBOS, R.; Mason, A.N. **Tactical planning of the production and distribution of fresh agricultural products under uncertainty**. *Agricultural Systems* 112, p. 17-26, 2012.

APAIAH, R.K., HENDRIX, E.M.T. **Design of supply chain network for a pea-based novel protein foods**. *Journal of Food Engineering* 70, p. 383-391, 2005.

ARNOLD, J.; MINNER, S. **Financial and operational instruments for commodity procurement in quantity competition**. *Int. J. Production Economics* 131, p. 96-106, 2011.

BALLOU, R.H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. 5 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2006.

BARROS, M.; LOBO, A. **Panorama das ferrovias brasileiras**. ILOS- Instituto de Logística e Supply Chain., 2009.

BARROS, G.S.C.; MARQUES, P.V.; BACCHI, M.R.P.; CAFFAGNI, L.C. **Elaboração de indicadores de preços da soja: um estudo preliminar**. Piracicaba: ESALQ, 1997.

BASHIRI, M.; BADRI, H.; TALEBI, J. **A new approach to tactical and strategic planning in production–distribution networks**. *Applied Mathematical Modelling* 36, p. 1703-1717, 2012.

BEALE, E. **On minizing a convex function subject to linear inequalities**. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, v. 17, n. 2, p. 173-184, 1955.

BIN DERIS, S.; OHTA, H. **A machine-scheduling model for large-scale rice production in Malaysia**. *Journal of the Operational Research Society* 41 (8), p. 713-723, 1990.

BIRGE, J.; LOUVEAUX, F. **Introduction to Stochastic Programming**: Springer, 2011.

BIZERRA, R.C.; FORMIGONI, A.; MONTEIRO, R.; LELIS, E.C.; RODRIGUES, E.F.; **A Logística do Mercado Brasileiro Exportador de Soja**. VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2010.

BERNARDO, L.T.; QUEIROZ, A.M.; **A elasticidade-preço da demanda e a elasticidade-preço da oferta nas commodities agrícolas milho e soja no Brasil**. *Revista Eletrônica de Economia da Universidade Estadual de Goiás*, Anápolis, v. 7, n. 2, p. 48-65, 2011.

CAIXETA-FILHO, J.V. **Orange harvesting scheduling management: A case study**. *Journal of the Operational Research Society* 57 (6), p. 637-642, 2006.

CASEY, M.S.; SEN, S. **The Scenario Generation Algorithm for Multistage Stochastic Linear Programming**. *Mathematics of Operations Research*, v. 30, n. 3, p. 615-631, 2005.

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - **Projeto de pesquisa. Desenvolvimento metodológico e cálculo do PIB das cadeias produtivas do algodão, cana-deaçúcar, soja, pecuária de corte e leite no Brasil** Esalq/Usp. Disponível em: www.cepea.esalq.usp.br. Último acesso: 27/05/2012, 2011.

CHARNES, A.; COOPER, W. **Chance-constrained programming**. *Management Science*, v. 6, n. 1, p. 73-79. 1959.

CHOPRA, S., MEINDL, P. **Gestão da Cadeia de Suprimentos**, Pearson, São Paulo, 2010.

COELI, C.C.M.; **Análise da Demanda Por Transporte Ferroviário: O caso do Transporte de Grãos e Farelos de Soja na Ferronorte**. Dissertação de Mestrado. Coppead. UFRJ. Rio de Janeiro, 2004.

CONAB- **Companhia Nacional de Abastecimento**. http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_11_16_41_03_pr_ospeccao_12_13.pdf <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 12 de setembro de 2013.

CRAINIC, T.G. **A Survey of optimization Models for Long- Haul Freight Transportation**- - Département des sciences administrative. Université du Québec au Montréal. 1998.

CRAINIC, T.G.; LAPORTE, G.; **Planning models for freight transportation**. *European Journal of Operational Research* 97, p. 409-438, 1997.

CRAINIC, T.G.; KIM, K.H. **Intermodal Transportation**. Chapter 8. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, vol. 14, p. 467-537. Transportation, 2007.

DANTZIG, G. **Linear Programming Under Uncertainty.** *Management Science*, v. 50, n. 12 Supplement, p. 1764-1769, 1955.

DAVIS, M.M.; AQUILANO, N.J.; CHASE, R.B. **Fundamentos da administração da produção.** 3º edição. Porto Alegre. Bookman, 2001.

DANTZIG, G.; INFANGER, G. **Large-scale stochastic linear programs-importance sampling and Benders decomposition.** *Computational and Applied Mathematics*, p. 111-120, 1991.

DEMPSTER, M.A.H.; THOMPSON, R.T. **EVPI- based importance sampling solution procedures for multistage stochastic linear programmes on parallel.** *Annals of Operations Research*, v. 90, p. 161-184, 1999.

DI DOMENICA, N.; MITRA, G.; VALENTE, P.; BIRBILIS, G. **Stochastic programming and scenario generation within a simulation framework: An information systems perspective.** *Decision Support Systems* 42, p. 2197-2218, 2007.

DUPAČOVÁ, J.; GRÖWE-KUSKA, N.; RÖMISCH, W. **Scenario reduction in stochastic programming.** *Mathematical Programming*, v. 95, p. 493-511, 2003.

EMBRAPA- **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária** - Soja em números (safra 2008/2009 e safra 2010/2011). Disponível em:<www.cnpso.embrapa.br > Acesso em: 07 de julho de 2012

ESCUADERO, L.F.; QUINTANA, F.J.; SALMERÓN, J. **CORO, a modeling and an algorithmic framework for oil supply, transformation and distribution optimization under uncertainty.** *European Journal of Operational Research* 114, p. 638±65, 1999.

FLEURY, P. **A Infraestrutura e os Desafios Logísticos das Exportações Brasileiras.** ILOS- Instituto de Logística e Supply Chain, 2005.

—————. **Gestão Estratégica de Transportes.** ILOS- Instituto de Logística e Supply Chain., 2002.

GAVIRNENI, S. **Periodic review inventory control with fluctuating purchasing costs.** *Operations Research Letters* 32, p. 374-379, 2004.

GIEMBINSKY, R.C. **Competitividade e Preços do Complexo Soja no Brasil.** Dissertação Mestrado. Instituto de Economia. Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2006.

GIGLER, J.K.; HENDRIX, E.M.T.; HEESSEN, R.A.; VAN DEN HAZELKAMP, V.G.W.; MEERDINK, G. **On optimization of agri chains by dynamic programming.** *European Journal of Operational Research* 139, p. 613-625, 2002.

GOLABI, K. **Optimal inventory policies when ordering prices are random.** *Operations Research* 33(3), p. 575-588, 1985.

GUPTA, A.; MARANAS, C.D. **Managing demand uncertainty in supply chain planning.** *Computers and Chemical Engineering*, v. 24, p. 2613-2621, 2003.

HEITSCH, H.; RÖMISCH, W. **Scenario tree modelling for multistage stochastic programs.** Technical Report Preprint 296, DFG Research Center MATHEON, Mathematics for key technologies, Technische Universität Berlin, Germany, 2005.

HIGGINS, A.J. **Australian sugar mills optimize harvester roster to improve production.** *Interfaces* 32(3), p. 15-26, 2002.

HIGGINS, A.J.; MUCHOW, R.C.; RUDD, A.V.; FORD, A.W. **Optimising harvest date in sugar production: A case study for the Mossman mill region in Australia.** *Field Crops Research* 57, p. 153-162, 1998.

HIJJAR, M.F. **Logística, soja e comércio internacional.** ILOS- Instituto de Logística e Supply Chain, 2004.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia Econômica e Análise de Custos,** Editora Atlas, São Paulo, Brasil, 2000.

HØYLAND, K.; WALLACE, S.W. **Generating scenario trees for multistage decision problems.** *Management Science*, v. 47, n. 2, p. 295-307, 2001.

HØYLAND, K.; KAUT, M.; WALLACE, S.W. **A heuristic for moment-matching scenario generation.** *Computational Optimization and Applications*, v. 24, n. 2-3, p. 169-185, 2003.

IBGE- **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-** Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/> Último acesso: 16/03/2013, 2012.

IMEA- **Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária.** Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/> Último acesso: 08/12/2013, 2013.

JIAO, Z.; HIGGINS, A.J.; PRESTWIDGE, D.B. **An integrated statistical and optimization approach to increasing sugar production within a mill region.** *Computers and Electronics in Agriculture* 48, p. 170-181, 2005.

HIGLE, J.L.; SEN, S. **Stochastic decomposition: A statistical method for large scale stochastic linear programming.** *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht, 1996.

JONES, P.C., LOWE, T.J., TRAUB, R. **Optimal Sequential Grain Marketing Decisions under Risk Aversion and Price Uncertainty.** *Managing the seed-corn supply chain at Sygenta*, *Interfaces* 33 (1), p. 80-90, 2003.

JUDICE, A.C. **Análise de um terminal intermodal como alternativa para o escoamento de açúcar a granel entre o interior de São Paulo e o Porto de Santos.** Dissertação de mestrado profissional - PUC-Rio, 2008.

JUNIOR, D.J.A. **O problema de corte de estoque com demanda estocástica.** Dissertação de Mestrado- Instituto de Ciências Matemática e de Computação-ICMC-USP. São Carlos, 2006.

JUNQUEIRA, R.A.R.; MORABITO, R. **Um modelo de otimização linear para o planejamento agregado da produção e logística de sementes de milho.** *Produção*, v. 16, n. 3, p. 510-525, 2006.

———. **Planejamento otimizado da produção e logística de empresas produtoras de sementes de milho: um estudo de caso.** *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 15, n. 2, p. 367-380, 2008.

KAISER, H.M.; RIHA, S.J; WILKS, D.S.; ROSSITER, D.G.; SAMPATH, R. **A farm-level analysis of economic and agronomic impacts of gradual climate warming.** *American Journal of Agricultural Economics* 75, p. 387-398, 1993.

KAUT, M. **Scenario Generation for Stochastic Programming.** A Practical Introduction. *Molde University College. Stochastics in Logistics and Transportation*, Håholmen, June 10-12, 2006.

KAUT, M.; WALLACE, S.W. **Evaluation of scenario-generation methods for stochastic programming.** Stochastic Programming E-Print Series, <http://edoc.hu-berlin.de/browsing/speps/>, 2003.

KEEFER, D.L. **Certainty Equivalent for Three-point Discrete-distribution Approximations.** *Inform Management Science*, v. 40, n. 6, pp. 760-773, 1994.

KEEFER, D.L.; BODILY, S.E. **Three-Point Approximations for Continuous Random Variables.** *Management Science*, v. 29, n. 5, p. 595-609, 1983.

KOUWENBERG, R. **Scenario Generation and Stochastic Programming Models for Asset Liability Management.** *European Journal of Operations Research*, v. 134, p. 279-292, 2001.

KUHN, D. **Aggregation and Discretization in Multistage Stochastic Programming.** *Mathematical Programming*, v. 113, p. 61-94, 2008.

LIEN, G.; HARDAKER, J.B.; **Whole farm planning under uncertainty: Impacts of subsidy scheme and utility function on portfolio choice in Norwegian agriculture.** *European Review of Agricultural Economics* 28 (1), p. 17-36, 2001.

LISTE, O. **A generic stochastic model for supply-and-return network design.** *Computers & Operations Research* 34, p. 417-442, 2007.

MAATMAN, A.; SCHWEIGMAN, C.; RUIJS, A. VAN DER VLERK, M.H. **Modeling farmer's response to uncertain rain fall in Burkina Faso: A stochastic programming approach.** *Operations Research* 50 (3), p. 399-414, 2002.

MANIKAS, A.; CHANG, Y.; FERGUSON, M. **BlueLinx can benefit from innovative inventory management methods for commodity forward buys.** *Omega* 37, p. 545-554, 2009.

MORAES, M. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz Queiroz", Universidade de São Paulo, 2002.

MITCHELL, R.B.; TYDEMAN J.; CURNOW, R. **Scenario Generation: Limitations and developments in cross-impact analysis.** *Futures*, 1977.

MDIC- Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior <http://www.mdic.gov.br>- Último acesso em: 16/03/2012, 2012.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja>- Último acesso em 06/08/2013, 2012.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. PNLT. **Plano Nacional de Logística e Transporte.** Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/public/arquivo/arq1352743917.pdf> Brasília.2012.

MEREGE, A.A; ASSUMPÇÃO, M.R.P. **Logística para exportação da soja paranaense.** *ENEGEP*, 2002.

MURIEL, A.; SIMCHI-LEVI, D. **Supply Chain Design and Planning: Applications of Optimization Techniques for Strategic and Tactical Models.** Chapter 2. Handbooks in OR & MS, vol. 11. Elsevier B.V, 2003

NETO, J.B. **Um modelo markoviano de decisão na comercialização de produtos agrícolas – o caso da soja.** Tese de Doutorado em Engenharia. Universidade federal de Santa Catarina, 1998.

NICKEL, S.; SALDANHA-DA-GAMA, F.; ZIEGLER, H. **A multi-stage stochastic supply network design problem with financial decisions and risk management.** *Omega* 40, p. 511-524, 2012.

NOGUEIRA, J.S.; TSUNECHIRO, A. **Pontos críticos da armazenagem de grãos no Brasil.** *Análises e Indicadores do Agronegócio*, São Paulo, 20/04, 2011.

OJIMA, A.L.R.O. **Análise da movimentação logística e competitividade da soja brasileira: uma aplicação de um modelo de equilíbrio espacial de programação quadrática.** Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (FEEC-UNICAMP) , 2004.

OLIVEIRA, A.L.R. **Perfil da logística de transporte de soja no Brasil.** *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 17-25, 2006.

PAULA, S.R.; FILHO, P.F. **Panorama do Complexo Soja.** *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n.8, p. 119-152,1998.

PEARSON, E.S.; TUKEY, J.W. **Approximate Means and Standard Deviations Based on Distances Between Percentage Points of Frequency Curves.** *Biometrika*, v. 52, n. 3-4, p. 533-546, 1965.

PFLUG, G.C. **Scenario tree generation for multiperiod financial optimization by optimal discretization.** *Mathematical Programming*, v. 89, p. 251-271, 2001.

PINHEIRO, J.I.D.; CUNHA, S.B.; CARVAJAL, S.R.; GOMES, G.C. **Estatística Básica, A Arte de Trabalhar com Dados.** Campus, Rio de Janeiro, 2009.

RECIO, B.; RUBIO, F.; CRIADO, J.A. **A decision support system for farm planning using AgriSupport II.** *Decision Support Systems* 36 (2), p. 189-203, 2003.

RIBAS, G.; **Modelo de Programação Estocástica para o Planejamento Estratégico da Cadeia Integrada de Petróleo.** Dissertação de Mestrado. PUC-Rio, 2008.

SAHINIDIS, N.V.; **Optimization under uncertainty: state-of-the-art and opportunities.** *Computers and Chemical Engineering* 28, p. 971-983, 2004.

SANTOS, A.M.D. **A Evolução dos Preços Agrícolas e as Bolsas de Mercadorias e Futuros: Um estudo para o mercado da soja em grão, farelo e óleo no Brasil (1995-2002).** Dissertação Mestrado. Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SANTOSO, T.; AHMED, S.; GOETSCHALCKX, M.; SHAPIRO, A. **A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty.** *European Journal of Operational Research* 167, p. 96-115, 2005.

SCHILIZZI, S.G.M.; KINGWELL, R.S. **Effects of climatic and price uncertainty on the value of legume crops in a Mediterranean-type environment.** *Agricultural Systems* 60, p. 55-69, 1999.

SHOBRYD, D.; WHITE, D. **Planning, scheduling and control systems: why can they not work together.** *Computers and Chemical Engineering*, v. 24, p. 163-173, 2000.

SLACK, N.; STUART, C.; CHRISTINE, H.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** São Paulo, Atlas, 1997.

SOUZA, R.C.; CAMARGO, M.E. **Análise e previsão de séries temporais: os modelos ARIMA.** Ijuí, SEDIGRAF, 2004.

SWAMINATHAN, J.M.; TAYUR, S.R. **Tactical Planning Models for Supply Chain Management**, Chapter 8, *Handbooks in OR & MS*, Vol. 11, Elsevier B.V, 2003

TAN, B.; ÇOMDEN, N. **Agricultural planning of annual plants under demand, maturation, harvest, and yield risk.** *European Journal of Operational Research* 220, p. 539-549, 2012.

TORKAMANI, J. **Using whole-farm modeling approach to assess prospective technologies under uncertainty.** *Agricultural Systems*, p. 138-154, 2005.

TUROFF, M. **An Alternative Approach to Cross Impact Analysis.** *Technological Forecasting and Social Change*, v. 3, 1972.

VISAGIE, S.E., DE KOCK, H.C., GHEBRETSADIK, A.H. **Optimising an integrated crop-livestock farm using risk programming.** *Operations Research Society of South Africa* 20, v. 1, p. 29-54, 2004.

ZAINO, N.A.; D'ERRICO. J. **Optimal Discrete Approximations for Continuous Outcomes with Applications in Decision and Risk Analysis.** *Operational Research Society*, v. 40, p. 379-388, 1989.

USDA - United States Department of Agriculture- Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. World Agricultural Supply and Demand Estimates (August 12, 2013). Disponível em <<http://www.usda.gov>> Último acesso em: 12/09/2013, 2013.

APÊNDICE A

Tabela 6- Cenários utilizados

Cenário	Preço Compra	Safra1 (PR e RS)	Safra2 (MT e GO)	Preço Venda	Demanda	Probabilidade do Cenário
1	Otimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,0216700%
2	Otimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,0737951%
3	Otimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,0216700%
4	Otimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,0737951%
5	Otimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	Conservador	0,2513022%
6	Otimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	Otimista	0,0737951%
7	Otimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,0216700%
8	Otimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	Conservador	0,0737951%
9	Otimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	Otimista	0,0216700%
10	Otimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,0737951%
11	Otimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	Conservador	0,2513022%
12	Otimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	Otimista	0,0737951%
13	Otimista	Pessimista	Conservador	Conservador	Pessimista	0,2513022%
14	Otimista	Pessimista	Conservador	Conservador	Conservador	0,8557859%
15	Otimista	Pessimista	Conservador	Conservador	Otimista	0,2513022%
16	Otimista	Pessimista	Conservador	Otimista	Pessimista	0,0737951%
17	Otimista	Pessimista	Conservador	Otimista	Conservador	0,2513022%
18	Otimista	Pessimista	Conservador	Otimista	Otimista	0,0737951%
19	Otimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,0216700%
20	Otimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	Conservador	0,0737951%
21	Otimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	Otimista	0,0216700%
22	Otimista	Pessimista	Otimista	Conservador	Pessimista	0,0737951%
23	Otimista	Pessimista	Otimista	Conservador	Conservador	0,2513022%
24	Otimista	Pessimista	Otimista	Conservador	Otimista	0,0737951%
25	Otimista	Pessimista	Otimista	Otimista	Pessimista	0,0216700%
26	Otimista	Pessimista	Otimista	Otimista	Conservador	0,0737951%
27	Otimista	Pessimista	Otimista	Otimista	Otimista	0,0216700%
28	Otimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,0737951%
29	Otimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,2513022%
30	Otimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,0737951%
31	Otimista	Conservador	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,2513022%
32	Otimista	Conservador	Pessimista	Conservador	Conservador	0,8557859%
33	Otimista	Conservador	Pessimista	Conservador	Otimista	0,2513022%
34	Otimista	Conservador	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,0737951%
35	Otimista	Conservador	Pessimista	Otimista	Conservador	0,2513022%
36	Otimista	Conservador	Pessimista	Otimista	Otimista	0,0737951%
37	Otimista	Conservador	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,2513022%

38	Otimista	Conservador	Conservador	Pessimista	Conservador	0,8557859%
39	Otimista	Conservador	Conservador	Pessimista	Otimista	0,2513022%
40	Otimista	Conservador	Conservador	Conservador	Pessimista	0,8557859%
41	Otimista	Conservador	Conservador	Conservador	Conservador	2,9142978%
42	Otimista	Conservador	Conservador	Conservador	Otimista	0,8557859%
43	Otimista	Conservador	Conservador	Otimista	Pessimista	0,2513022%
44	Otimista	Conservador	Conservador	Otimista	Conservador	0,8557859%
45	Otimista	Conservador	Conservador	Otimista	Otimista	0,2513022%
46	Otimista	Conservador	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,0737951%
47	Otimista	Conservador	Otimista	Pessimista	Conservador	0,2513022%
48	Otimista	Conservador	Otimista	Pessimista	Otimista	0,0737951%
49	Otimista	Conservador	Otimista	Conservador	Pessimista	0,2513022%
50	Otimista	Conservador	Otimista	Conservador	Conservador	0,8557859%
51	Otimista	Conservador	Otimista	Conservador	Otimista	0,2513022%
52	Otimista	Conservador	Otimista	Otimista	Pessimista	0,0737951%
53	Otimista	Conservador	Otimista	Otimista	Conservador	0,2513022%
54	Otimista	Conservador	Otimista	Otimista	Otimista	0,0737951%
55	Otimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,0216700%
56	Otimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,0737951%
57	Otimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,0216700%
58	Otimista	Otimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,0737951%
59	Otimista	Otimista	Pessimista	Conservador	Conservador	0,2513022%
60	Otimista	Otimista	Pessimista	Conservador	Otimista	0,0737951%
61	Otimista	Otimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,0216700%
62	Otimista	Otimista	Pessimista	Otimista	Conservador	0,0737951%
63	Otimista	Otimista	Pessimista	Otimista	Otimista	0,0216700%
64	Otimista	Otimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,0737951%
65	Otimista	Otimista	Conservador	Pessimista	Conservador	0,2513022%
66	Otimista	Otimista	Conservador	Pessimista	Otimista	0,0737951%
67	Otimista	Otimista	Conservador	Conservador	Pessimista	0,2513022%
68	Otimista	Otimista	Conservador	Conservador	Conservador	0,8557859%
69	Otimista	Otimista	Conservador	Conservador	Otimista	0,2513022%
70	Otimista	Otimista	Conservador	Otimista	Pessimista	0,0737951%
71	Otimista	Otimista	Conservador	Otimista	Conservador	0,2513022%
72	Otimista	Otimista	Conservador	Otimista	Otimista	0,0737951%
73	Otimista	Otimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,0216700%
74	Otimista	Otimista	Otimista	Pessimista	Conservador	0,0737951%
75	Otimista	Otimista	Otimista	Pessimista	Otimista	0,0216700%
76	Otimista	Otimista	Otimista	Conservador	Pessimista	0,0737951%
77	Otimista	Otimista	Otimista	Conservador	Conservador	0,2513022%
78	Otimista	Otimista	Otimista	Conservador	Otimista	0,0737951%
79	Otimista	Otimista	Otimista	Otimista	Pessimista	0,0216700%
80	Otimista	Otimista	Otimista	Otimista	Conservador	0,0737951%
81	Otimista	Otimista	Otimista	Otimista	Otimista	0,0216700%
82	Conservador	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,0737951%

83	Conservador	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,2513022%
84	Conservador	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,0737951%
85	Conservador	Pessimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,2513022%
86	Conservador	Pessimista	Pessimista	Conservador	Conservador	0,8557859%
87	Conservador	Pessimista	Pessimista	Conservador	Otimista	0,2513022%
88	Conservador	Pessimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,0737951%
89	Conservador	Pessimista	Pessimista	Otimista	Conservador	0,2513022%
90	Conservador	Pessimista	Pessimista	Otimista	Otimista	0,0737951%
91	Conservador	Pessimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,2513022%
92	Conservador	Pessimista	Conservador	Pessimista	Conservador	0,8557859%
93	Conservador	Pessimista	Conservador	Pessimista	Otimista	0,2513022%
94	Conservador	Pessimista	Conservador	Conservador	Pessimista	0,8557859%
95	Conservador	Pessimista	Conservador	Conservador	Conservador	2,9142978%
96	Conservador	Pessimista	Conservador	Conservador	Otimista	0,8557859%
97	Conservador	Pessimista	Conservador	Otimista	Pessimista	0,2513022%
98	Conservador	Pessimista	Conservador	Otimista	Conservador	0,8557859%
99	Conservador	Pessimista	Conservador	Otimista	Otimista	0,2513022%
100	Conservador	Pessimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,0737951%
101	Conservador	Pessimista	Otimista	Pessimista	Conservador	0,2513022%
102	Conservador	Pessimista	Otimista	Pessimista	Otimista	0,0737951%
103	Conservador	Pessimista	Otimista	Conservador	Pessimista	0,2513022%
104	Conservador	Pessimista	Otimista	Conservador	Conservador	0,8557859%
105	Conservador	Pessimista	Otimista	Conservador	Otimista	0,2513022%
106	Conservador	Pessimista	Otimista	Otimista	Pessimista	0,0737951%
107	Conservador	Pessimista	Otimista	Otimista	Conservador	0,2513022%
108	Conservador	Pessimista	Otimista	Otimista	Otimista	0,0737951%
109	Conservador	Conservador	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,2513022%
110	Conservador	Conservador	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,8557859%
111	Conservador	Conservador	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,2513022%
112	Conservador	Conservador	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,8557859%
113	Conservador	Conservador	Pessimista	Conservador	Conservador	2,9142978%
114	Conservador	Conservador	Pessimista	Conservador	Otimista	0,8557859%
115	Conservador	Conservador	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,2513022%
116	Conservador	Conservador	Pessimista	Otimista	Conservador	0,8557859%
117	Conservador	Conservador	Pessimista	Otimista	Otimista	0,2513022%
118	Conservador	Conservador	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,8557859%
119	Conservador	Conservador	Conservador	Pessimista	Conservador	2,9142978%
120	Conservador	Conservador	Conservador	Pessimista	Otimista	0,8557859%
121	Conservador	Conservador	Conservador	Conservador	Pessimista	2,9142978%
122	Conservador	Conservador	Conservador	Conservador	Conservador	9,9243654%
123	Conservador	Conservador	Conservador	Conservador	Otimista	2,9142978%
124	Conservador	Conservador	Conservador	Otimista	Pessimista	0,8557859%
125	Conservador	Conservador	Conservador	Otimista	Conservador	2,9142978%
126	Conservador	Conservador	Conservador	Otimista	Otimista	0,8557859%
127	Conservador	Conservador	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,2513022%

128	Conservador	Conservador	Otimista	Pessimista	Conservador	0,8557859%
129	Conservador	Conservador	Otimista	Pessimista	Otimista	0,2513022%
130	Conservador	Conservador	Otimista	Conservador	Pessimista	0,8557859%
131	Conservador	Conservador	Otimista	Conservador	Conservador	2,9142978%
132	Conservador	Conservador	Otimista	Conservador	Otimista	0,8557859%
133	Conservador	Conservador	Otimista	Otimista	Pessimista	0,2513022%
134	Conservador	Conservador	Otimista	Otimista	Conservador	0,8557859%
135	Conservador	Conservador	Otimista	Otimista	Otimista	0,2513022%
136	Conservador	Otimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,0737951%
137	Conservador	Otimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,2513022%
138	Conservador	Otimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,0737951%
139	Conservador	Otimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,2513022%
140	Conservador	Otimista	Pessimista	Conservador	Conservador	0,8557859%
141	Conservador	Otimista	Pessimista	Conservador	Otimista	0,2513022%
142	Conservador	Otimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,0737951%
143	Conservador	Otimista	Pessimista	Otimista	Conservador	0,2513022%
144	Conservador	Otimista	Pessimista	Otimista	Otimista	0,0737951%
145	Conservador	Otimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,2513022%
146	Conservador	Otimista	Conservador	Pessimista	Conservador	0,8557859%
147	Conservador	Otimista	Conservador	Pessimista	Otimista	0,2513022%
148	Conservador	Otimista	Conservador	Conservador	Pessimista	0,8557859%
149	Conservador	Otimista	Conservador	Conservador	Conservador	2,9142978%
150	Conservador	Otimista	Conservador	Conservador	Otimista	0,8557859%
151	Conservador	Otimista	Conservador	Otimista	Pessimista	0,2513022%
152	Conservador	Otimista	Conservador	Otimista	Conservador	0,8557859%
153	Conservador	Otimista	Conservador	Otimista	Otimista	0,2513022%
154	Conservador	Otimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,0737951%
155	Conservador	Otimista	Otimista	Pessimista	Conservador	0,2513022%
156	Conservador	Otimista	Otimista	Pessimista	Otimista	0,0737951%
157	Conservador	Otimista	Otimista	Conservador	Pessimista	0,2513022%
158	Conservador	Otimista	Otimista	Conservador	Conservador	0,8557859%
159	Conservador	Otimista	Otimista	Conservador	Otimista	0,2513022%
160	Conservador	Otimista	Otimista	Otimista	Pessimista	0,0737951%
161	Conservador	Otimista	Otimista	Otimista	Conservador	0,2513022%
162	Conservador	Otimista	Otimista	Otimista	Otimista	0,0737951%
163	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,0216700%
164	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,0737951%
165	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,0216700%
166	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,0737951%
167	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	Conservador	0,2513022%
168	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	Otimista	0,0737951%
169	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,0216700%
170	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	Conservador	0,0737951%
171	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	Otimista	0,0216700%
172	Pessimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,0737951%

173	Pessimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	Conservador	0,2513022%
174	Pessimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	Otimista	0,0737951%
175	Pessimista	Pessimista	Conservador	Conservador	Pessimista	0,2513022%
176	Pessimista	Pessimista	Conservador	Conservador	Conservador	0,8557859%
177	Pessimista	Pessimista	Conservador	Conservador	Otimista	0,2513022%
178	Pessimista	Pessimista	Conservador	Otimista	Pessimista	0,0737951%
179	Pessimista	Pessimista	Conservador	Otimista	Conservador	0,2513022%
180	Pessimista	Pessimista	Conservador	Otimista	Otimista	0,0737951%
181	Pessimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,0216700%
182	Pessimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	Conservador	0,0737951%
183	Pessimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	Otimista	0,0216700%
184	Pessimista	Pessimista	Otimista	Conservador	Pessimista	0,0737951%
185	Pessimista	Pessimista	Otimista	Conservador	Conservador	0,2513022%
186	Pessimista	Pessimista	Otimista	Conservador	Otimista	0,0737951%
187	Pessimista	Pessimista	Otimista	Otimista	Pessimista	0,0216700%
188	Pessimista	Pessimista	Otimista	Otimista	Conservador	0,0737951%
189	Pessimista	Pessimista	Otimista	Otimista	Otimista	0,0216700%
190	Pessimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,0737951%
191	Pessimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,2513022%
192	Pessimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,0737951%
193	Pessimista	Conservador	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,2513022%
194	Pessimista	Conservador	Pessimista	Conservador	Conservador	0,8557859%
195	Pessimista	Conservador	Pessimista	Conservador	Otimista	0,2513022%
196	Pessimista	Conservador	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,0737951%
197	Pessimista	Conservador	Pessimista	Otimista	Conservador	0,2513022%
198	Pessimista	Conservador	Pessimista	Otimista	Otimista	0,0737951%
199	Pessimista	Conservador	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,2513022%
200	Pessimista	Conservador	Conservador	Pessimista	Conservador	0,8557859%
201	Pessimista	Conservador	Conservador	Pessimista	Otimista	0,2513022%
202	Pessimista	Conservador	Conservador	Conservador	Pessimista	0,8557859%
203	Pessimista	Conservador	Conservador	Conservador	Conservador	2,9142978%
204	Pessimista	Conservador	Conservador	Conservador	Otimista	0,8557859%
205	Pessimista	Conservador	Conservador	Otimista	Pessimista	0,2513022%
206	Pessimista	Conservador	Conservador	Otimista	Conservador	0,8557859%
207	Pessimista	Conservador	Conservador	Otimista	Otimista	0,2513022%
208	Pessimista	Conservador	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,0737951%
209	Pessimista	Conservador	Otimista	Pessimista	Conservador	0,2513022%
210	Pessimista	Conservador	Otimista	Pessimista	Otimista	0,0737951%
211	Pessimista	Conservador	Otimista	Conservador	Pessimista	0,2513022%
212	Pessimista	Conservador	Otimista	Conservador	Conservador	0,8557859%
213	Pessimista	Conservador	Otimista	Conservador	Otimista	0,2513022%
214	Pessimista	Conservador	Otimista	Otimista	Pessimista	0,0737951%
215	Pessimista	Conservador	Otimista	Otimista	Conservador	0,2513022%
216	Pessimista	Conservador	Otimista	Otimista	Otimista	0,0737951%
217	Pessimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,0216700%

218	Pessimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,0737951%
219	Pessimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,0216700%
220	Pessimista	Otimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,0737951%
221	Pessimista	Otimista	Pessimista	Conservador	Conservador	0,2513022%
222	Pessimista	Otimista	Pessimista	Conservador	Otimista	0,0737951%
223	Pessimista	Otimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,0216700%
224	Pessimista	Otimista	Pessimista	Otimista	Conservador	0,0737951%
225	Pessimista	Otimista	Pessimista	Otimista	Otimista	0,0216700%
226	Pessimista	Otimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,0737951%
227	Pessimista	Otimista	Conservador	Pessimista	Conservador	0,2513022%
228	Pessimista	Otimista	Conservador	Pessimista	Otimista	0,0737951%
229	Pessimista	Otimista	Conservador	Conservador	Pessimista	0,2513022%
230	Pessimista	Otimista	Conservador	Conservador	Conservador	0,8557859%
231	Pessimista	Otimista	Conservador	Conservador	Otimista	0,2513022%
232	Pessimista	Otimista	Conservador	Otimista	Pessimista	0,0737951%
233	Pessimista	Otimista	Conservador	Otimista	Conservador	0,2513022%
234	Pessimista	Otimista	Conservador	Otimista	Otimista	0,0737951%
235	Pessimista	Otimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,0216700%
236	Pessimista	Otimista	Otimista	Pessimista	Conservador	0,0737951%
237	Pessimista	Otimista	Otimista	Pessimista	Otimista	0,0216700%
238	Pessimista	Otimista	Otimista	Conservador	Pessimista	0,0737951%
239	Pessimista	Otimista	Otimista	Conservador	Conservador	0,2513022%
240	Pessimista	Otimista	Otimista	Conservador	Otimista	0,0737951%
241	Pessimista	Otimista	Otimista	Otimista	Pessimista	0,0216700%
242	Pessimista	Otimista	Otimista	Otimista	Conservador	0,0737951%
243	Pessimista	Otimista	Otimista	Otimista	Otimista	0,0216700%

Tabela 7- Probabilidade de cada parâmetro estocástico.

Cenário	%Preço Compra	%Safra1 (PR e RS)	%Safra2 (MT e GO)	%Preço Venda	%Demanda	Probabilidade do Cenário
1	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
2	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
3	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
4	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
5	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	0,2513022%
6	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
7	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
8	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
9	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
10	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
11	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	0,2513022%
12	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
13	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	0,2513022%
14	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	63,0%	0,8557859%
15	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	0,2513022%
16	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
17	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	0,2513022%
18	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
19	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
20	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
21	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
22	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
23	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	0,2513022%
24	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
25	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
26	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
27	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
28	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
29	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
30	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
31	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
32	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	63,0%	0,8557859%
33	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
34	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
35	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
36	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
37	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
38	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	63,0%	0,8557859%
39	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
40	18,5%	63,0%	63,0%	63,0%	18,5%	0,8557859%
41	18,5%	63,0%	63,0%	63,0%	63,0%	2,9142978%

42	18,5%	63,0%	63,0%	63,0%	18,5%	0,8557859%
43	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
44	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	63,0%	0,8557859%
45	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
46	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
47	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
48	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
49	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
50	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	63,0%	0,8557859%
51	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
52	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
53	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
54	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
55	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
56	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
57	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
58	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
59	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	0,2513022%
60	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
61	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
62	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
63	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
64	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
65	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	0,2513022%
66	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
67	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	0,2513022%
68	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	63,0%	0,8557859%
69	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	0,2513022%
70	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
71	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	0,2513022%
72	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
73	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
74	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
75	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
76	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
77	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	0,2513022%
78	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
79	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
80	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
81	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
82	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
83	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
84	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
85	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
86	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	0,8557859%

87	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
88	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
89	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
90	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
91	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
92	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	0,8557859%
93	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
94	63,0%	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	0,8557859%
95	63,0%	18,5%	63,0%	63,0%	63,0%	2,9142978%
96	63,0%	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	0,8557859%
97	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
98	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	0,8557859%
99	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
100	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
101	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
102	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
103	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
104	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	0,8557859%
105	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
106	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
107	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
108	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
109	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,2513022%
110	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	0,8557859%
111	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,2513022%
112	63,0%	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	0,8557859%
113	63,0%	63,0%	18,5%	63,0%	63,0%	2,9142978%
114	63,0%	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	0,8557859%
115	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,2513022%
116	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	0,8557859%
117	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,2513022%
118	63,0%	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	0,8557859%
119	63,0%	63,0%	63,0%	18,5%	63,0%	2,9142978%
120	63,0%	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	0,8557859%
121	63,0%	63,0%	63,0%	63,0%	18,5%	2,9142978%
122	63,0%	63,0%	63,0%	63,0%	63,0%	9,9243654%
123	63,0%	63,0%	63,0%	63,0%	18,5%	2,9142978%
124	63,0%	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	0,8557859%
125	63,0%	63,0%	63,0%	18,5%	63,0%	2,9142978%
126	63,0%	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	0,8557859%
127	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,2513022%
128	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	0,8557859%
129	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,2513022%
130	63,0%	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	0,8557859%
131	63,0%	63,0%	18,5%	63,0%	63,0%	2,9142978%

132	63,0%	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	0,8557859%
133	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,2513022%
134	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	0,8557859%
135	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,2513022%
136	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
137	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
138	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
139	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
140	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	0,8557859%
141	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
142	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
143	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
144	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
145	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
146	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	0,8557859%
147	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
148	63,0%	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	0,8557859%
149	63,0%	18,5%	63,0%	63,0%	63,0%	2,9142978%
150	63,0%	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	0,8557859%
151	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
152	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	0,8557859%
153	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
154	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
155	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
156	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
157	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
158	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	0,8557859%
159	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
160	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
161	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
162	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
163	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
164	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
165	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
166	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
167	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	0,2513022%
168	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
169	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
170	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
171	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
172	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
173	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	0,2513022%
174	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
175	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	0,2513022%
176	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	63,0%	0,8557859%

177	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	0,2513022%
178	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
179	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	0,2513022%
180	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
181	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
182	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
183	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
184	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
185	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	0,2513022%
186	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
187	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
188	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
189	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
190	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
191	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
192	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
193	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
194	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	63,0%	0,8557859%
195	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
196	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
197	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
198	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
199	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
200	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	63,0%	0,8557859%
201	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
202	18,5%	63,0%	63,0%	63,0%	18,5%	0,8557859%
203	18,5%	63,0%	63,0%	63,0%	63,0%	2,9142978%
204	18,5%	63,0%	63,0%	63,0%	18,5%	0,8557859%
205	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
206	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	63,0%	0,8557859%
207	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	18,5%	0,2513022%
208	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
209	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
210	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
211	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
212	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	63,0%	0,8557859%
213	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	18,5%	0,2513022%
214	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
215	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	63,0%	0,2513022%
216	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0737951%
217	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
218	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
219	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
220	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
221	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	0,2513022%

222	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
223	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
224	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
225	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
226	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
227	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	0,2513022%
228	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
229	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	0,2513022%
230	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	63,0%	0,8557859%
231	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	18,5%	0,2513022%
232	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
233	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	63,0%	0,2513022%
234	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	18,5%	0,0737951%
235	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
236	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
237	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
238	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
239	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	63,0%	0,2513022%
240	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	18,5%	0,0737951%
241	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%
242	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	63,0%	0,0737951%
243	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	18,5%	0,0216700%

APÊNDICE B

Tabela 8- Solução espere-e-veja (WS) para cada cenário

Cenário	Preço Compra	Safra1	Safra2	Preço Venda	Demanda	Probabilidade do Cenário	Solução espere-e-veja (WS) (mil)
1	Otimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,02%	7.826.904
2	Otimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,07%	7.951.569
3	Otimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,02%	7.954.824
4	Otimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,07%	8.902.527
5	Otimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	Conservador	0,25%	9.172.783
6	Otimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	Otimista	0,07%	9.261.190
7	Otimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,02%	9.978.503
8	Otimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	Conservador	0,07%	10.394.280
9	Otimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	Otimista	0,02%	10.629.652
10	Otimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,07%	7.921.178
11	Otimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	Conservador	0,25%	8.064.603
12	Otimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	Otimista	0,07%	8.075.595
13	Otimista	Pessimista	Conservador	Conservador	Pessimista	0,25%	8.996.941
14	Otimista	Pessimista	Conservador	Conservador	Conservador	0,86%	9.285.835
15	Otimista	Pessimista	Conservador	Conservador	Otimista	0,25%	9.400.082
16	Otimista	Pessimista	Conservador	Otimista	Pessimista	0,07%	10.072.906
17	Otimista	Pessimista	Conservador	Otimista	Conservador	0,25%	10.507.245
18	Otimista	Pessimista	Conservador	Otimista	Otimista	0,07%	10.768.523
19	Otimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,02%	7.965.857
20	Otimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	Conservador	0,07%	8.114.481
21	Otimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	Otimista	0,02%	8.132.226
22	Otimista	Pessimista	Otimista	Conservador	Pessimista	0,07%	9.041.732
23	Otimista	Pessimista	Otimista	Conservador	Conservador	0,25%	9.335.801
24	Otimista	Pessimista	Otimista	Conservador	Otimista	0,07%	9.464.284

25	Otimista	Pessimista	Otimista	Otimista	Pessimista	0,02%	10.117.836
26	Otimista	Pessimista	Otimista	Otimista	Conservador	0,07%	10.557.310
27	Otimista	Pessimista	Otimista	Otimista	Otimista	0,02%	10.832.705
28	Otimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,07%	7.866.133
29	Otimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,25%	8.009.557
30	Otimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,07%	8.020.667
31	Otimista	Conservador	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,25%	8.941.902
32	Otimista	Conservador	Pessimista	Conservador	Conservador	0,86%	9.230.792
33	Otimista	Conservador	Pessimista	Conservador	Otimista	0,25%	9.345.019
34	Otimista	Conservador	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,07%	10.017.965
35	Otimista	Conservador	Pessimista	Otimista	Conservador	0,25%	10.452.284
36	Otimista	Conservador	Pessimista	Otimista	Otimista	0,07%	10.713.536
37	Otimista	Conservador	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,25%	7.955.856
38	Otimista	Conservador	Conservador	Pessimista	Conservador	0,86%	8.110.018
39	Otimista	Conservador	Conservador	Pessimista	Otimista	0,25%	8.137.956
40	Otimista	Conservador	Conservador	Conservador	Pessimista	0,86%	9.031.898
41	Otimista	Conservador	Conservador	Conservador	Conservador	2,91%	9.331.322
42	Otimista	Conservador	Conservador	Conservador	Otimista	0,86%	9.478.470
43	Otimista	Conservador	Conservador	Otimista	Pessimista	0,25%	10.108.134
44	Otimista	Conservador	Conservador	Otimista	Conservador	0,86%	10.552.785
45	Otimista	Conservador	Conservador	Otimista	Otimista	0,25%	10.846.874
46	Otimista	Conservador	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,07%	7.999.422
47	Otimista	Conservador	Otimista	Pessimista	Conservador	0,25%	8.158.129
48	Otimista	Conservador	Otimista	Pessimista	Otimista	0,07%	8.194.542
49	Otimista	Conservador	Otimista	Conservador	Pessimista	0,25%	9.075.582
50	Otimista	Conservador	Otimista	Conservador	Conservador	0,86%	9.379.428
51	Otimista	Conservador	Otimista	Conservador	Otimista	0,25%	9.541.676
52	Otimista	Conservador	Otimista	Otimista	Pessimista	0,07%	10.151.925
53	Otimista	Conservador	Otimista	Otimista	Conservador	0,25%	10.600.882

54	Otimista	Conservador	Otimista	Otimista	Otimista	0,07%	10.910.076
55	Otimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,02%	7.878.837
56	Otimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,07%	8.026.045
57	Otimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,02%	8.043.056
58	Otimista	Otimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,07%	8.954.625
59	Otimista	Otimista	Pessimista	Conservador	Conservador	0,25%	9.247.339
60	Otimista	Otimista	Pessimista	Conservador	Otimista	0,07%	9.373.861
61	Otimista	Otimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,02%	10.030.680
62	Otimista	Otimista	Pessimista	Otimista	Conservador	0,07%	10.468.872
63	Otimista	Otimista	Pessimista	Otimista	Otimista	0,02%	10.742.383
64	Otimista	Otimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,07%	7.965.852
65	Otimista	Otimista	Conservador	Pessimista	Conservador	0,25%	8.123.579
66	Otimista	Otimista	Conservador	Pessimista	Otimista	0,07%	8.158.940
67	Otimista	Otimista	Conservador	Conservador	Pessimista	0,25%	9.041.975
68	Otimista	Otimista	Conservador	Conservador	Conservador	0,86%	9.344.897
69	Otimista	Otimista	Conservador	Conservador	Otimista	0,25%	9.505.149
70	Otimista	Otimista	Conservador	Otimista	Pessimista	0,07%	10.118.276
71	Otimista	Otimista	Conservador	Otimista	Conservador	0,25%	10.566.366
72	Otimista	Otimista	Conservador	Otimista	Otimista	0,07%	10.873.554
73	Otimista	Otimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,02%	8.008.993
74	Otimista	Otimista	Otimista	Pessimista	Conservador	0,07%	8.171.646
75	Otimista	Otimista	Otimista	Pessimista	Otimista	0,02%	8.215.520
76	Otimista	Otimista	Otimista	Conservador	Pessimista	0,07%	9.085.202
77	Otimista	Otimista	Otimista	Conservador	Conservador	0,25%	9.392.958
78	Otimista	Otimista	Otimista	Conservador	Otimista	0,07%	9.567.447
79	Otimista	Otimista	Otimista	Otimista	Pessimista	0,02%	10.161.587
80	Otimista	Otimista	Otimista	Otimista	Conservador	0,07%	10.614.419
81	Otimista	Otimista	Otimista	Otimista	Otimista	0,02%	10.935.811
82	Conservador	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,07%	7.190.607

83	Conservador	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,25%	7.258.791
84	Conservador	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,07%	7.258.791
85	Conservador	Pessimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,25%	8.266.259
86	Conservador	Pessimista	Pessimista	Conservador	Conservador	0,86%	8.478.223
87	Conservador	Pessimista	Pessimista	Conservador	Otimista	0,25%	8.552.558
88	Conservador	Pessimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,07%	9.342.179
89	Conservador	Pessimista	Pessimista	Otimista	Conservador	0,25%	9.699.627
90	Conservador	Pessimista	Pessimista	Otimista	Otimista	0,07%	9.921.020
91	Conservador	Pessimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,25%	7.277.235
92	Conservador	Pessimista	Conservador	Pessimista	Conservador	0,86%	7.363.979
93	Conservador	Pessimista	Conservador	Pessimista	Otimista	0,25%	7.364.594
94	Conservador	Pessimista	Conservador	Conservador	Pessimista	0,86%	8.353.131
95	Conservador	Pessimista	Conservador	Conservador	Conservador	2,91%	8.585.194
96	Conservador	Pessimista	Conservador	Conservador	Otimista	0,86%	8.676.505
97	Conservador	Pessimista	Conservador	Otimista	Pessimista	0,25%	9.429.208
98	Conservador	Pessimista	Conservador	Otimista	Conservador	0,86%	9.806.576
99	Conservador	Pessimista	Conservador	Otimista	Otimista	0,25%	10.044.945
100	Conservador	Pessimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,07%	7.300.707
101	Conservador	Pessimista	Otimista	Pessimista	Conservador	0,25%	7.394.046
102	Conservador	Pessimista	Otimista	Pessimista	Otimista	0,07%	7.396.957
103	Conservador	Pessimista	Otimista	Conservador	Pessimista	0,25%	8.376.716
104	Conservador	Pessimista	Otimista	Conservador	Conservador	0,86%	8.615.309
105	Conservador	Pessimista	Otimista	Conservador	Otimista	0,25%	8.716.433
106	Conservador	Pessimista	Otimista	Otimista	Pessimista	0,07%	9.452.903
107	Conservador	Pessimista	Otimista	Otimista	Conservador	0,25%	9.836.742
108	Conservador	Pessimista	Otimista	Otimista	Otimista	0,07%	10.084.855
109	Conservador	Conservador	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,25%	7.219.158
110	Conservador	Conservador	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,86%	7.305.746
111	Conservador	Conservador	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,25%	7.306.389

112	Conservador	Conservador	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,86%	8.294.989
113	Conservador	Conservador	Pessimista	Conservador	Conservador	2,91%	8.526.962
114	Conservador	Conservador	Pessimista	Conservador	Otimista	0,86%	8.618.291
115	Conservador	Conservador	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,25%	9.371.077
116	Conservador	Conservador	Pessimista	Otimista	Conservador	0,86%	9.748.414
117	Conservador	Conservador	Pessimista	Otimista	Otimista	0,25%	9.986.808
118	Conservador	Conservador	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,86%	7.302.774
119	Conservador	Conservador	Conservador	Pessimista	Conservador	2,91%	7.402.358
120	Conservador	Conservador	Conservador	Pessimista	Otimista	0,86%	7.409.921
121	Conservador	Conservador	Conservador	Conservador	Pessimista	2,91%	8.378.910
122	Conservador	Conservador	Conservador	Conservador	Conservador	9,92%	8.623.657
123	Conservador	Conservador	Conservador	Conservador	Otimista	2,91%	8.737.987
124	Conservador	Conservador	Conservador	Otimista	Pessimista	0,86%	9.455.236
125	Conservador	Conservador	Conservador	Otimista	Conservador	2,91%	9.845.117
126	Conservador	Conservador	Conservador	Otimista	Otimista	0,86%	10.106.393
127	Conservador	Conservador	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,25%	7.325.750
128	Conservador	Conservador	Otimista	Pessimista	Conservador	0,86%	7.430.825
129	Conservador	Conservador	Otimista	Pessimista	Otimista	0,25%	7.442.238
130	Conservador	Conservador	Otimista	Conservador	Pessimista	0,86%	8.401.941
131	Conservador	Conservador	Otimista	Conservador	Conservador	2,91%	8.652.123
132	Conservador	Conservador	Otimista	Conservador	Otimista	0,86%	8.776.994
133	Conservador	Conservador	Otimista	Otimista	Pessimista	0,25%	9.478.317
134	Conservador	Conservador	Otimista	Otimista	Conservador	0,86%	9.873.576
135	Conservador	Conservador	Otimista	Otimista	Otimista	0,25%	10.145.396
136	Conservador	Otimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,07%	7.225.712
137	Conservador	Otimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,25%	7.316.789
138	Conservador	Otimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,07%	7.319.696
139	Conservador	Otimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,25%	8.301.563
140	Conservador	Otimista	Pessimista	Conservador	Conservador	0,86%	8.538.069

141	Conservador	Otimista	Pessimista	Conservador	Otimista	0,25%	8.638.069
142	Conservador	Otimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,07%	9.377.663
143	Conservador	Otimista	Pessimista	Otimista	Conservador	0,25%	9.759.592
144	Conservador	Otimista	Pessimista	Otimista	Otimista	0,07%	10.006.592
145	Conservador	Otimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,25%	7.308.746
146	Conservador	Otimista	Conservador	Pessimista	Conservador	0,86%	7.412.039
147	Conservador	Otimista	Conservador	Pessimista	Otimista	0,25%	7.423.090
148	Conservador	Otimista	Conservador	Conservador	Pessimista	0,86%	8.384.912
149	Conservador	Otimista	Conservador	Conservador	Conservador	2,91%	8.633.353
150	Conservador	Otimista	Conservador	Conservador	Otimista	0,86%	8.756.918
151	Conservador	Otimista	Conservador	Otimista	Pessimista	0,25%	9.461.265
152	Conservador	Otimista	Conservador	Otimista	Conservador	0,86%	9.854.820
153	Conservador	Otimista	Conservador	Otimista	Otimista	0,25%	10.125.327
154	Conservador	Otimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,07%	7.331.682
155	Conservador	Otimista	Otimista	Pessimista	Conservador	0,25%	7.440.469
156	Conservador	Otimista	Otimista	Pessimista	Otimista	0,07%	7.455.407
157	Conservador	Otimista	Otimista	Conservador	Pessimista	0,25%	8.407.891
158	Conservador	Otimista	Otimista	Conservador	Conservador	0,86%	8.661.782
159	Conservador	Otimista	Otimista	Conservador	Otimista	0,25%	8.795.240
160	Conservador	Otimista	Otimista	Otimista	Pessimista	0,07%	9.484.298
161	Conservador	Otimista	Otimista	Otimista	Conservador	0,25%	9.883.241
162	Conservador	Otimista	Otimista	Otimista	Otimista	0,07%	10.163.649
163	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,02%	6.739.925
164	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,07%	6.763.546
165	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,02%	6.763.546
166	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,07%	7.815.680
167	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	Conservador	0,25%	7.970.239
168	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	Otimista	0,07%	8.033.199
169	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,02%	8.891.716

170	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	Conservador	0,07%	9.191.993
171	Pessimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	Otimista	0,02%	9.401.670
172	Pessimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,07%	6.899.774
173	Pessimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	Conservador	0,25%	6.936.126
174	Pessimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	Otimista	0,07%	6.936.126
175	Pessimista	Pessimista	Conservador	Conservador	Pessimista	0,25%	7.975.597
176	Pessimista	Pessimista	Conservador	Conservador	Conservador	0,86%	8.149.773
177	Pessimista	Pessimista	Conservador	Conservador	Otimista	0,25%	8.224.274
178	Pessimista	Pessimista	Conservador	Otimista	Pessimista	0,07%	9.051.615
179	Pessimista	Pessimista	Conservador	Otimista	Conservador	0,25%	9.371.304
180	Pessimista	Pessimista	Conservador	Otimista	Otimista	0,07%	9.592.713
181	Pessimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,02%	6.945.800
182	Pessimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	Conservador	0,07%	6.988.645
183	Pessimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	Otimista	0,02%	6.988.645
184	Pessimista	Pessimista	Otimista	Conservador	Pessimista	0,07%	8.021.764
185	Pessimista	Pessimista	Otimista	Conservador	Conservador	0,25%	8.205.062
186	Pessimista	Pessimista	Otimista	Conservador	Otimista	0,07%	8.284.752
187	Pessimista	Pessimista	Otimista	Otimista	Pessimista	0,02%	9.097.927
188	Pessimista	Pessimista	Otimista	Otimista	Conservador	0,07%	9.426.541
189	Pessimista	Pessimista	Otimista	Otimista	Otimista	0,02%	9.653.178
190	Pessimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,07%	6.808.815
191	Pessimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,25%	6.845.142
192	Pessimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,07%	6.845.142
193	Pessimista	Conservador	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,25%	7.884.667
194	Pessimista	Conservador	Pessimista	Conservador	Conservador	0,86%	8.057.929
195	Pessimista	Conservador	Pessimista	Conservador	Otimista	0,25%	8.131.954
196	Pessimista	Conservador	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,07%	8.960.786
197	Pessimista	Conservador	Pessimista	Otimista	Conservador	0,25%	9.279.496
198	Pessimista	Conservador	Pessimista	Otimista	Otimista	0,07%	9.500.481

199	Pessimista	Conservador	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,25%	6.956.560
200	Pessimista	Conservador	Conservador	Pessimista	Conservador	0,86%	7.011.813
201	Pessimista	Conservador	Conservador	Pessimista	Otimista	0,25%	7.011.813
202	Pessimista	Conservador	Conservador	Conservador	Pessimista	0,86%	8.032.648
203	Pessimista	Conservador	Conservador	Conservador	Conservador	2,91%	8.230.217
204	Pessimista	Conservador	Conservador	Conservador	Otimista	0,86%	8.315.754
205	Pessimista	Conservador	Conservador	Otimista	Pessimista	0,25%	9.108.925
206	Pessimista	Conservador	Conservador	Otimista	Conservador	0,86%	9.451.642
207	Pessimista	Conservador	Conservador	Otimista	Otimista	0,25%	9.684.179
208	Pessimista	Conservador	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,07%	7.001.456
209	Pessimista	Conservador	Otimista	Pessimista	Conservador	0,25%	7.064.082
210	Pessimista	Conservador	Otimista	Pessimista	Otimista	0,07%	7.064.082
211	Pessimista	Conservador	Otimista	Conservador	Pessimista	0,25%	8.077.603
212	Pessimista	Conservador	Otimista	Conservador	Conservador	0,86%	8.284.411
213	Pessimista	Conservador	Otimista	Conservador	Otimista	0,25%	8.375.379
214	Pessimista	Conservador	Otimista	Otimista	Pessimista	0,07%	9.153.920
215	Pessimista	Conservador	Otimista	Otimista	Conservador	0,25%	9.505.790
216	Pessimista	Conservador	Otimista	Otimista	Otimista	0,07%	9.743.803
217	Pessimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	Pessimista	0,02%	6.823.261
218	Pessimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	Conservador	0,07%	6.865.067
219	Pessimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	Otimista	0,02%	6.865.067
220	Pessimista	Otimista	Pessimista	Conservador	Pessimista	0,07%	7.899.142
221	Pessimista	Otimista	Pessimista	Conservador	Conservador	0,25%	8.079.699
222	Pessimista	Otimista	Pessimista	Conservador	Otimista	0,07%	8.157.709
223	Pessimista	Otimista	Pessimista	Otimista	Pessimista	0,02%	8.975.275
224	Pessimista	Otimista	Pessimista	Otimista	Conservador	0,07%	9.301.227
225	Pessimista	Otimista	Pessimista	Otimista	Otimista	0,02%	9.526.231
226	Pessimista	Otimista	Conservador	Pessimista	Pessimista	0,07%	6.968.408
227	Pessimista	Otimista	Conservador	Pessimista	Conservador	0,25%	7.028.839

228	Pessimista	Otimista	Conservador	Pessimista	Otimista	0,07%	7.028.839
229	Pessimista	Otimista	Conservador	Conservador	Pessimista	0,25%	8.044.522
230	Pessimista	Otimista	Conservador	Conservador	Conservador	0,86%	8.248.570
231	Pessimista	Otimista	Conservador	Conservador	Otimista	0,25%	8.338.307
232	Pessimista	Otimista	Conservador	Otimista	Pessimista	0,07%	9.120.811
233	Pessimista	Otimista	Conservador	Otimista	Conservador	0,25%	9.469.960
234	Pessimista	Otimista	Conservador	Otimista	Otimista	0,07%	9.706.742
235	Pessimista	Otimista	Otimista	Pessimista	Pessimista	0,02%	7.012.893
236	Pessimista	Otimista	Otimista	Pessimista	Conservador	0,07%	7.080.813
237	Pessimista	Otimista	Otimista	Pessimista	Otimista	0,02%	7.080.813
238	Pessimista	Otimista	Otimista	Conservador	Pessimista	0,07%	8.089.101
239	Pessimista	Otimista	Otimista	Conservador	Conservador	0,25%	8.301.958
240	Pessimista	Otimista	Otimista	Conservador	Otimista	0,07%	8.397.312
241	Pessimista	Otimista	Otimista	Otimista	Pessimista	0,02%	9.165.548
242	Pessimista	Otimista	Otimista	Otimista	Conservador	0,07%	9.523.330
243	Pessimista	Otimista	Otimista	Otimista	Otimista	0,02%	9.765.719