THIAGO GUILHERME PÉRA

**Modelagem das perdas na agrologística de grãos no Brasil: uma
aplicação de programação matemática**

**São Paulo
2017**

THIAGO GUILHERME PÉRA

**Modelagem das perdas na agrologística de grãos no Brasil: uma
aplicação de programação matemática**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

**São Paulo
2017**

THIAGO GUILHERME PÉRA

**Modelagem das perdas na agrologística de grãos no Brasil: uma
aplicação de programação matemática**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Área de Concentração:
Engenharia de Sistemas Logísticos

Orientador: Prof. Dr. José Vicente Caixeta
Filho

**São Paulo
2017**

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 6 de Junho de 2017

Assinatura do autor: Thiago Guilherme Péra

Assinatura do orientador:
José Vicente Caixeta Filho

Catálogo-na-publicação

Péra, Thiago Guilherme

Modelagem das perdas na agrologística de grãos no Brasil: uma aplicação de programação matemática / T. G. Péra -- versão corr. -- São Paulo, 2017. 180 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.Perdas 2.Soja e Milho 3.Logística 4.Programação Matemática 5.Pesquisa Operacional I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pela dádiva da vida.

Ao meu orientador, mentor e chefe Professor José Vicente Caixeta-Filho pelas valiosas sugestões de desenvolvimento desta pesquisa, revisões e paciência. Mais ainda, pelos conselhos, oportunidades, confiança, amizade e contribuições para o meu desenvolvimento pessoal e acadêmico desde tempos da graduação. Minha gratidão e admiração.

Ao Professor Augusto Hauber Gameiro pelas contribuições e conselhos pessoais e acadêmicos, principalmente nas viagens a Brasília. Também agradeço pela oportunidade do meu primeiro contato como professor em uma disciplina de graduação, em Pirassununga. Ao Professor José Eduardo Holler Branco, ao Dr. Carlos Xavier e à Dra. Daniela Bacchi Bartholomeu pelas contribuições e sugestões para o desenvolvimento desta pesquisa e também pelos valiosos conselhos.

À Universidade de São Paulo por ter me proporcionado ensino de alta qualidade, particularmente em duas grandes escolas: a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” que me ensinou a cumprir missão vitoriosa e a Escola Politécnica, que me proporcionou uma visão de engenheiro. Aos Departamentos de Engenharia de Produção, de Engenharia Naval e Oceânica e de Transportes da Escola Politécnica e ao Departamento de Economia, Administração e Sociologia da ESALQ. Ao Programa de Engenharia de Sistemas Logísticos da Escola Politécnica.

Aos pesquisadores do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG) da ESALQ/USP que me ajudaram na aplicação do questionário desta pesquisa.

E reservo também um agradecimento muito especial ao Grupo ESALQ-LOG e aos seus pesquisadores que levam com muito profissionalismo e excelência a logística. Ao longo desses anos, muitas amizades foram construídas. Tenho muito orgulho de fazer parte desse time e ser ESALQ-LOGUEANO.

Às novas amizades estabelecidas durante o mestrado. À minha família e amigos pelo apoio, motivação e compreensão.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

Modelagem das perdas na agrologística de grãos no Brasil: uma aplicação de programação matemática

A redução das perdas é de grande importância para estabilizar a oferta de alimentos ao longo da cadeia de suprimentos e fortalecer a segurança alimentar. O objetivo geral desta pesquisa foi realizar um diagnóstico detalhado sobre as perdas que ocorrem nas diversas atividades logísticas de soja e milho no Brasil, envolvendo a quantificação das perdas físicas, econômicas e ambientais acumuladas na cadeia de suprimentos de tais grãos e a identificação de estratégias e políticas públicas para mitigá-las, através da modelagem de programação matemática. Além disso, foi possível estruturar uma função de perdas na agrologística de grãos a partir de quatro variáveis: tipo de armazenagem, qualidade das vias rodoviárias, modalidade de transporte e canal de comercialização. As perdas totais na cadeia de suprimentos de soja e milho no ano de 2015 no Brasil atingiram o patamar de 2,381 milhões de toneladas, ou seja, algo em torno de 1,303% da produção, incorrendo em perdas econômicas decorrentes do custo de oportunidade com vendas perdidas e de gastos logísticos desnecessários na ordem de R\$ 2,04 bilhões (US\$ 610,78 milhões). Os cenários avaliados demonstram que a ampliação no uso da armazenagem dentro da fazenda, melhoria nas condições das rodovias brasileiras e das estradas que conectam as fazendas aos armazéns apresentam grande potencial para mitigação das perdas. Apesar da perda relativa de uma atividade logística assumir valor decimal, a perda acumulada ao longo da cadeia de suprimentos assume um valor global bastante considerável. Esse retrato enfatiza a necessidade de conscientização sobre as perdas visando fomentar políticas públicas e gestões eficientes para mitigá-las, dado as externalidades econômicas, ambientais e sociais geradas.

Palavras-Chave: Armazenagem. Logística. Milho. Modelagem Matemática. Perdas. Pós-colheita. Segurança alimentar. Soja. Transporte.

PÉRA, T.G. **Modelagem das perdas na agrologística de grãos no Brasil: uma aplicação de programação matemática**. 2017. 180p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

ABSTRACT

Modeling of the losses in grains' agro-logistics in Brazil: an application of mathematical programming

Reducing losses is of great importance in stabilizing the supply of food throughout the supply chain and strengthening food security. The general objective of this research was to perform a detailed diagnosis of the losses that occur in the many logistic activities of soybeans and maize in Brazil, involving the quantification of accumulated physical, economic and environmental losses in the supply chain of such grains and the identification of strategies and public policies to mitigate such losses through mathematical programming modeling. Besides, it was possible to structure a loss function of grains' agrologistics in terms of four variables: type of storage, quality of roads, modality of transportation and marketing channel. Total losses in the soy and maize supply chain in 2015 in Brazil reached up to 2.381 million tons, or about 1.303% of production, incurring economic reductions due to the cost of loss (reduced sales and unnecessary logistical expenses for the handling of losses) in the order of R\$ 2.04 billion (US\$ 610.78 million). The evaluated scenarios show that the increase in the use of on-farm storage, the improvement in the conditions of the Brazilian highways and roads that connect the farms to the external warehouses present great potential to mitigate the losses. In spite the relative loss of a logistic activity takes on decimal value, the cumulative loss along the supply chain assumes a fairly considerable overall value. This reality emphasizes the need to raise awareness about losses in order to foster public policies and efficient management to mitigate them, given the created economic, environmental and social externalities.

Key words: Food Security. Grains. Logistics. Losses. Maize. Mathematical Model. Post-Harvest Losses. Soybean. Storage. Supply Chain. Transportation.

PÉRA, T.G. **Modeling of the losses in grains' agro-logistics in Brazil: an application of mathematical programming**. 2017. 180p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE QUADROS	14
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	15
1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. Objetivos.....	19
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1. Oferta de alimentos.....	21
2.2. Situação atual e projeções.....	22
2.3. Cadeia de suprimentos agroalimentar	26
2.4. Perdas e desperdícios na cadeia agroalimentar	26
2.5. Considerações finais.....	43
3. MATERIAL E MÉTODOS	45
3.1. Etapa 1: Levantamento de dados sobre perdas nas atividades logísticas de grãos	48
3.2. Etapa 2: Índice de perdas na agrologística de grãos	49
3.2.1. As perdas nas diferentes agrologísticas de grãos.....	49
3.2.2. Estruturação quantitativa dos índices e de uma função de perdas nas diferentes agrologísticas	57
3.3. Etapa 3: Especificação dos dados da modelagem da cadeia de suprimentos de grãos no Brasil.....	67
3.3.1. Balanço de oferta e demanda na cadeia de suprimentos de grãos	68
3.3.2. Rede logística multimodal e armazenagem	74
3.3.3. Indicadores de qualidade das vias rodoviárias brasileiras	75
3.3.4. Custos logísticos na cadeia de suprimentos de grãos no Brasil	79
3.3.5. Emissões de carbono na logística.....	81
3.4. Etapa 4: Modelo matemático da cadeia de suprimentos de grãos no Brasil.....	82
3.5. Etapa 5: Avaliação de cenários e recomendações de estratégias e políticas públicas para mitigação das perdas.....	100
3.6. Programação e processamento do modelo matemático.....	102
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	103
4.1. Resultados das pesquisas primária e secundária sobre perdas de grãos	103

4.1.1. Níveis de perdas na agrologística de grãos no Brasil referenciados na literatura	103
4.1.2. Resultados da pesquisa com as entrevistas: perdas na agrologística de grãos... ..	105
4.1.2.1. Perdas no transporte	105
4.1.2.2. Perdas nos terminais ferroviários, hidroviários e portuários	111
4.1.2.3. Perdas na armazenagem	113
4.1.3. Indicadores referências para quantificação das perdas.....	115
4.2. Índices e função de perdas na agrologística brasileira de grãos.....	116
4.3. Quantificação das perdas totais na agrologística de grãos	121
4.3.1. Perdas totais na agrologística de soja e de milho no Brasil.....	121
4.3.2. Perdas totais na agrologística de soja e milho dos estados produtores brasileiros	126
4.3.3. Perdas totais na agrologística de soja e de milho nas grandes regiões produtoras e fronteira agrícola	130
4.4. Análise de cenários envolvendo estratégias para mitigação de perdas	134
4.4.1. Ampliação da capacidade de armazenagem na fazenda	135
4.4.2. Melhorias na qualidade dos corredores rodoviários brasileiros na cadeia de suprimento de grãos.....	136
4.4.3. Incorporação das perdas na gestão logística do embarcador	140
4.5. Considerações finais	142
5. CONCLUSÕES	143
6. REFERÊNCIAS.....	147
ANEXOS.....	153

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Número de pessoas em risco de subnutrição	22
Figura 2. Projeções de crescimento populacional em áreas rurais e urbanas	23
Figura 3. Evolução do consumo global de alimentos em diferentes períodos.....	24
Figura 4. Projeção de uso do solo para atender a demanda de alimentos, rações e biocombustíveis em 2030, em milhões de hectares.....	24
Figura 5. Cadeia de suprimentos agroalimentar e suas relações com perdas e desperdícios	28
Figura 6. Perdas e desperdícios de alimentos per capita em diferentes regiões do mundo (kg/pessoa).....	29
Figura 7. Perdas e desperdícios de alimentos em cada fase da cadeia de suprimentos para o grupo de países desenvolvidos e em desenvolvimento	30
Figura 8. Linha de tendência entre perdas/desperdícios de alimentos e nível de renda dos países	31
Figura 9. <i>Ranking</i> das dez principais causas de perdas de pós-colheita na cadeia de suprimentos de frios	34
Figura 10. <i>Ranking</i> dos <i>top</i> 10 países emissores de GEE versus emissões de perdas e desperdícios de alimentos.....	37
Figura 11. Representação esquemática dos processos metodológicos.....	47
Figura 12. Rede da agrologística unimodal de grãos para exportação envolvendo perdas para duas situações: (i) armazenagem externa à fazenda e (ii) armazenagem em nível da fazenda.	50
Figura 13. Rede da agrologística multimodal de grãos para exportação envolvendo perdas para duas situações: (i) armazenagem externa à fazenda e (ii) armazenagem em nível da fazenda.	52
Figura 14. Rede da agrologística unimodal de grãos para abastecimento do mercado interno envolvendo perdas para duas situações: (i) armazenagem externa à fazenda e (ii) armazenagem em nível da fazenda.	53
Figura 15. Rede da agrologística multimodal de grãos para abastecimento do mercado interno envolvendo perdas para duas situações: (i) armazenagem externa à fazenda e (ii) armazenagem em nível da fazenda.	55

Figura 16. Esquema representativo dos fluxos de transporte e o tipo de via no transporte rodoviário de grãos com destinos aos portos, centros consumidores, terminais ferroviários e hidroviários.	57
Figura 17. Representação da cadeia de suprimento de grãos e sua relação com as perdas para quatro atividades logísticas (sistema agrologístico).....	58
Figura 18. Representação da cadeia de suprimentos de grãos e sua relação com as perdas para n atividades logísticas (sistema agrologístico).....	61
Figura 19. Mesorregiões de soja e de milho consideradas na análise	68
Figura 20. Dinâmica do balanço de oferta e demanda ao longo do tempo.....	69
Figura 21. Balanço de oferta e demanda no período analisado de 2015	70
Figura 22. Principais corredores multimodais da cadeia de suprimentos de soja e milho no país	74
Figura 23. Múltiplos caminhos obtidos para o transporte rodoviário	77
Figura 24. Rodovias selecionadas que geram o mínimo caminho entre as capitais.	78
Figura 25. Exemplo ilustrativo de classificação binária para um corredor rodoviário com via “boa”: 510 km classificados em bom e ótimo (>50%).....	79
Figura 26. Grafo representativo da cadeia de suprimentos de grãos no Brasil para fins de modelagem	85
Figura 27. Frequência das viagens rodoviárias que apresentaram perdas superiores às quebras técnicas contratuais no ano de 2015, segundo os entrevistados.	111
Figura 28. Distribuição das perdas em diferentes atividades logísticas agregadas para soja e milho no Brasil (safra 2015)	124
Figura 29. Distribuição das perdas relativas (% da produção) de milho em diferentes atividades agrologísticas agregadas para nas regiões tradicionais de produção (Centro-Oeste e Sul) e fronteira agrícola (MATOPIBA).	132
Figura 30. Distribuição das perdas relativas (% da produção) de soja em diferentes etapas agrologísticas agregadas para nas regiões tradicionais de produção (Centro-Oeste e Sul) e fronteira agrícola (MATOPIBA).	133
Figura 31. Potencial de redução de perdas em função da ampliação da armazenagem em nível de fazenda no sistema de armazenagem de grãos no Brasil.....	136
Figura 32. Correlação entre o nível de perda na atividade do transporte rodoviário fazenda-armazém e a perda total de grãos	140

Figura 33. *Trade-off* logístico de minimização das perdas na cadeia de suprimento de grãos vs. minimização dos custos logísticos 141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Perdas e desperdícios de alimentos nos diferentes estágios da cadeia de suprimentos para produtos alimentícios (em % de entrada em cada etapa) na América Latina (2011).....	29
Tabela 2. Causas das perdas de pós-colheita da cadeia a frio para diferentes países, segundo <i>stakeholders</i> entrevistados	35
Tabela 3. Índices de perdas na agrologística de grãos em função da armazenagem, qualidade das vias rodoviárias, modalidade de transporte e canal de comercialização (em % da quantidade da origem).....	64
Tabela 4. Coeficientes estimados das variáveis independentes do modelo econométrico dos preços de fretes rodoviários, em R\$/t.....	81
Tabela 5. Coeficientes dos fatores de emissão (g CO ₂ / t.km) nas atividades logísticas de transporte consideradas para a modelagem da cadeia de suprimentos.....	81
Tabela 6. Níveis de perdas em diferentes atividades logísticas de grãos (soja e milho) no Brasil identificados na literatura	104
Tabela 7. Indicadores de perdas no transporte rodoviário (qualidade da via) e ferroviário de grãos obtidos através dos entrevistados (% de entrada de carga). ..	110
Tabela 8. Indicadores de níveis de quebra técnica adotados nos contratos de transporte rodoviário, ferroviário e hidroviário de grãos obtidos através dos entrevistados (% de entrada de carga).....	110
Tabela 9. Indicadores de retenções técnicas nos terminais ferroviários e portuários para grãos obtidos através dos entrevistados	113
Tabela 10. Indicadores de perdas nas diversas atividades logísticas de grãos no Brasil, consideradas para modelagem dos índices e da cadeia de suprimentos.....	116
Tabela 11. Resultados dos índices de perdas nas diferentes agrologísticas de grãos em função da armazenagem, qualidade das vias rodoviárias, modalidade de transporte e canal de comercialização (em % da quantidade da origem)	118
Tabela 12. Coeficientes da função de perdas na agrologística de grãos	119
Tabela 13. Distribuição das perdas nas agrologísticas de soja e milho no Brasil nas diversas atividades.	123
Tabela 14. Emissões de CO ₂ adicionais decorrentes das perdas e emissões totais na cadeia de suprimentos brasileira de grãos para diferentes atividades logísticas, em toneladas de CO ₂	125

Tabela 15. Perdas absolutas e relativas na agrologística de soja e milho dos estados produtores brasileiros para o ano de 2015	127
Tabela 16. Perdas relativas (% da produção) de milho para cada atividade agrologística e estado produtor, em ordem decrescente de perdas para o ano de 2015	128
Tabela 17. Perdas relativas (% da produção) de soja para cada atividade agrologística e estado produtor, em ordem decrescente de perdas para o ano de 2015	129
Tabela 18. Perdas totais e relativas (% da produção) por atividades logísticas nas grandes regiões produtoras e fronteira agrícola	131
Tabela 19. Comparativo das perdas absolutas do Cenário Base e do Cenário Melhorado (todas as condições das vias classificadas como “boas” ¹) para cada estado produtor de soja e milho	138
Tabela 20. Perdas totais de grãos (toneladas) decorrentes da avaliação de cenários de redução das perdas na atividade do transporte rodoviário da fazenda ao armazém externo.	139

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes do aumento das perdas e desperdícios de alimentos	36
Quadro 2. Iniciativas globais envolvendo a temática de perdas e desperdícios de alimentos (continua)	38
Quadro 3. Atividades logísticas consideradas para avaliação das perdas	45
Quadro 4. Atividades logísticas consideradas para modelagem da cadeia de suprimentos de soja e milho no Brasil	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIOVE	– Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais
ABIMILHO	– Associação Brasileira das Indústrias do Milho
AID	– Agência Americana de Desenvolvimento Internacional
ANTT	– Agência Nacional de Transportes Terrestres
AHRANA	– Administração da Hidrovia do Paraná
APROSOJA	– Associação dos Produtores de Soja do Brasil
CNT	– Confederação Nacional do Transporte
CONAB	– Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	– Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESALQ-LOG	– Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial
FAO	– <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
GAMS	– <i>General Algebraic Modeling System</i>
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SIARMA	– Sistema de Informações de Armazenagem
SECEX	– Secretaria de Comércio Exterior
SIFRECA	– Sistema de Informações de Fretes

1. INTRODUÇÃO

A agricultura do século 21 traz uma série de desafios envolvendo o aumento da produção de alimentos para suprir uma população em crescimento com uma força de trabalho rural mais reduzida, além da adoção de técnicas e métodos de produção mais sustentáveis e adaptações às mudanças climáticas.

Adicionalmente, a sociedade tem aumentado sua preocupação em relação à segurança alimentar, em termos de qualidade e quantidade de alimentos que abastecem a população, sendo que tal segurança alimentar é garantida quando as pessoas conseguem ter acesso aos alimentos com os nutrientes necessários de forma a satisfazê-las.

Diante disso, a responsabilidade em como aumentar a oferta de alimentos tem se intensificado em diversas esferas das cadeias de suprimentos agroalimentares desde a fase do “antes da porteira” (com a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias direcionadas para o aumento da produção e produtividade no campo), passando pelo “dentro da porteira” (com o melhor aproveitamento das áreas, bom uso de tecnologias, gestão integrada dos negócios agropecuários e aumento do número de safras) até chegar ao “pós-porteira” (com o transporte e armazenagem eficientes, tecnologias de processamento, agregação de valor, embalagens, dentre outros fatores) e daí ao consumidor final.

Particularmente, dentro da cadeia de suprimentos agroalimentar tem ganhado destaque a gestão da minimização das perdas ao longo das atividades logísticas. As perdas podem ser entendidas como uma ineficiência que afeta negativamente a sustentabilidade econômica, ambiental e social de uma cadeia agroalimentar, principalmente por incorrer em desperdícios de recursos (físicos, financeiros e ambientais) além de provocar a redução da oferta de alimentos.

Expostas a problemática do aumento da oferta de alimentos e a importância da gestão das perdas, a motivação principal desta pesquisa é a necessidade de compreender as perdas que ocorrem em um elo importante dentro da cadeia de suprimentos que é

a logística, envolvendo as atividades de transporte e armazenagem, especificamente para as culturas de soja e milho.

Tais culturas - objetos de estudo - foram selecionadas por duas razões. A primeira delas é a carência de informações relativas às perdas que ocorrem na logística de produtos agrícolas não perecíveis no país – particularmente, a temática da gestão das perdas dentro do ambiente agrícola é muito focada em produtos perecíveis em função da sua alta suscetibilidade às perdas. Todavia, existe uma lacuna importante para os produtos não perecíveis.

Outro aspecto importante envolvendo a escolha de tais culturas diz respeito à representatividade destas para a economia brasileira, principalmente pelo fato da produção de tais culturas somarem quase duzentos milhões de toneladas em um país com dimensões continentais que apresenta uma série de problemas logísticos, envolvendo a distribuição logística de tais grãos de forma bastante concentrada em longas distâncias, muitas vezes pelo modal rodoviário em condições precárias, em regiões com déficit de armazenagem ou mesmo em regiões de fronteira agrícola, onde as condições de infraestrutura logística são mais sensíveis do que nas regiões tradicionais de produção.

Identificar as causas das perdas e seus níveis ao longo das atividades logísticas desde a fazenda até centros consumidores e portos trazem informações relevantes para subsidiar tomadas de decisões tanto nos ambientes públicos (através de formulações de políticas ou incentivos que venham a ser dados à mitigação de perdas na agrologística brasileira) quanto nos ambientes privados (através da identificação de estratégias relacionadas à gestão logística das perdas). Mais especificamente ainda, ações que venham a mitigar as perdas na logística de grãos podem trazer externalidades também para a agricultura como um todo, através de melhorias na infraestrutura logística envolvendo transporte e armazenagem, aperfeiçoamento de técnicas de gestões adequadas, dentre outros.

Especificamente ainda, os níveis de perdas que ocorrem nas atividades logísticas de grãos no país atingem patamares muitas vezes fracionados, porém quando

acumulados na cadeia de suprimentos atingem quantidades enormes, enfatizando uma motivação para formulação de políticas públicas e melhorias na gestão.

1.1. Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa foi realizar um diagnóstico detalhado sobre as perdas que ocorrem nas diversas atividades logísticas de soja e milho no Brasil, envolvendo a quantificação das perdas acumuladas na cadeia de suprimentos dos estados produtores e a identificação de estratégias e políticas públicas para mitigação de tais perdas. Os objetivos específicos são:

1. Identificação dos níveis de perdas de soja e milho que ocorrem em diferentes atividades logísticas desde as fazendas produtoras até os centros consumidores e portos para distintas modalidades de transporte e de armazenagem.
2. Identificação dos fatores que influenciam as perdas de soja e milho nas diferentes atividades logísticas.
3. Elaboração de índices de perdas acumuladas para diferentes logísticas de soja e milho no Brasil, envolvendo quatro decisões: tipo de modalidade de transporte, condições das rodovias, tipo de destino (porto ou centro consumidor) e tipo de armazenagem (dentro da fazenda ou externo à fazenda).
4. Estruturação de uma função de perdas relativas à produção envolvendo quatro variáveis de decisão: tipo de modalidade de transporte, condições das rodovias, tipo de destino (porto ou centro consumidor) e tipo de armazenagem (dentro da fazenda ou externo à fazenda).
5. Estruturação de um método de programação matemática replicável da cadeia de suprimentos de soja e milho no Brasil que possa quantificar as perdas físicas, econômicas (gastos financeiros logísticos e custos de oportunidade com vendas perdidas decorrentes das perdas físicas) e ambientais (adição de dióxido de carbono

no sistema em decorrência das perdas – pegada do carbono), bem como possa avaliar cenários para formulação de políticas públicas e estratégias de mitigação de perdas.

6. Quantificação das perdas físicas, econômicas e ambientais que ocorrem na cadeia de suprimentos brasileira de soja e milho, segmentadas por atividades logísticas (transporte e armazenagem).

7. Avaliação de cenários para mitigação de perdas de soja e milho no Brasil, envolvendo: ampliação da capacidade de armazenagem dentro da fazenda, melhoria das condições rodoviárias e incorporação das perdas na gestão logística das empresas; bem como, recomendação de estratégias mitigadoras de perdas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Oferta de alimentos

A oferta de alimentos tem sido uma das maiores preocupações da sociedade nos diferentes períodos históricos. No século XVIII, Thomas Malthus preconizava as projeções do desequilíbrio entre oferta e demanda de alimentos por parte da população, decorrentes das taxas de crescimento populacionais em progressão geométrica e de alimentos em progressão aritmética (HOLLANDER, 1997). De acordo com o mesmo autor, tal relação não se concretizou, em função de uma série de fatores envolvendo os avanços tecnológicos e a expansão de terras agricultáveis, que possibilitaram o aumento da produção de alimentos.

Durante o século XX, a sociedade vivenciou uma série de crises econômicas e políticas, bem como conflitos e guerras. Particularmente na década de 1970, houve uma sucessão de fatos que afetaram a produção, distribuição e consumo de alimentos no mundo. Tal período foi marcado por uma ocorrência frequente de severos acontecimentos climáticos denominados *El Niño*, os quais ocasionaram a redução da produção de alimentos, principalmente de cereais; além disso, a crise do petróleo de 1973 impactou diretamente os custos de produção de alimentos, decorrentes dos aumentos dos preços de fertilizantes e do óleo diesel (TIMMER, 2010). De acordo com o mesmo autor, tais fatores causaram uma retração da oferta de alimentos no mundo e consequente aumento dos preços das *commodities* agrícolas no mercado internacional, afetando o abastecimento principalmente em países em desenvolvimento.

Após a crise dos alimentos da década de 70, ampliou-se a preocupação com a temática de como aumentar o acesso de alimentos para a população para níveis mínimos nutricionais, principalmente em países em desenvolvimento e com altas taxas de subnutrição.

Nesse sentido, a Organização das Nações Unidas (ONU), durante o primeiro *World Food Conference* em 1974, trouxe o conceito de perdas de pós-colheita (em inglês, *postharvest losses*) englobando todas as operações após a colheita, principalmente

armazenagem (WORLD BANK, 2011). Em tal conferência, a ONU declarou como prioridade a redução de perdas de pós-colheita, principalmente em países em desenvolvimento, estabelecendo uma meta de redução de tais perdas em 50% até 1985 (PARFITT et al., 2010). Nos Estados Unidos da América (EUA), a Agência Americana de Desenvolvimento Internacional (AID) reconheceu o tema de perdas de pós-colheita como altamente prioritário e requisitou o desenvolvimento de estudos em países emergentes nessa área para a Academia Nacional de Ciências (MORRIS, 1978). Dessa forma, as décadas de 70 e 80 foram expressivas na pesquisa e desenvolvimento do assunto (WORLD BANK, 2011).

2.2. Situação atual e projeções

Atualmente, 12,5% da população mundial encontra-se em estado de subnutrição. Especificamente, as maiores taxas de subnutrição são observadas no continente africano, com uma fração de 22,9% da população (*Food and Agriculture Organization of the United Nations* - FAO, 2015). A Figura 1 ilustra as taxas de decrescimento de subnutrição no mundo.

Figura 1. Número de pessoas em risco de subnutrição
Fonte: FAO (2015)

A perspectiva da FAO (2015) para 2050 é que a população mundial contemple quase 10 bilhões de pessoas, cerca de 35% superior à situação do ano de 2016. Especificamente ainda, a maior parte desse aumento será oriunda de países em desenvolvimento. Por outro lado, o ritmo de crescimento da população urbana será

superior ao da rural, com uma expectativa de perfil de 70% urbano frente a 30% rural, conforme ilustrado pela Figura 2.

Figura 2. Projeções de crescimento populacional em áreas rurais e urbanas
Fonte: FAO (2015)

Tal configuração de perfil da população trará implicações relacionadas ao padrão de consumos de alimentos, de forma que se aumente o consumo de frutas, legumes, carne, laticínios e peixe, frente ao decréscimo relativo de culturas básicas, envolvendo os grãos e tubérculos (FAO, 2009), conforme apresentado pela Figura 3.

Figura 3. Evolução do consumo global de alimentos em diferentes períodos
Fonte: FAO (2009)

Sobre a questão do uso e ocupação do solo, o planeta dispunha para o de ano 2015 de cerca de 1,57 bilhão de hectares destinados à agricultura¹ (FAO, 2015). Nesse sentido, de forma a atender toda a demanda de alimentos, rações e biocombustíveis em 2030, previsões destacam a necessidade de expandir a área de terras aráveis entre 175 e 220 milhões de hectares em relação ao período de 2015 (MGI, 2011), conforme ilustra a Figura 4.

Figura 4. Projeção de uso do solo para atender a demanda de alimentos, rações e biocombustíveis em 2030, em milhões de hectares

Fonte: adaptado pelo autor a partir de MGI (2011)

¹Há diversas fontes que apresentam estatísticas com valores distintos sobre a disponibilidade de área para a agricultura. Dessa forma, adotou-se como referência a estatística da FAO (2015) dentro do critério de “terras aráveis e culturas permanentes”.

De acordo com MGI (2011), as seguintes observações para ocupação do uso do solo são ponderadas:

- Produção de alimentos: podem exigir incrementos na ordem de 90 milhões de hectares de terras agricultáveis, principalmente em maiores proporções em regiões da China, da Índia e da África. Os principais fatores para expansão são aumento populacional e consequente aumento do consumo calórico, aumento do consumo de proteínas animais, mais terras para produção;
- Perdas de produtividade: podem exigir um incremento de 30 a 75 milhões de hectares, decorrentes da degradação da terra e de mudanças climáticas;
- Expansão urbana: o fenômeno de expansão de áreas urbanas e infraestruturas podem demandar um aumento de 30 milhões de hectares de terras agricultáveis; e
- Energia (biocombustíveis e infraestrutura energética): podem demandar 15 milhões de hectares de terra, decorrentes do aumento da demanda por biocombustíveis pela sociedade, envolvendo: uma expansão de demanda de 110 milhões de metros cúbicos em 2010 para 350 milhões de metros cúbicos para 2030, sendo 30% deste valor oriundo da produção de biocombustíveis de segunda geração.

A expansão de terras aráveis de forma a atender à demanda mundial de alimentos pode trazer uma série de externalidades para outros fatores, envolvendo o consumo hídrico e emissões de carbono. Para MGI (2011), o aumento de 11 a 14% de terras aráveis pode ocasionar um aumento de 41% no consumo hídrico e de 30% nas emissões de carbono no planeta em 2030.

De toda forma, para a oferta de alimentos suprir a demanda populacional projetada para 2050, é preciso duplicar a produção agrícola tendo como referência o ano de 2014 (FAO, 2014). Nesse sentido, o tema de perdas de pós-colheita ganha destaque, uma vez que de 25% a 34% das calorias são deixadas de ser consumidas pela população em decorrência das perdas ou desperdícios da cadeia de suprimentos de alimentos, desde o produtor rural até o consumidor (LIPINSKI et al., 2013).

2.3. Cadeia de suprimentos agroalimentar

De acordo com a definição proposta pelo *Council of Logistics Management - CLM* (2015), a gestão da cadeia de suprimentos (também conhecida em Inglês como *supply chain management*) integra a gestão e o planejamento da oferta e demanda de insumos e produtos dentro de e entre empresas, envolvendo atividades como fornecimento, aquisição, conversão e logística.

Especificamente a logística, a qual é parte da cadeia de suprimentos, envolve o planejamento e operações de sistemas físicos, informacionais e gerenciais para que os fluxos e armazenagem de mercadorias (insumos e produtos) e serviços vençam condicionantes espaciais e temporais de forma econômica e eficiente desde o ponto de origem até o consumo, visando atender às exigências dos clientes (DASKIN, 1985; BALLOU, 2005; CLM, 2015).

A cadeia de suprimentos agroalimentar compreende as organizações responsáveis pela produção (agricultores), processamento (indústria) e distribuição (prestadores de serviços e comerciantes) de produtos de origem animal ou vegetal (VORST et al., 2007).

A agrologística pode ser entendida como um subconjunto das atividades fins envolvendo operações de insumos e produtos do agronegócio, ou seja, a agrologística diz respeito a fazer com que os produtos e insumos da cadeia agroalimentar cheguem no lugar certo, na hora certa em condições adequadas e que se gaste o mínimo possível com tal atividade (adaptado de CAIXETA-FILHO; GAMEIRO, 2001 e VORST et al., 2007).

2.4. Perdas e desperdícios na cadeia agroalimentar

Um terço dos alimentos produzidos para o consumo humano é perdido ou desperdiçado no mundo, ou seja, o equivalente a 1,3 bilhão de toneladas por ano, às quais representam perdas econômicas na ordem de US\$ 750 bilhões anualmente (FAO, 2013).

As seguintes definições sobre os conceitos de perdas e desperdícios de alimentos são apresentadas:

- Perdas e desperdícios de alimentos:

... referem-se a uma diminuição, em todas as fases da cadeia alimentar, desde a colheita até o consumo, em massa, de alimentos que foram originalmente destinados ao consumo humano, independentemente da causa (FAO, 2014, p. 22).

- Perdas de alimentos:

... referem-se a uma diminuição, em todas as fases da cadeia alimentar antes do nível do consumidor, em massa, de alimentos que foram originalmente destinados ao consumo humano, independentemente da causa (FAO, 2014, p. 22).

- Desperdícios de alimentos:

... referem-se aos alimentos destinados ao consumo humano que foram descartados ou estragados em nível do consumidor, independente da causa (FAO, 2014, p. 22).

A nomenclatura de pós-colheita é utilizada para descrever os processos dos sistemas agrícolas (PARFITT et al., 2010), envolvendo atividades iniciadas a partir do momento da colheita até o momento da venda ao consumidor (denominado de pré-consumo), ou seja, inclui todas as fases da cadeia onde a atividade ou serviço é destinado a agregar valor ao produto final (GOGH et al., 2013). De forma específica, o conceito de perdas de pós-colheita pode ser entendido como uma perda quantitativa e/ou qualitativa mensurável de um determinado produto após a etapa de colheita até o consumo ou processamento (FAO, 1994; PARFITT et al., 2010).

O alimento que é removido da cadeia alimentar mesmo que para outros usos (como alimentação animal ou produção de bioenergia) é considerado perda ou desperdício de alimento, dependendo da fase onde tal remoção ocorreu (LIPINSKI et al., 2013).

A Figura 5 ilustra de forma esquemática os conceitos de perdas de alimentos e de pós-colheita na cadeia de suprimentos agroalimentar, dentro das definições apresentadas anteriormente (FAO, 1994; PARFITT et al., 2010).

Figura 5. Cadeia de suprimentos agroalimentar e suas relações com perdas e desperdícios
 Fonte: adaptado de Iakovou et al. (2014), FAO (2014) e Gogh et al. (2013)

As perdas e desperdícios de alimentos mundialmente são estimados na ordem de 1,3 bilhão de toneladas ao ano (FAO, 2011). Conforme evidenciado pela Figura 6, Europa, América do Norte e Oceania são as regiões com as maiores taxas de perdas e desperdícios de alimentos *per capita*, com valores superiores a 250 quilogramas por pessoa, enquanto que o Sul e Sudeste Asiático apresentam indicadores na ordem de 120 quilogramas por pessoa.

Figura 6. Perdas e desperdícios de alimentos per capita em diferentes regiões do mundo (kg/pessoa)
Fonte: adaptado de FAO (2011)

A Tabela 1 apresenta os indicadores de perdas e desperdícios de alimentos em diferentes estágios na cadeia suprimentos para os diversos grupos de alimentos, baseados na quantidade de entrada em cada etapa. Especificamente para oleaginosas e leguminosas (incluindo, soja) as perdas nos estágios da logística (distribuição, manuseio e armazenagem) chegam a 5% enquanto que para cereais (por exemplo, milho) chega a 8% na América Latina de acordo com FAO (2011). Tais valores foram obtidos a partir de um modelo de fluxo de massa que contabiliza as perdas e os desperdícios em cada etapa da cadeia de suprimentos para cada produto.

Tabela 1. Perdas e desperdícios de alimentos nos diferentes estágios da cadeia de suprimentos para produtos alimentícios (em % de entrada em cada etapa) na América Latina (2011)

Alimentos	Produção agropecuária	Manuseio e armazenagem	Processamento e embalagem	Distribuição	Consumo doméstico
Cereais	6,0%	4,0%	2 a 7,0%	4,0%	10,0%
Raízes e tubérculos	14,0%	14,0%	12,0%	3,0%	4,0%
Oleaginosos e leguminosas	6,0%	3,0%	8,0%	2,0%	2,0%
Frutas e vegetais	20,0%	10,0%	20,0%	12,0%	10,0%
Carne	5,3%	1,1%	5,0%	5,0%	6,0%
Peixes e frutos do mar	5,7%	5,0%	9,0%	10,0%	4,0%
Leite	3,5%	6,0%	2,0%	8,0%	4,0%

Fonte: adaptado de FAO (2011)

Dentro desse contexto, é interessante notar a correlação existente entre o nível de desenvolvimento da região geográfica e a participação da perda ou desperdício em cada fase da cadeia de suprimentos. Para os países desenvolvidos, as perdas/desperdícios de alimentos se concentram mais proximamente ao consumidor, enquanto que em países em desenvolvimento tais indicadores se concentram mais próximos à produção, conforme apresentado pela Figura 7.

Figura 7. Perdas e desperdícios de alimentos em cada fase da cadeia de suprimentos para o grupo de países desenvolvidos e em desenvolvimento

Fonte: elaborado pelo autor baseado em FAO (2011)

Diante deste contexto, Gogh et al. (2013) generalizam tal relação de perdas/desperdícios de alimentos com o nível de riqueza do país, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8. Linha de tendência entre perdas/desperdícios de alimentos e nível de renda dos países
 Fonte: adaptado pelo autor baseado em Gogh et al. (2013)

As principais diferenças entre as perdas e desperdícios de alimentos para diferentes grupos de países são identificadas a seguir.

Países de baixa renda:

De acordo com Band et al. (2013), os principais determinantes para tal situação nos países de baixa renda (em desenvolvimento) são:

- Perdas de pré-colheita: climas extremos, pragas, doenças, variedades menos resistentes às condições edafoclimáticas, solo de baixa fertilidade;
- Produção agrícola: precárias técnicas de plantio, manejo e colheita, limitações tecnológicas;
- Limitações do trabalho: muitas mulheres e crianças agricultoras, perdas de oportunidades educacionais, problemas de saúde;
- Incidência de colheita precoce em decorrência de condições agrometeorológicas e restrições financeiras (necessidade de fluxo de caixa);
- Manejo de pós-colheita: práticas incorretas de manejo nas operações de pós-colheita, envolvendo beneficiamento e classificação, além da falta de treinamento adequado para tais operações;

- Armazenagem: perdas por operações de carregamento e descarregamento, deterioração (pragas e doenças) e consumo por animais (aves e roedores);
- Falta de infraestrutura física de armazenagem e de transporte; e
- Reduzido número de instalações de armazenagem, limitando a escala de produção para processamento e preservação da vida útil.

Parfitt et al. (2010) acrescentam mais dois fatores: precária integração entre mercado local e os produtores e da alta presença de intermediários para abastecimento do mercado urbano, além da participação dos pequenos produtores, incluindo agricultura para subsistências.

Smith et al. (2015) comentam mais outros fatores:

- Gestão da cadeia de suprimentos: falta de controle de qualidade na armazenagem e precária manutenção de registros; e
- Falta de políticas públicas, de apoio e de investimento do governo para melhorias.

Países de média e alta renda (desenvolvidos):

Os principais fatores para a situação das perdas em países de média e alta renda (desenvolvidos) de acordo com Band et al. (2013) são:

- Baixa previsibilidade de demanda: no final da cadeia do varejista e na fase seguinte, a previsibilidade é complexa e imprecisa, pois é afetada por uma série de fatores, envolvendo: sazonalidade, condições climáticas, campanhas de *marketing*, canais de venda mais complexos (vendas *online*, por exemplo);
- Existência de contratos com excesso de produção com os produtores rurais de forma a se ter uma maior previsibilidade da oferta do produto, incluindo taxas de perdas nas operações de pós-colheita;
- Armazenagem: perdas decorrentes de operações inadequadas, principalmente pela falta de controle de temperatura para produtos perecíveis, além de ataque de infestação biológica;

- Padrões rigorosos de classificação no varejo: os produtos que não atendem aos padrões de qualidade do consumo (aparência, peso, cor, tamanho etc.) são rejeitados e utilizados para outras finalidades ou mesmo desperdiçados;
- Utilização maior de automação nas fases de processamento pode incorrer em maiores perdas/desperdícios; e
- Gestão ineficiente de estoques e limitações de prazos de validade no controle de qualidade de restaurante, por exemplo, em *fast-foods*.

Parfitt et al. (2010) incluem também o acesso a tecnologias sofisticadas, envolvendo *packing-houses* e equipamentos, principalmente para cadeia de frios.

De acordo ainda com Smith et al. (2015), outros conjuntos podem ser incluídos, como: tempo de viagem longo entre os elos da cadeia de suprimentos; cláusulas de contratos de penalização que incidem sobre os produtores; contratos de exclusividade entre produtores e intermediários ou atacadistas; dificuldades na doação de alimentos.

Em um estudo desenvolvido por Gogh et al. (2013) para a cadeia de abastecimento agroalimentar de frios, envolvendo frutas e hortaliças para países em desenvolvimento e desenvolvidos, foram identificadas (através de uma revisão de literatura sistêmica) as principais categorias de causas de perdas de pós-colheita para tal segmento. Desta forma, a Figura 9 ilustra o *ranking* elaborado com as dez principais causas.

Figura 9. *Ranking* das dez principais causas de perdas de pós-colheita na cadeia de suprimentos de frios

Fonte: adaptado de Gogh et al. (2013)

Paralelamente, os mesmos autores identificaram, através de questionários aplicados aos principais *stakeholders* da cadeia de frios em países selecionados (incluindo o Brasil), a falta de conhecimento em diversos segmentos dentro da cadeia de suprimentos, principalmente de hortaliças, além de um baixo nível tecnológico e apoio do governo e instituições de pesquisa (GOGH et al., 2013). Nesse contexto, no Brasil foi identificada uma falta de conhecimento de vários segmentos dentro da cadeia de suprimentos, particularmente de hortaliças, além de um baixo nível tecnológico.

A Tabela 2 ilustra os principais resultados do questionário aplicado para Argentina, Brasil, Coréia do Sul, Taiwan e Cazaquistão.

Tabela 2. Causas das perdas de pós-colheita da cadeia a frio para diferentes países, segundo *stakeholders* entrevistados

Causas de perdas	ARG ¹	BRA ²	SOK ³	TWN ⁴	KAZ ⁵
Treinamento / educação: falta de conhecimento sobre perdas na cadeia de suprimentos	X	X	X	X	
Precária disponibilidade de estruturas de armazenagem	X	X	X		
Baixa ou insuficiente qualidade do transporte	X	X			X
Embalagens inadequadas para transporte e armazenagem	X	X			X
Falta de bom entendimento da cadeia de suprimentos		X	X	X	
Precária gestão de temperatura de armazenagem			X		X
Precária gestão de temperatura da cadeia a frio			X		X
Precária ou limitada infraestrutura da cadeia a frio	X	X			
Ausência de transporte refrigerado	X	X			
Baixo conhecimento a nível do produtor rural	X	X			
Baixo nível tecnológico	X	X			
Falta de boas informações de mercado	X	X			
Perdas da quantidade e qualidade durante colheita	X				
Tecnologias caras	X				
Barreiras tarifárias e não tarifárias para importações de tecnologias		X			
Falta de acesso ao crédito	X				
Falta de organização dos produtores rurais	X				
Falta de iniciativa e apoio do governo		X			
Cadeia não integrada de suprimentos: desequilíbrio entre oferta e demanda	X				

¹Argentina; ²Brasil; ³Coréia do Sul; ⁴Taiwan; ⁵Cazaquistão

X: fator evidenciado pelos *stakeholders* entrevistados

Fonte: adaptado de Gogh et al. (2013)

Por outro lado, as perdas/desperdícios de alimentos e de pós-colheita podem resultar em externalidades econômicas, ambientais e sociais. Nesse sentido, FAO (2014) identifica tais externalidades decorrentes da ampliação das perdas e desperdícios de alimentos, que estão ilustradas no Quadro 1.

Impactos	Fatores
Econômicos	Empresas e consumidores gastam uma parcela maior do orçamento em alimentos que não serão vendidos ou consumidos
	Desequilíbrio de fluxos de produção e demanda
	Necessidade de investimentos para estoques intermediários, através da construção de armazéns
	Redução do lucro
	Ineficiências na cadeia de suprimentos
Sociais	Custos adicionais incorridos para redução e eliminação de resíduos
	Redução dos recursos financeiros para investimentos em outras áreas, por parte do produtor e governo
	Consumidores com menos recursos para compras
	Falta de produtos (alimentos)
	Dificuldade para as empresas realizarem seu planejamento
Ambientais	Alto nível dos preços de alimentos e consequentemente dificuldade de acessá-los de forma contínua pela população
	Maior número de pessoas abaixo da linha da pobreza
	Ampliação da quantidade de lixo e resíduos
	Contaminação dos indivíduos em áreas rurais e urbanas
	Multiplicação de aterros
Ambientais	Pressão nos recursos naturais, principalmente água e uso do solo
	Emissão de gases de efeito estufa
	Ocupação de florestas e áreas de recuperação
	Maior gasto com energia não renovável

Quadro 1. Impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes do aumento das perdas e desperdícios de alimentos

Fonte: adaptado e reorganizado de FAO (2014)

De acordo com a FAO (2013), as perdas e desperdícios de alimentos possuem impactos negativos no meio-ambiente, decorrentes dos recursos necessários para que tais produtos alimentícios venham a ser produzidos, envolvendo: água, solo e energia, dentre outros. Nesse contexto, a emissão global de gases de efeito estufa (GEE) decorrentes das perdas e desperdícios de alimentos totalizou 3,3 gigatoneladas de dióxido de carbono (CO₂) equivalentes em 2007, ainda de acordo com FAO (2013), ou seja, patamares superiores ao terceiro maior país emissor, tal como ilustrado na Figura 10.

Figura 10. *Ranking dos top 10 países emissores de GEE versus emissões de perdas e desperdícios de alimentos*
 Fonte: adaptado de FAO (2013)

O Quadro 2 identifica as principais iniciativas globais que atuam em diversas escalas para minimizar as perdas de pós-colheita, perdas e desperdícios de alimentos. Tais iniciativas têm ganhado destaque e grande preocupação, principalmente em dois polos extremos: os países com graves problemas de perdas pós-colheita (por exemplo, no continente africano); os países com elevadas taxas de desperdícios de alimentos (principalmente na Europa).

Iniciativa	Instituição	Ano	País	Descrição	Tópicos tratados
<i>Appropriate Food Packaging Solutions for Developing Countries</i>	FAO	2011	Internacional	Identificação de soluções e tecnologias nos países em desenvolvimento para embalagem, de modo a contribuir para a prevenção e redução de perdas globais de alimentos na produção, pós-colheita, distribuição, processamento e varejo.	Perdas e desperdícios
<i>Global Food Losses and Food Waste</i>	FAO	2011	Internacional	Identificação das causas de perdas e desperdício de alimento, elaboração de diretrizes de redução e de exemplos de boas práticas para os diferentes <i>stakeholders</i> .	Perdas e desperdícios
<i>Wise Up on Food Waste (2011)</i>	<i>Unilever Food Solutions & Sustainable Restaurants Association</i>	2011	Internacional	Criação de uma auditoria de resíduos e um <i>kit</i> de ferramentas de redução de resíduos, incluindo dicas para ajudar restaurantes a monitorarem seus desperdícios de alimentos na cozinha e os consumidores a reduzir seus resíduos de alimentos em casa. O kit de ferramentas inclui informação sobre como conduzir avaliações de resíduos / monitoramento e treinamento de pessoal.	Somente desperdícios
<i>African Alliance for Improved Food Processing</i>	<i>US Agency for International Development and Multistakeholders</i>	2012	Países da África Oriental	Oferecimento de apoio e capacitação de projetos técnicos para melhorar o desempenho das empresas de alimentos e ajudá-las a acessar o mercado internacional pelo cumprimento das normas de qualidade e segurança.	Somente desperdícios
<i>Stop Food Waste</i>	<i>European Commission</i>	2012	União Europeia	Dicas para ajudar a reduzir o desperdício de alimentos ao nível do agregado familiar.	Somente desperdícios

Quadro 2. Iniciativas globais envolvendo a temática de perdas e desperdícios de alimentos (continua)

Fonte: organizado e adaptado de FAO (2013); ADM Institute for the Prevention of Postharvest Loss (2016); World Bank (2015); APHLIS (2016).

Iniciativa	Instituição	Ano	País	Descrição	Tópicos tratados
<i>Guidelines on the Preparation of Food Waste Prevention Programmes</i>	União Europeia	2011	União Europeia	Orientações para os <i>policy-makers</i> nacionais para melhorar e desenvolver os Programas de Prevenção de Desperdício Nacional. A abordagem setorial adotada incide sobre os principais produtores de resíduos alimentares em cada sector, propondo uma série de melhores técnicas de prevenção para cada caso.	Somente desperdícios
<i>Tips and Advice on How to Create an Efficient Waste Prevention Programme</i>	<i>The European Environmental Bureau</i>	2012	União Europeia	Listas de obrigações legais e oportunidades já existentes para a prevenção de desperdícios, dando conselhos sobre a melhor forma de planejar um programa de prevenção de desperdícios, que indicadores usar e quais instrumentos utilizar.	Somente desperdícios
<i>Don't Bite Off More Than You Can Chew</i>	<i>Brussels Institute for Environmental Management</i>	2008	Bélgica	Um guia para professores e alunos entre oito e dez anos de idade sobre a prevenção de desperdícios alimentares, incluindo a medição do consumo de alimentos, as discussões sobre as consequências do desperdício de alimentos e participação de crianças em atividades de redução de desperdícios alimentares.	Somente desperdícios
<i>Guidelines for the Transfer of Food to Social Institutions</i>		2011	Alemanha	Fornecer orientações e informações sobre questões jurídicas para as empresas, instituições e indivíduos dispostos a doar seus excedentes de alimentos para redistribuição entre as pessoas em necessidade.	Somente desperdícios

Quadro 2. Iniciativas globais envolvendo a temática de perdas e desperdícios de alimentos (continua)

Fonte: organizado e adaptado de FAO (2013); ADM Institute for the Prevention of Postharvest Loss (2016); World Bank (2015); APHLIS (2016).

Iniciativa	Instituição	Ano	País	Descrição	Tópicos tratados
<i>National Guidelines on Prevention and Minimization of Municipal Waste</i>		2004	Itália	Um guia operacional dedicado para os administradores e gestores de serviços públicos ambientais locais para ajudá-los a desenhar e iniciar políticas e ações de prevenção de desperdícios. Propõe experiências bem sucedidas de prevenção e orientações.	Somente desperdícios
<i>The Food Industry Sustainability Strategy (FISS) Champions' Group on Waste</i>	Parceria Público-Privada	2006	Reino Unido	Visa melhorar a sustentabilidade do desempenho da indústria de alimentos, incentivando a adoção das melhores práticas. O Grupo dos Campeões define uma redução de perdas de alimentos e desperdícios de embalagens como 3% ao ano ao longo de 5 anos a partir de uma linha de base de 2006.	Somente desperdícios
<i>Food Waste Prevention and Reduction Strategies</i>	Agência de Proteção Ambiental		Estados Unidos	Esta página <i>web</i> fornece orientações para a prevenção e redução de desperdício de alimentos ao nível familiar, bem como informações sobre a redução dos impostos.	Somente desperdícios
<i>Wasted: How America is Losing Up to 40 Percent of its Food from Farm to Fork to Landfill</i>	<i>Natural Resorces Defense Council</i>	2012	Estados Unidos	Descreve a natureza e extensão do desperdício de alimentos desde a colheita até os níveis de gestão e propõe ideias para aumentar a eficiência e redução das perdas / desperdícios em toda a cadeia de valor, com dicas e sugestões para os agricultores, empresas, consumidores e formuladores de políticas.	Perdas e desperdícios

Quadro 2. Iniciativas globais envolvendo a temática de perdas e desperdícios de alimentos (continua)

Fonte: organizado e adaptado de FAO (2013); ADM Institute for the Prevention of Postharvest Loss (2016); World Bank (2015); APHLIS (2016).

Iniciativa	Instituição	Ano	País	Descrição	Tópicos tratados
<i>Supply Chain Waste Prevention Guide - From Factory In-Gate to Till</i>	<i>The Institute of Grocery Distribution</i>	2013	Reino Unido	Identifica as principais áreas em que as empresas podem trabalhar para diminuir a sua produção de desperdícios, incluindo estudos de caso e as opções de gestão de desperdícios para cada tipo de negócio, além de ferramentas de prevenção.	Somente desperdícios
<i>Guidance on the Application of Date Labels to Food</i>	<i>Department for Environmental, Food and Rural Affairs</i>	2011	Reino Unido	Esta versão revista fornece o significado de cada rótulo em gêneros alimentícios, fornecendo também exemplos de melhores práticas para as empresas para a escolha do rótulo mais adequado.	Somente desperdícios
<i>Roadmap to a Resource Efficient Europe</i>		2011	União Europeia	Define metas para a Europa reduzir 50% dos desperdícios de alimentos, bem como a redução de 20% no <i>input</i> de alimentos na cadeia. Incentiva os Estados-Membros a preservar a eficiência dos recursos e envolver o setor privado em projetos de pesquisa e desenvolvimento.	Perdas e desperdícios
<i>Multi-Donor Trust Fund for Sustainable Logistics (MDTS-SL)</i>	<i>World Bank</i>	2015	Países de baixa renda e em desenvolvimento	Fomento de projetos direcionados para pesquisa visando reforçar a segurança alimentar e melhorar a competitividade das exportações agrícolas através da redução sustentável dos custos logísticos e as perdas de alimentos ao longo da cadeia de abastecimento.	Somente perdas

Quadro 2. Iniciativas globais envolvendo a temática de perdas e desperdícios de alimentos (continua)

Fonte: organizado e adaptado de FAO (2013); ADM Institute for the Prevention of Postharvest Loss (2016); World Bank (2015); APHLIS (2016).

Iniciativa	Instituição	Ano	País	Descrição	Tópicos tratados
<i>ADM Institute for the Prevention of Postharvest Loss</i>	<i>ADM e University of Illinois Urbana-Champaign</i>	2012	Estados Unidos	É um <i>hub</i> internacional consolidador de informações para a avaliação, criação e divulgação de tecnologias economicamente viáveis, práticas e sistemas que reduzem as perdas de pós-colheita em lavouras de alimentos básicos como milho, trigo e sementes oleaginosas.	Somente perdas
<i>African Postharvest Losses Information System</i>	<i>Forum for Agricultural Research in Africa; Natural Resources Institute; MARS; Institute for Environment and Sustainability</i>		Continente Africano	APHLIS é uma fonte de informação sobre as perdas pós-colheita (PHLS) de cereais (incluindo soja e milho).	Somente perdas

Quadro 2. Iniciativas globais envolvendo a temática de perdas e desperdícios de alimentos (conclusão)

Fonte: organizado e adaptado de FAO (2013); ADM Institute for the Prevention of Postharvest Loss (2016); World Bank (2015); APHLIS (2016).

2.5. Considerações finais

Neste capítulo ficou evidente a importância da oferta de alimentos para uma população em crescimento, principalmente em países desenvolvidos e com um perfil que trará implicações relacionadas ao padrão de consumo, incluindo o aumento na demanda por carnes, laticínios e óleos vegetais, os quais normalmente utilizam os grãos como insumos de produção. Na gestão da oferta de produtos agrícolas e alimentos, há diversas formas de ampliá-la sendo uma especificamente de interesse objeto de estudo nesta pesquisa, que é a gestão das perdas como uma estratégia para estabilizar a oferta ao longo de toda a cadeia de suprimentos. Nesse contexto, estima-se que as perdas e desperdícios de alimentos atinjam patamares na grandeza de 1,3 bilhão de toneladas ao ano. Especificamente para leguminosas (soja, por exemplo) estima-se que para a América Latina as perdas atinjam o patamar de 5% envolvendo as etapas logísticas de distribuição, manuseio e armazenagem, enquanto que para os cereais (milho) atinjam 8%. Especificamente as causas das perdas podem ser bastante distintas, dependendo da realidade de cada país (normalmente, os países de média e alta renda apresentam padrões de perdas mais direcionadas ao consumidor, enquanto que países de baixa renda apresentam perdas mais concentradas e próximas à produção). Em decorrência disso, uma série de fatores foi identificada como causadores das perdas para diferentes realidades, além da identificação de ações que têm sido realizadas internacionalmente direcionadas para a redução de perdas e desperdícios, de grãos inclusive.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Antes da apresentação do material e métodos, é importante definir a amplitude do conceito de perdas na logística adotado nesta pesquisa. Parte-se da premissa de que as perdas na logística de grãos são um subconjunto das perdas de pós-colheita de tais produtos, sendo estas definidas como perdas mensuráveis após a etapa de colheita até o consumo ou processamento de acordo com as definições apresentadas no capítulo anterior por FAO (2010) e Parfitt et al. (2010).

Perdas na agrologística de grãos, envolvendo os produtos agrícolas soja e milho, podem ser definidas como as perdas em massa de todas as atividades logísticas de transporte, armazenagem e transbordo desde a etapa subsequente à colheita até a entrega no destino final dentro do território nacional (porto) e antes do processamento ou consumo (centro consumidor). Foram analisadas catorze atividades logísticas de grãos envolvendo perdas contemplando cinco categorias logísticas, conforme apresentado no Quadro 3.

Categoria de atividades logísticas	Atividades logísticas de grãos
Transporte Rodoviário	1. Movimentação da fazenda ao armazém externo à fazenda
	2. Movimentação da fazenda ao centro consumidor (mercado doméstico) ou porto (mercado externo)
	3. Movimentação da fazenda ao terminal ferroviário
	4. Movimentação da fazenda ao terminal hidroviário
	5. Movimentação do armazém externo à fazenda ao centro consumidor (mercado doméstico) ou porto (mercado externo)
	6. Movimentação do armazém externo à fazenda ao terminal ferroviário
	7. Movimentação do armazém externo à fazenda ao terminal hidroviário
Transporte Ferroviário	8. Movimentação do terminal ferroviário ao terminal de destino (centro consumidor ou porto)
Transporte Hidroviário	9. Movimentação do terminal hidroviário ao terminal de destino (centro consumidor ou porto)
Armazenagem	10. Atividade de armazenagem de grãos em nível da fazenda
	11. Atividade de armazenagem de grãos em nível externo à fazenda
Transbordo e armazenagem nos Terminais	12. Atividade de transbordo e armazenagem no terminal ferroviário
	13. Atividade de transbordo e armazenagem no terminal hidroviário
	14. Atividade de transbordo e armazenagem no terminal portuário

Quadro 3. Atividades logísticas consideradas para avaliação das perdas

Fonte: elaborado pelo autor

O método desta pesquisa consiste em cinco etapas de desenvolvimento, envolvendo: (i) levantamento de dados sobre perdas nas diversas etapas logísticas de grãos para a realidade brasileira através da obtenção de dados primários e secundários; (ii) consolidação dos níveis de perdas para diferentes atividades da cadeia agrologística de grãos no Brasil, bem como a elaboração de índices de perdas acumuladas para logísticas específicas; (iii) especificação dos dados para a modelagem da cadeia de suprimentos de grãos; (iv) modelagem matemática da cadeia de suprimentos de grãos no Brasil envolvendo as informações consolidadas das etapas anteriores; e (v) avaliação de cenários para quantificação de perdas físicas, econômicas e ambientais na agrologística de grãos para distintas regiões, bem como a avaliação de estratégias e política públicas para mitigação das perdas de soja e milho no país.

A Figura 11 ilustra de forma esquemática o desenvolvimento do método utilizado para atingir os objetivos desta pesquisa.

Figura 11. Representação esquemática dos processos metodológicos

Fonte: elaborado pelo autor

As demais seções deste capítulo apresentarão em detalhes as especificações de cada etapa do método, bem como os dados utilizados.

3.1. Etapa 1: Levantamento de dados sobre perdas nas atividades logísticas de grãos

O objetivo desta etapa foi levantar indicadores de perdas (relativos ou absolutos) nas diversas atividades logísticas de grãos envolvendo a armazenagem e o transporte (rodoviário e multimodal) desde a movimentação dos produtos na fazenda até o destino final, seja um porto (mercado externo) ou centro consumidor (mercado interno).

Em função da escassez de informações sobre perdas de grãos nas atividades logísticas na realidade brasileira em literatura, também foi realizado o levantamento de informações primárias através de entrevistas com uma série de agentes que atuam na cadeia agroindustrial de grãos, principalmente no setor de logística.

Dessa forma, foi estruturado um roteiro de perguntas (questionário) envolvendo as seguintes informações:

- Conceitos de perda, quebra-técnica e retenção contratual nas atividades logísticas;
- Indicadores de quebra-técnica, perdas e retenções contratuais nas atividades logísticas;
- Identificação de fatores que influenciam as perdas nas atividades logísticas, principalmente relacionados à qualidade da via; e
- Identificações de ações e estratégias que possam mitigar perdas nas atividades logísticas.

Tal questionário foi aplicado durante entrevistas com agentes do setor presencialmente e também por telefone junto aos informantes do Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (ESALQ-LOG) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, com o apoio da equipe de pesquisadores de coleta de dados. O Grupo ESALQ-LOG realiza pesquisas sistêmicas com agentes que atuam na logística do agronegócio brasileiro para obtenção de informações do comportamento do mercado de fretes envolvendo

embarcadores, transportadoras, agenciadores e operadores logísticos. No total foram consultadas e entrevistadas por telefone ou contato pessoal trinta e duas instituições contemplando terminais (ferroviários e portuários), transportadoras, agenciadores e embarcadores durante o período de janeiro de 2016 a maio de 2016.

O capítulo de resultados abordará em detalhes as informações obtidas para esta seção. O roteiro de perguntas pode ser consultado nos Anexos deste documento.

3.2. Etapa 2: Índice de perdas na agrologística de grãos

O objetivo desta etapa é construir os índices de perdas nas diversas logísticas de grãos no Brasil, isto é, a perda acumulada desde a origem até o destino final, em valores absolutos (massa) e relativos (em relação à quantidade expedida na origem). Os índices de perdas foram elaborados a partir dos níveis de perdas de cada atividade logística identifica na etapa anterior.

3.2.1. As perdas nas diferentes agrologísticas de grãos

Para fins da elaboração dos índices de perdas na agrologística de grãos envolvendo o mercado doméstico e externo, parte-se das seguintes premissas:

- Os grãos podem ser armazenados na fazenda onde foram produzidos ou em alguma estrutura de armazenagem fora da fazenda.
- Após a etapa de armazenagem, a movimentação dos grãos pode seguir para dois canais de comercialização: mercado interno ou externo.
- O transporte de grãos independentemente do canal de comercialização pode ser tanto unimodal (transporte rodoviário) quanto multimodal, envolvendo o transporte rodoviário e mais algum outro modal (ferroviário ou hidroviário).
- Para cada atividade logística ocorre um nível de perda, podendo envolver: (i) o transporte rodoviário; (ii) o transporte ferroviário; (iii) o transporte hidroviário; (iv) a armazenagem dentro ou fora da fazenda; (v) transbordos e armazenagem nos terminais multimodais (ferroviários, hidroviários e portuários), conforme

detalhado no Quadro 3. No caso do mercado interno, as perdas que ocorrem no centro consumidor não foram consideradas.

- A quantidade de grãos desde a origem até o destino final (porto ou centro consumidor) apresenta decréscimo conforme a movimentação na cadeia agrologística, isto é, a quantidade de saída de grãos de um determinado elo da cadeia agrologística é superior à quantidade de entrada no elo subsequente em decorrência da perda, a qual é cumulativa ao longo da cadeia.

A Figura 12 ilustra as atividades logísticas onde ocorrem perdas na exportação de grãos envolvendo a unimodalidade para duas situações distintas: com armazenagem externa à fazenda e com armazenagem em nível da fazenda. Para fins esquemáticos adotou-se a apresentação no formato de redes em níveis multicamadas² da cadeia agrologística.

Figura 12. Rede da agrologística unimodal de grãos para exportação envolvendo perdas para duas situações: (i) armazenagem externa à fazenda e (ii) armazenagem em nível da fazenda.

Fonte: elaborado pelo autor

² Esquema baseado no conceito ilustrativo apresentado por Lazzarini; Chaddad; Cook (2008).

Para o caso da logística de exportação rodoviária com armazenagem externa à fazenda, há perdas nas seguintes atividades logísticas:

- Transporte rodoviário da fazenda ao armazém (“Perda rodoviária 1”).
- Armazenagem de grãos pelo prestador de serviço, cooperativa ou trading (“Perda no armazém”).
- Transporte rodoviário do armazém até o porto (“Perda rodoviária 2”).
- Atividade de transbordo e armazenagem portuária (“Perda no porto”).

No caso da situação com armazenagem em nível da fazenda, não ocorre o transporte rodoviário da fazenda ao armazém externo, reduzindo uma fonte de perda quando comparada à situação anterior. Dessa forma, as perdas ocorrem nas seguintes atividades:

- Armazenagem de grãos em nível da fazenda (“Perda no armazém”).
- Transporte rodoviário da fazenda até o porto (“Perda rodoviária 1”).
- Transbordo e armazenagem portuária (“Perda no porto”).

A Figura 13 apresenta as atividades logísticas onde ocorrem perdas na exportação de grãos utilizando a multimodalidade, tal como apresentado na figura anterior.

Figura 13. Rede da agrologística multimodal de grãos para exportação envolvendo perdas para duas situações: (i) armazenagem externa à fazenda e (ii) armazenagem em nível da fazenda.
Fonte: elaborado pelo autor

No caso da multimodalidade ocorre um número maior de atividades logísticas quando comparado à logística unimodal, implicando uma incidência maior de perdas. Para o caso da situação com armazenagem externa à fazenda, as perdas ocorrem nas seguintes atividades:

- Transporte rodoviário da fazenda ao armazém ("Perda rodoviária 1").
- Armazenagem de grãos pelo prestador de serviço, cooperativa ou *trading* ("Perda no armazém").
- Transporte rodoviário do armazém ao terminal multimodal ("Perda rodoviária 2").
- Atividade de transbordo e armazenagem no terminal multimodal ("Perda no terminal").
- Transporte ferroviário ou hidroviário ("Perda ferroviária ou hidroviária").
- Atividade de transbordo e armazenagem portuária ("Perda no porto").

No caso da situação de armazenagem em nível da fazenda, não ocorre a perda no transporte rodoviário da fazenda ao armazém, visto que não existe tal atividade logística. Dessa forma, as perdas ocorrem nas seguintes atividades logísticas:

- Armazenagem de grãos em nível da fazenda (“Perda no armazém”).
- Transporte rodoviário da fazenda ao terminal multimodal (“Perda rodoviária 1”).
- Atividade de transbordo e armazenagem no terminal multimodal (“Perda no terminal”).
- Transporte ferroviário ou hidroviário (“Perda ferroviária ou hidroviária”).
- Atividade de transbordo e armazenagem portuária (“Perda no porto”).

As atividades logísticas para abastecimento do mercado interno via unimodalidade são apresentados na Figura 14.

Figura 14. Rede da agrologística unimodal de grãos para abastecimento do mercado interno envolvendo perdas para duas situações: (i) armazenagem externa à fazenda e (ii) armazenagem em nível da fazenda.

Fonte: elaborado pelo autor

Diferentemente das atividades logísticas de exportação, as quais consideram perdas no último elo da cadeia – o porto, na agrologística de abastecimento do mercado doméstico não foi considerada a perda no nível do centro consumidor (processamento e/ou consumo) de acordo com a definição estabelecida. Nesse sentido, as perdas

ocorrem nas seguintes atividades logísticas para a situação com armazenagem externa à fazenda:

- Transporte rodoviário da fazenda ao armazém (“Perda rodoviária 1”).
- Armazenagem de grãos pelo prestador de serviço, cooperativa ou *trading* (“Perda no armazém”).
- Transporte rodoviário do armazém até o centro consumidor (“Perda rodoviária 2”).

Para a situação da logística do mercado interno unimodal com armazenagem em nível da fazenda, as perdas são:

- Armazenagem de grãos em nível da fazenda (“Perda no armazém”).
- Transporte rodoviário da fazenda ao centro consumidor (“Perda rodoviária 1”).

A Figura 15 traz a representação esquemática das perdas na logística multimodal de abastecimento do mercado interno.

Figura 15. Rede da agrologística multimodal de grãos para abastecimento do mercado interno envolvendo perdas para duas situações: (i) armazenagem externa à fazenda e (ii) armazenagem em nível da fazenda.

Fonte: elaborado pelo autor

Os processos logísticos que envolvem perdas na situação com armazenagem externa à fazenda para a agrologística multimodal de grãos para abastecimento do mercado interno são:

- Transporte rodoviário da fazenda ao armazém (“Perda rodoviária 1”).
- Armazenagem de grãos pelo prestador de serviço, cooperativa ou *trading* (“Perda no armazém”).
- Transporte rodoviário do armazém ao terminal multimodal (“Perda rodoviária 2”).
- Atividade de transbordo e armazenagem no terminal multimodal (“Perda no terminal”).
- Transporte ferroviário ou hidroviário (“Perda ferroviária ou hidroviária”).

Para a agrologística multimodal de grãos para abastecimento interno envolvendo a armazenagem em nível de fazenda, as perdas são:

- Armazenagem de grãos em nível da fazenda (“Perda no armazém”).
- Transporte rodoviário da fazenda ao terminal multimodal (“Perda rodoviária 1”).
- Atividade de transbordo e armazenagem no terminal multimodal (“Perda no terminal”).
- Transporte ferroviário ou hidroviário (“Perda ferroviária ou hidroviária”).

Ainda nessa linha, a qualidade da infraestrutura de transporte rodoviária pode influenciar as perdas de produtos agrícolas na logística. Dessa forma, a qualidade das rodovias nos corredores logísticos de longas distâncias - envolvendo o transporte rodoviário desde as fazendas/armazéns até os terminais multimodais, centros consumidores e portos - foram incorporados para ponderar o índice de perdas na logística de grãos e também na modelagem matemática. Para fins de modelagem determinística, foram estabelecidas duas possibilidades de qualidade das rodovias nos corredores logísticos de longas distâncias: “boa” ou “não boa”. Na próxima seção deste capítulo será apresentando o método de classificação das vias, conforme ilustra a Figura 16. Para cada opção foi obtido um nível médio de perda, decorrente das entrevistas realizadas, captando a percepção dos diversos agentes sobre a influência da qualidade da via.

Figura 16. Esquema representativo dos fluxos de transporte e o tipo de via no transporte rodoviário de grãos com destinos aos portos, centros consumidores, terminais ferroviários e hidroviários.
Fonte: elaborado pelo autor

3.2.2. Estruturação quantitativa dos índices e de uma função de perdas nas diferentes agrologísticas

As perdas na agrologística de grãos são acumuladas ao longo de todas as atividades logísticas da cadeia.

De forma ilustrativa, a Figura 17 apresenta um diagrama das atividades logísticas de uma cadeia de suprimentos, com uma quantidade embarcada de grãos (E) no sistema. Para cada atividade logística realizada existe a ocorrência de uma perda. A quantidade de saída de cada atividade logística é superior à quantidade de chegada à atividade subsequente. A quantidade de saída de grãos (S) no sistema é igual à quantidade embarcada descontada todas as perdas nas quatro atividades.

Figura 17. Representação da cadeia de suprimento de grãos e sua relação com as perdas para quatro atividades logísticas (sistema agrologístico)

Fonte: elaborado pelo autor

Define-se:

E: quantidade inicial de grãos de entrada na cadeia de suprimentos a partir da atividade 1, em unidade de massa.

perda₁: perda na atividade logística 1, em unidade de massa.

perda₂: perda na atividade logística 2, em unidade de massa.

perda₃: perda na atividade logística 3, em unidade de massa.

perda₄: perda na atividade logística 4, em unidade de massa.

T₁: transferência de grãos da atividade 1 à atividade 2, descontando a perda, em unidade de massa.

T₂: transferência de grãos da atividade 2 à atividade 3, descontando as perdas, em unidade de massa.

T₃: transferência de grãos da atividade 3 à atividade 4, descontando as perdas, em unidade de massa.

S: quantidade de saída do sistema agrologístico, descontando as perdas em todas as atividades, em unidade de massa.

p₁: perda relativa (%) na atividade logística 1, a partir da quantidade de entrada nesta atividade.

p₂: perda relativa (%) na atividade logística 2, a partir da quantidade de entrada nesta atividade.

p₃: perda relativa (%) na atividade logística 3, a partir da quantidade de entrada nesta atividade.

p_4 : perda relativa (%) na atividade logística 4, a partir da quantidade de entrada nesta atividade.

Para a situação apresentada na Figura 17, o índice da perda pode ser calculado pelas seguintes expressões algébricas.

A perda na primeira atividade é um percentual da quantidade de entrada neste elo, conforme ilustra a expressão (1).

$$\text{perda}_1 = p_1 E \quad (1)$$

A quantidade de transferência da atividade 1 para a atividade subsequente é calculada envolvendo a quantidade de entrada no sistema, descontando a perda ocorrida no elo anterior, de acordo com a expressão (2).

$$T_1 = E (1 - p_1) \quad (2)$$

A perda nesta atividade é a quantidade embarcada no sistema, descontada a perda no elo anterior.

$$\text{perda}_2 = p_2 [E (1 - p_1)] \quad (3a)$$

$$\text{perda}_2 = E (p_2 - p_1 p_2) \quad (3b)$$

Os mesmos procedimentos para cálculo das perdas e das transferências entre as atividades logísticas são realizados para os demais elos, conforme apresentado nas equações a seguir.

$$T_2 = T_1 - \text{perda}_2 \quad (4a)$$

$$T_2 = E (1 - p_1) - E (p_2 - p_1 p_2) \quad (4b)$$

$$T_2 = E (1 - p_1 - p_2 + p_1 p_2) \quad (4c)$$

$$\text{perda}_3 = p_3 T_2 \quad (5a)$$

$$\text{perda}_3 = p_3 [E (1 - p_1 - p_2 + p_1 p_2)] \quad (5b)$$

$$\text{perda}_3 = E(p_3 - p_1p_3 - p_2p_3 + p_1p_2p_3) \quad (5c)$$

$$T_3 = T_2 - \text{perda}_3 \quad (6a)$$

$$T_3 = E(1 - p_1 - p_2 + p_1p_2) - E(p_3 - p_1p_3 - p_2p_3 + p_1p_2p_3) \quad (6b)$$

$$T_3 = E(1 - p_1 - p_2 - p_3 + p_1p_2 + p_1p_3 + p_2p_3 - p_1p_2p_3) \quad (6c)$$

$$\text{perda}_4 = p_4T_3 \quad (7a)$$

$$\text{perda}_4 = p_4[E(1 - p_1 - p_2 - p_3 + p_1p_2 + p_1p_3 + p_2p_3 - p_1p_2p_3)] \quad (7b)$$

$$\text{perda}_4 = E(p_4 - p_1p_4 - p_2p_4 - p_3p_4 + p_1p_2p_4 + p_1p_3p_4 + p_2p_3p_4 - p_1p_2p_3p_4) \quad (7c)$$

A quantidade de saída de grãos deste sistema envolvendo quatro atividades logísticas é a quantidade de transferência da atividade 3 para atividade 4, descontando a perda nesta.

$$S = T_3 - \text{perda}_4 \quad (8a)$$

$$S = E(1 - p_1 - p_2 - p_3 + p_1p_2 + p_1p_3 + p_2p_3 - p_1p_2p_3) - E(p_4 - p_1p_4 - p_2p_4 - p_3p_4 + p_1p_2p_4 + p_1p_3p_4 + p_2p_3p_4 - p_1p_2p_3p_4) \quad (8b)$$

$$S = E(1 - p_1 - p_2 - p_3 - p_4 + p_1p_2 + p_1p_3 + p_1p_4 + p_2p_3 + p_2p_4 + p_3p_4 - p_1p_2p_3 - p_1p_2p_4 - p_1p_3p_4 - p_2p_3p_4 + p_1p_2p_3p_4) \quad (8c)$$

A perda na agrologística para as quatro atividades é a soma de todas as perdas, conforme expressa na equação (9a).

$$\text{Perda na agrologística} = \text{perda}_1 + \text{perda}_2 + \text{perda}_3 + \text{perda}_4 \quad (9a)$$

Dessa forma, substituindo as expressões (1), (3b), (5c) e (7c) na equação (9a), tem-se a (9b) e (9c):

$$\text{Perda na agrologística} = p_1 E + E(p_2 - p_1p_2) + E(p_3 - p_1p_3 - p_2p_3 + p_1p_2p_3) + E(p_4 - p_1p_4 - p_2p_4 - p_3p_4 + p_1p_2p_4 + p_1p_3p_4 + p_2p_3p_4 - p_1p_2p_3p_4) \quad (9b)$$

$$\text{Perda na agrologística} = E(p_1 + p_2 + p_3 + p_4 - p_1p_2 - p_1p_3 - p_1p_4 - p_2p_3 - p_2p_4 - p_3p_4 + p_1p_2p_3 + p_1p_2p_4 + p_1p_3p_4 + p_2p_3p_4 - p_1p_2p_3p_4) \quad (9c)$$

Portanto, substituindo a equação (9c) em (8c), tem-se que:

$$S = E - \text{Perda na agrologística} \quad (10a)$$

Isto é, a quantidade de saída da cadeia de suprimentos é a quantidade de entrada descontada todas as perdas acumuladas em cada elo na cadeia de grãos.

Para esta situação, a perda na agrologística de grãos em massa para quatro elos é definida na expressão (9c). A perda relativa na agrologística de grãos, como um percentual da quantidade de entrada no sistema, pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$\text{Perda na agrologística (\%)} = \frac{\text{Perda na agrologística (em massa)}}{E} \quad (10b)$$

$$\text{Perda na agrologística (\%)} = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 - p_1p_2 - p_1p_3 - p_1p_4 - p_2p_3 - p_2p_4 - p_3p_4 + p_1p_2p_3 + p_1p_2p_4 + p_1p_3p_4 + p_2p_3p_4 - p_1p_2p_3p_4 \quad (10c)$$

Define-se uma situação genérica para uma cadeia de suprimentos para n atividades que envolvem perdas, conforme apresentado pela Figura 18.

Figura 18. Representação da cadeia de suprimentos de grãos e sua relação com as perdas para n atividades logísticas (sistema agrologístico)

Para esta situação generalizada com n atividades logísticas, pode ser calculada a perda, em massa, para determinada atividade logística k qualquer (para $k \leq n$) utilizando uma função recursiva. A equação (11) apresenta o cálculo da perda na atividade k .

$$\text{perda}_k = \begin{cases} p_1 E & , \quad k = 1 \\ p_k \left(E - \sum_{i=1}^{k-1} \text{perda}_i \right) & , \quad k > 1 \end{cases} \quad (11)$$

Os cálculos da perda acumulada (total) em massa e da perda relativa à quantidade de entrada na cadeia de suprimentos de grãos podem ser generalizados pelas expressões (12a) e (12b), respectivamente.

$$\text{Perda na agrologística (em massa)} = \sum_{k=1}^n \text{perda}_k \quad (12a)$$

$$\text{Perda na agrologística (\% da quantidade de entrada)} = \frac{\sum_{k=1}^n \text{perda}_k}{E} \quad (12b)$$

A partir do levantamento dos indicadores de perdas de grãos em diferentes elos da cadeia, serão estruturados índices de perdas relativos (percentual, em relação à quantidade expedida na origem) para as diferentes agrologísticas e também a construção de uma função de perdas na agrologística de grãos. Os índices a serem elaborados envolvem:

- Índice 1: Agrologística de exportação de grãos unimodal em corredores logísticos de via “não boa” com armazenagem externa à fazenda.
- Índice 2: Agrologística de exportação de grãos unimodal em corredores logísticos de via “não boa” com armazenagem em nível de fazenda.
- Índice 3: Agrologística de exportação de grãos unimodal em corredores logísticos de via “boa” com armazenagem externa à fazenda.
- Índice 4: Agrologística de exportação de grãos unimodal em corredores logísticos de via “boa” com armazenagem em nível de fazenda.
- Índice 5: Agrologística de exportação de grãos multimodal em corredores logísticos de via “não boa” com armazenagem externa à fazenda.

- Índice 6: Agrologística de exportação de grãos multimodal em corredores logísticos de via “não boa” com armazenagem em nível de fazenda.
- Índice 7: Agrologística de exportação de grãos multimodal em corredores logísticos de via “boa” com armazenagem externa à fazenda.
- Índice 8: Agrologística de exportação de grãos multimodal em corredores logísticos de via “boa” com armazenagem em nível de fazenda.
- Índice 9: Agrologística do mercado interno de grãos unimodal em corredores logísticos de via “não boa” com armazenagem externa à fazenda.
- Índice 10: Agrologística do mercado interno de grãos unimodal em corredores logísticos de via “não boa” com armazenagem em nível de fazenda.
- Índice 11: Agrologística do mercado interno de grãos unimodal em corredores logísticos de via “boa” com armazenagem externa à fazenda.
- Índice 12: Agrologística do mercado interno de grãos unimodal em corredores logísticos de via “boa” com armazenagem em nível de fazenda.
- Índice 13: Agrologística do mercado interno de grãos multimodal em corredores logísticos de via “não boa” com armazenagem externa à fazenda.
- Índice 14: Agrologística do mercado interno de grãos multimodal em corredores logísticos de via “não boa” com armazenagem em nível de fazenda.
- Índice 15: Agrologística do mercado interno de grãos multimodal em corredores logísticos de via “boa” com armazenagem externa à fazenda.
- Índice 16: Agrologística do mercado interno de grãos multimodal em corredores logísticos de via “boa” com armazenagem em nível de fazenda.
- Índice 17: Agrologística de exportação de grãos unimodal em corredores logísticos de via “não boa” e sem armazenagem.
- Índice 18: Agrologística de exportação de grãos unimodal em corredores logísticos de via “boa” e sem armazenagem.
- Índice 19: Agrologística de exportação de grãos multimodal em corredores logísticos de via “não boa” e sem armazenagem.
- Índice 20: Agrologística de exportação de grãos multimodal em corredores logísticos de via “boa” e sem armazenagem.
- Índice 21: Agrologística do mercado interno de grãos unimodal em corredores logísticos de via “não boa” e sem armazenagem.

- Índice 22: Agrologística do mercado interno de grãos unimodal em corredores logísticos de via “boa” e sem armazenagem.
- Índice 23: Agrologística do mercado interno de grãos multimodal em corredores logísticos de via “não boa” e sem armazenagem.
- Índice 24: Agrologística do mercado interno de grãos multimodal em corredores logísticos de via “boa” e sem armazenagem.

A Tabela 3 sumariza os vinte quatro índices de perdas resultantes das diversas combinações possíveis de diferentes agrologísticas de grãos a serem construídos e também utilizados para a elaboração da função de perdas. Particularmente, para os cálculos dos índices de perdas foi utilizada as expressões matemáticas generalizadas (11 e 12b) (apresentada anteriormente), com coeficientes de perdas identificados nos resultados da pesquisa.

Tabela 3. Índices de perdas na agrologística de grãos em função da armazenagem, qualidade das vias rodoviárias, modalidade de transporte e canal de comercialização (em % da quantidade da origem)

Índice	Armazenagem			Qualidade das vias rodoviárias		Modalidade		Canal de comercialização	
	Sem	Externa à fazenda	Nível de fazenda	“Boa”	“Não boa”	Unimodal	Multimodal	Exportação	Mercado Interno
1		•			•	•		•	
2			•		•	•		•	
3		•		•		•		•	
4			•	•		•		•	
5		•			•		•	•	
6			•		•		•	•	
7		•		•			•	•	
8			•	•			•	•	
9		•			•	•			•
10			•		•	•			•
11		•		•		•			•
12			•	•		•			•
13		•			•		•		•
14			•		•		•		•
15		•		•			•		•
16			•	•			•		•
17	•				•	•		•	
18	•			•		•		•	
19	•				•		•	•	
20	•			•			•	•	
21	•				•	•			•
22	•			•		•			•
23	•				•		•		•
24	•			•			•		•

Fonte: elaborado pelo autor

Dessa forma, com a base de dados construída para todas as combinações possíveis entre os fatores que afetam as perdas na agrologística de grãos brasileira (Tabela 3) será estruturada uma função de perdas utilizando a técnica de regressão linear múltipla para quantificar os efeitos comparáveis de cada um dos fatores de forma binária. Dessa forma, a equação (15) apresenta o índice de perda em função da situação escolhida para armazenagem (sem armazenagem, armazenagem na fazenda ou armazenagem externa à fazenda), qualidade da via rodoviária (“boa” ou “não boa”), modal de transporte (unimodal ou multimodal) e o canal de comercialização (exportação ou mercado doméstico).

$$\text{PERDA}_{\text{aimk}} = f(\text{Armazenagem}_a, \text{Qualidade da via}_i, \text{Modal de transporte}_m, \text{Canal de comercialização}_k) \quad (13)$$

De forma genérica:

$$\text{PERDA}_{\text{aimk}} = \sum_a^2 \beta_a \text{Armazém}_a + \beta_3 \text{Qualidade via}_i + \beta_4 \text{Modalidade}_m + \beta_5 \text{Canal Comercialização}_k + \alpha + \varepsilon \quad (14)$$

Onde:

$\text{PERDA}_{\text{aimk}}$ é o índice de perda da agrologística de grãos (em percentual de entrada na origem da cadeia de suprimentos) para a situação de armazenagem a , qualidade da via rodoviária do tipo i , modalidade de transporte m e o canal de comercialização k .

Armazém_a é a utilização do armazém do tipo a em relação a escolha de não armazenagem, podendo ser armazém externo à fazenda ou em nível da fazenda.

Qualidade via_i é a utilização de um corredor rodoviário com destino aos centros consumidores, portos ou terminais com rodovias de qualidade i (“boa” qualidade ou “não boa” qualidade).

Modalidade m é a utilização da modalidade m de transporte para a movimentação de grãos, podendo ser multimodal (integração dos modais rodoviário com ferroviário ou hidroviário) ou unimodal (somente rodoviário).

Canal Comercialização k diz respeito ao tipo de destino k na logística escolhida, podendo ser destino exportação (porto) ou mercado doméstico (centro consumidor).

α é o intercepto estimado do modelo.

De forma simplificada, para efeitos comparativos:

$$\text{PERDA}_{aimk} = \beta_1 \text{ArmazémFazenda} + \beta_2 \text{ArmazémExterno} + \beta_3 \text{Qualidade Via Boa} + \beta_4 \text{Multimodalidade} + \beta_5 \text{Exportação} + \alpha + \varepsilon \quad (15)$$

Onde:

PERDA_{aimk} é o índice de perda da agrologística de grãos (em percentual de entrada na origem da cadeia de suprimentos) para a situação de armazenagem a , qualidade da via rodoviária do tipo i , modalidade de transporte m e canal de comercialização k . ArmazémFazenda é uma variável binária a qual assume o valor 1 quando se opta pela armazenagem de grãos em nível de fazenda, 0 caso contrário.

ArmazémExterno é uma variável binária a qual assume o valor 1 quando se opta pela armazenagem de grãos externa à fazenda, 0 caso contrário.³

Qualidade Via Boa é uma variável binária a qual assume o valor 1 quando o corredor do transporte rodoviário da fazenda/armazém para os terminais ou destinos apresentam qualidade de via “boa”, 0 quando for “não boa”.

Multimodalidade é uma variável binária a qual assume o valor 1 quando se opta pela multimodalidade (integração rodoviária com ferrovia ou hidrovia), 0 caso se opte pela logística unimodal (rodoviária).

Exportação é uma variável binária a qual assume o valor 1 quando o destino é uma exportação (porto), 0 caso o destino é o mercado doméstico (centro consumidor).

β_1 é o coeficiente estimado para as perdas relativas quando utilizado o armazém em nível de fazenda comparado à situação sem utilização de armazenagem.

β_2 é o coeficiente estimado para as perdas relativas quando utilizado o armazém externo à fazenda comparado à situação sem utilização de armazenagem.

β_3 é o coeficiente estimado para as perdas relativas quando utilizado o corredor rodoviário de “boa” qualidade comparado à situação de utilização do corredor rodoviário de “não boa” qualidade.

³ Caso as variáveis somadas *ArmazémFazenda* e *ArmazémExterno* sejam nulas, significa que não se optou pela armazenagem na agrologística analisada.

β_4 é o coeficiente estimado para as perdas relativas quando utilizada a multimodalidade comparada à unimodalidade.

β_5 é o coeficiente estimado para as perdas relativas quando o canal de comercialização (destino) for exportação, comparado ao mercado doméstico.

α é o intercepto do modelo, que representa as interseções dos efeitos acumulados das perdas das atividades logísticas.

ε é o erro de estimativa do modelo (no caso, por serem dados de entrada determinísticos, tal erro tende a zero).

3.3. Etapa 3: Especificação dos dados da modelagem da cadeia de suprimentos de grãos no Brasil

O objetivo desta etapa é especificar os dados relacionados à agrologística de grãos para entrada no processamento do modelo matemático da etapa seguinte.

A delimitação espacial desta pesquisa foi realizada para todas as mesorregiões produtoras e consumidoras de soja e de milho no Brasil. Nesse contexto, para cada mesorregião produtora e centro consumidor (mercado doméstico) foi definido um centroide representativo, agregando todas as mesorregiões pertencentes aos estados. Para os destinos relacionados aos portos, foram considerados os municípios sedes dos mesmos. A Figura 19 apresenta o mapa das mesorregiões consideradas, bem como seus respectivos centroides representativos.

Figura 19. Mesorregiões de soja e de milho consideradas na análise
 Fonte: elaborado pelo autor através do TransCAD ®

3.3.1. Balanço de oferta e demanda na cadeia de suprimentos de grãos

O balanço da oferta e demanda na cadeia de suprimentos de grãos para fins de modelagem é fundamental para avaliação das perdas durante as atividades logísticas envolvendo a movimentação dos produtos desde o centro produtor (fazenda) até o centro consumidor ou porto, passando por pontos intermediários como terminais multimodais e/ou armazéns.

A Figura 20 apresenta a dinâmica do equilíbrio de oferta e demanda de grãos ao longo do tempo. Dessa forma, a entrada dos produtos no sistema envolve a produção e importação no mesmo período, acrescida do estoque de passagem do período anterior. Já a saída dos produtos do sistema envolve o consumo doméstico, exportação e perdas no mesmo período. A diferença entre entrada e saída é o estoque de passagem para o próximo período.

Figura 20. Dinâmica do balanço de oferta e demanda ao longo do tempo

Fonte: elaborado pelo autor

O balanço clássico de oferta e demanda pode ser obtido a partir da seguinte expressão para o período específico t :

$$\text{Produção}(t) + \text{Importação}(t) + \text{Estoque}(t-1) = \text{Consumo}(t) + \text{Exportação}(t) + \text{Perdas}(t) + \text{Estoque}(t) \quad (16)$$

Para fins de modelagem da cadeia de suprimentos de grãos desta pesquisa, parte-se de algumas premissas. A primeira delas é a definição do período dos dados analisados, envolvendo o recorte temporal para o ano civil de 2015 para as todas as informações a serem utilizadas na modelagem, conforme apresentado pela Figura 21.

Figura 21. Balanço de oferta e demanda no período analisado de 2015
 Fonte: elaborado pelo autor

Além disso, para fins de avaliar somente a movimentação do que é produzido no período, assumiu-se que a importação e que os estoques são nulos. Dessa forma, a expressão (17) apresenta o novo balanço de oferta e demanda.

$$\text{Produção (2015)} = \text{Consumo (2015)} + \text{Exportação (2015)} + \text{Perdas (2015)} \quad (17)$$

Os dados de produção e exportação de soja e milho são conhecidos. Entretanto, as quantidades das perdas e consumo doméstico são desconhecidas. Desse modo, para estabelecer um equilíbrio no balanço de oferta e demanda na cadeia de suprimentos de grãos no Brasil é preciso estabelecer mais duas premissas: (i) o consumo doméstico é estimado a partir da Equação (17), tendo como constantes as demais variáveis; (ii) para a situação ocorrer, é preciso estabelecer um nível tolerado de perda no sistema, no caso, foi adotado que é de 10% da produção de grãos, ou seja, um valor bastante elevado que não possa gerar soluções impossíveis na resolução da modelagem do problema.

Os dados de produção e exportação de soja e milho são conhecidos, porém o consumo doméstico deve ser estimado a partir do balanço de oferta e demanda. Como

também os níveis de perdas destes produtos são desconhecidos e o objetivo da modelagem da cadeia de suprimentos é quantificá-los, adota-se que a perda máxima no sistema é de 10% da produção de cada produto e que o consumo no sistema é estimado como a quantidade produzida descontando as quantidades exportada e perdida, conforme ilustrado pelas equações (18) e (19).

$$\text{Perda máxima no sistema (2015)} = 0,1 \text{ Produção (2015)} \quad (18)$$

Substituindo a expressão (18) na expressão (17):

$$\text{Consumo (2015)} = 0,9 \text{ Produção (2015)} - \text{Exportação (2015)} \quad (19)$$

Por outro lado, a perda total no sistema possivelmente será menor do que o limite estabelecido. Para isso, cria-se uma nova condição de que o resíduo do intervalo de perda deverá ser alocado para o consumo doméstico ou exportação. Tal tratativa será colocada como uma restrição algébrica do modelo da cadeia de suprimentos a ser apresentado na próxima seção. A lógica envolve as seguintes relações: (i) que a soma do consumo doméstico e a exportação devem ser superior a 90% da produção; e, (ii) que tudo que é produzido deve ser movimentado no sistema, considerando as perdas. As expressões (20) e (21) apresentam tais relações.

$$\text{Consumo doméstico (2015)} + \text{Exportação (2015)} \geq 0,9 \text{ Produção (2015)} \quad (20)$$

$$\text{Movimentação total de grãos no sistema} = \text{Produção (2015)} + \text{Perdas (2015)} \quad (21)$$

Os dados da produção de soja e de milho por mesorregião no Brasil para o ano de 2015 foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – IBGE (2016). Especificamente para exportação, foram obtidas as quantidades exportadas de soja e milho em nível Brasil para todos os portos de embarque, tendo como fonte as estatísticas do ano de 2015 disponibilizadas pela Secretaria de Comércio Exterior – SECEX (2016).

Especificamente, inexistem fontes oficiais que disponibilizem a demanda do mercado doméstico de soja e de milho em nível regional no Brasil. Nesse contexto, é necessária

a aplicação de *proxies* econômicas para estimativas regionalizadas de consumo doméstico.

Para o caso do consumo doméstico de milho, adotaram-se algumas adaptações do método utilizado por Branco (2007). Os procedimentos para a estimativa da demanda são:

1º passo: Identificação do consumo de milho no Brasil por segmento para o ano de 2015, de acordo com dados da Associação Brasileira das Indústrias do Milho – ABIMILHO (2015).

2º passo: Rateio dos consumos setoriais de milho em função de *proxies* econômicas específicas para cada mesorregião, envolvendo:

- Consumo de milho por aves: rateado em função do número de aves disponibilizado pelo IBGE (2015) para cada mesorregião brasileira.
- Consumo de milho na suinocultura: rateado em função do número de suínos disponibilizado pelo IBGE (2015) para cada mesorregião brasileira.
- Consumo de milho na bovinocultura: rateado em função do número de cabeças de bois disponibilizado pelo IBGE (2015) para cada mesorregião brasileira.
- Outros animais: rateado em função do número de animais acumulados na bovinocultura, suinocultura e avicultura, disponibilizado pelo IBGE (2015) para cada mesorregião brasileira.
- Consumo industrial: rateado em função do Produto Interno Bruto (PIB) das mesorregiões, utilizando-se de informações do IBGE (2015).
- Consumo humano: rateado em função do tamanho da população das mesorregiões, utilizando-se dados disponibilizados pelo IBGE (2015).
- Outros usos: rateado em função do PIB das mesorregiões, utilizando-se de dados do IBGE (2015).

3º passo: Cálculo da demanda relativa (%) de cada mesorregião em relação ao Brasil. Isto é, a demanda de milho em cada mesorregião (somando todos os consumos setoriais) em relação à quantidade total consumida no país (soma de todos os consumos setoriais de milho obtidos no 1º Passo).

4º passo: Cálculo do consumo doméstico da mesorregião, envolvendo a ponderação entre a demanda relativa de milho (calculada no passo anterior) e o consumo doméstico do país (calculado a partir da equação 19, contemplando o balanceamento do sistema de oferta e demanda na cadeia de suprimentos de milho).

Para o caso do consumo doméstico da soja para cada mesorregião produtora, também seguindo algumas adaptações no método de Branco (2007), os seguintes procedimentos foram realizados:

1º Passo: Identificação da quantidade processada de soja para produção de farelo e óleo de soja em nível Brasil em 2015 (consumo do mercado interno), de acordo com informações disponibilizadas pela Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais – ABIOVE (2015).

2º Passo: Rateio da quantidade processada de soja no país em função da capacidade estadual instalada da indústria de processamento por unidade federativa (demanda estadual), de acordo com as estatísticas disponibilizadas pela ABIOVE (2015).

3º Passo: Localização das indústrias processadoras de soja (municípios) dentro das unidades federativas, classificação e agrupamento em mesorregiões de acordo com informações da ABIOVE (2015) e IBGE (2015).

4º Passo: Rateio da quantidade processada de soja da unidade federativa (identificada no 2º Passo) pela quantidade de indústrias localizadas nas mesorregiões. Nesse caso, assume-se que cada indústria possui a mesma capacidade de processamento.

5º Passo: Cálculo da demanda relativa (%) de soja de cada mesorregião em relação ao Brasil. Isto é, a demanda percentual de soja em cada mesorregião em relação ao total de soja processada internamente no país.

6º Passo: Cálculo do consumo doméstico da mesorregião, envolvendo a ponderação entre a demanda relativa de soja (calculada na etapa anterior) e o consumo doméstico do país (calculado a partir da equação 19, contemplando o balanceamento do sistema de oferta e demanda na cadeia de suprimentos da soja).

3.3.2. Rede logística multimodal e armazenagem

A rede logística multimodal utilizada para a modelagem envolve o transporte rodoviário, ferroviário e hidroviário de grãos no Brasil. A Figura 22 apresenta os principais corredores agrologísticos de grãos que foram utilizados nesta pesquisa.

Figura 22. Principais corredores multimodais da cadeia de suprimentos de soja e milho no país
Fonte: ESALQ-LOG (2015)

As capacidades de transporte ferroviário entre o terminal de origem e o terminal de destino foram definidas com base nas estatísticas do ano de 2015 disponibilizadas pela Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT (2015). As capacidades de transporte hidroviário por terminal de embarque foram definidas com dados disponibilizados pelo ESALQ-LOG (2015) e pela Administração da Hidrovia do Paraná – AHRANA (2015).

Particularmente para a situação da armazenagem, foi estruturado um banco de dados da capacidade estática de armazenagem agrícola para grãos para o ano de 2015 por

mesorregião a partir da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2015). Nesse contexto, esse banco de dados foi cruzado com informações de capacidade útil das unidades armazenadoras por tipo de propriedade para o mesmo período e regiões, de forma a identificar o percentual da armazenagem que está alocado dentro das fazendas e externo às fazendas através de informações disponibilizadas pelo IBGE (2015).

As tabelas de capacidades de transporte e armazenagem são apresentadas nos Anexos deste documento.

3.3.3. Indicadores de qualidade das vias rodoviárias brasileiras

Conforme apresentado na seção sobre indicadores de perdas, a qualidade das vias dos corredores rodoviários será incorporada tanto no índice de perdas na agrologística quanto no parâmetro de entrada que define a perda na atividade logística de transporte utilizado na modelagem matemática da cadeia de suprimentos de grãos, de forma a captar efeitos da importância destas na ampliação ou redução das perdas durante o transporte rodoviário, envolvendo os fluxos de transporte entre fazendas/armazéns até terminais multimodais, centros consumidores e portos.

A Confederação Nacional do Transporte (CNT) realiza anualmente a “Pesquisa CNT de Rodovias” divulgando indicadores da qualidade das principais rodovias brasileiras, dos principais corredores rodoviários e dos estados (CNT, 2016). As rodovias são avaliadas em quatro categorias: geometria da via, sinalização, pavimento e estado geral. A classificação para cada categoria varia de péssimo, ruim, regular, bom e ótimo e é realizada por extensão da rodovia em quilômetros.

Para fins de classificação das vias dos corredores rodoviários desta pesquisa, optou-se por analisar somente a categoria da CNT de “estado geral”.

Como a matriz de combinações desta pesquisa envolve a possibilidade de 111 origens com 147 destinos, é inviável a classificação das vias para todas as possibilidades. Dessa forma, tal matriz de combinação entre mesorregiões foi agregada em uma nova

matriz, combinando as capitais estaduais e a capital federal, reduzindo assim o número de combinações para uma matriz quadrada de ordem 27.

A classificação do corredor logístico rodoviário a partir de uma mesorregião para outra mesorregião é igual a classificação do par de origem-destino de suas respectivas unidades federativas representadas pelas capitais.

Nesse contexto, foi desenvolvido um indicador binário para a qualidade da via dos corredores rodoviários, que pode ser classificada como “boa” ou “não boa”. A lógica de classificação depende da extensão dos trechos rodoviários e seguem as seguintes definições:

- Qualidade da via do corredor rodoviário do tipo “boa”: mais de 50% da extensão rodoviária foi classificada no estado geral como bom e/ou ótimo na pesquisa da CNT (2016).
- Qualidade da via do corredor rodoviário do tipo “não boa”: menos de 50% da extensão rodoviária foi classificada no estado geral como bom e/ou ótimo na pesquisa da CNT (2016).

A quantificação das extensões dos trechos das rodovias que pertencem a um corredor logístico rodoviário e sua classificação em termos de estado geral foram obtidos através de três métodos distintos e complementares:

Método 1: Classificação dos corredores rodoviários disponibilizada pela CNT (2016). Em tal estudo de classificação das vias, a CNT realizou também a classificação de 28 corredores rodoviários envolvendo diversos estados, contemplando a extensão rodoviária dos trechos e seu estado geral. Tais corredores foram selecionados por apresentarem um denso fluxo de tráfego nas rotas avaliadas (CNT, 2016). Dessa forma, foi realizada a classificação binária dos pares de origem-destino em nível de unidade federativa seguindo as definições estabelecidas. Considerou-se que o fluxo contrário também segue o mesmo percurso e, portanto, a mesma classificação.

Método 2: Classificação dos corredores rodoviários intrarregionais. Para a combinação de fluxo com origem e destino na mesma unidade federativa, ou seja,

fluxo intrarregional, foi utilizada a classificação agregada das rodovias avaliadas na unidade federativa pela CNT (2016) para a obtenção do indicador binário. Por exemplo, a unidade federativa do Mato Grosso apresentou 38,1% da extensão total de suas rodovias com a classificação de ótimo e bom na categoria estado geral (CNT, 2016). Portanto, o indicador binário para a qualidade da via com origem no Mato Grosso e destino no próprio estado é “não boa”.

Método 3: Utilização do algoritmo de múltiplos caminhos curtos. Para a qualidade das vias dos corredores rodoviários não classificados pelos métodos anteriores, foi aplicado o algoritmo de múltiplos caminhos curtos para as combinações das capitais estaduais e capital federal. Para tal, foi utilizado o TransCAD em uma rede rodoviária para se obter as rodovias que conectam com todas as capitais. A Figura 23 apresenta os caminhos múltiplos obtidos entre as combinações das capitais enquanto que a Figura 24 apresenta as rodovias que foram alocadas para a utilização dos caminhos mínimos.

Figura 23. Múltiplos caminhos obtidos para o transporte rodoviário
Fonte: elaborado pelo autor

Figura 24. Rodovias selecionadas que geram o mínimo caminho entre as capitais
 Fonte: elaborado pelo autor

Para cada par origem-destino (rota) foi identificada a extensão dos trechos que passam em cada unidade federativa. Na sequência, tais trechos foram classificados com os percentuais de vias ótimas, boas, regulares, ruins e péssimas relativas ao estado geral da via daquela unidade federativa, a partir de dados da pesquisa da CNT (2016).

Por exemplo, um determinador corredor rodoviário de mil quilômetros passa por duas unidades federativas denominadas “A” e “B”, respectivamente. Para a Unidade Federativa “A”, a extensão do trecho é de quatrocentos quilômetros cuja classificação do estado geral da via (CNT, 2016) é de 30% ótima (equivalente a cento e vinte quilômetros do trecho), 30% boa (equivalente a cento e vinte quilômetros do trecho), 20% regular (equivalente a oitenta quilômetros do trecho), 15% ruim (equivalente a sessenta quilômetro do trecho) e 5% péssima (equivalente a vinte quilômetros do trecho). Para a Unidade Federativa “B”, a extensão total do trecho é de seiscentos quilômetros cuja classificação do estado geral da via (CNT, 2016) é de 25% ótima (equivalente a cento e cinquenta quilômetros do trecho), 20% boa (equivalente a cento e vinte quilômetros), 30% regular (equivalente a cento e oitenta quilômetros do trecho), 20% ruim (equivalente a cento e vinte quilômetros do trecho) e 5% péssima

(equivalente a trinta quilômetros do trecho). Nesta rota, quinhentos e dez quilômetros (51%) de extensão foram classificados como vias de ótima e boa qualidade, portanto, este corredor é classificado como de boa qualidade, pela definição estabelecida. A Figura 25 apresenta um esquema ilustrativo desta situação.

Figura 25. Exemplo ilustrativo de classificação binária para um corredor rodoviário com via “boa”: 510 km classificados em bom e ótimo (>50%)

Fonte: elaborado pelo autor

A matriz quadrada de ordem vinte e sete dos resultados dos indicadores binários da qualidade da via dos corredores rodoviários é apresentada na seção dos Anexos deste documento.

3.3.4. Custos logísticos na cadeia de suprimentos de grãos no Brasil

Os custos logísticos são importantes para a modelagem da cadeia de suprimentos de grãos no Brasil objetivando simular o comportamento real da movimentação de soja e milho no país envolvendo as atividades logísticas definidas nesta pesquisa de tal forma que se possa ser quantificada as perdas em cada atividade.

Os preços de fretes ferroviários e hidroviários foram obtidos a partir dos sistemas de informações do ESALQ-LOG (2016) para as combinações entre os terminais de embarque e desembarque para o ano de 2015.

Os custos de armazenagem foram obtidos para o ano de 2015 a partir do Sistema de Informações de Armazenagem - SIARMA (2015) para as principais regiões produtoras de grãos. No caso, adotou-se como referência um custo de armazenagem para um

período de três meses. Especificamente para a armazenagem externa à fazenda adotou-se o preço de R\$ 35 por tonelada enquanto que para a armazenagem em nível de fazenda adotou-se o custo de R\$ 30 por tonelada.

Especificamente para o transporte rodoviário, os preços de fretes foram estimados baseados em um modelo econométrico de regressão linear múltipla a partir de um banco de dados de indicadores de preços de fretes rodoviários efetivamente praticados no mercado no ano de 2015, disponibilizado pelo Sistema de Informações de Fretes – SIFRECA (2016). Tal método é necessário em função do elevado número de combinações entre os pares de origem-destino. Nesse contexto, as expressões (22) e (23) apresentam a regressão linear múltipla para estimativa de preços de fretes em função da distância rodoviária, qualidade da via e tipo de destino. O método utilizado segue uma adaptação das aplicações apresentadas por Péra et al. (2013) e Corrêa Junior (2001).

$$\text{PrecoFrete}_{ijk} = f(\text{Distancia}_{ij}; \text{Qualidade da via}_k; \text{Destino}_j) \quad (22)$$

$$\text{PrecoFrete}_{ijk} = \alpha + \beta_1 \text{ distancia}_{ij} + \beta_2 \text{ qualidade via}_k + \beta_3 \text{ destino}_j \quad (23)$$

Onde:

PrecoFrete_{ijk} é a variável dependente para estimativa do preço do frete rodoviário de grãos a partir da origem i ao destino j e da qualidade da via k , em R\$ por tonelada.

Distancia_{ij} é a variável de distância entre a origem i e destino j , em quilômetros.

Qualidade via_k é a variável do tipo binária referente à qualidade da via do corredor rodoviário, a qual assume o valor 1 quando a qualidade da via k é classificada como “boa” e 0 quando “não boa”, seguindo a classificação adotada na seção anterior referente à qualidade da via.

Destino_j é a variável do tipo binária referente ao tipo de destino j , a qual assume o valor 1 quando o destino j é um porto e 0 caso contrário.

β_1 , β_2 e β_3 são parâmetros estimados para as variáveis independentes do modelo.

α é o intercepto do modelo, em R\$ por tonelada.

A Tabela 4 apresenta os coeficientes estimados das variáveis independentes do modelo econométrico dos preços de fretes rodoviários.

Tabela 4. Coeficientes estimados das variáveis independentes do modelo econométrico dos preços de fretes rodoviários, em R\$/t

Variável independente	Coeficientes	Unidade
Intercepto (α)	19,43082*	R\$/t
Distância (β_1)	0,103869*	R\$/t.km
Qualidade da via (β_2)	-4,72755*	R\$/t
Destino (exportação) (β_3)	4,895863*	R\$/t
R ²	0,910283	
Nº de observações	9.979	

*Nível de significância de 1% (p-valor < 0.01)

Fonte: elaborado pelo autor

3.3.5. Emissões de carbono na logística

Como um dos objetivos desta pesquisa é mensurar as emissões de dióxido de carbono (gases de efeito estufa – GEE), ou seja, a pegada do carbono decorrente das perdas na cadeia de suprimentos de soja e milho no Brasil, foram levantados indicadores de fatores de emissões para atividades logísticas de transporte, inclusive para diferentes qualidades das vias rodoviárias. A Tabela 5 apresenta os fatores de emissão de CO₂ considerados para fins de modelagem.

Tabela 5. Coeficientes dos fatores de emissão (g CO₂ / t.km) nas atividades logísticas de transporte consideradas para a modelagem da cadeia de suprimentos.

Atividades logísticas de transporte	Coeficientes dos fatores de emissão (g CO ₂ / t.km)
Transporte rodoviário em corredores de “boa” qualidade ¹	28,0
Transporte rodoviário em corredores de “não boa” qualidade ¹	29,0
Transporte rodoviário da fazenda ao armazém externo ²	29,0
Transporte ferroviário ³	16,6
Transporte hidroviário ³	11,9

Fonte: organizado pelo autor a partir das seguintes fontes: ¹Bartholomeu (2006); ²Adotou-se o mesmo coeficiente do transporte rodoviário de “não boa” qualidade; ³Texas Transportation Institute (2007) apud Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo (2010)

A quantificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) por produto (soja e milho) foi calculada a partir do volume movimentado em cada atividade logística de transporte e ponderado pelo respectivo coeficiente do fator de emissão. A quantificação das emissões de GEE adicionais na cadeia de suprimento de grãos decorrentes das perdas foi calculada a partir do volume acumulado perdido e

movimentado em cada atividade logística e ponderado pelo coeficiente do fator de emissão da respectiva atividade.

3.4. Etapa 4: Modelo matemático da cadeia de suprimentos de grãos no Brasil

O modelo matemático objetiva simular o comportamento reais de movimentação de soja e milho em cada atividade logística considerada envolvendo a armazenagem, transporte e transbordos desde a fazenda até o mercado externo (portos) e interno (centros consumidores) de forma que seja possível quantificar as perdas que ocorrem para cada estado produtor no Brasil, bem como avaliar estratégias de mitigação de tais perdas a partir da análise de cenários.

A estrutura da modelagem da cadeia de suprimentos de soja e milho no Brasil incorpora a multimodalidade de transporte, por considerar diversas modalidades, e os multiprodutos, por distinguir soja e milho. Em tal estrutura de modelagem são avaliadas variáveis de decisão contemplando catorze atividades logísticas conforme apresentado pela Quadro 4.

Categoria de atividades logísticas	Atividades logísticas de grãos
Transporte Rodoviário	1. Movimentação da fazenda ao armazém externo à fazenda
	2. Movimentação da fazenda ao centro consumidor (mercado doméstico) ou porto (mercado externo)
	3. Movimentação da fazenda ao terminal ferroviário
	4. Movimentação da fazenda ao terminal hidroviário
	5. Movimentação do armazém externo à fazenda ao centro consumidor (mercado doméstico) ou porto (mercado externo)
	6. Movimentação do armazém externo à fazenda ao terminal ferroviário
	7. Movimentação do armazém externo à fazenda ao terminal hidroviário
Transporte Ferroviário	8. Movimentação do terminal ferroviário ao terminal de destino (centro consumidor ou porto)
Transporte Hidroviário	9. Movimentação do terminal hidroviário ao terminal de destino (centro consumidor ou porto)
Armazenagem	10. Atividade de armazenagem de grãos em nível da fazenda
	11. Atividade de armazenagem de grãos em nível externo à fazenda
Transbordo e armazenagem nos Terminais	12. Atividade de transbordo e armazenagem no terminal ferroviário
	13. Atividade de transbordo e armazenagem no terminal hidroviário
	14. Atividade de transbordo e armazenagem no terminal portuário

Quadro 4. Atividades logísticas consideradas para modelagem da cadeia de suprimentos de soja e milho no Brasil

Fonte: elaborado pelo autor

Para cada atividade na cadeia de suprimentos é associado um custo logístico envolvendo preços de fretes para o caso do transporte rodoviário, ferroviário e hidroviário e custos/preços de armazenagem para o caso de armazenagem tanto em nível de fazenda (custo de armazenagem) quanto externa à fazenda (preços de armazenagem). Ainda nessa linha, são associados níveis de perdas para cada atividade logística envolvendo indicadores levantados a partir da revisão de literatura e entrevistas com agentes do setor. Mais especificamente, para o transporte rodoviário com destinos aos portos, centro consumidores, terminais ferroviários e terminais hidroviários foram identificados a classificação binária da qualidade das vias dos corredores (a partir do método apresentado na seção 3.3.3 deste capítulo) de forma a captar o efeito das perdas para diferentes tipos de qualidade da via dos corredores rodoviários.

A função objetivo do modelo matemático proposto é minimizar os custos logísticos de movimentação de grãos (soja e milho) no Brasil desde a fazenda até centros consumidores e portos, envolvendo multimodalidade, sujeito às seguintes restrições:

- Oferta de cada produto em cada mesorregião;
- Demanda de cada produto no sistema tanto no mercado doméstico (centros consumidores) quanto mercado externo (portos);
- Utilização da capacidade de armazenagem em nível de fazenda e externa à fazenda para cada mesorregião;
- Utilização da capacidade dos terminais ferroviários e hidroviários para cada produto;
- Contabilização e incorporação dos coeficientes das perdas em cada atividade logística; e
- Contabilização dos custos das perdas na cadeia de suprimentos (não incorporada na função objetivo, tratada como uma restrição contábil).

A Figura 26 representa o grafo⁴ simplificado construído para a modelagem da cadeia de suprimentos de grãos no país e quantificação das perdas decorrentes da movimentação dos produtos. Para cada atividade logística é identificada a variável de movimentação e a perda da mesma, conforme descrito na figura e nas definições das variáveis na sequência.

⁴Nomenclatura designada para o conjunto que contém o subconjunto de nós (pontos de interesse, nesse caso: fazendas, centros consumidores, portos, terminais ferroviários, terminais hidroviários e armazéns) e o subconjunto de rede (malha multimodal – rodoviária, ferroviária e hidroviária).

Figura 26. Grafo representativo da cadeia de suprimentos de grãos no Brasil para fins de modelagem
Fonte: elaborado pelo autor

A seguir é formalizada a modelagem matemática construída para a cadeia de suprimentos de grãos, tendo como referência ilustrativa a Figura 26, utilizando especificamente a técnica de programação linear.

Os índices (conjuntos e subconjuntos) do modelo são:

i : fazendas produtoras de soja e milho (mesorregiões).

p : produto (soja ou milho).

j : destinos – regiões de demanda de soja e milho nos canais de exportação (portos) ou mercado doméstico (centros consumidores em nível de mesorregião).

t : terminais ferroviários

h : terminais hidroviários

$i1$: armazéns em nível da fazenda

$\{i1\} = \{i\}$

$\{EXP\}$: é o subconjunto de portos do conjunto $\{j\}$ (destinos)

a : armazéns externos à fazenda

Os parâmetros dos modelos são definidos da seguinte forma:

$PRODUCAO_{ip}$ é a produção do produto p na região i , em toneladas.

$DEMANDA_{jp}$ é a demanda do produto p na região j , em toneladas.

$CAPONFARM_{i1}$ é a capacidade de armazenagem em nível de fazenda na região $i1$, em toneladas.

$CAPOFFFAR_a$ é a capacidade de armazenagem externa à fazenda na região a , em toneladas.

$CAPT_{tjp}$ é a capacidade do transporte ferroviário entre o terminal t e o destino j para o produto p , em toneladas.

$CAPH_{hjp}$ é a capacidade de transporte hidroviária entre o terminal h e o destino j e o produto p , em toneladas.

$CR1_{i1j}$ é o preço do frete rodoviário entre a origem $i1$ e o destino j , em reais por toneladas.

$CR2_{i1t}$ é o preço do frete rodoviário entre a origem $i1$ e o terminal ferroviário t , em reais por toneladas.

$CR3_{i1h}$ é o preço do frete rodoviário entre a origem $i1$ e o terminal hidroviário h , em reais por toneladas.

$CR4_{aj}$ é o preço do frete rodoviário entre o armazém a e o destino j , em reais por toneladas.

$CR5_{at}$ é o preço do frete rodoviário entre o armazém a e o terminal ferroviário t , em reais por toneladas.

$CR6_{ah}$ é o preço do frete rodoviário entre o armazém a e o terminal hidroviário h , em reais por toneladas.

$CR7_{ia}$ é o preço do frete rodoviário entre a origem i e o armazém a , em reais por toneladas.

$CR8_{ij}$ é o preço do frete rodoviário entre a origem i e o destino j , em reais por toneladas.

$CR9_{it}$ é o preço do frete rodoviário entre a origem i e o terminal ferroviário t , em reais por toneladas.

$CR10_{ih}$ é o preço do frete rodoviário entre a origem i e o terminal hidroviário h , em reais por toneladas.

CF_{tj} é o preço do frete ferroviário entre o terminal ferroviário t e o destino j , em reais por toneladas.

CH_{hj} é o preço do frete hidroviário entre o terminal hidroviário h e o destino j , em reais por toneladas.

TA_{i1} é o custo de armazenagem no armazém próprio $i1$, em reais por tonelada.

$TARM_a$ é o custo de armazenagem terceirizado do armazém a , em reais por tonelada.

$P1_{i1j}$ é o coeficiente de perda do fluxo rodoviário entre a origem $i1$ e o destino j , em percentual.

$P2_{i1t}$ é o coeficiente de perda do fluxo rodoviário entre a origem $i1$ e o terminal ferroviário t , em percentual.

$P3_{i1h}$ é o coeficiente de perda do fluxo rodoviário entre a origem $i1$ e o terminal hidroviário h , em percentual.

$P4_{aj}$ é o coeficiente de perda do fluxo rodoviário entre o armazém a e o destino j , em percentual.

$P5_{at}$ é o coeficiente de perda do fluxo rodoviário entre o armazém a e o terminal ferroviário t , em percentual.

$P6_{ah}$ é o coeficiente de perda do fluxo rodoviário entre o armazém a e o terminal hidroviário h , em percentual.

$P7_{ia}$ é o coeficiente de perda do fluxo rodoviário entre a origem i e o armazém a , em percentual.

$P8_{tj}$ é o coeficiente de perda do fluxo ferroviário entre o terminal ferroviário t e o destino j , em percentual.

$P9_{hj}$ é o coeficiente de perda do fluxo hidroviário entre o terminal hidroviário h e o destino j , em percentual.

$P10_t$ é o coeficiente perda no terminal ferroviário t , em percentual.

$P11_h$ é o coeficiente perda no terminal hidroviário h , em percentual.

$P12_{j \in EXP}$ é o coeficiente perda no terminal portuário $j \in EXP$, em percentual.

$P13_{i1}$ é o coeficiente perda no armazém próprio $i1$, em percentual.

$P14_a$ é o coeficiente perda no armazém externo a , em percentual.

$P15_{ij}$ é o coeficiente de perda do fluxo rodoviário entre a origem i e o destino j , em percentual.

$P16_{it}$ é o coeficiente de perda do fluxo rodoviário entre a origem i e o terminal ferroviário t , em percentual.

$P17_{ih}$ é o coeficiente de perda do fluxo rodoviário entre a origem i e o armazém h , em percentual.

As variáveis de decisão do modelo matemático de otimização são definidas:

$FR1_{i1jp}$ é o fluxo de transporte rodoviário entre o armazém em nível de fazenda $i1$ e o destino j do produto p , em toneladas.

$FR2_{i1tp}$ é o fluxo de transporte rodoviário entre o armazém em nível de fazenda $i1$ e o terminal ferroviário t do produto p , em toneladas.

$FR3_{i1hp}$ é o fluxo de transporte rodoviário entre o armazém em nível de fazenda $i1$ e o terminal hidroviário h do produto p , em toneladas.

$FR4_{ajp}$ é o fluxo de transporte rodoviário entre o armazém externo à fazenda a e o destino j do produto p , em toneladas.

$FR5_{atp}$ é o fluxo de transporte rodoviário entre o armazém externo à fazenda a e o terminal ferroviário t do produto p , em toneladas.

$FR6_{ahp}$ é o fluxo de transporte rodoviário entre o armazém externo à fazenda a e o terminal hidroviário h do produto p , em toneladas.

$FR7_{iap}$ é o fluxo de transporte rodoviário entre a origem (fazenda) i e o armazém externo à fazenda a do produto p , em toneladas.

$FR8_{ijp}$ é o fluxo de transporte rodoviário entre a origem (fazenda) i e o destino j do produto p , em toneladas.

$FR9_{itp}$ é o fluxo de transporte rodoviário entre a origem (fazenda) i e o terminal t do produto p , em toneladas.

$FR10_{ihp}$ é o fluxo de transporte rodoviário entre a origem (fazenda) i e o terminal h do produto p , em toneladas.

FF_{tjp} é o fluxo de transporte ferroviário entre o terminal t e o destino j do produto p , em toneladas.

FH_{hjp} é o fluxo de transporte hidroviário entre o terminal h o destino j do produto p , em toneladas.

$MFAZENDA_{ii1p}$ é a movimentação interna (transferência) do produto p da origem (fazenda) i para o armazém em nível de fazenda $i1$, em toneladas.

$PFR1_{i1jp}$ é a perda no fluxo de transporte rodoviário entre o armazém em nível de fazenda $i1$ e o destino j do produto p , em toneladas, em toneladas.

$PFR2_{i1tp}$ é a perda no fluxo de transporte rodoviário entre o armazém em nível de fazenda $i1$ e o terminal ferroviário t do produto p , em toneladas.

$PFR3_{i1hp}$ é a perda no fluxo de transporte rodoviário entre o armazém em nível de fazenda $i1$ e o terminal hidroviário h do produto p , em toneladas.

$PFR4_{ajp}$ é a perda no fluxo de transporte rodoviário entre o armazém externo à fazenda a e o destino j do produto p , em toneladas.

$PFR5_{atp}$ é a perda no fluxo de transporte rodoviário entre o armazém externo à fazenda a e o terminal ferroviário t do produto p , em toneladas.

$PFR6_{ahp}$ é a perda no fluxo de transporte rodoviário entre o armazém externo à fazenda a e o terminal hidroviário h do produto p , em toneladas.

$PFR7_{iap}$ é a perda no fluxo de transporte rodoviário entre a origem i e o armazém externo à fazenda a do produto p , em toneladas.

$PFR8_{ijp}$ é a perda no fluxo de transporte rodoviário entre a origem i e o destino j do produto p , em toneladas.

$PFR9_{itp}$ é a perda no fluxo de transporte rodoviário entre a origem i e o terminal t do produto p , em toneladas.

$PFR10_{ihp}$ é a perda no fluxo de transporte rodoviário entre a origem i e o terminal h do produto p , em toneladas.

PFF_{tjp} é a perda no fluxo de transporte ferroviário entre o terminal t e o destino j do produto p , em toneladas.

PFH_{hjp} é a perda no fluxo de transporte hidroviário entre o terminal h o destino j do produto p , em toneladas.

$PTFERRO_{tp}$ é a perda no terminal ferroviário t do produto p , em toneladas.

$PTHIDRO_{hp}$ é a perda no terminal hidroviário h do produto p , em toneladas.

$PTPORTO_{jp}$ é a perda no terminal portuário j do produto p , em toneladas.

$PMFAZENDA_{i1p}$ é a perda no armazém em nível de fazenda $i1$ do produto p , em toneladas.

$PTARMEXT_{ap}$ é a perda no armazém externo à fazenda a do produto p , em toneladas.

CO_p é o custo de oportunidade com vendas perdidas decorrentes das perdas físicas do produto p .

A função objetivo do modelo matemático da cadeia de suprimentos de soja e milho é minimizar os custos logísticos de grãos (CL) definida pela equação (24).

$$CL = CARM + CTRANS + CDISTRIBUICAO + CMULTIMODAL \quad (24)$$

Onde:

CARM é a parcela relativa aos custos de armazenagem na cadeia de suprimento de grãos, envolvendo as quantidades armazenadas de grãos tanto em níveis de fazenda quanto externas às fazendas ponderadas pelos respectivos custos e preços, em reais, conforme definido pela equação (25).

$$CARM = \sum_i \sum_{i1} \sum_p TA_{i1} MFAZENDA_{ii1p} + \sum_i \sum_a \sum_p TARM_a FR7_{iap} \quad (25)$$

CTrans é a parcela relativa aos custos de transferência de grãos das fazendas aos armazéns externos às fazendas, envolvendo as quantidades movimentadas neste fluxo rodoviário ponderados pelos respectivos preços de frete, em reais. Definido pela equação (26).

$$CTrans = \sum_i \sum_a \sum_p CR7_{ia} FR7_{iap} \quad (26)$$

CDISTRIBUICAO é a parcela relativa aos custos de distribuição de grãos contemplando as quantidades movimentadas nas atividades logísticas referentes ao transporte rodoviário desde as fazendas e armazéns (em níveis de fazenda e externos) até os centros consumidores e portos, ponderado pelos respectivos preços de fretes rodoviários, em reais. Definido pela equação (27).

$$CDISTRIBUICAO = \left(\begin{array}{c} \sum_{i1} \sum_j \sum_p CR1_{i1j} FR1_{i1jp} + \sum_a \sum_j \sum_p CR4_{aj} FR4_{ajp} + \\ \sum_i \sum_j \sum_p CR8_{ij} FR8_{ijp} \end{array} \right) \quad (27)$$

CMULTIMODAL é a parcela relativa aos custos multimodais de transporte envolvendo as quantidades transportadas desde as fazendas e armazéns (em níveis de fazenda e externos) e os terminais ferroviários e hidroviários ponderado pelos respectivos preços de fretes rodoviários; quantidades transportadas desde os terminais ferroviários e hidroviários até os centros consumidores e portos ponderado pelos respectivos preços de fretes ferroviários e hidroviários, em reais. Definido pela equação (28).

$$CMULTIMODAL = \left(\begin{array}{c} \sum_{i1} \sum_t \sum_p CR2_{i1t} FR2_{i1tp} + \sum_{i1} \sum_h \sum_p CR3_{i1h} FR3_{i1hp} + \\ \sum_a \sum_t \sum_p CR5_{atp} FR5_{atp} + \sum_a \sum_h \sum_p CR6_{ah} FR6_{ahp} + \\ \sum_i \sum_t \sum_p CR9_{it} FR9_{itp} + \sum_i \sum_h \sum_p CR10_{ih} FR10_{ihp} + \\ \sum_t \sum_j \sum_p CF_{tj} FF_{tjp} + \sum_h \sum_j \sum_p CH_{hj} FH_{hjp} \end{array} \right) \quad (28)$$

A função objetivo está sujeita às seguintes restrições:

- 1) Quantificação das perdas nas atividades logísticas dos transportes rodoviário, ferroviário e hidroviário. Os seguintes conjuntos de restrições objetivam quantificar as perdas para cada fluxo de transporte existente através da quantidade transportada em cada fluxo (variáveis de decisão) ponderado pelo indicador de perda (em percentual) associado ao mesmo (a ser apresentado na Tabela 10 da seção 4.1.3 do capítulo de “Resultados e Discussão”).

Especificamente para o transporte rodoviário com destinos aos centros consumidores, portos, terminais ferroviários e hidroviários ocorre à incorporação da qualidade da via do corredor rodoviário. Os corredores rodoviários (pares de origem-destino) podem

ser classificados com vias de “boa” qualidade ou “não boa” qualidade. Para cada classificação de via há um nível percentual de perda associado, o qual foi definido como parâmetro do modelo (coeficientes $P1_{ij}$, $P2_{it}$, $P3_{ih}$, $P4_{aj}$, $P5_{at}$, $P6_{ah}$, $P15_{ij}$, $P16_{it}$ e $P17_{ih}$).

As expressões matemáticas de (29) a (40) apresentam a quantificação das perdas nas atividades de transporte.

$$PFR1_{ijp} = P1_{ij}FR1_{ijp} \quad \forall (i, j, p) \quad (29)$$

$$PFR2_{itp} = P2_{it}FR2_{itp} \quad \forall (i, t, p) \quad (30)$$

$$PFR3_{ihp} = P3_{ih}FR3_{ihp} \quad \forall (i, h, p) \quad (31)$$

$$PFR4_{ajp} = P4_{aj}FR4_{ajp} \quad \forall (a, j, p) \quad (32)$$

$$PFR5_{atp} = P5_{at}FR5_{atp} \quad \forall (a, t, p) \quad (33)$$

$$PFR6_{ahp} = P6_{ah}FR6_{ahp} \quad \forall (a, h, p) \quad (34)$$

$$PFR7_{iap} = P7_{ia}FR7_{iap} \quad \forall (i, a, p) \quad (35)$$

$$PFR8_{ijp} = P15_{ij}FR8_{ijp} \quad \forall (i, j, p) \quad (36)$$

$$PFR9_{itp} = P16_{it}FR9_{itp} \quad \forall (i, t, p) \quad (37)$$

$$PFR10_{ihp} = P17_{ih}FR10_{ihp} \quad \forall (i, h, p) \quad (38)$$

$$PFF_{tjp} = P8_{tj}FF_{tjp} \quad \forall (t, j, p) \quad (39)$$

$$PFH_{hjp} = P9_{hj}FH_{hjp} \quad \forall (h, j, p) \quad (40)$$

2) Quantificação das perdas nos terminais ferroviários, hidroviários e portuários por produto (soja e milho), envolvendo as atividades de transbordo e armazenagem. Tal conjunto de restrição quantifica as perdas que ocorrem nos terminais (decorrentes das atividades de transbordo e armazenagem) através da ponderação do coeficiente de perdas nos terminais pela quantidade total efetivamente embarcada de soja e milho no terminal. A quantidade total efetivamente embarcada em um determinado terminal é o somatório de fluxos com

destino ao referido terminal descontado o somatório de perdas que ocorreram nos fluxos associados.

Por exemplo, para um determinado terminal e produto, o somatório do volume rodoviário movimentado a partir de todas as origens (i , $i1$ e a) foi de 100 toneladas, todavia o somatório de perdas no transporte de tais fluxos foi de 2 toneladas, portanto, a quantidade total efetivamente embarcada no terminal na qual irá incidir o coeficiente de perda é 98 toneladas.

As expressões algébricas (41), (42) e (43) apresentam as quantificações das perdas dos terminais ferroviários, hidroviários e portuários para cada produto, respectivamente.

$$PTFERRO_{tp} = P10_t \left(\frac{\sum_{i1} FR2_{i1tp} + \sum_a FR5_{atp} + \sum_i FR9_{itp} - \sum_{i1} PFR2_{i1tp} - \sum_a PFR5_{atp} - \sum_i PFR9_{itp}}{\sum_{i1} PFR2_{i1tp} - \sum_a PFR5_{atp} - \sum_i PFR9_{itp}} \right) \forall (t, p) \quad (41)$$

$$PTHIDRO_{hp} = P11_h \left(\frac{\sum_{i1} FR3_{i1hp} + \sum_a FR6_{ahp} + \sum_i FR10_{ihp} - \sum_{i1} PFR3_{i1hp} - \sum_a PFR6_{ahp} - \sum_i PFR10_{ihp}}{\sum_{i1} PFR3_{i1hp} - \sum_a PFR6_{ahp} - \sum_i PFR10_{ihp}} \right) \forall (h, p) \quad (42)$$

$$PTPORTO_{j \in EXP, p} = P12_{j \in EXP} \left(\frac{\sum_{i1} FR1_{i1jp} + \sum_a FR4_{ajp} + \sum_i FR8_{ijp} + \sum_t FF_{tjp} + \sum_h FH_{hjp} - \sum_{i1} PFR1_{i1jp} - \sum_a PFR4_{ajp} - \sum_i PFR8_{ijp} - \sum_t PFF_{tjp} - \sum_h PFH_{hjp}}{\sum_h FH_{hjp} - \sum_{i1} PFR1_{i1jp} - \sum_a PFR4_{ajp} - \sum_i PFR8_{ijp} - \sum_t PFF_{tjp} - \sum_h PFH_{hjp}} \right) \forall (j \in EXP, p) \quad (43)$$

Particularmente para o caso da perda portuária descrita na expressão (43), há fluxos que são oriundos tanto do modal rodoviário quanto ferroviário e hidroviário.

- 3) Quantificação das perdas nas atividades de armazenagem em nível de fazenda e externas à fazenda para cada armazém e produto.

Este conjunto de restrições quantifica as perdas que ocorrem em cada armazém para cada produto em função da quantidade efetiva total de entrada no armazém ponderado pelo respectivo coeficiente de perda estabelecido. A expressão matemática (44) define a quantificação das perdas para cada armazém em nível de fazenda e produto (soja e milho).

$$PMFAZENDA_{i1p} = P13_{i1} \sum_i MFAZENDA_{ii1p}, \quad \forall (i1, p) \quad (44)$$

A perda da armazenagem externa à fazenda é definida pela ponderação entre o coeficiente de perda do armazém e a quantidade total efetivamente embarcada no armazém para cada produto e armazém. A quantidade total efetivamente embarcada é o somatório total dos fluxos rodoviários para o armazém a partir das origens (fazendas) i descontado o somatório de perdas em tais fluxos rodoviários.

Por exemplo, para um determinado armazém externo à fazenda e produto, o somatório total dos fluxos rodoviários para o referido armazém e produto foi 100 toneladas, enquanto que as perdas somaram 2 toneladas nestes fluxos, totalizando uma quantidade efetivamente embarcada no armazém de 98 toneladas, valor no qual será aplicado o coeficiente de perda de armazenagem.

A equação (45) apresenta a quantificação das perdas dos armazéns externos à fazenda para cada produto.

$$PTARMEXT_{ap} = P14_a \left(\sum_i FR7_{iap} - \sum_i PFR7_{iap} \right), \quad \forall (a, p) \quad (45)$$

- 4) Oferta de soja e milho na cadeia de suprimentos brasileira. Tal conjunto de restrições garante que toda a quantidade produzida de grãos deve ser movimentada através das quatro alternativas definidas na estrutura matemática: transporte rodoviário até o destino final (centro consumidor ou porto), transporte rodo-hidroviário, transporte rodo-ferroviário, transporte para algum armazém externo à fazenda ou movimentação para o armazém em nível da fazenda, caso disponível. Ou seja, o volume total dos fluxos de expedição de cada grão p em cada região produtora i deve ser igual a sua produção.

A equação (46) define o conjunto de restrição de oferta no sistema.

$$\left(\sum_a FR7_{iap} + \sum_{i1} MFAZENDA_{ii1p} + \sum_j FR8_{ijp} + \sum_t FR9_{itp} + \sum_h FR10_{ihp} \right) = PRODUCAO_{ip}, \quad \forall (i, p) \quad (46)$$

- 5) Demanda do mercado doméstico (centros consumidores) e mercado externo (portos) para cada região j e produto p . Tal conjunto de restrição garante que a demanda do produto p da região j seja atendida, considerando a existência de perdas no abastecimento desta demanda. A estrutura matemática segue a mesma lógica apresentada anteriormente, ou seja, a quantidade efetiva total embarcada em cada destino para cada produto deve ser no mínimo igual ao valor estabelecido.

Quando o destino for mercado doméstico ($j \notin EXP$), a quantidade efetiva total embarcada do produto p no destino j é o somatório de todos os fluxos rodoviários com origem em i , $i1$ e a , fluxos ferroviários com origem em t e fluxos hidroviários com origem no terminal h descontado de todas as perdas que ocorreram em tais fluxos. Especificamente quando o destino for mercado externo ($j \in EXP$), deve ser descontada a perda no terminal portuário (decorrentes das atividades de transbordo e armazenagem) da quantidade efetivamente embarcada do produto p . A inequação (47) é definida para tal restrição.

$$\left(\begin{aligned} & \sum_{i1} FR1_{i1jp} + \sum_a FR4_{ajp} + \sum_t FF_{tjp} + \sum_h FH_{hjp} \\ & + \sum_i FR8_{ijp} - \sum_{i1} PFR1_{i1jp} - \sum_a PFR4_{ajp} - \sum_t PFF_{tjp} \\ & - \sum_h PFH_{hjp} - \sum_i PFR8_{ijp} - PTPORTO_{j \in EXP p} \end{aligned} \right) \geq DEMANDA_{jp}, \forall (j, p) \quad (47)$$

- 6) Utilização da capacidade disponível do transporte ferroviário para cada produto, terminal ferroviário e destino. Esse conjunto de restrições garante que o fluxo ferroviário do terminal t para o destino j e produto p seja igual ao volume movimentado para o ano de 2015. Tal conjunto de restrição é apresentado pela equação (48).

$$FF_{tjp} = CAPT_{tjp}, \quad \forall (t, j, p) \quad (48)$$

- 7) Utilização da capacidade disponível do transporte hidroviário para cada produto, terminal hidroviário e destino. Assim como para o anterior, esse conjunto de restrição garante que o fluxo hidroviário a partir do terminal h para o destino j do produto p seja igual ao volume estimado para as combinações. A expressão (49) apresenta este conjunto de restrições.

$$FH_{hjp} = CAPH_{hjp}, \quad \forall (h, j, p) \quad (49)$$

- 8) Equilíbrio do fluxo de massa na rede ferroviária envolvendo perdas para cada terminal ferroviário t e produto p . Tal conjunto de restrições garante que toda a quantidade efetivamente embarcada dos fluxos rodoviários do produto p com destino ao terminal t (ou seja, o somatório de todos os fluxos rodoviários descontando as respectivas perdas) seja igual à soma da quantidade perdida no terminal ferroviário t e do fluxo ferroviário de t para j do produto p . Dessa forma, o equilíbrio é nulo, ou seja, toda quantidade que chega no terminal descontando as perdas no transporte de recepção deve ser igual à quantidade perdida no terminal mais a quantidade de expedição do terminal. A expressão (50) apresenta a formulação deste bloco de restrições.

$$\begin{pmatrix} \sum_{i1} FR2_{i1tp} + \sum_a FR5_{atp} + \sum_i FR9_{itp} \\ - \sum_{i1} PFR2_{i1tp} - \sum_a PFR5_{atp} - \sum_i PFR9_{itp} \\ - \sum_j FF_{tjp} - PTFERRO_{tp} \end{pmatrix} = 0, \forall (t, p) \quad (50)$$

- 9) Equilíbrio do fluxo de massa na rede hidroviária envolvendo perdas para cada terminal hidroviário h e produto p . Segue a mesma lógica apresentada para o conjunto de restrições anteriores. Toda a quantidade que chega ao terminal descontando as perdas no transporte de recepção deve ser igual à quantidade perdida no terminal mais a quantidade de expedição do terminal. A equação (51) apresenta a estrutura dessa restrição.

$$\begin{pmatrix} \sum_{i1} FR3_{i1hp} + \sum_a FR6_{ahp} + \sum_i FR10_{ihp} \\ - \sum_{i1} FR3_{i1hp} - \sum_a FR6_{ahp} - \sum_i FR10_{ihp} \\ - \sum_j FH_{hjp} - PTHIDRO_{hp} \end{pmatrix} = 0, \forall (h, p) \quad (51)$$

- 10) Equilíbrio do fluxo de massa da rede de armazenagem externa à fazenda a e produto p . Nesse caso, toda a quantidade embarcada do produto p no armazém a , descontadas as perdas no transporte rodoviário, deve ser movimentada para o destino j , terminal ferroviário t ou terminal hidroviário h , descontando as perdas da armazenagem para cada armazém a e produto p . A expressão (52) ilustra tal conjunto de restrições.

$$\begin{pmatrix} \sum_i FR7_{iap} - \sum_i PFR7_{iap} - \sum_j FR4_{ajp} - \sum_t FR5_{atp} \\ - \sum_h FR6_{ahp} - PTARMEXT_{ap} \end{pmatrix} = 0, \forall (a, p) \quad (52)$$

- 11) Balanço do fluxo de massa da rede de armazenagem em nível da fazenda. Nesse caso, toda a quantidade embarcada do produto p no armazém $i1$, deve ser alocada para o destino j , terminal ferroviário t ou terminal hidroviário h , descontando as perdas da armazenagem. A expressão (53) apresenta o conjunto de restrições.

$$\left(\sum_i MFAZENDA_{ii1p} - \sum_j FR1_{i1jp} - \sum_t FR2_{i1tp} - \sum_h FR3_{i1hp} - PMFAZENDA_{i1p} \right) = 0, \forall (i1, p) \quad (53)$$

- 12) Utilização da capacidade para cada armazém externo à fazenda a . Para este conjunto de restrições foi atribuído que todo o armazém a deve utilizar sua total capacidade de forma a simular a realidade da armazenagem de grãos no país, do contrário a otimização de mínimo custo logístico possivelmente não alocaria fluxos para armazenagem. A expressão (54) apresenta tal restrição.

$$\sum_i \sum_p FR7_{iap} - \sum_i \sum_p PFR7_{iap} = CAPOFFFARM_a, \forall (a) \quad (54)$$

- 13) Utilização da capacidade de armazenagem para cada armazém em nível da fazenda $i1$. Para esta finalidade, foi estruturada uma restrição do tipo igualdade para simular a realidade da utilização da armazenagem, tal como a restrição anterior. A expressão (55) apresenta esse conjunto de restrição.

$$\sum_i \sum_p MFAZENDA_{ii1p} = CAPONFARM_{i1}, \forall (i1) \quad (55)$$

- 14) Restrição para quantificação das perdas na agrologística para cada produto p . Tal restrição soma todas as perdas nas movimentações durante as fases do transporte, armazenagem e terminais para cada produto p . A equação 56 apresenta referido conjunto de restrição.

$$PT_p = \left(\begin{array}{l} \sum_{i1} \sum_j PFR1_{i1jp} + \sum_{i1} \sum_t PFR2_{i1tp} + \sum_{i1} \sum_h PFR3_{i1hp} + \\ \sum_i \sum_t PFR9_{itp} + \sum_i \sum_h PFR10_{ihp} + \sum_a \sum_j PFR4_{ajp} + \\ \sum_a \sum_t PFR5_{atp} + \sum_a \sum_h PFR6_{ahp} + \sum_i \sum_a PFR7_{iap} + \\ \sum_t \sum_j PFF_{tjp} + \sum_h \sum_j PFH_{hjp} + \sum_t PTFERRO_{tp} + \\ \sum_h PTHIDRO_{hp} + \sum_{j \in EXP} PTPORTO_{j \in EXP p} + \\ \sum_{i1} PMFAZENDA_{i1p} + \sum_a PTARMEXT_{ap} + \\ \sum_i \sum_j PFR8_{ijp} \end{array} \right), \quad \forall (p) \quad (56)$$

15) Restrição contábil para quantificar os custos logísticos adicionais decorrentes das perdas nas atividades logísticas para cada produto. Dessa forma, tal restrição é semelhante a estrutura matemática apresentada na função objetivo (equações 24 a 28), a diferença é que esta pondera os custos logísticos associados a quantidade perdida. A expressão (57) detalha a quantificação dos custos logísticos decorrentes das perdas.

$$CLP_p = \left(\begin{array}{l} \sum_{i1} \sum_j CR1_{i1j} PFR1_{i1jp} + \sum_{i1} \sum_t CR2_{i1t} PFR2_{i1tp} + \\ \sum_{i1} \sum_h CR3_{i1h} PFR3_{i1hp} + \sum_i \sum_j CR8_{ij} PFR8_{ijp} + \\ \sum_i \sum_t CR9_{it} PFR9_{itp} + \sum_i \sum_h CR10_{ih} PFR10_{ihp} + \\ \sum_a \sum_j CR4_{aj} PFR4_{ajp} + \sum_a \sum_t CR5_{at} PFR5_{atp} + \\ \sum_a \sum_h CR6_{ah} PFR6_{ahp} + \sum_i \sum_a CR7_{ia} PFR7_{iap} + \\ \sum_t \sum_j CF_{tj} PFF_{tjp} + \sum_h \sum_j CH_{hj} PFH_{hjp} + \\ \sum_a TARM_a PTARMEXT_{ap} + \sum_{i1} TA_{i1} PMFAZENDA_{i1p} \end{array} \right), \quad \forall (p) \quad (57)$$

16) Restrição para quantificar as perdas econômicas decorrentes do custo de oportunidade com vendas perdidas em função das perdas. Nesse sentido, o custo de oportunidade de cada produto p é o preço médio de comercialização do produto p ponderado pela quantidade total perdida do produto p na agrologística. A expressão (58) apresenta o custo de oportunidade.

$$CO_p = PV_p PT_p, \quad \forall (p) \quad (58)$$

Onde:

PV_p é o preço médio de comercialização do produto p no ano de 2015, referenciado pelo indicador de preço de soja e milho disponibilizado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA (2016).

3.5. Etapa 5: Avaliação de cenários e recomendações de estratégias e políticas públicas para mitigação das perdas

Foram estruturados quatro conjuntos de cenários objetivando realizar um diagnóstico das perdas, bem como recomendar estratégias e políticas públicas para redução das perdas nas atividades logísticas de soja e milho no Brasil.

1) “Cenário Base”: objetiva simular a realidade atual da cadeia de suprimentos de grãos a partir da estruturação do modelo matemático construído anteriormente, inclusive com restrições do tipo igualdade de forma a se obter comportamentos logísticos semelhantes aos estimados para o ano de 2015, em termos de movimentações multimodais e utilização de armazéns. Tal cenário será utilizado para realizar o diagnóstico das perdas que ocorrem nas diversas atividades logísticas de soja e milho nos estados produtores brasileiros, bem como quantificar as perdas econômicas e ambientais decorrentes de tais perdas.

Os coeficientes de perdas utilizados nas atividades logísticas da modelagem de cadeia de suprimentos de grãos são apresentados na Tabela 10 (seção 4.1.3 do capítulo de “Resultados e Discussão”).

Após a definição do “Cenário Base”, foram elaborados e analisados três conjuntos de resultados direcionados para mitigar perdas na agrologística de grãos através da simulação de parâmetros ou mudanças na programação do modelo matemático de otimização da cadeia de suprimentos de grãos. Os cenários analisados são:

2) “Ampliação da capacidade de armazenagem na fazenda”: neste cenário, são alterados a participação relativa da armazenagem em nível de fazenda em relação a capacidade total de armazenagem para cada região de forma a avaliar como a armazenagem em nível de fazenda pode reduzir perdas. Para isso, foram realizados sucessivos processamentos no modelo de otimização a partir de alterações de tais percentuais nos parâmetros do modelo.

A simulação realizada envolve manter a capacidade de armazenagem total da cadeia de suprimentos de grãos constante, porém ampliando a proporção da capacidade de armazenagem dentro da fazenda, em detrimento das reduções da capacidade externa à fazenda.

3) “Melhoria nas condições das rodovias brasileiras”: o objetivo deste cenário é avaliar o potencial de redução das perdas através de melhorias das condições rodoviárias da cadeia de suprimento de grãos e identificar quais os estados mais impactados. Dessa forma, tal análise pode ser um indicador importante para o auxílio em tomadas de decisão envolvendo priorização de investimentos em corredores rodoviários, por exemplo.

Para a elaboração deste cenário, consideram-se que todas as rodovias apresentam indicadores de qualidade das vias classificados como “boa”, com a atribuição do nível de perda associado a tal classificação, conforme apresentado nas seções anteriores. Após essa alteração foi realizado novamente o processamento do modelo matemático e análise dos resultados.

Especificamente para o transporte rodoviário de transferência de grãos da fazenda para o armazém externo, foi realizada a simulação dos indicadores de perdas de forma a captar o potencial de mitigação nessa atividade logística, a qual é um dos principais

focos de perdas de soja e milho. Para cada alteração no parâmetro, foi realizado o processamento do modelo matemático.

4) “Incorporação das perdas na gestão logística do embarcador”: o objetivo deste cenário é avaliar o *trade-off* logístico entre minimizar as perdas nas atividades logísticas ou minimizar os custos logísticos na cadeia de suprimentos de grãos através de mudanças na função objetivo do modelo. Nesse contexto, foi analisado um cenário de minimização das perdas na agrologística de grãos de forma a comparar os resultados com o “Cenário Base”.

3.6. Programação e processamento do modelo matemático

O modelo matemático foi programado na linguagem do *General Algebraic Modeling System* (GAMS), utilizando o mesmo para processamento integrado ao *solver* CPLEX. O modelo apresentou 389.565 variáveis, 272.035 equações, 1.957 iterações realizadas e tempo de processamento de 1,553 minuto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo é segmentado em três seções, envolvendo: (i) resultados das pesquisas primária e secundária sobre perdas de grãos no Brasil nas atividades logísticas; (ii) índices de perdas nas diferentes agrologísticas de grãos no Brasil; (iii) quantificação das perdas na agrologística brasileira de grãos e análise de cenários para mitigação.

4.1. Resultados das pesquisas primária e secundária sobre perdas de grãos

4.1.1. Níveis de perdas na agrologística de grãos no Brasil referenciados na literatura

Os estudos de perdas de pós-colheita de produtos agrícolas como um todo no Brasil apresentam uma série de variações envolvendo grupos de produtos estudados, elos ao longo da cadeia, métricas de perdas, métodos de mensuração, dentre outras. Dessa forma, Péra et al. (2015) realizaram uma meta-análise para construção de indicadores dos estudos de perdas de pós-colheita a partir de sessenta artigos científicos que tratavam da agricultura brasileira. Dessa forma, as seguintes informações foram obtidas:

- Existe uma predominância forte de estudos na área de perdas de frutas (45,9%), vegetais (27,9%) frente aos grãos (23%) e demais produtos (3,2%);
- No caso, a maior parte dos estudos focou em perdas quantitativas (83,8%) envolvendo perda física frente às perdas qualitativas, contemplando perdas nutricionais, visuais etc.;
- Em relação à causa da perda, a maior parte dos estudos identificados focaram nas atividades de armazenagem (43,2%), manuseio (17,6%), transporte (17,6%) e infestações biológicas (16,2%);
- Referente aos métodos utilizados para quantificação das perdas predominam os experimentos conduzidos no campo e laboratório – principalmente para produtos perecíveis (55,7%), amostragem em campo (23%), revisão de literatura (9,8%), entrevistas e questionários (8,2%) e outros (3,3%); e

- Outro indicador avaliado foi a métrica utilizada como perda de pós-colheita. No caso, a predominância nos estudos estava relacionada às perdas de massa (40,6%), infestações biológicas (26,4%), físico-químicas (22,6%), nutricionais (9,4%) e econômicas (0,9%).

Especificamente para as perdas nas atividades logísticas de grãos, os indicadores de perdas identificados na literatura apresentam uma alta amplitude e lacunas principalmente para o transporte ferroviário, hidroviário e terminais multimodais (portuários, ferroviários e hidroviários), conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Níveis de perdas em diferentes atividades logísticas de grãos (soja e milho) no Brasil identificados na literatura

Atividades logísticas	Níveis de perdas identificados
Transporte rodoviário da fazenda ao armazém (curta distância)	0,50% (Associação dos Produtores de Soja – APROSOJA, 2015) 0,50% (Nascimento et al., 2016) 0,50% (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 1997)
Transporte rodoviário de longa distância (armazém até porto ou centros consumidores)	0,25% (APROSOJA, 2015) 0,10% (SEMPREBOM, 2009)
Transporte ferroviário	Não identificado em revisão de literatura
Transporte hidroviário	Não identificado em revisão de literatura
Armazenagem	2,00% para armazenagem a granel em silos, em graneleiros e em sacarias (SANTOS et al., 1994 apud EMBRAPA, 1997) 2,03% para armazenagem a granel considerando um período de cento e oitenta dias do total armazenado (CAMPOS, 2001)
Terminais Ferroviários, Hidroviários e Portuários	Não identificado em revisão de literatura

Fonte: organizado pelo autor

Nesse contexto, as perdas no transporte rodoviário ocorrem em função de uma série de fatores envolvendo a utilização de vias precárias, velocidade do veículo, caminhões antigos e/ou com avarias na carroceria, falta de qualificação do motorista, tipos de implementos do equipamento de transporte, dentre outros fatores (CANEPPELE; SARDINHA, 2014).

Em relação à armazenagem de grãos em nível de fazenda, prestadores de serviços, terminais multimodais, o nível de perda pode variar em função de: infestação biológica através de microrganismos, principalmente pela falta de manejo no controle de temperatura e umidade, infestação de pragas de armazenagem, as quais afetam caso

não se realize o adequado expurgo de forma regular; manuseio adequado dos equipamentos da infraestrutura de armazenagem, principalmente na etapa de secagem do produto (BOXALL, 2011; EMBRAPA, 1997). Por exemplo, Dalpasquale (2006) identificou que um superaquecimento dos grãos na etapa de secagem pode causar perdas na ordem de 1,21% de peso no grão.

4.1.2. Resultados da pesquisa com as entrevistas: perdas na agrologística de grãos

Nesta seção são compiladas as informações obtidas através das entrevistas⁵ realizadas com os diversos agentes que atuam na agrologística brasileira de grãos, envolvendo: transportadoras, embarcadores (donos de carga, incluindo *tradings*), terminais (ferroviários, portuários e hidroviários) e armazéns.

Primeiramente, ao longo da pesquisa foram identificadas diferentes tratativas nos conceitos utilizados para as perdas nas atividades logísticas de grãos envolvendo o relacionamento entre os embarcadores e os prestadores de serviço de transporte, armazenagem e terminais. A seguir, são apresentados os conceitos de perdas para cada atividade agrologística sob a ótica dos entrevistados, as tratativas contratuais envolvendo perdas no relacionamento entre os agentes e os métodos mais comuns utilizados para avaliar as perdas.

4.1.2.1. Perdas no transporte

No transporte de grãos, as perdas são entendidas como a diferença de peso entre a origem e o destino. Nesse contexto, os embarcadores (donos de carga) estabelecem relações comerciais para a tratativa da perda em contratos com prestadores de serviços de transporte. Dessa forma, é apresentado a seguir o conceito de quebra técnica identificado nas entrevistas.

⁵Tal questionário foi aplicado durante entrevistas com agentes do setor presencialmente e também por telefone junto aos informantes do Grupo ESALQ-LOG com o apoio da equipe de coleta de dados. No total foram consultadas e entrevistadas por telefone ou contato pessoal, trinta e duas instituições, envolvendo terminais, transportadoras e embarcadoras durante o período de janeiro de 2016 a maio de 2016.

Quebra técnica no transporte: é o estabelecimento nos contratos dos serviços de transporte rodoviário, ferroviário e hidroviário de um nível tolerável de diferença de peso em tais operações, de forma que o prestador de serviço é obrigado a indenizar todas as perdas que ocorrem acima do nível de quebra técnica tolerada. Ou seja, trata-se de um mecanismo para minimizar riscos de perdas para os embarcadores, além de estabelecer um limite tolerável de diferença de peso que não traga prejuízos financeiros para ambos. Por exemplo, para um contrato de transporte rodoviário de soja de Sorriso (MT) para Santos (SP) entre uma transportadora (prestadora de serviço) e o embarcador (dono da carga) se estabelece um nível de quebra técnica. Caso a diferença de peso entre a carga quantificada na origem e no destino seja superior ao nível adotado de quebra técnica, a prestadora é obrigada, por força contratual, a pagar a diferença. Caso a diferença de peso seja inferior ao nível de quebra-técnica, não há penalidades de pagamento da diferença de peso pela prestadora de serviço. O mesmo se aplica para o transporte ferroviário e hidroviário. O pagamento da diferença entre a perda e a quebra técnica por parte da transportadora pode ocorrer através de descontos de fretes nas próximas negociações – crédito de frete (mais comum), dispêndio financeiro ou entrega física do produto perdido. Além disso, é comum observar que a transportadora pode repassar o seu prejuízo decorrente da cobrança da perda para o motorista. Tal nível de quebra técnica também é utilizado como referência na internalização do preço de comercialização de grãos, como um fator de desconto do preço pago ao produtor rural (preço no mercado local).

Método utilizado para quantificação da perda e quebra técnica no transporte rodoviário, ferroviário ou hidroviário: normalmente, a quantificação das perdas no transporte rodoviário, ferroviário e hidroviário ocorre pela diferença de peso na origem e no destino, através da verificação dos documentos de pesagem. No caso, o embarcador avalia a perda para cada operação (rota) por prestador de serviço (transportadora). Há casos em que o embarcador opta por quantificar toda a perda no final do ano safra ou do contrato e cobrar do prestador de serviço a diferença obtida entre a perda e o nível adotado de quebra técnica, seja em valores monetários ou a partir de desconto no contrato seguinte. Todavia, notou-se que esse método é

bastante questionável, em função das balanças apresentarem erros significativos de pesagem, ou seja, não retratarem a diferença de peso como uma perda. Por exemplo, foram comuns observações em que as diferenças de peso entre origem e destino assumiam tanto valores positivos quanto negativos, indicando erros de balanças. Além disso, há outros fatores que afetam a diferença de pesos nas balanças: (i) falta de procedimentos para a pesagem na origem e no destino, que alteram a definição do peso da tara do veículo (por exemplo: na origem, o motorista fica dentro do veículo e no destino isso não acontece); (ii) quantidade de combustível no veículo; (iii) falta de manutenção e/ou calibração periódica das balanças; (iv) diferença de precisão entre as balanças; (v) diferença de tipos de balança na origem e no destino, dentre outros.

Um aspecto importante identificado na pesquisa, segundo os entrevistados, é que os níveis de perdas no transporte de soja e de milho não apresentam diferenças entre si, ou seja, são muito semelhantes.

Fatores identificados que afetam as perdas no transporte rodoviário:

- Tipo de equipamentos de transporte: os entrevistados apontaram que alguns equipamentos de transporte possuem menores propensões de perdas, principalmente em função da vedação do caminhão. Por exemplo, veículos do tipo basculante possuem menores perdas que os graneleiros (carreta);
- Estado de conservação do implemento rodoviário: mais especificamente, equipamentos de transporte que apresentam falta de vedação adequada, fissuras e outros tipos de danificações observam maiores perdas no transporte. Normalmente, o estado de conservação do implemento rodoviário apresenta uma forte correlação com a idade do equipamento, ou seja, implementos mais antigos apresentam maiores danificações e, por consequência, maiores perdas;
- Vedação inadequada do implemento rodoviário: os entrevistados acreditam que a maior fonte de perda pode ocorrer em função da vedação inadequada da lona de cobertura da carroceria do caminhão, gerando perdas principalmente em viagens com trepidações;

- Qualidade das vias: o estado de conservação das rodovias foi apontado como um dos principais fatores geradores de perdas no transporte rodoviário. Na visão dos entrevistados, a qualidade da via impacta as trepidações do caminhão gerando perdas, principalmente se o caminhão apresentar uma vedação inadequada e implementos danificados;
- Qualificação do motorista: na visão dos entrevistados, a qualificação e treinamento do motorista para cumprir procedimentos relacionados ao enlonação adequado do veículo, cumprimento do roteiro de viagem, velocidade média, dentre outros fatores, também é um fator que afeta o nível de perda;
- Distância no transporte: segundo os entrevistados, a distância é um fator que pode contribuir com o aumento do nível de perda na atividade, porém este deve estar associado a outros fatores comentados anteriormente. Por exemplo, para rotas de curta distância envolvendo o transporte da fazenda para o armazém é comum observar perdas superiores ao transporte rodoviário de longa distância (porto, por exemplo), pois para aquelas movimentações são utilizados equipamentos de transporte mais antigos (danificados), vedação inadequada, qualidade precária das vias (muitas vezes a utilização somente de estradas de terra, gerando uma maior trepidação), sobrepeso do veículo, dentre outros fatores. Ou seja, é difícil inferir que quanto maior a distância, maior é a perda, pois se depende ainda de outros fatores;
- Tipo de destino: normalmente, os portos possuem uma maior tendência às perdas em relação aos outros destinos, em função da alta demanda por produtividade, incorrendo em carga remanescente no caminhão; e
- Balança rodoviária (afeta a métrica da perda): os entrevistados acreditam que existe erro significativo de leitura de balança entre a origem e destino, afetando a diferença de peso nas viagens realizadas e consequentemente afetando o indicador de perda. Por exemplo, alguns entrevistados apontaram que para alguns terminais portuários dentro do mesmo porto é mais comum a diferença de peso do que outros terminais.

Para o caso do transporte ferroviário, são apresentados a seguir os principais fatores que afetam as perdas nestas atividades:

- Estado de conservação e vedação adequada do equipamento de transporte: estruturas danificadas de transporte geram maiores níveis de perdas, principalmente em vagões mais antigos, em decorrência de vazamento da carga;
- Tempo de viagem: o transporte ferroviário apresenta um tempo de viagem muito superior ao rodoviário. Nesse sentido, caso tenha vagões danificados, o tempo de viagem afeta drasticamente o nível de perda, em função do vazamento de produto transportado durante o percurso;
- Problemas no descarregamento: em função de uma demanda alta por produtividade no descarregamento, principalmente em terminais portuários, pode ser observada carga remanescente nos vagões;
- Roubo de mercadoria ao longo da viagem; e
- Problemas com balanças (afetam a métrica da perda): no caso do transporte ferroviário, normalmente a balança utilizada para carregamento no terminal ferroviário é do tipo balança de fluxo, enquanto que no terminal portuário é do tipo balança estática, incorrendo em uma maior probabilidade de imprecisões na mensuração da diferença de peso e consequentemente no indicador de perda.

Especificamente para o transporte hidroviário, os fatores que afetam as perdas nesta atividade são:

- Perdas durante o descarregamento das barcas: em função do sistema de descarregamento das barcas pode haver carga remanescente na mesma; e
- Problemas com balança (afetam a métrica da perda): neste caso, podem ocorrer diferenças de erros de leitura de balança, tal como ocorre para os transportes rodoviário e ferroviário.

A Tabela 7 apresenta os indicadores de perdas nos transportes rodoviário e ferroviário levantados nas entrevistas com os agentes do setor. Em função de contratos específicos e sigilo, não foi declarado o nível de perda no transporte hidroviário. Nesse sentido, buscou-se identificar os valores mínimo, médio e máximo observados pelos

entrevistados para o ano de 2015. Especificamente para o modal rodoviário, buscou-se captar o efeito da qualidade da via no indicador de perda, envolvendo corredores classificados como vias de “boa” qualidade e de “não boa” qualidade. Além disso, tais indicadores avaliados não retratam os fluxos de transporte entre fazendas e armazéns. Os indicadores de perdas são apresentados em formatos de percentual em relação à quantidade inicialmente embarcada no modal.

Tabela 7. Indicadores de perdas no transporte rodoviário (qualidade da via) e ferroviário de grãos obtidos através dos entrevistados (% de entrada de carga).

Modalidade ¹	Indicadores de perdas de grãos (%)
Rodoviário – geral ^{1,2}	0,204%
Rodoviário - Vias de “boa” qualidade ²	0,132%
Rodoviário - Vias de “não boa” qualidade ²	0,267%
Ferroviário	0,170%

¹Média geral de todas os valores obtidos de perdas, independente da classificação das vias.

²Rodoviário: fluxos de transporte com destino aos terminais multimodais, portos e centros consumidores. Não incluem fluxos entre fazenda e armazém.

Fonte: elaborado pelo autor a partir dos dados da aplicação dos questionários

A Tabela 8 apresenta os níveis de quebra técnica adotados nos contratos para os transportes rodoviário, ferroviário e hidroviário, em percentual de entrada de carga no modal. No caso, é muito comum um nível de quebra técnica na ordem de 0,25% para todos os modais. Exceções podem ser observadas, dependendo da negociação entre os embarcadores e os prestadores de serviços (em função de sigilo, essas informações não foram fornecidas durante as entrevistas).

Tabela 8. Indicadores de níveis de quebra técnica adotados nos contratos de transporte rodoviário, ferroviário e hidroviário de grãos obtidos através dos entrevistados (% de entrada de carga)

Modalidade	Nível de quebra técnica (%)
Rodoviário	0,250%
Ferroviário	0,250%
Hidroviário	0,250%

Fonte: elaborado pelo autor a partir dos dados das entrevistas

Especificamente para o transporte rodoviário, foi possível identificar na pesquisa, com os agentes do setor, a frequência de observações de perdas quando comparadas ao nível de quebra técnica contratual, conforme apresentado na Figura 27.

Figura 27. Frequência das viagens rodoviárias que apresentaram perdas superiores às quebras técnicas contratuais no ano de 2015, segundo os entrevistados.

Fonte: elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

Nesse sentido, verifica-se que 19% dos entrevistados não declararam durante a atividade do transporte rodoviário em 2015 perdas superiores aos níveis da quebra técnica contratual (0,25%). A moda da distribuição é a de que 57,1% dos entrevistados tiveram de 1% a 24% de suas viagens com perdas superiores à quebra técnica no ano de 2015.

Em razão de sigilo, não foram obtidas tais distribuições para os modais hidroviário e ferroviário através das entrevistas.

4.1.2.2. Perdas nos terminais ferroviários, hidroviários e portuários

Para os terminais ferroviários e portuários foram identificados os valores que são utilizados para referenciar as perdas em contrato na relação entre os embarcadores e prestadores de serviço, os quais recebem o nome de retenção técnica. Dessa forma, assume-se que as perdas nos terminais são iguais às retenções técnicas utilizadas nas relações comerciais. As retenções técnicas para o terminal hidroviário não foram declaradas; dessa forma, assumiu-se que são iguais às do terminal ferroviário, para fins de quantificação de perdas.

Retenção técnica: é a quantidade estabelecida em contrato no qual o prestador de serviço do terminal (ferroviário, hidroviário ou portuário) retém do embarcador um

percentual da quantidade descarregada no terminal de forma a gerenciar riscos de perdas ao longo do período de funcionamento do mesmo (normalmente um ano) nas atividades relacionadas à armazenagem dos grãos e operações de transbordo. Isto é, retenção é um dispositivo contratual no qual o terminal garante ao embarcador que a sua carga será embarcada na próxima atividade logística com no mínimo a quantidade inicial descontada a retenção. Por exemplo, um determinado embarcador utiliza um terminal para sua atividade; ao descarregar o seu produto, uma parte é retida pelo terminal. Após a finalização da operação do terminal ao longo de um período, o embarcador pode: (i) não receber sua carga retida, pois houve perda na operação do terminal (nesse caso, pelo contrato o terminal não é obrigado a pagar a retenção ao embarcador caso tenha ocorrido perda na operação); (ii) receber uma parte da carga retida, descontando a perda que houve na operação no terminal; ou (iii) receber totalmente a retenção contratual, pois não houve perda na operação do terminal. A situação mais típica observada ao longo da pesquisa é a não devolução integral da quantidade retida no terminal ao embarcador, em função das perdas.

Método utilizado para quantificação da perda no terminal: o terminal funciona como um sistema em *pool*, ou seja, a partir do momento que uma carga chega ao terminal, esta se mistura com outras e não é possível identificar o dono da carga. Nesse sentido, o terminal, por via de contrato, é obrigado a embarcar (entregar) na próxima atividade a quantidade que um determinado embarcador descarregou no terminal, descontada a retenção contratual. Caso o terminal não consiga cumprir o embarque mínimo, este é obrigado a compensar o embarcador seja através da aquisição do produto até atingir a quantidade mínima ou através de descontos em tarifas (não muito comum). Dessa forma, para o terminal é muito difícil quantificar a perda que acontece em apenas uma operação, pois cada operação pode ter um nível distinto de perda. Assim, o terminal quantifica a perda através de inventários periódicos (normalmente ao final da safra ou ano), envolvendo: a diferença entre o somatório da quantidade embarcada no terminal e o somatório da quantidade desembarcada; e/ou da constatação volumétrica da sobra física no terminal. A situação mais comum observada é que os níveis de perdas nos diversos terminais (ferroviários, hidroviários e portuários) tendem a ser iguais aos níveis de retenções contratuais cobrados pelo terminal. Normalmente, os terminais apresentam dados e

séries históricas com elevada simetria de informação para auxiliar na tomada de decisão quanto aos níveis de retenções que devem ser estabelecidos em contratos, de forma a evitar que os mesmos assumam prejuízos com perdas.

A Tabela 9 apresenta os indicadores de retenções técnicas obtidos para os terminais portuários e ferroviários.

Tabela 9. Indicadores de retenções técnicas nos terminais ferroviários e portuários para grãos obtidos através dos entrevistados

Terminal	Indicador de retenção técnica (%)
Portuário	0,250%
Ferrovário	0,250%

Fonte: resultados das entrevistas

Fatores identificados que afetam as perdas nos terminais:

- Tempo de armazenagem no terminal: o tempo de armazenagem do grão afeta de forma diretamente proporcional o nível de perda, em decorrência do maior contato aos fatores geradores de perda, além da perda natural de água;
- Falta de controle na infestação de insetos, roedores e pombos que consomem os grãos ou danificam a estrutura dos mesmos, criando um ambiente favorável para proliferação de microrganismos;
- Falta de limpeza adequada e periódica na estrutura de armazenagem, principalmente em regiões de canto e próximas aos locais de carregamento e de descarregamento;
- Falta de controle de umidade e de temperatura da massa de grãos armazenada; e
- Perdas durante a movimentação interna dos grãos, principalmente em correias transportadoras.

4.1.2.3. Perdas na armazenagem

Tal como foi realizado para os terminais, as perdas na armazenagem foram referenciadas a partir dos valores obtidos nas relações contratuais entre os

embarcadores e prestadores de serviço de armazenagem. Nesse caso, a nomenclatura utilizada é sobretaxa.

Sobretaxas de armazenagem: Para a situação de armazenagem há o conceito de sobretaxa. Campos (2001) identificou que até em 1992 no Brasil, a CONAB, órgão normativo federal, adotava um percentual de desconto para compensar a secagem natural e quebra técnica⁶ de grãos até a ordem de 0,30% da massa armazenada ao mês nos armazéns públicos administrados pela mesma, independente de tipo, características físicas e outros fatores. Após esse período, foi realizada uma mudança, introduzindo o conceito de sobretaxa, ou seja, o embarcador paga um percentual do preço do produto para uma quantidade armazenada por quinzena e o armazenador é obrigado a indenizar todos os tipos de perdas ao embarcador, inclusive as perdas por umidade, quebra técnica, avarias etc. (CAMPOS, 2001). No caso dos armazéns públicos, existe uma tabela referencial de sobretaxa da CONAB. Para os armazéns privados, muitas vezes existe uma relação não monetária entre o embarcador e o armazenador, sendo tal sobretaxa paga como um percentual do produto (e não como um percentual do valor e quantidade do produto).

Método utilizado para quantificação da perda no armazém: tal como ocorre para os terminais, a quantificação das perdas na armazenagem acontece através de um inventário de entrada e saída de produtos ao longo do tempo e após a finalização da atividade de armazenagem (normalmente um ano) e quantificação do volume estocado do produto no armazém. No caso, foi identificada a ocorrência de sobras de estoques em armazéns públicos que alugam o armazém completo. Nessa situação, a sobra do produto é um problema, uma vez que o embarcador - dependendo da quantidade estocada - não possui interesse em buscar o produto em função dos custos de transporte envolvidos.

Os fatores identificados que afetam as perdas no armazém são semelhantes aos que afetam os terminais: tempo de armazenamento, falta de controle na infestação de pragas, falta de limpeza adequada e periódica, falta de controle de umidade e

⁶ Conceitualmente, a quebra técnica na armazenagem pode ser entendida como a perda de peso (em massa), descontada a perda de água (secagem natural) antes e depois do período armazenado (adaptado de Campos, 2001).

temperatura dos grãos armazenados, tipo de infraestrutura (convencional, graneleiro, silo, etc.), tecnologias empregadas para movimentação e controle interno.

No caso dos prestadores privados do serviço de armazenagem, a sobretaxa utilizada é de 0,30% ao mês armazenado (SIARMA, 2015). No caso dos prestadores de serviço de armazenagem pública, a sobretaxa é de 0,15% para cada quinzena civil armazenada (CONAB, 2015).

4.1.3. Indicadores referências para quantificação das perdas

A partir dos levantamentos primários e secundários sobre perdas nas diversas atividades logísticas de grãos e de algumas premissas, foram definidos os valores referências de perdas. As premissas adotadas são:

- As perdas nos terminais ferroviários e portuários são iguais às retenções técnicas;
- As perdas tanto no terminal hidroviário quanto no transporte hidroviário como um todo são iguais aos valores obtidos para o ferroviário; e
- A perda na armazenagem é igual à sobretaxa de armazenagem, ou seja, 0,300% ao mês armazenado. Considerou-se um período médio de armazenagem para grãos de três meses (portanto, uma perda total de 0,900%).

A Tabela 10 sumariza os indicadores referenciais de cada atividade agrologística de grãos no Brasil.

Tabela 10. Indicadores de perdas nas diversas atividades logísticas de grãos no Brasil, consideradas para modelagem dos índices e da cadeia de suprimentos

Atividade logística		Indicador de perda (%)
Transporte rodoviário de transferência (fazenda-armazém externo) ¹		0,500%
Transporte rodoviário (destino: portos, centros consumidores e terminais multimodais)	Vias de “boa” qualidade ²	0,132%
	Vias de “não boa” qualidade ²	0,267%
Transporte Ferroviário ²		0,170%
Transporte Hidroviário ²		0,170%
Armazenagem (nível fazenda ou externa) ³		0,900%
Terminais Portuários, Ferroviários e Hidroviários (atividades de transbordo e armazenagem) ²		0,250%

¹Fontes: APROSOJA (2015), Nascimento et al. (2016) e EMBRAPA (1997), ²Pesquisa com agentes do setor a partir das premissas consideradas e ³SIARMA (2015), considerando três meses de armazenagem.

4.2. Índices e função de perdas na agrologística brasileira de grãos

A partir dos indicadores de perdas nas diferentes atividades agrologísticas de grãos no Brasil (Tabela 10) foram elaborados os índices de perdas para diferentes combinações entre armazenagem (sem armazenagem, armazenagem em nível de fazenda ou armazenagem externa à fazenda), qualidade das rodovias que conectam fazendas/armazéns aos portos, terminais e centros consumidores (qualidade da via “boa” ou “não boa”), modalidade de transporte utilizada (transporte multimodal envolvendo ferrovia/hidrovia e rodovia ou somente rodoviário) e canal de comercialização (exportação – destino porto ou mercado doméstico e/ou destino centros consumidores).

A Tabela 11 apresenta os resultados consolidados dos índices de perdas acumulados nas diferentes agrologísticas de grãos. Nesse contexto, observa-se o seguinte:

- A agrologística de maior perda envolve a armazenagem externa à fazenda (pois há o acúmulo de perda do transporte entre a fazenda e o armazém, além da perda no armazenamento), com “não boa” qualidade das vias rodoviárias envolvendo o transporte de grãos da fazenda até o terminal multimodal (ferrovia ou hidrovia), acrescida das perdas que ocorrem no terminal multimodal, no transporte ferroviário ou hidroviário e no terminal portuário.

Nessa situação, a perda atinge o patamar de 2,32% da quantidade embarcada inicialmente;

- A agrologística de menor perda de grãos envolve a situação em que não ocorre armazenagem, ou seja, os grãos são transportados da fazenda até o centro consumidor (mercado doméstico) somente por rodovias classificadas com vias de boa qualidade. Nesse caso, a perda é de 0,132% da quantidade inicialmente embarcada na origem (fazenda); e
- As demais situações intermediárias em termos de perdas são apresentadas a seguir.

Tabela 11. Resultados dos índices de perdas nas diferentes agrologísticas de grãos em função da armazenagem, qualidade das vias rodoviárias, modalidade de transporte e canal de comercialização (em % da quantidade da origem)

Agrologística de grãos	Armazenagem			Qualidade das vias rodoviárias		Modalidade		Canal de comercialização		Índice de perda na agrologística (%)
	Sem	Externa à fazenda	Nível de fazenda	“Boa”	“Não boa”	Unimodal	Multimodal	Exportação	Mercado Interno	
1		•			•	•		•		1.905%
2			•		•	•		•		1.412%
3		•		•		•		•		1.772%
4			•	•		•		•		1.278%
5		•			•		•	•		2.316%
6			•		•		•	•		1.825%
7		•		•			•	•		2.184%
8			•	•			•	•		1.692%
9		•			•	•			•	1.659%
10			•		•	•			•	1.165%
11		•		•		•			•	1.526%
12			•	•		•			•	1.031%
13		•			•		•		•	2.071%
14			•		•		•		•	1.579%
15		•		•			•		•	1.939%
16			•	•			•		•	1.446%
17	•				•	•		•		0.516%
18	•			•		•		•		0.382%
19	•				•		•	•		0.934%
20	•			•			•	•		0.800%
21	•				•	•			•	0.267%
22	•			•		•			•	0.132%
23	•				•		•		•	0.685%
24	•			•			•		•	0.551%

Fonte: resultados da pesquisa

Em decorrência do cálculo de índices de perdas das diferentes agrologísticas de grãos no Brasil, foi estruturada uma função de perdas através de um modelo de regressão linear múltipla de forma a captar os comparativos binários dos efeitos das diferentes atividades logísticas quantificadas na Tabela 11, conforme apresentado no capítulo de “Material e Métodos”, expresso na equação (59) apresentada a seguir. Tal função de perda pode ser utilizada como uma ferramenta importante para auxiliar uma série de tomadas de decisão tanto em instituições públicas na busca de referenciais para políticas públicas envolvendo perdas quanto em ambientes privados na gestão logística direcionada para mitigação das perdas.

$$\text{PERDA}_{\text{aimk}} = \beta_1 \text{ArmazémFazenda} + \beta_2 \text{ArmazémExterno} + \beta_3 \text{QualidadeViaBoa} + \beta_4 \text{Multimodalidade} + \beta_5 \text{Exportação} + \alpha + \varepsilon \quad (59)$$

A Tabela 12 apresenta os resultados dos parâmetros estimados dessa função de perdas, com R-quadrado de 0,9999 e erro padrão tendendo a zero (0,002%) para as 24 observações referentes a Tabela 11.

Tabela 12. Coeficientes da função de perdas na agrologística de grãos

Variáveis	Sinal	Coeficientes	Unidade
Interseção (α)	(+)	0,269	%
ArmazémFazenda(β_1)	(+)	0,895	%
ArmazémExterno (β_2)	(+)	1,388	%
QualidadeViaBoa (β_3)	(-)	-0,134	%
Multimodalidade (β_4)	(+)	0,415	%
Exportação (β_5)	(+)	0,247	%

Fonte: resultados da pesquisa; todas as variáveis apresentam nível de significância de 1% (p-valor <0,01).

Nesse contexto, as seguintes análises são realizadas:

- Armazenagem: caso o tomador de decisão na agrologística opte por realizar atividades de armazenagem, estas implicam maiores perdas quando comparadas à não utilização de armazéns, sendo no mínimo 0,895% superiores. Especificamente, armazém em nível de fazenda implica um aumento de perda na ordem de 0,895% enquanto que o uso de um armazém externo implica uma perda adicional de 1,388%. Comparativamente, o armazém externo gera uma perda na ordem de 0,493% maior do que o uso de um armazém interno, em função da perda existente no transporte rodoviário da

fazenda até o armazém externo, principalmente em estradas não pavimentadas e em condições precárias. Ou seja, a utilização de armazéns em nível da fazenda demonstra uma maior viabilidade em termos de mitigação de perdas na ordem 0,493%;

- Qualidade da via do transporte rodoviário envolvendo fluxos da fazenda/armazém para terminais multimodais, portos e centros consumidores: nitidamente, a qualidade da via classificada como “boa” traz uma redução da perda quando comparada à movimentação de grãos utilizando rodovias de qualidade “não boa” (0,134% menores);
- Multimodalidade: operações que envolvem multimodalidade, ou seja, a integração entre rodovia com ferrovia ou hidrovía para o transporte de grãos implica perdas superiores da ordem de 0,415% quando comparadas à unimodalidade (somente modal rodoviário), em função da ocorrência de perdas em três atividades: no transporte rodoviário até o terminal, no terminal multimodal e no transporte ferroviário ou hidroviário (na opção unimodal, somente ocorre perda no transporte rodoviário). Nesse contexto, é muito comum a discussão de que a multimodalidade traz uma série de benefícios envolvendo reduções de custos logísticos; todavia, deve ser considerado também o nível de perdas que ocorre nessas atividades, de forma a auxiliar melhores decisões direcionadas para minimizar os custos ou mesmo as perdas; e
- Canal de comercialização: no caso do transporte destinado aos portos (exportação), a perda na agrologística é ampliada na ordem de 0,247% em relação aos destinos do mercado doméstico (centro consumidores), em decorrência da incidência de perdas nas atividades dos terminais portuários.

Nesse sentido, a minimização das perdas nas atividades logísticas é alcançada quando se opta por realizar movimentações de grãos a partir da unimodalidade em rotas rodoviárias de “boa” qualidade destinadas ao mercado doméstico sem a utilização de armazéns. Entretanto, a minimização da perda pode ser um *trade-off* logístico, uma vez que a busca da minimização das perdas não necessariamente implica melhores resultados financeiros (seja através da minimização do custo de

transporte ou da maximização do lucro da comercialização e logística do produto). Tal *trade-off* será analisado *a posteriori*.

4.3. Quantificação das perdas totais na agrologística de grãos

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados gerados a partir do modelo matemático de otimização, de forma a quantificar as perdas totais considerando todo o volume movimento de soja e de milho no Brasil em diferentes corredores logísticos, envolvendo os níveis de perdas obtidos nesta pesquisa para cada atividade logística.

Nesse contexto, as perdas absolutas ou relativas da agrologística de todos os estados brasileiros, considerando todos os fluxos de movimentação de soja e de milho, dependem dos seguintes fatores:

- Balanço de oferta e demanda.
- Canais de comercialização (mercado doméstico e externo).
- Capacidade e utilização dos terminais ferroviários e hidroviários.
- Capacidade e utilização de armazéns em nível de fazenda e externos à fazenda.
- Modalidades de transporte.
- Qualidade das vias no transporte rodoviário envolvendo os fluxos de transporte das fazendas e armazéns até os terminais multimodais, portos e centros consumidores.
- Níveis de perdas de cada atividade logística.

Ou seja, qualquer alteração em algum dos fatores mencionados possivelmente implicará modificações dos níveis totais de perdas.

4.3.1. Perdas totais na agrologística de soja e de milho no Brasil

A partir dos resultados oriundos dos indicadores de perdas e do processamento das informações na programação matemática da cadeia de suprimentos de grãos brasileira, as perdas totais de grãos no país atingem o patamar de 2,381 milhões de

toneladas de um total de 182,734 milhões de toneladas produzidas no ano de 2015, ou seja, uma perda relativa de 1,303%.

Especificamente para a soja, as perdas somam 1,076 milhão de toneladas, ou seja, 1,102% da produção brasileira. Os custos destas perdas envolvendo tanto o custo de oportunidade com vendas perdidas quanto os custos logísticos pagos que incorreram em perdas representaram um impacto da ordem de R\$ 1,317 bilhão (US\$ 394,311 milhões⁷), sendo que R\$ 1,260 bilhão (US\$ 376,961 milhões) correspondem à parcela referente ao custo com vendas perdidas (95,6%) e R\$ 57,639 milhões (US\$ 17,349 milhões) correspondem aos custos logísticos pagos para a movimentação do produto que incorreu em perdas (4,4%).

Em relação à agrologística brasileira do milho, as perdas totalizaram 1,304 milhão de toneladas de um total de 85 milhões de toneladas produzidas no ano de 2015, correspondendo a uma perda relativa na ordem de 1,535%. Os custos destas perdas somaram R\$ 722,576 milhões (US\$ 216,340 milhões), dos quais R\$ 664,966 milhões (US\$ 199,091 milhões) são referentes aos custos de oportunidade decorrentes de vendas perdidas (92,0%) e R\$ 57,610 milhões (US\$ 17,249) referentes aos custos logísticos (8,0%).

Um outro custo que pode onerar ainda mais o setor de grãos no país em decorrência das perdas e que não foi quantificado nesta pesquisa diz respeito à possibilidade de incidência de impostos sobre as perdas nas operações de exportação. A Lei Kandir isenta do tributo de Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS) os produtos primários, incluindo os grãos objetos de estudo, com destino à exportação (BRASIL, 1996), todavia as perdas podem ser tributadas, em função da diferença de peso da origem e do destino (porto) na verificação da nota fiscal (INFORMARE, 2015).

⁷ Taxa de câmbio considerada: R\$ 3,34 por dólar americano, média do ano de 2015 (BANCO CENTRAL, 2016).

A Tabela 13 apresenta a distribuição das perdas nas agrologísticas de soja e de milho no Brasil nas diversas atividades.

Tabela 13. Distribuição das perdas nas agrologísticas de soja e milho no Brasil nas diversas atividades.

Produto	Atividade logística	Perdas (t)	Perdas em relação ao total (%)	Perdas em relação à produção (%)
Milho	Armazenagem (externa)	578.809,71	44,36%	0,681%
	Armazenagem (fazenda)	82.063,09	6,29%	0,097%
	Terminal Ferroviário	39.197,44	3,00%	0,046%
	Terminal Hidroviário	3.106,28	0,24%	0,004%
	Terminal Portuário	73.742,56	5,65%	0,087%
	Transporte Ferroviário	26.640,67	2,04%	0,031%
	Transporte Hidroviário	2.112,64	0,16%	0,002%
	Transporte Rodo-Ferroviário	31.201,64	2,39%	0,037%
	Transporte Rodo-Hidroviário	3.326,39	0,25%	0,004%
	Transporte Rodoviário	141.343,18	10,83%	0,166%
	Transporte Rodoviário	323.176,84	24,77%	0,380%
	Fazenda-Armazém			
	Total	1.304.720,44	100,00%	1,535%
Soja	Armazenagem (externa)	345.448,03	32,08%	0,35%
	Armazenagem (fazenda)	77.879,65	7,23%	0,08%
	Terminal Ferroviário	44.174,94	4,10%	0,05%
	Terminal Hidroviário	10.924,97	1,01%	0,01%
	Terminal Portuário	141.437,37	13,14%	0,14%
	Transporte Ferroviário	30.030,47	2,79%	0,03%
	Transporte Hidroviário	7.430,29	0,69%	0,01%
	Transporte Rodo-Ferroviário	39.179,20	3,64%	0,04%
	Transporte Rodo-Hidroviário	11.699,10	1,09%	0,01%
	Transporte Rodoviário Direto	175.677,90	16,32%	0,18%
	Transporte Rodoviário	192.879,97	17,91%	0,20%
	Fazenda-Armazém			
	Total	1.076.761,90	100,00%	1,102%

Fonte: elaborado pelo autor

Da quantidade de 2,381 milhões de toneladas perdidas de soja e milho no país, a atividade logística de armazenagem (soma das perdas da armazenagem dentro da fazenda, da armazenagem externa à fazenda e do transporte rodoviário da fazenda ao armazém externo) foi responsável por 67,2% das perdas no ano de 2015. Na sequência, o transporte rodoviário com 13,3%, o terminal portuário com 9,0%, o transporte multimodal ferroviário com 8,8% e o transporte multimodal hidroviário com 1,7%.

A Figura 28 apresenta a distribuição das perdas em diferentes atividades logísticas agregadas para soja e milho no Brasil. Nesse contexto, são bastante evidentes dois focos importantes de perdas, envolvendo (i) armazenagem: as perdas nesta atividade representam 50,7% e 39,3% de toda a perda para milho e soja, ou seja, 1,084 milhão de toneladas de grãos. Tal situação ocorre em função do alto indicador de perda na armazenagem (0,900%) e dos fatores discutidos na seção anterior; e (ii) transporte rodoviário da fazenda ao armazém: as perdas nesta atividade somam 24,8% e 17,9% respectivamente para milho e soja, ou seja, um total de 516 mil toneladas, em função do alto índice de perda nesta atividade (0,500%).

Figura 28. Distribuição das perdas em diferentes atividades logísticas agregadas para soja e milho no Brasil (safra 2015)

Fonte: Elaborado pelo autor

Quanto à questão ambiental da pegada do carbono, as perdas de grãos geram uma emissão adicional no sistema logístico rodoviário, ferroviário e hidroviário na ordem de 39.901 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) em função de uma movimentação que é perdida, implicando uma emissão adicional na ordem de 1,33% em relação às emissões totais de CO₂ na logística brasileira de grãos.

⁸ Atividades logísticas agregadas envolvem a seguinte correspondência:

“Multimodalidade: Hidrovia” corresponde à soma das perdas no transporte rodo-hidroviário, no terminal hidroviário e no transporte hidroviário.

“Multimodalidade: Ferrovia” corresponde à soma das perdas no transporte rodo-ferroviário, no terminal ferroviário e no transporte ferroviário.

“Armazenagem”: envolve a soma da armazenagem na fazenda e externa à fazenda.

Especificamente para a agrologística do milho, as perdas incorrem emissões adicionais de CO₂ na ordem de 17,368 mil toneladas (equivalente a 13,3118 kg de CO₂ por tonelada perdida de milho⁹) na atmosfera, ou seja, acresce as emissões totais de CO₂ na logística do milho na ordem de 1,15%. Enquanto que para a agrologística da soja, as emissões decorrentes das perdas geram uma emissão adicional de 21,533 mil toneladas (equivalente a 19,9979 kg de CO₂ por tonelada perdida de soja), implicando um acréscimo de 1,53% em relação às emissões totais do produto. Dessa forma, a redução da perda física de grãos no país contribui para a mitigação de dióxido de oxigênio no sistema.

A Tabela 14 apresenta as emissões de CO₂ decorrentes das perdas, as emissões totais de CO₂ e o percentual de emissões adicionadas na atmosfera em decorrência das perdas para diferentes atividades logísticas de soja e milho no Brasil.

Tabela 14. Emissões de CO₂ adicionais decorrentes das perdas e emissões totais na cadeia de suprimento brasileira de grãos para diferentes atividades logísticas, em toneladas de CO₂

Produto	Atividades logísticas agregadas	Emissões de CO ₂ adicionais decorrentes das perdas	Emissões totais de CO ₂ na cadeia de suprimentos de grãos	Participação das perdas nas emissões totais (% das emissões totais)
Milho	Multimodal: Ferroviário	8.476,00	467.242,90	1,81%
	Multimodal: Hidroviário	225,8	36.920,95	0,61%
	Rodoviário	4.081,05	724.398,95	0,56%
	Transporte Rodoviário	4.585,37	280.537,12	1,63%
	Fazenda-Armazém			
	<i>Total</i>	<i>17.368,22</i>	<i>1.509.099,92</i>	<i>1,15%</i>
Soja	Multimodal: Ferroviário	6.271,01	367.914,72	1,70%
	Multimodal: Hidroviário	2073,79	58.267,50	3,56%
	Rodoviário	7.680,74	814.631,91	0,94%
	Transporte Rodoviário	5.507,47	167.648,03	3,29%
	Fazenda-Armazém			
	<i>Total</i>	<i>21.533,01</i>	<i>1.408.462,17</i>	<i>1,53%</i>

Fonte: Elaborado pelo autor

⁹ Razão entre as emissões de CO₂ adicionais decorrentes das perdas e a quantidade total perdida do produto avaliado.

4.3.2. Perdas totais na agrologística de soja e milho dos estados produtores brasileiros

Os cinco maiores estados produtores de grãos apresentam perdas que variam de 0,995% (Mato Grosso do Sul) a 1,671% (Rio Grande do Sul) em relação à quantidade produzida, sendo que para o caso do milho a maior perda é de 1,766% (Mato Grosso) e a menor é de 1,394% (Mato Grosso do Sul). Para a situação da soja, a maior perda é de 1,736% (Rio Grande do Sul) e a menor é de 0,933% (Goiás).

Particularmente, para os estados da fronteira agrícola brasileira denominada de “MATOPIBA” (acrônimo das primeiras sílabas dos nomes dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, respectivamente), a perda máxima observada para os grãos é de 1,257% (Tocantins) e a menor é de 0,220% (Piauí). De forma mais específica, a menor perda na agrologística do milho é de 0,136% (Piauí) e a maior é de 1,641% (Tocantins). No caso da soja, a máxima perda observada para a região é de 1,391% (Bahia) e a mínima perda é de 0,270% (Piauí).

Especificamente, o estado do Piauí é o que apresenta o menor nível de perdas para grãos, em função de não alocar produtos em atividades logísticas multimodais e nem para armazéns, em função do estado apresentar algumas características, envolvendo: (i) maior aptidão para atender ao mercado doméstico; (ii) não apresenta uma infraestrutura ferroviária e nem hidroviária; e por fim, (iii) apresentar uma baixa capacidade de armazenagem.

A Tabela 15 apresenta as perdas absolutas e relativas na agrologística de soja, milho e grãos (agregado). As Tabelas 16 e 17 apresentam as perdas relativas de milho e de soja para cada atividade logística em nível estadual, respectivamente.

Tabela 15. Perdas absolutas e relativas na agrologística de soja e milho dos estados produtores brasileiros para o ano de 2015

Ranking da produção ¹	Unidade Federativa	Soja			Milho			Grãos (soja e milho)		
		Produção (mil t)	Perdas (mil t)	Perdas (%) ²	Produção (mil t)	Perdas (mil t)	Perdas (%) ²	Produção (mil t)	Perdas (mil t)	Perdas (%) ²
1	Mato Grosso	27.971,43	268,13	0,960%	21.440,78	378,74	1,766%	49.412,21	646,87	1,309%
2	Paraná	17.295,71	207,02	1,197%	15.835,78	254,60	1,608%	33.131,49	461,62	1,393%
3	Rio Grande do Sul	15.753,20	273,26	1,736%	5.548,32	82,70	1,491%	21.301,52	355,96	1,671%
4	Goiás	8.633,79	80,57	0,934%	9.525,62	169,48	1,779%	18.159,41	250,05	1,377%
5	Mato Grosso do Sul	7.336,88	33,96	0,464%	9.770,22	136,19	1,394%	17.107,10	170,15	0,995%
6	Minas Gerais	3.517,06	49,11	1,396%	6.748,81	100,17	1,484%	10.265,87	149,28	1,454%
7	Bahia	4.533,58	63,05	1,391%	2.631,65	7,14	0,271%	7.165,23	70,19	0,980%
8	São Paulo	2.356,88	22,64	0,960%	4.627,31	66,06	1,428%	6.984,19	88,70	1,270%
9	Santa Catarina	1.984,73	13,67	0,689%	3.070,80	49,36	1,607%	5.055,53	63,03	1,247%
10	Maranhão	2.104,65	16,73	0,794%	1.355,47	18,61	1,373%	3.460,12	35,34	1,021%
11	Tocantins	2.418,28	28,05	1,160%	614,75	10,09	1,641%	3.033,03	38,14	1,257%
12	Piauí	1.778,69	4,80	0,270%	1.053,23	1,43	0,136%	2.831,92	6,23	0,220%
13	Pará	1.026,73	6,75	0,657%	746,26	6,44	0,863%	1.772,99	13,19	0,744%
14	Rondônia	748,44	7,51	1,005%	777,54	13,44	1,729%	1.525,98	20,95	1,373%
15	Distrito Federal	181,63	0,24	0,132%	530,52	7,19	1,355%	712,15	7,43	1,043%
16	Sergipe	-	-	-	489,06	0,76	0,155%	489,06	0,76	0,155%
17	Acre	-	-	-	90,69	0,48	0,529%	90,69	0,48	0,529%
18	Ceará	-	-	-	86,45	1,03	1,191%	86,45	1,03	1,191%
19	Roraima	54,52	1,04	1,908%	12,96	0,20	1,563%	67,48	1,24	1,838%
20	Amapá	28,95	0,24	0,817%	-	-	-	28,95	0,24	0,829%
21	Espírito Santo	-	-	-	18,19	0,30	1,659%	18,19	0,30	1,649%
22	Pernambuco	-	-	-	11,90	0,03	0,267%	11,90	0,03	0,252%
23	Alagoas	-	-	-	10,80	0,16	1,525%	10,80	0,16	1,481%
24	Amazonas	-	-	-	9,01	0,09	0,984%	9,01	0,09	0,999%
25	Paraíba	-	-	-	1,73	0,00	0,267%	1,73	0,00	0,267%
26	Rio de Janeiro	-	-	-	1,04	0,02	1,525%	1,04	0,02	1,923%
Brasil		97.725,14	1.076,76	1,102%	85.008,88	1.304,72	1,535%	182.734,02	2.381,48	1,303%

¹Ranking da produção de grãos (soja e milho); ²Perdas em relação à quantidade produzida no estado.

(-): não alocada movimentação na atividade agrologística, por consequência, perda nula.

Fonte: elaborado pelo autor a partir dos resultados da modelagem

Tabela 16. Perdas relativas (% da produção) de milho para cada atividade agrologística e estado produtor, em ordem decrescente de perdas para o ano de 2015

Unidade Federativa	Armazenagem		Terminais			Transporte					
	Externa	Fazenda	Ferroviário	Hidroviário	Portuário	Ferroviário	Hidroviário	Rodo-Ferroviário	Rodo-Hidroviário	Rodoviário Direto	Rodoviário Fazenda-Armazém
Mato Grosso	0,747%	0,052%	0,090%	0,006%	0,124%	0,061%	0,004%	0,090%	0,006%	0,169%	0,417%
Paraná	0,796%	0,078%	0,004%	-	0,100%	0,003%	-	0,004%	-	0,179%	0,444%
Goiás	0,768%	0,128%	0,094%	0,014%	0,108%	0,064%	0,010%	0,050%	0,015%	0,101%	0,429%
Mato Grosso do Sul	0,529%	0,164%	0,098%	-	0,097%	0,066%	-	0,059%	-	0,087%	0,295%
Minas Gerais	0,750%	0,052%	0,009%	-	0,012%	0,006%	-	0,009%	-	0,226%	0,419%
Rio Grande do Sul	0,540%	0,357%	0,003%	-	0,022%	0,002%	-	0,003%	-	0,261%	0,302%
São Paulo	0,722%	0,059%	0,000%	-	0,111%	0,000%	-	0,000%	-	0,131%	0,403%
Santa Catarina	0,871%	0,021%	-	-	0,030%	-	-	-	-	0,199%	0,486%
Maranhão	0,661%	-	-	-	0,078%	-	-	-	-	0,265%	0,369%
Rondônia	0,788%	-	-	0,066%	0,124%	-	0,045%	-	0,071%	0,194%	0,440%
Tocantins	0,741%	0,155%	-	-	0,159%	-	-	-	-	0,173%	0,414%
Distrito Federal	0,734%	0,078%	-	-	-	-	-	-	-	0,135%	0,410%
Bahia	0,048%	0,000%	-	-	0,001%	-	-	-	-	0,195%	0,027%
Pará	0,153%	0,299%	-	-	0,060%	-	-	-	-	0,266%	0,085%
Piauí	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,136%	-
Ceará	0,628%	0,008%	-	-	-	-	-	-	-	0,201%	0,351%
Sergipe	0,006%	-	-	-	-	-	-	-	-	0,147%	0,003%
Acre	0,167%	-	-	-	-	-	-	-	-	0,267%	0,093%
Espírito Santo	0,895%	-	-	-	-	-	-	-	-	0,265%	0,499%
Roraima	0,833%	-	-	-	-	-	-	-	-	0,265%	0,465%
Alagoas	0,895%	-	-	-	-	-	-	-	-	0,131%	0,499%
Amazonas	0,461%	-	-	-	-	-	-	-	-	0,266%	0,257%
Pernambuco	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,267%	-
Rio de Janeiro	0,895%	-	-	-	-	-	-	-	-	0,131%	0,499%
Paraíba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,267%	-

(-): não alocada movimentação na atividade agrologística; por consequência, perda nula.

Fonte: elaborado pelo autor a partir dos resultados da modelagem

Tabela 17. Perdas relativas (% da produção) de soja para cada atividade agrologística e estado produtor, em ordem decrescente de perdas para o ano de 2015

Unidade Federativa	Armazenagem		Terminais			Transporte					
	Externa	Fazenda	Ferroviário	Hidroviário	Portuário	Ferroviário	Hidroviário	Rodo-Ferroviário	Rodo-Hidroviário	Rodoviário Direto	Rodoviário Fazenda-Armazém
Rio Grande do Sul	0,784%	0,012%	0,029%	-	0,188%	0,020%	-	0,031%	-	0,234%	0,438%
Mato Grosso	0,128%	0,259%	0,051%	0,031%	0,099%	0,035%	0,021%	0,054%	0,034%	0,177%	0,071%
Paraná	0,470%	-	0,041%	-	0,192%	0,028%	-	0,042%	-	0,162%	0,262%
Goiás	0,295%	-	0,107%	-	0,107%	0,073%	-	0,059%	-	0,128%	0,165%
Bahia	0,590%	0,058%	-	-	0,149%	-	-	-	-	0,265%	0,329%
Minas Gerais	0,539%	-	0,099%	-	0,155%	0,067%	-	0,095%	-	0,140%	0,301%
Mato Grosso do Sul	0,089%	-	0,028%	-	0,097%	0,019%	-	0,017%	-	0,165%	0,049%
Tocantins	0,336%	0,008%	0,149%	-	0,220%	0,101%	-	0,090%	-	0,068%	0,188%
São Paulo	0,399%	-	-	-	0,207%	-	-	-	-	0,131%	0,223%
Maranhão	0,225%	0,024%	-	-	0,154%	-	-	-	-	0,266%	0,125%
Santa Catarina	0,175%	-	-	-	0,249%	-	-	-	-	0,167%	0,098%
Rondônia	0,045%	-	-	0,249%	0,249%	-	0,170%	-	0,267%	-	0,025%
Pará	0,080%	0,033%	-	0,030%	0,182%	-	0,020%	-	0,032%	0,235%	0,045%
Piauí	-	-	-	-	0,003%	-	-	-	-	0,267%	-
Roraima	0,896%	-	-	-	0,247%	-	-	-	-	0,265%	0,500%
Distrito Federal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,132%	-
Amapá	0,194%	-	-	-	0,249%	-	-	-	-	0,266%	0,108%

(-): não alocada movimentação na atividade agrologística; por consequência, perda nula.

Fonte: elaborado pelo autor a partir dos resultados da modelagem

4.3.3. Perdas totais na agrologística de soja e de milho nas grandes regiões produtoras e fronteira agrícola

As regiões Centro-Oeste e Sul brasileiras possuem uma grande importância econômica para as atividades agrícolas direcionadas às culturas de soja e de milho, sendo que tais regiões somaram em 2015 uma produção de 84,678 e 59,488 milhões de toneladas de grãos, respectivamente para as regiões, representando cerca de 80% da produção brasileira. Por outro lado, a região de fronteira agrícola MATOPIBA tem ganhado destaque em termos de taxas crescentes de produção e produtividade de grãos. A produção na região do MATOPIBA em 2015 de grãos totalizou 14 milhões de toneladas, algo em torno de 8% da produção brasileira.

Em 2015, o milho ganhou bastante representatividade na exportação brasileira com um volume escoado da ordem de 28 milhões de toneladas, enquanto que a soja manteve patamares elevados de exportação da ordem de 54 milhões de toneladas (SECEX, 2016). Além disso, a região do Centro-Oeste foi a que mais exportou milho no país, mantendo movimentações destinadas ao mercado externo bastante semelhantes entre soja e milho. Já as regiões Sul e MATOPIBA destinaram um volume de soja muito superior ao de milho ao mercado externo (SECEX, 2016). Além disso, especificamente no ano de 2015, a movimentação ferroviária de soja e milho no Brasil foi bastante equilibrada (em torno de 15 milhões de toneladas para cada produto), enquanto que especificamente para o Mato Grosso movimentou-se mais cerca de 4,5 milhões de toneladas de soja frente às 7,5 milhões de toneladas de milho nos terminais do estado (ESALQ-LOG, 2016).

Nesse contexto, as perdas de grãos nas regiões do Centro-Oeste, Sul e MATOPIBA atingiram patamares de um milhão (equivalente a 1,260% da produção), 880 mil (1,480% da produção) e 133 mil (0,925% da produção) de toneladas, respectivamente. A Tabela 18 apresenta as perdas totais e relativas por atividades logísticas agregadas para as regiões analisadas.

Tabela 18. Perdas totais e relativas (% da produção) por atividades logísticas nas grandes regiões produtoras e fronteira agrícola

Região	Atividades logísticas agregadas	Milho		Soja	
		Perda (t)	Perda (%)	Perda (t)	Perda (%)
Centro-Oeste	Armazenagem	324.333,54	0,796%	139.999,03	0,319%
	Multimodal: Ferroviário	93.139,52	0,229%	64.369,25	0,146%
	Multimodal: Hidroviário	7.128,79	0,017%	24.076,06	0,055%
	Porto	46.370,70	0,114%	43.941,37	0,100%
	Modal Rodoviário	54.314,68	0,133%	72.492,60	0,165%
	Transporte Rodoviário Fazenda-Armazém	159.122,40	0,391%	37.780,07	0,086%
	<i>Total</i>	<i>684.409,62</i>	<i>1,680%</i>	<i>382.658,37</i>	<i>0,871%</i>
MATOPIBA (Fronteira agrícola)	Armazenagem	15.739,59	0,278%	37.672,46	0,432%
	Multimodal: Ferroviário	-	-	8.221,14	0,094%
	Multimodal: Hidroviário	-	-	-	-
	Porto	2.054,05	0,036%	12.116,87	0,139%
	Modal Rodoviário	11.234,37	0,199%	18.425,34	0,211%
	Transporte Rodoviário Fazenda-Armazém	8.250,59	0,146%	19.462,43	0,223%
	<i>Total</i>	<i>37.278,60</i>	<i>0,659%</i>	<i>95.898,23</i>	<i>1,099%</i>
Sul	Armazenagem	215.551,29	0,881%	210.022,68	0,599%
	Multimodal: Ferroviário	2.212,58	0,009%	31.590,52	0,090%
	Multimodal: Hidroviário	-	-	-	-
	Porto	17.906,87	0,073%	67.844,66	0,194%
	Modal Rodoviário	48.977,76	0,200%	68.277,48	0,195%
	Transporte Rodoviário Fazenda-Armazém	102.007,87	0,417%	116.216,44	0,332%
	<i>Total</i>	<i>386.656,36</i>	<i>1,580%</i>	<i>493.951,79</i>	<i>1,410%</i>

“Multimodalidade: Hidrovia” corresponde à soma das perdas no transporte rodo-hidroviário, no terminal hidroviário e no transporte hidroviário.

“Multimodalidade: Ferrovia” corresponde à soma das perdas no transporte rodo-ferroviário, no terminal ferroviário e no transporte ferroviário.

“Armazenagem”: envolve a soma da armazenagem na fazenda e externa à fazenda.

Fonte: Elaborado pelo autor

As Figuras 29 e 30 trazem as perdas relativas (% da produção) em diferentes atividades logísticas para soja e milho, respectivamente, envolvendo as regiões tradicionais de produção (Centro-Oeste e Sul) e a região de fronteira agrícola (MATOPIBA) de forma comparada.

Nesse contexto, para o caso do milho, nota-se que o MATOPIBA apresenta menores perdas na atividade logística do “Transporte Rodoviário Fazenda-Armazém” e “Armazenagem” quando comparadas com as das regiões tradicionais. Tal fato ocorre por duas razões: (i) baixa capacidade instalada de armazenagem em relação às demais regiões e (ii) maior alocação da armazenagem para a soja. Outro destaque para a região de fronteira é a menor perda na atividade logística relacionada ao “Porto” em relação às demais, em decorrência da maior vocação desta região para abastecimento do mercado doméstico, principalmente para o Norte e Nordeste.

Figura 29. Distribuição das perdas relativas (% da produção) de milho em diferentes atividades agrológicas agregadas para nas regiões tradicionais de produção (Centro-Oeste e Sul) e fronteira agrícola (MATOPIBA).

Fonte: Elaborado pelo autor

Especificamente para o caso da soja, a região de fronteira agrícola apresenta a maior taxa de perdas no transporte “Rodoviário”, envolvendo fluxos de transporte das fazendas/armazéns para os centros consumidores, portos e terminais multimodais. Tal diferença se deve principalmente à qualidade das rodovias nessa região, quando comparadas às tradicionais.

Figura 30. Distribuição das perdas relativas (% da produção) de soja em diferentes etapas agrologísticas agregadas para nas regiões tradicionais de produção (Centro-Oeste e Sul) e fronteira agrícola (MATOPIBA).

Fonte: Elaborado pelo autor

4.4. Análise de cenários envolvendo estratégias para mitigação de perdas

De acordo com as entrevistas realizadas, uma série de estratégias foi elencada para mitigação das perdas nas agrologísticas de soja e de milho, particularmente envolvendo ações direcionadas tanto para a iniciativa privada quanto para a pública, através de políticas específicas. As principais estratégias identificadas são:

- 1) Melhoria da qualidade das rodovias brasileiras tanto em termos de investimento em novas vias quanto na reforma ou mesmo manutenção das vias atuais;
- 2) Incentivo à renovação de frota no país de forma a reduzir a idade média dos veículos, ofertando um serviço de melhor qualidade e consequentemente menor probabilidade de perdas;
- 3) Estabelecimento de protocolos, *check-lists* e rotinas para fiscalização das operações logísticas de forma a reduzir ou mesmo evitar perdas;
- 4) Calibragem e regulagem periódica e intensificada de balanças de forma a reduzir eventuais erros de pesagem e consequentemente erros de estimativa de perdas; e
- 5) Treinamento dos profissionais envolvidos nas operações logísticas, principalmente nas etapas de transporte entre fazenda e armazém e de armazenagem, as quais totalizam elevadas perdas, conforme apresentado nas seções anteriores.

Diante desse contexto, foram elaborados e analisados três conjuntos de cenários direcionados para minimizar perdas na agrologística de grãos através da simulação de parâmetros ou mudanças na programação do modelo matemático da cadeia de suprimentos de grãos brasileira de grãos conforme descrito no capítulo anterior. Os cenários analisados são:

- 1) Ampliação da capacidade de armazenagem na fazenda;
- 2) Melhoria nas condições das rodovias brasileiras; e
- 3) Incorporação das perdas na gestão logística do embarcador.

4.4.1. Ampliação da capacidade de armazenagem na fazenda

Conforme apresentado e discutido nestas seções de resultados, as perdas na armazenagem atingem patamares bastante consideráveis, sendo de forma frequente a atividade logística de maior nível de perda. Todavia, a armazenagem é importante para a agrologística em função de uma série de fatores, incluindo: (i) manutenção da qualidade do produto ao longo do tempo; (ii) mitigação do desequilíbrio temporal e espacial entre oferta e demanda; (iii) estratégia de comercialização para maiores ganhos econômicos. Portanto, a mitigação da atividade da armazenagem não é voltada para reduzir a utilização de armazéns e sim torná-la mais eficiente quanto às perdas.

Nesse contexto, a busca da eficiência pode ocorrer sob duas óticas:

- 1) Novas tecnologias, treinamentos e gestão dos sistemas de armazenagem focados na redução das perdas, principalmente no manejo adequado de temperatura, umidade, pragas, doenças etc.
- 2) Ampliação de capacidade de armazenagem ao nível de fazenda.

O foco do cenário analisado é na ampliação de armazéns ao nível de fazenda. No Brasil, de acordo com informações cruzadas do IBGE (2015) e da CONAB (2015), a armazenagem dentro da propriedade agrícola é de 14,75% do total da capacidade estática no país, contemplando estruturas físicas de graneleiros, silos e convencionais.

Sob a ótica da minimização das perdas, conforme apresentado na equação e índices de perdas, a armazenagem na fazenda apresenta uma vantagem comparativa interessante por não requerer uma atividade logística existente na armazenagem externa à fazenda: o transporte rodoviário de transferência de carga da fazenda ao armazém, o qual ocorre normalmente por estradas vicinais não pavimentadas, com caminhões antigos e com avarias, eventuais sobrepesos do equipamento, dentre outros fatores que contribuem para que esta atividade atinja um nível de perda elevado na ordem de 0,500%.

A Figura 31 apresenta o potencial de redução das perdas de grãos em decorrência da ampliação da capacidade de armazenagem em nível de fazenda no sistema de armazenagem agrologístico brasileiro. Nesse contexto, o “Cenário Base” é o nível que foi estabelecido para os resultados gerados nas seções anteriores, o qual representa a realidade (15%). Neste cenário, a perda de grãos é de 2,381 milhões de toneladas.

Ao aumentar a participação da armazenagem em nível de fazenda para 30%, as perdas de grãos se reduzem em 6,50%, passando para 2,226 milhões de toneladas. No cenário extremo, onde toda a armazenagem ocorre dentro da fazenda, sem necessitar do transporte de transferência da fazenda para o armazém, a redução é de 21,67% em relação ao “Cenário Base”, ou seja, uma redução da ordem de 516,053 mil toneladas.

Figura 31. Potencial de redução de perdas em função da ampliação da armazenagem em nível de fazenda no sistema de armazenagem de grãos no Brasil
Fonte: Elaborado pelo autor

4.4.2. Melhorias na qualidade dos corredores rodoviários brasileiros na cadeia de suprimento de grãos

Conforme apresentado nas seções anteriores, a qualidade da via dos corredores agrologísticos afetam diretamente os níveis de perdas totais de grãos. Nesse contexto, foram estruturados indicadores binários de qualidade das vias para os fluxos

de transporte envolvendo fazendas/armazéns para portos, terminais multimodais e centros consumidores, de forma a serem captados os efeitos das perdas.

Para a elaboração deste cenário, considera-se que todas as rodovias apresentam indicadores de qualidade das vias classificados como “boa”, com a atribuição do nível de perda associado a tal classificação, conforme apresentado nas seções anteriores.

Dessa forma, com as modificações na qualidade da via, as perdas do “Cenário Base” de grãos (2,318 milhões) se reduzem para 2,218 milhões de toneladas, totalizando uma redução da ordem de 6,824%. De forma isolada, os potenciais de redução das perdas em função desta estratégia para o milho e soja, respectivamente, atingem os patamares de 5,62% e 8,29%,

A Tabela 19 apresenta o comparativo das perdas absolutas dos cenários base e melhorado (todas as condições das vias rodoviárias classificadas como “boas” para fluxos entre fazenda/armazéns e portos, terminais e centros consumidores) para cada estado produtor de soja e milho. Nesse contexto, verifica-se que dentre os cinco maiores estados produtores de grãos, o Mato Grosso é o que possui o maior potencial de redução de perdas com tal estratégia de melhorias nas condições rodoviárias dos corredores de movimentação utilizados pelo estado, atingindo um patamar de redução da ordem de 11,17% para o milho e de 11,15% para a soja. Especificamente para a região do MATOPIBA, as reduções das perdas são bastante expressivas, em função das precárias condições rodoviárias atuais. Por exemplo, para o Piauí, as perdas podem atingir uma redução de 50,10% (soja), enquanto que na Bahia a perda pode ser reduzida para o milho na ordem de 23,41%.

Tabela 19. Comparativo das perdas absolutas do Cenário Base e do Cenário Melhorado (todas as condições das vias classificadas como “boas”¹) para cada estado produtor de soja e milho

Ranking (produção de grãos)	Unidade Federativa	Milho			Soja		
		Cenário Base (mil t)	Cenário Melhorado (mil t)	Redução de perdas (%) ²	Cenário Base (mil t)	Cenário Melhorado (mil t)	Redução de perdas (%) ²
1	Mato Grosso	378,74	336,42	11,17%	268,13	238,24	11,15%
2	Paraná	254,6	246,28	3,27%	207,02	188,2	9,09%
3	Rio Grande do Sul	82,7	75,27	8,98%	273,26	252,22	7,70%
4	Goiás	169,48	166,19	1,94%	80,57	76,54	5,01%
5	Mato Grosso do Sul	136,19	138,71	-1,85%	33,96	36,57	-7,67%
6	Minas Gerais	100,17	93,1	7,06%	49,11	44,67	9,04%
7	Bahia	7,14	5,47	23,41%	63,05	56,97	9,64%
8	São Paulo	66,06	66,06	0,00%	22,64	22,64	0,01%
9	Santa Catarina	49,36	47,26	4,25%	13,67	12,97	5,15%
10	Maranhão	18,61	17,13	7,93%	16,73	13,92	16,79%
11	Tocantins	10,09	10,61	-5,20%	28,05	28,88	-2,97%
12	Piauí	1,43	1,39	2,78%	4,8	2,4	50,10%
13	Pará	6,44	5,44	15,53%	6,75	5,37	20,49%
14	Rondônia	13,44	12,18	9,38%	7,51	6,51	13,36%
15	Distrito Federal	7,19	7,17	0,26%	0,24	0,24	0,10%
16	Sergipe	0,76	0,69	9,19%	-	-	-
17	Acre	0,48	0,36	26,02%	-	-	-
18	Ceará	1,03	0,97	6,20%	-	-	-
19	Roraima	0,2	0,19	7,47%	1,04	0,97	7,02%
20	Amapá	-	-	-	0,24	0,2	17,59%
21	Espírito Santo	0,3	0,28	7,55%	-	-	-
22	Pernambuco	0,03	0,02	47,66%	-	-	-
23	Alagoas	0,16	0,16	2,92%	-	-	-
24	Amazonas	0,09	0,08	14,95%	-	-	-
25	Paraíba	0,01	0,01	0,00%	-	-	-
26	Rio de Janeiro	0,02	0,02	20,35%	-	-	-
	Brasil	1.304,71	1.231,44	5,62%	1.076,77	987,48	8,29%

¹Fluxos rodoviários possíveis de classificação (vias “boas”): aqueles com origem na fazenda ou armazém com destino aos terminais multimodais, portos e centros consumidores (não entram na análise os fluxos rodoviários de transferência da fazenda ao armazém externo).

²Valores negativos significam aumento de perdas do cenário melhorado em relação ao real, enquanto que valores positivos significam redução de perdas.

Fonte: elaborado pelo autor com base nos resultados do modelo

Especificamente para o transporte rodoviário de transferência de grãos da fazenda para o armazém externo, foi realizada a simulação dos indicadores de perdas de forma a captar o potencial de mitigação nessa atividade logística, a qual é um dos principais focos de perdas de soja e milho.

Nesse contexto, o indicador de perda adotado nesta pesquisa para o referido fluxo foi de 0,500%. Embora seja bastante elevado por se tratar do modal rodoviário, na literatura foi identificado, por exemplo, um estudo que realizou experimentos em campo para rotas envolvendo fluxos de curta distância entre fazenda e armazém e constatou-se que as perdas de fato atingem o valor de 0,500% (NASCIMENTO et al., 2016). As justificativas adotadas para patamares elevados de perda nesta atividade envolvem: caminhões antigos e com avarias, condições precárias de transporte (estradas não asfaltadas e eventualmente com buracos), enlonação (vedação) inadequado, eventuais práticas de sobrepeso etc.

São analisados dois cenários: a substituição do indicador adotado no “Cenário Base” de 0,500% nesta atividade para os indicadores rodoviários de qualidade de via “não boa” (0,267%) e “boa” (0,132%). A Tabela 20 apresenta os resultados a partir dessas simulações. Os resultados indicam um potencial de redução das perdas da ordem de 10,1% quando considerado o indicador de perda na atividade avaliada como igual a 0,267% (indicador de qualidade da via “não boa”); para o indicador de qualidade de via “boa”, o potencial de redução é da ordem de 16% em relação ao “Cenário Base”.

Tabela 20. Perdas totais de grãos (toneladas) decorrentes da avaliação de cenários de redução das perdas na atividade do transporte rodoviário da fazenda ao armazém externo.

Cenários	Indicador de perda na atividade avaliada (%)	Perdas totais de grãos (t)	Potencial de redução das perdas ¹
Cenário Base	0,500%	2.381.480,00	-
Indicador de Qualidade da via "não boa"	0,267%	2.140.357,37	10,1%
Indicador de Qualidade da via "boa"	0,132%	2.001.164,58	16,0%

¹Potencial de redução das perdas em relação ao “Cenário Base”

Fonte: elaborado pelo autor a partir dos resultados do modelo

A partir da Figura 32, que ilustra uma correlação entre o indicador de perda na atividade do referido fluxo em análise com a perda total de grãos na cadeia de

suprimentos, é possível inferir que para cada 0,100% decrescido do indicador adotado como referência (0,500%), há uma redução na perda total de grãos da ordem de 103,362 mil toneladas. Nesse caso, considerando o intervalo de níveis de perdas desta atividade do transporte rodoviário da fazenda ao armazém variando de 0,00% (limite inferior) a 0,500% (limite superior), as perdas totais na agrologística de grãos variam de 1,864 milhão de toneladas (limite inferior) a 2,381 milhões de toneladas (limite superior, igual ao “Cenário Base”).

Figura 32. Correlação entre o nível de perda na atividade do transporte rodoviário fazenda-armazém e a perda total de grãos

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das simulações realizadas

4.4.3. Incorporação das perdas na gestão logística do embarcador

Após todos os resultados e discussões estabelecidos até então envolvendo as perdas na agrologística de grãos, ficou bastante evidente que apesar da perda isolada de uma atividade logística assumir valor decimal, quando analisada de forma integrada com outras perdas e ponderada pelo grande volume de grãos produzidos no país, as perdas absolutas (em volume) tomam proporções significativas.

Dessa forma, conforme discutido na seção relacionada à função de perdas na agrologística de grãos, o comportamento de um embarcador para minimizar perdas é alcançado quando se opta pela logística rodoviária unimodal, com rotas de “boa” qualidade destinadas ao mercado doméstico sem a utilização de armazéns. Por outro

lado, essa opção pode não gerar os melhores resultados financeiros para a minimização do custo.

A Figura 33 analisa o *trade-off* logístico entre minimizar as perdas nas atividades logísticas ou minimizar os custos logísticos. Para o cenário em que a função objetivo do modelo matemático de otimização é direcionada para minimizar os custos logísticos, o nível de perda no sistema é de 2,381 milhões de toneladas, enquanto que o custo médio de grãos é de R\$ 110,92 por tonelada. Para a situação em que a função objetivo é alterada para minimizar a perda total de grãos no sistema, o custo logístico médio aumenta para R\$ 187,57 por tonelada (um aumento de 69,1%) enquanto que as perdas de grãos se reduzem para 2,249 milhões de toneladas (uma diminuição de 5,53%).

Figura 33. *Trade-off* logístico de minimização das perdas na cadeia de suprimento de grãos vs. minimização dos custos logísticos

Fonte: Elaborado pelo autor a partir das simulações realizadas

O cenário de mínimo custo logístico simula a realidade logística para o ano de 2015, mantendo o volume movimentado nas atividades logísticas multimodais e de armazenagem. No cenário de minimização das perdas, tais restrições são mantidas, ou seja, os volumes alocados para multimodalidade e armazenagem devem ser os mesmos do cenário anterior. Portanto, o aumento significativo do custo logístico médio

de grãos no país com a minimização das perdas está associado a mudança na configuração de fluxos, dado que o modelo busca otimizar as perdas, escolhendo destinos cujos corredores rodoviários são de melhor qualidade e não necessariamente os de menores custos.

4.5. Considerações finais

O capítulo de “Resultados e discussão” buscou trazer inicialmente um panorama dos níveis de perdas nas diversas atividades logísticas de soja e milho no Brasil. Na sequência foram apresentados resultados decorrentes das entrevistas com agentes do setor sobre a tratativa das perdas, seus fatores de influência e níveis de perdas. Após esta etapa, definiram-se os indicadores referências de perdas para a modelagem.

Com tais indicadores foi possível a elaboração de índices de perdas para todas as agrologísticas possíveis de soja e milho envolvendo quatro decisões importantes: utilização de armazenagem em nível de fazenda, externa à fazenda ou sem uso de armazenagem; unimodalidade ou multimodalidade; qualidade das vias dos corredores rodoviários “boa” ou “não boa”; tipo de destino envolvendo o mercado doméstico (centros consumidores) ou mercado externo (portos). Na sequência, com os resultados dos índices, foi possível estruturar uma função de perdas envolvendo tais decisões e realizar uma série de comparações envolvendo variáveis binárias.

Posteriormente, foram apresentados os resultados do modelo da cadeia de suprimentos de grãos envolvendo as perdas absolutas e relativas de soja e milho para diferentes estados produtores no Brasil, incluindo comparações entre as regiões tradicionais de produção de grãos e a fronteira agrícola brasileira. Por fim, foram apresentados cenários estratégicos para redução das perdas nas diversas atividades agrologísticas.

5. CONCLUSÕES

O objetivo geral desta pesquisa foi realizar um diagnóstico detalhado sobre as perdas que ocorrem nas diversas atividades logísticas de soja e milho no Brasil, envolvendo a quantificação das perdas acumuladas na cadeia de suprimentos dos estados produtores e a identificação de estratégias e políticas públicas para mitigação de tais perdas.

Foram identificados os níveis de perdas de soja e milho que ocorrem nas diferentes atividades logísticas desde as fazendas até os centros consumidores e portos para distintas modalidades de transporte e de armazenagem através do apoio da literatura e também no levantamento de dados com uma série de agentes que atuam no setor, captando suas percepções e experiências na tratativa de gestão de perdas. A partir da identificação destes níveis de perdas, foi possível identificar os fatores que influenciam as perdas e consolidar índices de perdas agregados para diferentes logísticas, envolvendo quatro decisões logísticas: modalidade de transporte, tipo de armazenagem, qualidade do corredor rodoviário e tipo de destino.

A partir da estruturação da função de perdas na cadeia de suprimentos de soja e milho foi possível estabelecer algumas relações importantes até então não muito conhecidas que podem auxiliar na mitigação das perdas. Nessa linha, a utilização de armazéns implica um aumento considerável de perdas e mais especificamente ainda se o armazém utilizado é externo à fazenda a perda é maior, em decorrência da necessidade de utilizar mais uma atividade logística envolvendo o transporte rodoviário de transferência de grãos da fazenda ao armazém externo, em estradas muitas vezes não pavimentadas e em condições precárias. Outro aspecto identificado é a condição das vias dos corredores rodoviários, ou seja, rodovias com vias de boa qualidade apresentam menores perdas do que vias de não boa qualidade. A atividade logística de transporte multimodal implica em um aumento de perda quanto comparado a opção da unimodalidade (somente rodoviário). A escolha do canal de comercialização também afeta o comportamento da perda, grãos com destinos aos portos possuem maiores níveis de perdas do que no mercado doméstico, em decorrência da atividade de transbordo e armazenagem no terminal portuário. Dessa

forma, a logística identificada de menor nível de perda envolve não armazenar, transportar somente pelo modal rodoviário em corredores de boa qualidade com destino ao mercado doméstico, implicando um nível de perda na ordem de 0,132%. No outro extremo, a logística que apresenta o maior nível de perda (2,316%) utiliza armazém externo à fazenda, com multimodalidade, envolvendo corredores rodoviários de não boa qualidade e destino aos portos.

As perdas totais na cadeia de suprimentos de soja e milho no ano de 2015 no Brasil atingiram o patamar de 2,381 milhões de toneladas, ou seja, algo em torno de 1,303% da produção, incorrendo em perdas econômicas decorrentes do custo da perda (vendas perdidas e gastos logísticos desnecessários para a movimentação das perdas) da ordem de R\$ 2,04 bilhões (US\$ 610,78 milhões). A perda ambiental (desperdício) decorrente das perdas físicas na cadeia de suprimentos de soja e milho no Brasil ampliam 38 mil toneladas de dióxido de carbono no sistema, equivalente a um aumento de 1,49% nas emissões.

Os cinco maiores estados produtores de grãos apresentaram perdas que variam de 0,995% (Mato Grosso do Sul) a 1,671% (Rio Grande do Sul) em relação à quantidade produzida, sendo que para o caso do milho a maior perda é de 1,766% (Mato Grosso) e a menor é de 1,394% (Mato Grosso do Sul). Para a situação da soja, a maior perda é de 1,736% (Rio Grande do Sul) e a menor é de 0,933% (Goiás). Particularmente, para os estados da fronteira agrícola brasileira denominada de “MATOPIBA”, a perda máxima observada para os grãos é de 1,257% (Tocantins) e a menor é de 0,220% (Piauí).

Da quantidade total perdida de soja e milho no país (2,381 milhões de toneladas), a atividade logística de armazenagem (soma das perdas da armazenagem dentro da fazenda, da armazenagem externa à fazenda e do transporte rodoviário da fazenda ao armazém externo) foi responsável por 67,2% das perdas no ano de 2015. Na sequência, o transporte rodoviário com 13,3%, o terminal portuário com 9,0%, o transporte multimodal ferroviário com 8,8% e o transporte multimodal hidroviário com 1,7%.

Particularmente, o método desenvolvido da modelagem de programação matemática da cadeia de suprimentos de soja e milho no Brasil apresentou uma aplicabilidade interessante para realizar o diagnóstico de quantificação das perdas físicas, econômicas e ambientais no país, envolvendo as atividades logísticas de transporte e armazenagem, bem como a avaliação de cenários de mitigação de perdas. A aplicabilidade do método demonstrou ser uma importante ferramenta para análise das perdas na logística de grãos e de cenários que possam vir a subsidiar decisões de natureza estratégica e tática tanto no setor público quanto privado. Tal método pode ser replicado para diferentes cadeias de suprimentos, principalmente envolvendo grãos sólidos agrícolas não perecíveis, os quais possuem características muito semelhantes com os grãos analisados neste estudo.

Os cenários analisados pela modelagem da cadeia de suprimentos apresentaram resultados interessantes para formulação de políticas públicas e melhoria em gestão empresarial da cadeia de suprimentos. A ampliação da capacidade de armazenagem dentro da fazenda apresenta um potencial significativo de redução de perdas que pode chegar a 21,67%. A melhoria nas condições das rodovias brasileiras apresenta um potencial de redução de perdas na ordem de 6,84%, para alguns estados produtores pode passar 11,0%, como o Mato Grosso. Além disso, a melhoria das condições das estradas vicinais que conectam as fazendas com os armazéns externos apresenta um potencial de mitigação de perdas na ordem de 16,0%. De forma qualitativa, uma série de ações podem promover a mitigação das perdas: elaboração de procedimentos e rotinas nas operações logísticas de forma a identificar problemas, uso de caminhões mais novos e menos avariados, qualificação de pessoas nas atividades de transporte e armazenagem, gestão adequada das operações relacionadas às atividades de armazenagem, incorporação dos custos das perdas na gestão das empresas. Um outro cenário analisado foi o trade-off entre minimizar custos logísticos e minimizar perdas por parte dos agentes econômicos. Nesse contexto, optar por reduzir a perda de soja e milho em 5,5% implica um aumento de custo logístico de 69,10%, em função da nova configuração de fluxos no sistema, através da escolha de novos destinos e rodovias de melhores qualidade, as quais não necessariamente são as mais econômicas.

O problema das perdas é muito mais sério quando analisado de forma integrada na cadeia de suprimentos de soja e milho e não pode ser negligenciado. A perda relativa de uma atividade logística assume um valor decimal, por outro lado, a perda acumulada ao longo da cadeia de suprimentos assume um valor global bastante considerável, ainda mais para o setor de grãos, o qual apresenta um volume de produção de quase duzentos milhões de toneladas. Esse retrato enfatiza a necessidade de conscientização sobre as perdas visando fomentar políticas públicas e gestões eficientes para mitigá-las, dado as externalidades econômicas, ambientais e sociais geradas com as perdas.

Existe uma lacuna sobre os níveis de perdas obtidos de forma empírica para diferentes segmentos agrícolas, principalmente envolvendo transporte ferroviário e hidroviário, além da armazenagem. Dessa forma, recomenda-se para trabalhos futuros a quantificação das perdas através de experimentos. Especificamente sobre a modelagem de perdas, recomenda-se a estruturação de modelos matemáticos dinâmicos envolvendo tempo nas decisões de forma a captar os efeitos das perdas na viabilidade de armazenagem ou aplicação de modelos de localização baseados em mínimas perdas por parte dos tomadores de decisão; utilização da capacidade dinâmica de armazenagem ao invés da capacidade estática; incorporação de incertezas das perdas na modelagem de quantificação através de distribuições de probabilidades; estruturação de um plano de gestão de perdas envolvendo as ações que devem ser realizadas para diferentes agrologísticas de forma a minimizar perdas, principalmente no nível operacional; análise da incorporação dos custos das perdas e dos custos da tributação das perdas para exportação na gestão do embarcador; e inclusão das perdas que ocorrem na cadeia de suprimentos internacional, incorporando o transporte marítimo. Recomenda-se também uma análise comparada da distribuição das diferenças de pesos entre balanças e as perdas reais de forma a captar eventuais imprecisões e erros na métrica utilizada para mensuração das perdas (diferença de peso entre as notas), bem como, a quantificação dos desperdícios dos *inputs* de produção decorrentes das perdas, tais como, fertilizantes, uso do solo, embalagens, dentre outros.

6. REFERÊNCIAS

ADM INSTITUTE FOR THE PREVENTION OF POST-HARVEST LOSS. **Reports (2016)**. Disponível em: < <http://postharvestinstitute.illinois.edu/reports.html>>. Acesso em 07 jun. 2016.

AFRICAN POSTHARVEST LOSS INFORMATION SYSTEM - APHLIS. **A transnational network of cereal grain experts (2016)**. Disponível em: < <http://www.aphlis.net/>>. Acesso em 07 jun. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MILHO – ABIMILHO. **Estatísticas de oferta e demanda do milho no Brasil (2015)**. Disponível em: < <http://www.abimilho.com.br/estatisticas>>. Acesso em 07 out. 2016.

ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE SOJA – APROSOJA. **Aprosoja lança cartilha para minimizar perdas**. Disponível em: <<http://www.aprosoja.com.br/comunicacao/release/aprosoja-lanca-cartilha-para-minimizar-perdas>>. Acesso em nov 16.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS – ABIOVE. **Pesquisa de Capacidade Instalada da Indústria de Óleos Vegetais – 2015**. São Paulo, ABIOVE, 2015. Disponível em: < <http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE=>>>. Acesso em 20 set. 2016.

ADMINISTRAÇÃO DA HIDROVIA DO PARANÁ – AHRANA. **Dados e informações**. Disponível em: < http://www.ahrana.gov.br/dados_informacoes.html>. Acesso em: 2 dez. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES – ANTT. **Estatísticas do setor ferroviário**. Disponível em: <www.antt.gov.br>. Acesso em: 5 ago. 2016.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia logística – Logística Empresarial**. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2005.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxas de câmbio (2016)**. Disponível em: < <http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpesq.asp?id=txcotacao>>. Acesso em: 27 dez. de 2016.

BARTHOLOMEU, D.B. **Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras**. Tese (Doutorado) – Departamento de Economia, Administração e Sociologia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BAND, M.; MEACHAM, T. BHUNNOO, R. BENTON, T.G. **Food waste within global food systems. A Global Food Security Report**. Disponível em: <<http://www.foodsecurity.ac.uk/assets/pdfs/food-waste-report.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

BOXALL, R.A. Post-harvest losses to insects – a World Review. **International Biodeteriorization & Biodegradation**, v. 48 (2001) 137-152.

BRANCO, J.E.H. **Estimativa da demanda de carga captável pela Estrada de Ferro Norte-Sul. Dissertação (Mestrado)** – Departamento de Economia, Administração e Sociologia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2007.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, CASA CIVIL, SUBCHEFIA PARA ASSUNTOS JURÍDICOS. **Lei Complementar nº 87 de 13 de setembro de 1996 (Lei Kandir)**. Brasília, DF, 1996. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LCP/Lcp87.htm>. Acesso em: 04 jan. de 2017.

CAIXETA FILHO, J.V.; GAMEIRO, A. H. (org.) (b) **Transporte e Logística em Sistemas Agroindustriais**. São Paulo, Editora Atlas, 2001, 218 p.

CAMPOS, M.G. **Avaliação da quebra técnica e qualidade do milho a granel, em função da temperatura de secagem e do tempo de armazenamento**. Tese (Doutorado) – Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

CANEPELE, C.; SARDINHA, S.H.A. Fontes de perdas no transporte de milho da lavoura até a unidade armazenadora. **XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2013.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA. **Indicadores de preços**. Disponível em: < <http://www.cepea.esalq.usp.br/br>>. Acesso em: 10 out. 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Capacidade estática de armazenagem**. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1077&t=>>>. Acesso em 05 out. 2016.

COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT (CLM). **Supply Chain Management Definitions and Glossary (2015)**. Disponível em: < http://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921>. Acesso em 04 jun. 2016.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Pesquisa rodoviária CNT 2016**. Disponível em: < <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/>> Acesso em: 4 nov. 2016.

CORREIA JUNIOR, G. **Determinantes do preço do frete rodoviário para transporte de soja em grãos em diferentes regiões brasileiras: uma análise econométrica**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Economia, Administração e Sociologia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2001.

DALPASQUALE, V.A. Post-harvesting corn losses indexes in a storage unit: A case study. **9th International Working Conference on Stored Product Protection**, Brazilian Post-harvest Association - ABRAPOS, Passo Fundo, RS, Brazil, 2006.

DASKIN, M.S. Logistics: an overview of the state of the art and perspectives on future research, **Transportation Research A**, v.19, n.5/6, 1985.

ESALQ-LOG. **Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial (2015)**. Disponível em: < <http://esalqlog.esalq.usp.br/>>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Perdas de grãos na cultura de milho: pré-colheita, colheita, transporte e armazenagem**. Circular Técnica (INFOTECA-E), nº 24, EMBRAPA-CNPMS, 1997.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Toolkit: Reducing the Food Wastage Footprint**. Roma, Itália. 2013.

_____. **O estado da segurança alimentar e nutricional no Brasil: Um retrato multidimensional**. Brasília, DF, Brasil. p. 90, 2014.

_____. **Agricultural engineering in development - Post-harvest operations and management of foodgrains**. FAO AGRICULTURAL SERVICES BULLETIN No. 93, 1994, Rome.

_____. **Suite of Food Security Indicators**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/D/FS/E>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

_____. **Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention**. Rome, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e.pdf>>. Acesso em 10 nov. 2015.

_____. Food losses and waste in the context of sustainable food systems. Food losses and waste in the context of sustainable food systems. **A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security**, Rome 2014.

_____. **Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention**. 29p. Roma. 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2016.

GOGH, B. V.; ARAMYAN, L.; SLUIS, A.V.D.; SOETHOUDT, H.; SCHEER, F.P. Feasibility of a network of excellence postharvest food losses. Combining knowledge and competences to reduce food losses in development and emerging economies. **Food & Biobased Research**, v 1402, 2013. Wageningen UR Food & Biobased Research.

HOLLANDER, SAMUEL. The economics of Thomas Robert Malthus. **Studies in classical political economy**. University of Toronto Press, Torono – Canadá, 1997, 1059 p.

IAKOVOU, E. et al. Design of sustainable supply chains for the agrifood sector: A holistic research framework. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, n. SPEC. ISSUE, p. 1–10, 2014.

INFORMARE. **Perda de Mercadorias - Procedimentos Fiscais**. 2015. Disponível em: <<http://www.informanet.com.br/Prodinfo/boletim/1999/IcmsMg/icms/pmp-4299.htm>>. Acessado em: 15 dez. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICO – IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 01 out. 2016.

LAZZARINI, S.G.; OLIN, J.M.; COOK, M.L.; CHADDAD, F.R. Integrating supply chain and network analyses: The study of netchains. **Journal on Chain and Network Science** (Print), v. 1, n.1, p. 7-22, 2001.

LIPINSKI, B.; HANSON, C.; LOMAX, J.; KITINOJA, L.; WAITE, R.; SEARCHINGER, T. **Installment 2 of “Creating a Sustainable Food Future”: Reducing Food Loss and Waste**. Working paper. World Resources Institute (WRI). p.40, 2013.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE - MGI. **McKinsey Global Institute McKinsey Sustainability & Resource Productivity Practice**. The McKinsey Global Institute. n. November, 2011.

MORRIS, R. **Postharvest food losses in developing countries: a bibliography**. Steering C ed. [s.l.] National Research Council., 1978.

PARFITT, J.; BARTHEL, M.; MACNAUGHTON, S. Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 365, n. 1554, p. 3065–3081, 2010.

PÉRA, T.G.; GUIMARAES, A.G.; LACERDA, M.C.S.; GAMEIRO, A.H. CAIXETA-FILHO, J.V. Modelo econométrico dos determinantes dos preços de fretes rodoviários de cargas agrícolas envolvendo legislação, qualidade da via e multimodalidade. In: **XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET)**, 2013, Belém, PA.

PÉRA, T. G.; GAMEIRO, A. H.; BARTHOLOMEU, D. B.; ROCHA, F.V.; CAIXETA FILHO, J.V. An overview of the state-of-the-art post-harvest losses in Brazil. **The First International Congress on Postharvest Loss Prevention**, Proceedings. Rome, Italy: ADM Institute for the Prevention of Postharvest Loss, University of Illinois, Urbana-Champaign. pp. 39-40. Outubro de 2015, Roma, Itália.

MORRIS, R. **Postharvest food losses in developing countries: a bibliography**. Steering C ed. [s.l.] National Research Council. 1978.

NASCIMENTO, Q.; MARQUES, J.C.; MIRANDA, L.M.; ZAMBRA, E.M. Perdas quantitativas no transporte curto de grãos de milho (*Zea Mays L.*) em função de aspectos gerais de pós-colheita no norte do estado do Mato Grosso. **Navus Revista de Gestão e Tecnologia**. Florianópolis, SC, V.6. nº 1, p 60-71, jan/mar 2016.

SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR – SECEX. **Dados estatísticos**. Disponível em: < <http://alicesweb.mdic.gov.br/>> Acesso em 10 set. 2016.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO - SMA. **Meio ambiente paulista [recurso eletrônico]: relatório de qualidade ambiental 2013** 1ª Edição, São Paulo. ISBN: 978-85-8156001-3. Disponível em: < http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/files/2013/06/RQA_2013_site.pdf> Acesso em: 2 Dez 2016.

SEMPREBOM, P.A. **Perdas no transporte agrícola**. Monografia (MBA). Associação dos Diplomados da Escola Superior de Guerra e Faculdade Arthur Thomas. Londrina, 2008.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE FRETES – SIFRECA. **Indicadores de preços de fretes rodoviários**. Disponível em: < <http://esalqlog.esalq.usp.br/sifreca/> >. Acesso em dez 2016.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ARMAZENAGEM – SIARMA. **Relatório de tarifas de armazenagem de 2015**. Disponível em: <<http://esalqlog.esalq.usp.br/siarma/>>. Acesso em out. 2016.

SMITH, C.G.W.; FOSTER, T.J.; MORGAN, W. **The impact of reducing food loss in the global cold chain**. The University of Nottingham, United Kingdom. Final Report, 2015.

TIMMER, C. P. Reflections on food crises past. **Food Policy**, v. 35, n. 1, p. 1–11, 2010.

VAN DER VORST, JACK G.A.J; SILVA, C. A.; TRIENEKENS, J. H. Agro-industrial supply chain management: concepts and applications. Agricultural management marketing and finance occasional paper. **Food and Agriculture Organization of The United Nations**. Rome, 2007. ISBN 978-92-5-105831-2.

VAN DER VORST, JACK G.A.J; SNELS, J. **Multi-Donor Trust Fund for Sustainable Logistics (MDTF-SL): position note on agro-logistics**. Washington, DC.

WORLD BANK, THE. **Missing Food: The Case of postharvest Grain Losses in Sub-Saharan African**. The World Bank, v. 60371-AFR, n. 60371, 2011.

ANEXOS

ANEXO A. Programação matemática na linguagem do GAMS para a cadeia de suprimentos de soja e milho no Brasil envolvendo as perdas nas atividades logísticas

```

$INLINECOM /* */
$OFFLISTING
$OFFSYMXREF OFFSYMLIST
$ONEMPTY
SETS
I
P
J
T
H
alias(I1,I)
alias(A,I);
*SUBSETS
SETS
EXP(J)
CFA(I,A)
CFD(I1,J)
CFT(I1,T)
CFH(I1,H)
CAD(A,J)
CAT(A,T)
CAH(A,H)
CTJ(T,J)
CHJ(H,J)
CII(I,I1)
CIJ(I,J)
CIT(I,T)
CIH(I,H);
PARAMETERS
PRODUCAO(I,P)
DEMANDA(J,P)
CAPONFARM(I1)
CAPOFFFARM(A)
CAPT(T,J,P)
CAPH(H,J,P)
$CALL GDXXRW.EXE entrada.xls Index=leitura!a2
$GDXIN entrada.gdx
$LOAD I P J T H EXP CFA CFD CFT CFH CAD CAT CAH CTJ CHJ CII CIJ CIT CIH
PRODUCAO DEMANDA CAPONFARM CAPOFFFARM CAPT CAPH
$GDXIN
PARAMETER CR1(I1,J);
PARAMETER CR2(I1,T);
PARAMETER CR3(I1,H);
PARAMETER CR4(A,J);
PARAMETER CR5(A,T);

```

```

PARAMETER CR6(A,H);
PARAMETER CR7(I,A);
PARAMETER CF(T,J);
PARAMETER CH(H,J);
PARAMETER CR8(I,J);
PARAMETER CR9(I,T) ;
PARAMETER CR10(I,H);
PARAMETER P1(I1,J);
PARAMETER P2(I1,T);
PARAMETER P3(I1,H);
PARAMETER P4(A,J);
PARAMETER P5(A,T);
PARAMETER P6(A,H);
PARAMETER P7(I,A);
PARAMETER P8(T,J);
PARAMETER P9(H,J);
PARAMETER P15(I,J);
PARAMETER P16(I,T);
PARAMETER P17(I,H);
scalar P10 /0.0025/;
scalar P11 /0.0025/;
scalar P12 /0.0025/;
scalar P13 /0.009/;
scalar P14 /0.009/;
$CALL GDXXRW.EXE entrada.xls Index=leitura!a2
$GDXIN entrada.gdx
$LOAD CR1 CR2 CR3 CR4 CR5 CR6 CR7 CR8 CR9 CR10 CF CH P1 P2 P3 P4 P5
P6 P7 P8 P9 P15 P16 P17
$GDXIN
VARIABLES
FR1(I1,J,P)
FR2(I1,T,P)
FR3(I1,H,P)
FR4(A,J,P)
FR5(A,T,P)
FR6(A,H,P)
FR7(I,A,P)
FF(T,J,P)
FH(H,J,P)
FR8(I,J,P)
FR9(I,T,P)
FR10(I,H,P)
MFAZENDA(I,I1,P)
PFR1(I1,J,P)
PFR2(I1,T,P)
PFR3(I1,H,P)
PFR4(A,J,P)
PFR5(A,T,P)
PFR6(A,H,P)
PFR7(I,A,P)

```

PFF(T,J,P)
 PFH(H,J,P)
 PTFERRO(T,P)
 PTHIDRO(H,P)
 PTPORTO(J,P)
 PMFAZENDA(I1,P)
 PTARMEXT(A,P)
 PFR8(I,J,P)
 PFR9(I,T,P)
 PFR10(I,H,P)
 PERDAPORTOFERRO(T,J,P)
 PERDAPORTOHIDRO(H,J,P)
 PERDAPORTORODO1(I,J,P)
 PERDAPORTORODO2(I1,J,P)
 PERDAPORTORODO3(A,J,P)
 PT(P)
 CUSTO(P)
 Z custo logístico total
 POSITIVE VARIABLE FR1, FR2, FR3, FR4, FR5, FR6, FR7, FR8, FR9, FR10, FF, FH,
 PFR1, PFR2, PFR3, PFR4, PFR5, PFR6, PFR7, PFF, PFR8, PFR9, PFR10, PFH,
 PTFERRO, PTHIDRO, PTPORTO, PMFAZENDA, PTARMEXT,
 PERDAPORTOFERRO, PERDAPORTOHIDRO, PERDAPORTORODO1,
 PERDAPORTORODO2, PERDAPORTORODO3, CUSTO;
 EQUATIONS
 FOBJ funcao objetivo
 VPERDA1(I1,J,P)
 VPERDA2(I1,T,P)
 VPERDA3(I1,H,P)
 VPERDA15(I,J,P)
 VPERDA16(I,T,P)
 VPERDA17(I,H,P)
 VPERDA4(A,J,P)
 VPERDA5(A,T,P)
 VPERDA6(A,H,P)
 VPERDA7(I,A,P)
 VPERDA8(T,J,P)
 VPERDA9(H,J,P)
 VPERDA10(T,P)
 VPERDA11(H,P)
 VPERDA12(J,P)
 VPERDA13(I1,P)
 VPERDA14(A,P)
 OFER(I,P)
 DEMA(J,P)
 CAPFERRO(T,J,P)
 CAPHIDRO(H,J,P)
 CONTF(T,P)
 CONTH(H,P)
 CONTA(A,P)
 CONTAINT(I1,P)

CAPA(A)
 CAPAINT(I1)
 CPERDAPORTOFERRO(T,J,P)
 CPERDAPORTOHIDRO(H,J,P)
 CPERDAPORTORODO1(I,J,P)
 CPERDAPORTORODO2(I1,J,P)
 CPERDAPORTORODO3(A,J,P)
 PTOTAL(P)
 CCUSTO(P)
 ;
 FOBJ .. Z =E=SUM((I,I1,P), 30*MFAZENDA(I,I1,P)\$CII(I,I1)) + SUM((I1,J,P),
 CR1(I1,J)*FR1(I1,J,P)\$CFD(I1,J)) + SUM((I1,T,P),CR2(I1,T)*FR2(I1,T,P)\$CFT(I1,T))
 +SUM((I1,H,P),CR3(I1,H)*FR3(I1,H,P)\$CFH(I1,H))+SUM((A,J,P),CR4(A,J)*FR4(A,J,
 P)\$CAD(A,J))+SUM((A,T,P),CR5(A,T)*FR5(A,T,P)\$CAT(A,T))
 +SUM((A,H,P),CR6(A,H)*FR6(A,H,P)\$CAH(A,H))+SUM((I,A,P),(CR7(I,A)+35)*FR7(I,
 A,P)\$CFA(I,A))+SUM((I,J,P),CR8(I,J)*FR8(I,J,P)\$CIJ(I,J))+SUM((I,T,P),CR9(I,T)*FR
 9(I,T,P)\$CIT(I,T))+SUM((I,H,P),CR10(I,H)*FR10(I,H,P)\$CIH(I,H))
 +SUM((T,J,P),CF(T,J)*FF(T,J,P)\$CTJ(T,J))+SUM((H,J,P),CH(H,J)*FH(H,J,P)\$CHJ(H
 ,J));
 VPERDA1(I1,J,P) .. PFR1(I1,J,P) =E= P1(I1,J)*FR1(I1,J,P)\$CFD(I1,J);
 VPERDA2(I1,T,P) .. PFR2(I1,T,P) =E= P2(I1,T)*FR2(I1,T,P)\$CFT(I1,T);
 VPERDA3(I1,H,P) .. PFR3(I1,H,P) =E= P3(I1,H)*FR3(I1,H,P)\$CFH(I1,H);
 VPERDA15(I,J,P) .. PFR8(I,J,P) =E= P15(I,J)*FR8(I,J,P)\$CIJ(I,J);
 VPERDA16(I,T,P) .. PFR9(I,T,P) =E= P16(I,T)*FR9(I,T,P)\$CIT(I,T);
 VPERDA17(I,H,P) .. PFR10(I,H,P) =E= P17(I,H)*FR10(I,H,P)\$CIH(I,H);
 VPERDA4(A,J,P) .. PFR4(A,J,P) =E= P4(A,J)*FR4(A,J,P)\$CAD(A,J);
 VPERDA5(A,T,P) .. PFR5(A,T,P) =E= P5(A,T)*FR5(A,T,P)\$CAT(A,T);
 VPERDA6(A,H,P) .. PFR6(A,H,P) =E= P6(A,H)*FR6(A,H,P)\$CAH(A,H);
 VPERDA7(I,A,P) .. PFR7(I,A,P) =E= P7(I,A)*FR7(I,A,P)\$CFA(I,A);
 VPERDA8(T,J,P) .. PFF(T,J,P) =E= P8(T,J)*FF(T,J,P)\$CTJ(T,J);
 VPERDA9(H,J,P) .. PFH(H,J,P) =E= P9(H,J)*FH(H,J,P)\$CHJ(H,J);
 VPERDA10(T,P) .. PTFERRO(T,P) =E=
 P10*(SUM(I1,FR2(I1,T,P)\$CFT(I1,T))+SUM(A,FR5(A,T,P)\$CAT(A,T))+SUM((I),FR9(I
 ,T,P)\$CIT(I,T))-SUM(I1,PFR2(I1,T,P)\$CFT(I1,T))-SUM(A,PFR5(A,T,P)\$CAT(A,T))-
 SUM((I),PFR9(I,T,P)\$CIT(I,T)));
 VPERDA11(H,P) .. PTHIDRO(H,P) =E=
 P11*(SUM(I1,FR3(I1,H,P)\$CFH(I1,H))+SUM(A,FR6(A,H,P)\$CAH(A,H))+SUM((I),FR1
 0(I,H,P)\$CIH(I,H))-SUM(I1,PFR3(I1,H,P)\$CFH(I1,H))-
 SUM(A,PFR6(A,H,P)\$CAH(A,H))-SUM((I),PFR10(I,H,P)\$CIH(I,H)));
 VPERDA12(J,P) .. PTPORTO(J,P) =E=
 P12*(SUM(I1,FR1(I1,J,P)\$EXP(J))+SUM(A,FR4(A,J,P)\$EXP(J))+SUM(T,FF(T,J,P)\$
 EXP(J))+SUM(H,FH(H,J,P)\$EXP(J))+SUM(I,FR8(I,J,P)\$CIJ(I,J)\$EXP(J))-
 SUM(I1,PFR1(I1,J,P)\$EXP(J))-SUM(A,PFR4(A,J,P)\$EXP(J))-
 SUM(T,PFF(T,J,P)\$EXP(J))-SUM(H,PFH(H,J,P)\$EXP(J))-
 SUM(I,PFR8(I,J,P)\$CIJ(I,J)\$EXP(J)));
 VPERDA13(I1,P) .. PMFAZENDA(I1,P) =E= P13*(SUM(I,
 MFAZENDA(I,I1,P)\$CII(I,I1));
 VPERDA14(A,P) .. PTARMEXT(A,P) =E= P14*(SUM(I,FR7(I,A,P)\$CFA(I,A))-SUM(I,
 PFR7(I,A,P)\$CFA(I,A));

OFER(I,P) .. SUM(A,FR7(I,A,P)\$CFA(I,A)) + SUM(I1,MFAZENDA(I,I1,P)\$CII(I,I1)) +
 SUM(J,FR8(I,J,P)\$CIJ(I,J)) + SUM(T,FR9(I,T,P)\$CIT(I,T)) +
 SUM(H,FR10(I,H,P)\$CIH(I,H)) =E= PRODUCAO(I,P);
 DEMA(J,P)
 SUM((I1),FR1(I1,J,P)\$CFD(I1,J))+SUM((A),FR4(A,J,P)\$CAD(A,J))+SUM(T,FF(T,J,P)
 \$CTJ(T,J))+SUM(H,FH(H,J,P)\$CHJ(H,J))+SUM(I,FR8(I,J,P)\$CIJ(I,J))-
 SUM(I1,PFR1(I1,J,P)\$CFD(I1,J))-SUM(A,PFR4(A,J,P)\$CAD(A,J))
 -SUM(T,PFF(T,J,P)\$CTJ(T,J))-SUM(H,PFH(H,J,P)\$CHJ(H,J))-
 SUM(I,PFR8(I,J,P)\$CIJ(I,J))-PTPORTO(J,P)\$EXP(J)=G= DEMANDA(J,P);
 CAPFERRO(T,J,P) .. FF(T,J,P) =E= CAPT(T,J,P);
 CAPHIDRO(H,J,P) .. FH(H,J,P) =E= CAPH(H,J,P);
 CONTF(T,P) .. SUM((I1),FR2(I1,T,P)\$CFT(I1,T)) +
 SUM((A),FR5(A,T,P)\$CAT(A,T))+SUM((I),FR9(I,T,P)\$CIT(I,T))-
 SUM(J,FF(T,J,P)\$CTJ(T,J)) -PTFERRO(T,P)-SUM((I1),PFR2(I1,T,P)\$CFT(I1,T)) -
 SUM((A),PFR5(A,T,P)\$CAT(A,T))-SUM((I),PFR9(I,T,P)\$CIT(I,T)) =E= 0;
 CONTH(H,P) .. SUM((I1),FR3(I1,H,P)\$CFH(I1,H)) +
 SUM((A),FR6(A,H,P)\$CAH(A,H))+SUM((I),FR10(I,H,P)\$CIH(I,H))-
 SUM(J,FH(H,J,P)\$CHJ(H,J))-PTHIDRO(H,P) -SUM((I1),PFR3(I1,H,P)\$CFH(I1,H)) -
 SUM((A),PFR6(A,H,P)\$CAH(A,H))-SUM((I),PFR10(I,H,P)\$CIH(I,H)) =E= 0;
 CONTA(A,P) .. SUM(I,FR7(I,A,P)\$CFA(I,A))-SUM(I,PFR7(I,A,P)\$CFA(I,A)) -
 SUM((J),FR4(A,J,P)\$CAD(A,J)) - SUM((T),FR5(A,T,P)\$CAT(A,T)) -
 SUM((H),FR6(A,H,P)\$CAH(A,H))-PTARMEXT(A,P) =E= 0;
 CONTAIN(I1,P) .. SUM(I,MFAZENDA(I,I1,P)\$CII(I,I1)) -
 SUM((J),FR1(I1,J,P)\$CFD(I1,J)) - SUM((T),FR2(I1,T,P)\$CFT(I1,T))-
 SUM((H),FR3(I1,H,P)\$CFH(I1,H))-PMFAZENDA(I1,P) =E= 0;
 CAPA(A) .. SUM((I,P),FR7(I,A,P)\$CFA(I,A))-SUM((I,P),PFR7(I,A,P)\$CFA(I,A))
 =E= CAPOFFFARM(A);
 CAPAINT(I1) .. SUM((I,P),MFAZENDA(I,I1,P)\$CII(I,I1)) =E= CAPONFARM(I1);
 CPERDAPORTO FERRO(T,J,P) .. PERDAPORTO FERRO(T,J,P) =E=
 P12*((FF(T,J,P)-PFF(T,J,P))\$EXP(J));
 CPERDAPORTO HIDRO(H,J,P) .. PERDAPORTO HIDRO(H,J,P) =E=
 P12*((FH(H,J,P)-PFH(H,J,P))\$EXP(J));
 CPERDAPORTO RODO1(I,J,P) .. PERDAPORTO RODO1(I,J,P) =E=
 P12*((FR8(I,J,P)-PFR8(I,J,P))\$EXP(J));
 CPERDAPORTO RODO2(I1,J,P) .. PERDAPORTO RODO2(I1,J,P) =E=
 P12*((FR1(I1,J,P)-PFR1(I1,J,P))\$EXP(J));
 CPERDAPORTO RODO3(A,J,P) .. PERDAPORTO RODO3(A,J,P) =E=
 P12*((FR4(A,J,P)-PFR4(A,J,P))\$EXP(J));
 PTOTAL(P) .. PT(P) =E=
 SUM((I1,J),PFR1(I1,J,P))+SUM((I1,T),PFR2(I1,T,P)\$CFT(I1,T))+SUM((I1,H),PFR3(I1
 ,H,P)\$CFH(I1,H))+SUM((I,J),PFR8(I,J,P)\$CIJ(I,J))+SUM((I,T),PFR9(I,T,P)\$CIT(I,T))+
 SUM((I,H),PFR10(I,H,P)\$CIH(I,H))+SUM((A,J),PFR4(A,J,P)\$CAD(A,J))+SUM((A,T),
 PFR5(A,T,P)\$CAT(A,T))+SUM((A,H),PFR6(A,H,P)\$CAH(A,H))+SUM((I,A),PFR7(I,A,
 P)\$CFA(I,A))+SUM((T,J),PFF(T,J,P)\$CTJ(T,J))+SUM((H,J),PFH(H,J,P)\$CHJ(H,J))+
 SUM((T), PTFERRO(T,P)) +
 SUM((H),PTHIDRO(H,P))+SUM((J),PTPORTO(J,P)\$EXP(J))+SUM((I1),PMFAZEND
 A(I1,P))+SUM((A),PTARMEXT(A,P));
 CCUSTO(P) .. CUSTO(P) =E= SUM((I,I1), 30*MFAZENDA(I,I1,P)\$CII(I,I1)) +
 SUM((I1,J), CR1(I1,J)*FR1(I1,J,P)\$CFD(I1,J)) +
 SUM((I1,T),CR2(I1,T)*FR2(I1,T,P)\$CFT(I1,T))


```

+SUM((I1,H),CR3(I1,H)*FR3(I1,H,P)$CFH(I1,H))+SUM((A,J),CR4(A,J)*FR4(A,J,P)$
CAD(A,J))+SUM((A,T),CR5(A,T)*FR5(A,T,P)$CAT(A,T))
+SUM((A,H),CR6(A,H)*FR6(A,H,P)$CAH(A,H))+SUM((I,A),(CR7(I,A)+35)*FR7(I,A,P)
$CFA(I,A))+SUM((I,J),CR8(I,J)*FR8(I,J,P)$CIJ(I,J))+SUM((I,T),CR9(I,T)*FR9(I,T,P)$
CIT(I,T))+SUM((I,H),CR10(I,H)*FR10(I,H,P)$CIH(I,H))
+SUM((T,J),CF(T,J)*FF(T,J,P)$CTJ(T,J))+SUM((H,J),CH(H,J)*FH(H,J,P)$CHJ(H,J));
MODEL PERDAS /ALL/ ;
OPTION RESLIM = 10000000;
OPTION ITERLIM = 10000000;
OPTION LIMROW=0;
OPTION LIMCOL=0;
$OFFLISTING;
SOLVE PERDAS USING LP MINIMIZING Z;
DISPLAY Z.L, CUSTO.L, PT.L;
*execute_unload "resultados2.gdx" CUSTO.L, PT.L;
*execute 'gdxxrw.exe resultados2.gdx var=CUSTO.L rng=custo!A1:F100000';
*execute 'gdxxrw.exe resultados2.gdx var=PT.L rng=perda!A1:F100000';
*execute_unload "resultados.gdx" FR1.L, FR2.L, FR3.L, FR4.L, FR5.L, FR6.L, FR7.L,
FR8.L, FR9.L, FR10.L, FF.L, FH.L, PFR1.L, PFR2.L, PFR3.L, PFR4.L, PFR5.L,
PFR6.L, PFR7.L, PFF.L, PFR8.L, PFR9.L, PFR10.L, PFH.L, PTFERRO.L,
PTHIDRO.L,      PTPORTO.L,      PMFAZENDA.L,      PTARMEXT.L,
PERDAPORTOFERRO.L, PERDAPORTOHIDRO.L, PERDAPORTORODO1.L,
PERDAPORTORODO2.L, PERDAPORTORODO3.L;
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=FR1.L rng=frfd!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=FR2.L rng=frft!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=FR3.L rng=frfh!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=FR4.L rng=frad!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=FR5.L rng=frat!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=FR6.L rng=frah!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=FR7.L rng=ffa!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=FR8.L rng=fij!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=FR9.L rng=fit!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=FR10.L rng=fih!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=FF.L rng=ff!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=FH.L rng=fh!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=MFAZENDA.L rng=mfazenda!A1:F100000
rdim=3';
*execute      'gdxxrw.exe      resultados.gdx      var=PERDAPORTOFERRO.L
rng=perdaportoferro!A1:F100000 rdim=3';
*execute      'gdxxrw.exe      resultados.gdx      var=PERDAPORTOHIDRO.L
rng=perdaportohidro!A1:F100000 rdim=3';
*execute      'gdxxrw.exe      resultados.gdx      var=PERDAPORTORODO1.L
rng=perdaportorodo1!A1:F100000 rdim=3';
*execute      'gdxxrw.exe      resultados.gdx      var=PERDAPORTORODO2.L
rng=perdaportorodo2!A1:F100000 rdim=3';
*execute      'gdxxrw.exe      resultados.gdx      var=PERDAPORTORODO3.L
rng=perdaportorodo3!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PFR1.L rng=pfrfd!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PFR2.L rng=pfrft!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PFR3.L rng=pfrfh!A1:F100000 rdim=3';

```

```

*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PFR4.L rng=pfrad!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PFR5.L rng=pfrat!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PFR6.L rng=pfrah!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PFR7.L rng=pffa!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PFR8.L rng=pfij!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PFR9.L rng=pfit!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PFR10.L rng=pfih!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PFF.L rng=pff!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PFH.L rng=pfh!A1:F100000 rdim=3';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PTFERRO.L rng=ptferro!A1:F100000
rdim=2';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PTHIDRO.L rng=pthidro!A1:F100000
rdim=2';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PTPORTO.L rng=ptporto!A1:F100000
rdim=2';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PMFAZENDA.L
rng=pmfazenda!A1:F100000 rdim=2';
*execute 'gdxxrw.exe resultados.gdx var=PTARMEXT.L rng=ptarmext!A1:F100000
rdim=2';

```

ANEXO B. Programação matemática para minimização das perdas na agrologística brasileira de soja e milho

Substituição da função objetivo da estrutura anterior pelos seguintes códigos:

$$\begin{aligned}
 \text{FOBJ} & \quad \dots \quad Z \quad \dots \quad =E= \\
 & \text{SUM}((I1,J,P),\text{PFR1}(I1,J,P))+\text{SUM}((I1,T,P),\text{PFR2}(I1,T,P)\$CFT(I1,T))+\text{SUM}((I1,H,P),\text{PFR3}(I1,H,P)\$CFH(I1,H))+\text{SUM}((I,J,P),\text{PFR8}(I,J,P)\$CIJ(I,J))+\text{SUM}((I,T,P),\text{PFR9}(I,T,P)\$CIT(I,T))+\text{SUM}((I,H,P),\text{PFR10}(I,H,P)\$CIH(I,H))+\text{SUM}((A,J,P),\text{PFR4}(A,J,P)\$CAD(A,J))+\text{SUM}((A,T,P),\text{PFR5}(A,T,P)\$CAT(A,T))+\text{SUM}((A,H,P),\text{PFR6}(A,H,P)\$CAH(A,H))+\text{SUM}((I,A,P),\text{PFR7}(I,A,P)\$CFA(I,A))+\text{SUM}((T,J,P),\text{PFF}(T,J,P)\$CTJ(T,J))+\text{SUM}((H,J,P),\text{PFH}(H,J,P)\$CHJ(H,J))+\text{SUM}((T,P),\text{PTFERRO}(T,P))+\text{SUM}((H,P),\text{PTHIDRO}(H,P))+\text{SUM}((J,P),\text{PTPORTO}(J,P)\$EXP(J))+\text{SUM}((I1,P),\text{PMFAZENDA}(I1,P))+\text{SUM}((A,P),\text{PTARMEXT}(A,P));
 \end{aligned}$$

ANEXO C. Questionário (roteiro de perguntas) utilizado**BLOCO I - INFORMAÇÕES DE CONTATO**

- Nome da empresa
- Local (Município, UF)
- Produtos movimentados
- Tipo de empresa (embarcadora, trading, prestadora de serviços)
- Distância média percorrida (km)

BLOCO II - SOBRE QUEBRA TÉCNICA

- O que é quebra técnica?
- Qual o percentual de quebra técnica adotado nos contratos de fretes rodoviários?
- Qual o percentual de quebra técnica adotado nos contratos de fretes ferroviários?
- Qual o percentual de quebra técnica adotado nos contratos de fretes hidroviários?
- O nível de quebra técnica varia em função de quais fatores?
- Quais as formas de cobrança da quebra técnica?
 - Crédito de frete para novos contratos
 - Pagamento físico do produto
 - Pagamento financeiro
- Com qual frequência é cobrada a quebra técnica?
- Em relação ao último ano, o quanto foi a diferença da perda física em relação a quebra técnica no transporte rodoviário?
 - Todas as viagens apresentaram perdas físicas superiores às quebras técnicas
 - Acima de 75% das viagens apresentaram perdas físicas superiores às quebras técnicas
 - De 50% a 75% das viagens apresentaram perdas físicas superiores às quebras técnicas
 - De 25% a 50% das viagens apresentaram perdas físicas superiores às quebras técnicas

- De 0% a 25% das viagens apresentaram perdas físicas superiores às quebras técnicas
- Nenhuma viagem apresentou perda física superior a quebra técnica
- Em relação ao último ano, o quanto foi a diferença da perda física em relação a quebra técnica no transporte ferroviário?
 - Todas as viagens apresentaram perdas físicas superiores às quebras técnicas
 - Acima de 75% das viagens apresentaram perdas físicas superiores às quebras técnicas
 - De 50% a 75% das viagens apresentaram perdas físicas superiores às quebras técnicas
 - De 25% a 50% das viagens apresentaram perdas físicas superiores às quebras técnicas
 - De 0% a 25% das viagens apresentaram perdas físicas superiores às quebras técnicas
 - Nenhuma viagem apresentou perda física superior a quebra técnica
- Em relação ao último ano, o quanto foi a diferença da perda física em relação a quebra técnica no transporte hidroviário?
 - Todas as viagens apresentaram perdas físicas superiores às quebras técnicas
 - Acima de 75% das viagens apresentaram perdas físicas superiores às quebras técnicas
 - De 50% a 75% das viagens apresentaram perdas físicas superiores às quebras técnicas
 - De 25% a 50% das viagens apresentaram perdas físicas superiores às quebras técnicas
 - De 0% a 25% das viagens apresentaram perdas físicas superiores às quebras técnicas
 - Nenhuma viagem apresentou perda física superior a quebra técnica

BLOCO III - SOBRE AS RETENÇÕES TÉCNICAS

- Quais os percentuais de retenções contratuais cobrados pelos terminais portuários? (detalhar os valores mínimos, médios e máximos por tipo de porto - Santos e Paranaguá)

- Os percentuais retidos contratualmente retornam para o embarcador, em caso de sobras nos terminais portuários?
- Quais os percentuais de retenções contratuais cobrados pelos terminais ferroviários? (detalhar os valores mínimos, médios e máximos)
- Quais os percentuais de retenções contratuais cobrados pelos terminais hidroviários? (detalhar os valores mínimos, médios e máximos)
- Os percentuais retidos contratualmente retornam para o embarcador, em caso de sobras nos terminais ferroviários?
- Quais os percentuais de retenções contratuais cobrados pelos armazéns? (detalhar os valores mínimos, médios e máximos)
- Os percentuais retidos contratualmente retornam para o embarcador, em caso de sobras nos armazéns?

BLOCO IV - SOBRE PERDAS

- Quais os percentuais mínimo, médio e máximo de perdas de peso no último ano nas atividades de transporte rodoviário de soja e milho?
- Quais os percentuais mínimo, médio e máximo de perdas de peso no último ano nas atividades de transporte ferroviário de soja, farelo de soja e milho?
- Existe diferença de perdas de peso em função da distância?
- Se sim, qual o percentual médio de perdas em rotas de curta distância (até 500 km)?
- Se sim, qual o percentual médio de perdas de peso em rotas de média distância (de 500 a 1000 km)?
- Se sim, qual o percentual médio de perdas de peso em rotas de longa distância (acima de 1000 km)?
- Existe diferença de perdas de peso em função do tipo de veículo?
- Se sim, qual o percentual médio de perdas de peso para os diferentes veículos? (Bitrem graneleiro, bitrem basculante, ...)
- Existe diferença de perdas de peso em função da qualidade da via dos trechos utilizados?
- Se sim, qual o percentual médio de perdas de peso em rotas de qualidade boa?

- Se sim, qual o percentual médio de perdas de peso em rotas de qualidade ruim?
- Existe diferença de perdas de peso em função do tipo de destino (porto, terminal ou mercado interno)?
- Se sim, quais os percentuais de perdas de peso em função do tipo de destino?
- As balanças de pesagem na origem e destino influenciam as perdas de peso na sua opinião? Justifique.
- Há outros fatores que influenciam as perdas de peso no transporte? Se sim, quais os percentuais médios de tais perdas.

BLOCO V – MITIGAÇÃO DAS PERDAS

- No seu entendimento, quais estratégias as empresas e/ou agentes do setor poderiam utilizar para reduzir as perdas nas atividades logísticas, envolvendo transporte, terminais e porto?
- Quais ações governamentais poderiam ser desenvolvidas para reduzir as perdas nas atividades logísticas, envolvendo transporte, terminais e porto?
- Demais observações da entrevista realizada

ANEXO D. Capacidades de transporte ferroviárias e hidroviárias consideradas.**Tabela A1.** Movimentações dos fluxos ferroviários e hidroviários considerados (continua)

Mercadoria	Origem	Destino	Quantidade (t)
Milho	Cascavel – PR	Guarapuava - PR	14,591.00
Soja	Cascavel – PR	Guarapuava - PR	234,353.00
Soja	São Francisco do Sul - SC	Londrina – PR	51.00
Milho	Guarapuava – PR	Paranaguá - PR	165.00
Milho	Londrina – PR	Paranaguá - PR	186,234.00
Milho	Maringá – PR	Paranaguá - PR	647,636.00
Milho	Rolândia – PR	Paranaguá - PR	197,048.00
Milho	Sarandi – PR	Paranaguá - PR	238,170.00
Soja	Cascavel – PR	Paranaguá - PR	58,401.00
Soja	Guarapuava – PR	Paranaguá - PR	11,729.00
Soja	Londrina – PR	Paranaguá - PR	105,850.00
Soja	Marialva – PR	Paranaguá - PR	57,191.00
Soja	Maringá – PR	Paranaguá - PR	552,594.00
Soja	Paranaguá – PR	Paranaguá - PR	25,711.00
Soja	Ponta Grossa – PR	Paranaguá - PR	79,914.00
Soja	Rolândia – PR	Paranaguá - PR	78,268.00
Soja	Sarandi – PR	Paranaguá - PR	95,359.00
Milho	Alegrete – RS	Rio Grande - RS	2,101.00
Milho	Cacequi – RS	Rio Grande - RS	7,873.00
Milho	Cruz Alta – RS	Rio Grande - RS	54,961.00
Milho	Ijuí – RS	Rio Grande - RS	5,636.00
Milho	Maringá – PR	Rio Grande - RS	28,058.00
Soja	Alegrete – RS	Rio Grande - RS	14,233.00
Soja	Cacequi – RS	Rio Grande - RS	109,225.00
Soja	Carazinho – RS	Rio Grande - RS	7,985.00
Soja	Cruz Alta – RS	Rio Grande - RS	1,295,217.00
Soja	Ijuí – RS	Rio Grande - RS	41,257.00
Soja	Júlio de Castilhos – RS	Rio Grande - RS	188,453.00
Soja	Passo Fundo – RS	Rio Grande - RS	43,801.00
Soja	Santa Rosa – RS	Rio Grande - RS	8,995.00
Soja	Santo Ângelo – RS	Rio Grande - RS	32,311.00
Soja	Tupanciretã – RS	Rio Grande - RS	72,737.00
Milho	Alto Araguaia – MT	Santos – SP	199,177.00
Milho	Araguari – MG	Santos – SP	580,292.00
Milho	Itiquira – MT	Santos – SP	169,876.00
Milho	Rondonópolis - MT	Santos – SP	7,141,070.00
Milho	Sumaré - SP	Santos – SP	8,364.00
Milho	Uberlândia - MG	Santos – SP	931,031.00
Soja	Alto Araguaia - MT	Santos – SP	242,675.00
Soja	Araguari - MG	Santos – SP	643,004.00
Soja	Itiquira - MT	Santos – SP	204,884.00
Soja	Rondonópolis - MT	Santos - SP	3,918,884.00
Soja	Uberlândia - MG	Santos - SP	798,746.00

Tabela A1. Movimentações dos fluxos ferroviários e hidroviários considerados (conclusão)

Mercadoria	Origem	Destino	Quantidade (t)
Milho	Londrina - PR	São Francisco do Sul - SC	335,765.00
Milho	Marialva - PR	São Francisco do Sul - SC	150,501.00
Milho	Maringá - PR	São Francisco do Sul - SC	1,039,607.00
Milho	Rolândia - PR	São Francisco do Sul - SC	39,397.00
Milho	Sarandi - PR	São Francisco do Sul - SC	28,968.00
Soja	Cascavel - PR	São Francisco do Sul - SC	6,395.00
Soja	Londrina - PR	São Francisco do Sul - SC	349,292.00
Soja	Marialva - PR	São Francisco do Sul - SC	528,497.00
Soja	Maringá - PR	São Francisco do Sul - SC	1,432,988.00
Soja	Rolândia - PR	São Francisco do Sul - SC	28,208.00
Soja	Sarandi - PR	São Francisco do Sul - SC	15,588.00
Milho	Palmeirante - TO	São Luís – MA	848,077.00
Milho	Porto Franco - MA	São Luís – MA	345,232.00
Milho	Porto Nacional - TO	São Luís – MA	43,946.00
Soja	Palmeirante - TO	São Luís - MA	1,323,579.00
Soja	Porto Franco - MA	São Luís - MA	1,233,715.00
Soja	Porto Nacional - TO	São Luís - MA	204,082.00
Milho	Alto Araguaia - MT	Sumaré - SP	130,990.00
Milho	Araguari - MG	Vitória - ES	2,023,124.00
Milho	Pirapora - MG	Vitória - ES	238,710.00
Milho	Santa Luzia - MG	Vitória - ES	9,785.00
Milho	Uberlândia - MG	Vitória - ES	24,596.00
Soja	Araguari - MG	Vitória - ES	2,738,847.00
Soja	Pirapora - MG	Vitória - ES	807,078.00
Soja	Santa Luzia - MG	Vitória - ES	100,647.00
Soja	São Simão - GO	Santos - SP	1,149,000.00
Soja	Itaituba - PA	Santarém - PA	2,185,380.84
Soja	Itaituba - PA	Barcarena - PA	655,614.25
Soja	Porto Velho - RO	Barcarena - PA	1,529,766.58
Milho	São Simão - GO	Santos - SP	536,000.00
Milho	Itaituba – PA	Santarém - PA	20,056.40
Milho	Itaituba – PA	Barcarena - PA	480,672.89
Milho	Porto Velho - RO	Barcarena - PA	206,002.67

Origem/ Destino	AC	AL	AM	AP	BA	CE	DF	ES	GO	MA	MG	MS	MT	PA	PB	PE	PI	PR	RJ	RN	RO	RR	RS	SC	SE	SP	TO
AC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AL	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BA	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
CE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
DF	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
ES	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0
GO	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
MA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
MG	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
MS	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
MT	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
PA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PE	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PI	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PR	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0
RJ	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
RN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0</					

ANEXO F. Produção de soja e milho**Tabela A3. Produção de soja e milho por centroide das mesorregiões produtoras (continua)**

Centroide da mesorregião	Produção de milho (t)	Produção de soja (t)
Acauã (PI)	14.036,76	-
Altamira (PA)	25.643,84	23.154,89
Alto Alegre (RR)	8.738,45	54.518,89
Alto Piquiri (PR)	693.346,85	591.084,88
Apuí (AM)	3.053,44	-
Araucária (PR)	570.308,46	448.859,06
Baixa Grande do Ribeiro (PI)	1.030.175,96	1.759.672,89
Balsas (MA)	936.481,69	1.738.466,57
Barão (RS)	161.964,67	225.637,85
Barra do Choça (BA)	6.478,51	-
Beberibe (CE)	13.173,97	-
Birigui (SP)	176.026,55	92.526,13
Boa Hora (PI)	1.082,76	1.355,97
Boa Viagem (CE)	36.405,19	-
Brasília (DF)	530.522,40	181.631,21
Brejo (MA)	89.620,35	251.589,04
Buriticupu (MA)	206.142,06	83.683,22
Buritizeiro (MG)	154.663,55	96.826,05
Campo Erê (SC)	1.830.658,23	970.503,39
Campos Lindos (TO)	508.754,61	1.187.032,16
Campos Novos (SC)	482.247,98	502.848,63
Cândido Mota (SP)	1.075.179,99	656.230,54
Canguçu (RS)	255.393,78	829.941,90
Carandaí (MG)	330.459,08	39.530,94
Careiro (AM)	1.587,99	-
Carira (SE)	243.789,72	-
Carmo do Cajuru (MG)	498.410,10	34.155,29
Casa Branca (SP)	537.001,91	26.079,76
Castro (PR)	944.249,87	1.820.232,36
Chapadão do Sul (MS)	812.384,64	871.657,45
Craíbas (AL)	10.798,52	-
Cristalina (GO)	1.252.896,98	1.443.102,92
Cruz Alta (RS)	3.187.986,73	9.376.419,98
Cruzeiro do Sul (RS)	610.482,23	778.016,42
Dois Irmãos do Buriti (MS)	56.594,02	58.862,00
Feijó (AC)	13.930,30	-
Feira de Santana (BA)	58.077,55	-
Grajaú (MA)	117.934,94	30.916,04
Guaíra (SP)	395.389,79	348.494,44
Guarapuava (PR)	936.988,92	1.775.154,01
Iacri (SP)	58.354,77	8.565,69
Icó (CE)	3.998,59	-
Iracema (RR)	4.218,56	-
Itaberaí (GO)	341.847,19	249.162,36
Itapeva (SP)	1.166.663,54	866.611,25
Itápolis (SP)	69.831,27	11.303,74
Jacinto (MG)	4.662,52	-
Japaraíba (MG)	151.092,84	12.398,56
Jataí (GO)	7.726.420,68	6.198.866,16
Limoeiro do Norte (CE)	1.227,40	-
Linhares (ES)	6.227,40	-
Londrina (PR)	3.117.478,48	2.804.892,04
Macaé (RJ)	1.044,60	-
Macapá (AP)	-	28.950,39
Mafra (SC)	401.662,39	490.596,72

Tabela A3. Produção de soja e milho por centroide das mesorregiões produtoras (conclusão)

Centroide da mesorregião	Produção de milho (t)	Produção de soja (t)
Malacacheta (MG)	2.551,23	-
Mamborê (PR)	1.762.050,35	2.233.802,14
Maracaju (MS)	6.925.095,70	4.726.031,41
Massaranduba (PB)	1.727,60	-
Missão Velha (CE)	22.991,17	-
Montes Claros de Goiás (GO)	48.533,56	298.998,65
Muitos Capões (RS)	994.995,16	993.080,74
Niquelândia (GO)	155.924,09	443.659,18
Palhoça (SC)	15.864,81	-
Paragominas (PA)	540.981,42	867.119,49
Paranapanema (SP)	287.874,70	126.568,93
Paripiranga (BA)	552.109,38	-
Passos (MG)	1.214.354,38	125.407,82
Paulo de Faria (SP)	271.770,84	46.906,40
Pedras Grandes (SC)	116.400,18	-
Peixe (TO)	105.993,39	1.231.249,73
Penalva (MA)	5.288,27	-
Petrolina (PE)	4.218,56	-
Pindamonhangaba (SP)	13.619,93	2.511,05
Pitangui (MG)	139.263,79	-
Porto Acre (AC)	76.756,74	-
Porto Velho (RO)	30.236,04	37.376,46
Primavera do Leste (MT)	3.921.876,98	4.149.141,99
Querência (MT)	2.701.669,85	5.139.070,86
Rancharia (SP)	173.286,49	111.228,43
Renascença (PR)	882.960,19	1.473.820,08
Rio Casca (MG)	197.200,72	-
Salto de Pirapora (SP)	260.620,78	50.134,60
Santa Isabel do Rio Negro (AM)	4.369,23	-
Santa Maria de Jetibá (ES)	11.959,62	-
Santarém (PA)	119.740,88	124.604,28
Santo Antônio do Leverger (MT)	298.905,24	430.443,03
São Bento do Una (PE)	4.814,18	-
São Cristóvão (SE)	26.761,76	-
São Desidério (BA)	1.980.250,47	4.523.738,29
São Gabriel (RS)	112.466,88	1.435.743,54
São Paulo (SP)	1.066,69	-
Serra do Ramalho (BA)	34.730,82	9.843,31
Serra Talhada (PE)	2.862,60	-
Sertaneja (PR)	1.550.406,07	1.522.548,49
Sidrolândia (MS)	1.976.143,40	1.680.328,76
Simão Dias (SE)	218.510,49	-
Sorriso (MT)	14.283.214,79	17.733.957,69
Tailândia (PA)	59.897,56	11.851,15
Taió (SC)	223.965,49	20.776,42
Tangará da Serra (MT)	235.109,53	518.816,89
Teixeira Soares (PR)	519.660,60	1.023.254,51
Tianguá (CE)	8.649,06	-
Tietê (SP)	140.626,78	9.714,75
Toledo (PR)	4.858.328,54	3.602.066,76
Tupanciretã (RS)	225.035,20	2.114.357,56
Uberaba (MG)	2.683.224,68	1.852.475,23
Unai (MG)	1.279.686,86	1.356.262,81
União (PI)	7.936,92	17.660,71
Vilhena (RO)	747.302,27	711.060,80
Virgolândia (MG)	93.242,28	-

ANEXO G. Demanda de soja e milho por região e porto**Tabela A4. Demanda de soja e milho por centroide de mesorregião e porto (continua)**

Destino	Demanda de milho (t)	Demanda de soja (t)
Acauã (PI)	55.589,78	-
Altamira (PA)	97.628,75	-
Alto Alegre (RR)	33.760,65	-
Alto Piquiri (PR)	896.344,04	-
Apuí (AM)	22.012,02	-
Araucária (PR)	532.453,83	-
Baixa Grande do Ribeiro (PI)	71.862,79	542.687,24
Baixo Guandu (ES)	42.582,39	-
Balsas (MA)	69.688,18	2.170.748,96
Barão (RS)	691.921,01	-
Barcarena (PA)	577.596,62	2.185.380,84
Barra do Choça (BA)	275.724,00	-
Beberibe (CE)	220.410,58	-
Belém (PA)	-	37,00
Belo Monte (AL)	26.532,34	-
Birigui (SP)	120.936,67	-
Boa Hora (PI)	103.321,24	-
Boa Viagem (CE)	178.064,62	-
Brasília (DF)	542.543,46	2.170.748,96
Brejo (MA)	149.399,76	-
Breves (PA)	51.433,74	-
Buritcupu (MA)	153.070,65	-
Buritizeiro (MG)	220.221,07	-
Camaçari (BA)	295.325,02	-
Campo Erê (SC)	3.122.529,40	-
Campos Lindos (TO)	87.910,67	274.405,55
Campos Novos (SC)	157.238,67	300.821,43
Cândido Mota (SP)	95.171,62	-
Canguçu (RS)	118.143,20	-
Carandaí (MG)	178.983,38	-
Careiro (AM)	222.992,50	-
Carira (SE)	51.638,12	-
Carmo do Cajuru (MG)	482.625,43	-
Casa Branca (SP)	1.197.691,89	-
Castanhal (PA)	245.270,01	-
Castro (PR)	587.516,31	537.624,31
Chapadão do Sul (MS)	216.508,28	916.437,12
Craíbas (AL)	103.416,55	-
Cristalina (GO)	160.115,83	1.710.921,91
Cruz Alta (RS)	1.797.833,09	662.704,49
Cruzeiro do Sul (RS)	940.289,14	305.479,04
Dois Irmãos do Buriti (MS)	104.594,24	-
Extremoz (RN)	89.063,25	-
Feijó (AC)	35.679,85	-
Feira de Santana (BA)	416.862,96	-
Ferreiros (PE)	135.184,16	-
Grajaú (MA)	138.198,94	-
Guaíra (SP)	387.736,08	-
Guajará (AM)	7.991,88	-
Guarapuava (PR)	185.545,13	548.811,11
Iacri (SP)	403.128,78	-
Icó (CE)	54.587,55	-
Imbituba (SC)	467.706,34	254.156,12
Iracema (RR)	7.511,76	-
Itaberaí (GO)	575.881,52	-

Tabela A4. Demanda de soja e milho por centroide de mesorregião e porto
(continua)

Destino	Demanda de milho (t)	Demanda de soja (t)
Itajaí (SC)	2.642,15	4.064,29
Itapeva (SP)	672.720,51	823.216,66
Itápolis (SP)	215.318,60	-
Jacinto (MG)	61.887,50	-
Japaraíba (MG)	112.307,91	-
Jardim do Seridó (RN)	39.881,09	-
Jataí (GO)	1.362.803,37	4.322.574,70
João Pessoa (PB)	160.027,36	-
Lagoa Salgada (RN)	26.899,49	-
Limoeiro do Norte (CE)	60.235,95	-
Linhares (ES)	93.111,59	-
Londrina (PR)	1.187.967,25	823.216,66
Macaé (RJ)	46.155,64	-
Macapá (AP)	27.822,57	-
Maceió (AL)	137.445,76	-
Mafra (SC)	304.222,14	-
Magé (RJ)	1.019.950,27	-
Malacacheta (MG)	57.650,20	-
Mamborê (PR)	386.072,01	737.325,87
Manaus (AM)	1.227.570,02	1.653.273,27
Maracaju (MS)	548.535,99	938.949,89
Maranguape (CE)	275.519,07	-
Massaranduba (PB)	132.639,89	-
Missão Velha (CE)	97.405,53	-
Monteiro (PB)	23.197,24	-
Montes Claros de Goiás (GO)	140.591,20	-
Mossoró (RN)	81.549,96	-
Muitos Capões (RS)	1.037.148,01	274.405,55
Muqui (ES)	100.875,69	-
Niquelândia (GO)	87.831,36	-
Palhoça (SC)	134.413,03	-
Paragominas (PA)	389.717,49	274.405,55
Paraíba do Sul (RJ)	81.993,80	-
Paranaguá (PR)	4.067.933,58	8.518.898,13
Paranapanema (SP)	388.779,82	-
Paripiranga (BA)	209.420,20	-
Passos (MG)	484.604,87	-
Paulo de Faria (SP)	457.630,06	-
Pedras Grandes (SC)	769.793,60	-
Peixe (TO)	387.083,54	-
Penalva (MA)	165.466,78	-
Petrolina (PE)	39.994,95	-
Pindamonhangaba (SP)	183.200,26	-
Pitangui (MG)	1.025.120,77	-
Porto Acre (AC)	126.663,47	-
Porto Real (RJ)	156.741,95	-
Porto Velho (RO)	20.487,44	-
Prado (BA)	108.332,07	-
Primavera do Leste (MT)	295.434,91	1.758.524,71
Querência (MT)	138.315,93	1.900.412,56
Rancharia (SP)	221.293,55	-
Recife (PE)	224.861,57	-
Renascença (PR)	1.036.992,39	-
Rio Casca (MG)	580.641,88	-
Rio Grande (RS)	379.421,88	11.372.731,64
Salto de Pirapora (SP)	574.344,83	-

Tabela A4. Demanda de soja e milho por centroide de mesorregião e porto (conclusão)

Destino	Demanda de milho (t)	Demanda de soja (t)
Salvador (BA)	104.627,33	2.693.166,21
Santa Maria de Jetibá (ES)	636.161,75	-
Santarém (PA)	1.666.858,14	1.027.238,67
Santo Antônio do Leverger (MT)	208.378,75	-
Santos (SP)	13.239.844,14	13.031.788,57
São Bento do Una (PE)	597.325,02	-
São Cristóvão (SE)	120.032,39	-
São Desidério (BA)	233.138,25	1.629.001,79
São Francisco do Sul (SC)	2.783.404,67	4.614.863,52
São Gabriel (RS)	137.319,90	548.811,11
São Luís (MA)	2.045.243,00	5.004.498,75
São Paulo (SP)	1.695.298,14	-
São Pedro da Aldeia (RJ)	85.576,80	-
Serra do Ramalho (BA)	74.049,50	-
Serra Talhada (PE)	103.588,73	-
Sertaneja (PR)	489.676,07	462.920,32
Sete Barras (SP)	25.585,72	-
Sidrolândia (MS)	402.207,68	1.131.236,32
Simão Dias (SE)	89.132,98	-
Sorriso (MT)	1.468.738,37	2.590.401,58
Tailândia (PA)	216.405,30	-
Taió (SC)	322.449,49	-
Tangará da Serra (MT)	179.668,08	305.479,04
Tavares (PB)	44.774,97	-
Teixeira Soares (PR)	151.399,36	-
Tianguá (CE)	214.961,47	-
Tietê (SP)	483.455,95	-
Toledo (PR)	2.978.260,17	874.176,83
Tupanciretã (RS)	79.949,02	1.628.061,72
Uberaba (MG)	1.341.215,41	1.190.842,67
Unaí (MG)	118.402,56	1.190.842,67
União (PI)	238.959,54	-
Varre-Sai (RJ)	29.634,34	-
Vilhena (RO)	303.388,89	274.405,55
Virgolândia (MG)	163.403,76	-
Vitória (ES)	2.357.049,87	3.771.931,37

ANEXO H. Capacidades de armazenagem**Tabela A5.** Capacidades de armazenagem dentro da fazenda e externa à fazenda consideradas para a modelagem da cadeia de suprimentos (continua)

Centroide representativo da mesorregião	Capacidade de armazenagem externa à fazenda (t)	Capacidade de armazenagem dentro da fazenda (t)
Acauã (PI)	-	-
Altamira (PA)	5.024,67	-
Alto Alegre (RR)	62.877,80	-
Alto Piquiri (PR)	657.311,88	14.917,44
Apuí (AM)	3.035,12	-
Araucária (PR)	925.150,59	-
Baixa Grande do Ribeiro (PI)	-	-
Balsas (MA)	1.405.658,14	-
Barão (RS)	284.973,12	100.909,24
Barra do Choça (BA)	5.462,77	982,77
Beberibe (CE)	8.220,38	-
Birigui (SP)	243.776,90	13.270,61
Boa Hora (PI)	-	-
Boa Viagem (CE)	30.632,10	-
Brasília (DF)	432.430,41	45.779,35
Brejo (MA)	51.281,95	56.589,51
Buritcupu (MA)	41.748,00	-
Buritzeiro (MG)	125.761,87	-
Campo Erê (SC)	1.990.584,81	30.033,59
Campos Lindos (TO)	533.733,27	-
Campos Novos (SC)	541.719,23	4.740,84
Cândido Mota (SP)	1.269.182,86	108.257,08
Canguçu (RS)	952.571,59	127.014,16
Carandaí (MG)	67.123,69	6.159,14
Careiro (AM)	1.578,46	-
Carira (SE)	-	-
Carmo do Cajuru (MG)	270.065,37	11.956,45
Casa Branca (SP)	559.703,17	-
Castro (PR)	2.391.663,06	358.382,58
Chapadão do Sul (MS)	855.897,72	669.831,90
Craíbas (AL)	10.733,72	-
Cristalina (GO)	1.008.274,39	246.602,45
Cruz Alta (RS)	10.261.266,88	1.442.735,88
Cruzeiro do Sul (RS)	1.291.347,53	89.356,26
Dois Irmãos do Buriti (MS)	64.464,88	-
Feijó (AC)	13.846,71	-
Feira de Santana (BA)	57.729,09	-
Grajaú (MA)	16.289,67	-
Guaira (SP)	739.420,92	-
Guarapuava (PR)	2.475.463,53	220.816,03
Iacri (SP)	42.564,35	24.099,18
Icó (CE)	-	-
Iracema (RR)	3.354,75	-
Itaberaí (GO)	531.427,39	56.374,35
Itapeva (SP)	548.837,14	131.314,96
Itápolis (SP)	80.648,20	-
Jacinto (MG)	4.634,54	-
Japaraíba (MG)	17.153,46	-
Jataí (GO)	9.096.616,57	1.001.510,27
Limoeiro do Norte (CE)	448,83	775,86
Linhares (ES)	6.190,04	-
Londrina (PR)	5.583.176,67	305.492,59
Macaé (RJ)	1.038,33	-
Macapá (AP)	6.238,34	-

Tabela A5. Capacidades de armazenagem dentro da fazenda e externa à fazenda consideradas para a modelagem da cadeia de suprimentos (continua)

Centroide representativo da mesorregião	Capacidade de armazenagem externa à fazenda (t)	Capacidade de armazenagem dentro da fazenda (t)
Mafrá (SC)	461.469,25	37.678,22
Malacacheta (MG)	-	-
Mamborê (PR)	2.601.830,12	316.553,67
Maracaju (MS)	4.286.339,40	652.980,32
Massaranduba (PB)	-	-
Missão Velha (CE)	15.208,20	-
Montes Claros de Goiás (GO)	128.903,91	-
Muitos Capões (RS)	1.242.556,56	103.593,09
Niquelândia (GO)	196.801,83	48.055,23
Palhoça (SC)	2.780,22	-
Paragominas (PA)	101.284,17	248.008,46
Paranapanema (SP)	398.780,12	13.256,39
Paripiranga (BA)	77.370,97	-
Passos (MG)	1.301.549,15	30.356,62
Paulo de Faria (SP)	316.765,18	-
Pedras Grandes (SC)	115.701,78	-
Peixe (TO)	875.873,96	126.940,08
Penalva (MA)	5.256,54	-
Petrolina (PE)	-	-
Pindamonhangaba (SP)	16.034,19	-
Pitangui (MG)	138.428,20	-
Porto Acre (AC)	2.950,19	-
Porto Velho (RO)	67.206,83	-
Primavera do Leste (MT)	4.172.731,66	2.781.825,83
Querência (MT)	2.191.133,81	731.092,03
Rancharia (SP)	240.610,70	13.037,92
Renascença (PR)	1.645.891,04	-
Rio Casca (MG)	196.017,52	-
Salto de Pirapora (SP)	151.287,79	-
Santa Isabel do Rio Negro (AM)	-	-
Santa Maria de Jetibá (ES)	11.887,87	-
Santarém (PA)	95.589,00	37.903,01
Santo Antônio do Leverger (MT)	564.678,48	-
São Bento do Una (PE)	-	-
São Cristóvão (SE)	-	-
São Desidério (BA)	2.964.878,38	291.857,97
São Gabriel (RS)	1.252.690,20	287.958,70
São Paulo (SP)	1.060,29	-
Serra do Ramalho (BA)	4.749,33	-
Serra Talhada (PE)	-	-
Sertaneja (PR)	1.133.534,86	39.425,88
Sidrolândia (MS)	1.253.267,90	452.341,11
Simão Dias (SE)	3.180,80	-
Sorriso (MT)	14.343.782,53	5.690.457,28
Tailândia (PA)	16.271,78	-
Taió (SC)	243.273,46	-
Tangará da Serra (MT)	489.269,72	77.846,94
Teixeira Soares (PR)	669.240,41	13.337,91
Tianguá (CE)	5.793,03	-
Tietê (SP)	149.439,48	-
Toledo (PR)	4.940.491,77	108.087,35
Tupanciretã (RS)	1.761.948,95	258.325,54
Uberaba (MG)	4.364.056,89	145.300,63

Tabela A5. Capacidades de armazenagem dentro da fazenda e externa à fazenda consideradas para a modelagem da cadeia de suprimentos (conclusão)

Centroide representativo da mesorregião	Capacidade de armazenagem externa à fazenda (t)	Capacidade de armazenagem dentro da fazenda (t)
Unaí (MG)	1.220.415,24	197.292,07
União (PI)	-	-
Vilhena (RO)	650.657,49	-
Virgolândia (MG)	26.048,76	-

ANEXO I. Preços de fretes ferroviários e hidroviários**Tabela A6.** Preços de fretes ferroviários e hidroviários por fluxo considerados para a modelagem da cadeia de suprimentos

Modal	Origem	Destino	Preço de frete (R\$/t)
Ferrovário	Palmeirante (TO)	São Luís (MA)	82,54
Ferrovário	Porto Nacional (TO)	São Luís (MA)	108,23
Ferrovário	Porto Franco (MA)	São Luís (MA)	65,83
Ferrovário	Araguari (MG)	Vitória (ES)	92,97
Ferrovário	Pirapora (MG)	Vitória (ES)	76,56
Ferrovário	Santa Luzia (MG)	Vitória (ES)	51,81
Ferrovário	Uberlândia (MG)	Santos (SP)	63,51
Ferrovário	Sumaré (SP)	Santos (SP)	29,23
Ferrovário	Cascavel (PR)	Paranaguá (PR)	57,00
Ferrovário	Guarapuava (PR)	Paranaguá (PR)	39,31
Ferrovário	Londrina (PR)	Paranaguá (PR)	49,01
Ferrovário	Marialva (PR)	Paranaguá (PR)	50,36
Ferrovário	Maringá (PR)	Paranaguá (PR)	51,66
Ferrovário	Ponta Grossa (PR)	Paranaguá (PR)	29,14
Ferrovário	Rolândia (PR)	Paranaguá (PR)	50,33
Ferrovário	Sarandi (PR)	Paranaguá (PR)	51,19
Ferrovário	Alegrete (RS)	Rio Grande (RS)	52,09
Ferrovário	Cacequi (RS)	Rio Grande (RS)	46,71
Ferrovário	Carazinho (RS)	Rio Grande (RS)	53,74
Ferrovário	Cruz Alta (RS)	Rio Grande (RS)	48,51
Ferrovário	Ijuí (RS)	Rio Grande (RS)	51,70
Ferrovário	Júlio de Castilhos (RS)	Rio Grande (RS)	43,57
Ferrovário	Passo Fundo (RS)	Rio Grande (RS)	53,76
Ferrovário	Santa Rosa (RS)	Rio Grande (RS)	58,65
Ferrovário	Santo Ângelo (RS)	Rio Grande (RS)	54,78
Ferrovário	Tupanciretã (RS)	Rio Grande (RS)	45,43
Ferrovário	Alto Araguaia (MT)	Santos (SP)	101,07
Ferrovário	Itiquira (MT)	Santos (SP)	124,46
Ferrovário	Rondonópolis (MT)	Santos (SP)	115,99
Hidroviário	Itaituba (PA)	Santarém (PA)	17,00
Hidroviário	Porto Velho (RO)	Barcarena (PA)	60,00
Hidroviário	São Simão (GO)	Santos (SP)	30,00

ANEXO J. Relação entre as mesorregiões e os centroides representativos**Tabela A7.** Relação de correspondência entre as mesorregiões consideradas e os centroides representativos (continua)

Unidade Federativa	Mesorregião	Centroides considerados
Acre	Vale do Acre	Porto Acre (AC)
Acre	Vale do Juruá	Feijó (AC)
Alagoas	Agreste Alagoano	Craíbas (AL)
Alagoas	Leste Alagoano	Maceió (AL)
Alagoas	Sertão Alagoano	Belo Monte (AL)
Amapá	Sul do Amapá	Macapá (AP)
Amazonas	Centro Amazonense	Careiro (AM)
Amazonas	Centro Amazonense	Manaus (AM)
Amazonas	Norte Amazonense	Santa Isabel do Rio Negro (AM)
Amazonas	Sudoeste Amazonense	Guajará (AM)
Amazonas	Sul Amazonense	Apuí (AM)
Bahia	Centro Norte Baiano	Feira de Santana (BA)
Bahia	Centro Sul Baiano	Barra do Choça (BA)
Bahia	Extremo Oeste Baiano	São Desidério (BA)
Bahia	Metropolitana de Salvador	Camaçari (BA)
Bahia	Metropolitana de Salvador	Salvador (BA)
Bahia	Nordeste Baiano	Paripiranga (BA)
Bahia	Sul Baiano	Prado (BA)
Bahia	Vale São-Franciscano da Bahia	Serra do Ramalho (BA)
Ceará	Centro-Sul Cearense	Icó (CE)
Ceará	Jaguaribe	Limoeiro do Norte (CE)
Ceará	Metropolitana de Fortaleza	Maranguape (CE)
Ceará	Noroeste Cearense	Tianguá (CE)
Ceará	Norte Cearense	Beberibe (CE)
Ceará	Sertões Cearenses	Boa Viagem (CE)
Ceará	Sul Cearense	Missão Velha (CE)
Distrito Federal	Distrito Federal	Brasília (DF)
Espírito Santo	Central Espírito-santense	Santa Maria de Jetibá (ES)
Espírito Santo	Central Espírito-santense	Vitória (ES)
Espírito Santo	Litoral Norte Espírito-santense	Linhares (ES)
Espírito Santo	Noroeste Espírito-santense	Baixo Guandu (ES)
Espírito Santo	Sul Espírito-santense	Muqui (ES)
Goiás	Centro Goiano	Itaberaí (GO)
Goiás	Leste Goiano	Cristalina (GO)
Goiás	Noroeste Goiano	Montes Claros de Goiás (GO)
Goiás	Norte Goiano	Niquelândia (GO)
Goiás	Sul Goiano	Jataí (GO)
Maranhão	Centro Maranhense	Grajaú (MA)
Maranhão	Leste Maranhense	Brejo (MA)
Maranhão	Norte Maranhense	Penalva (MA)
Maranhão	Norte Maranhense	São Luís (MA)
Maranhão	Oeste Maranhense	Buritcupu (MA)
Maranhão	Sul Maranhense	Balsas (MA)
Mato Grosso	Centro-Sul Mato-grossense	Santo Antônio do Leverger (MT)

Tabela A7. Relação de correspondência entre as mesorregiões consideradas e os centroides representativos (continua)

Unidade Federativa	Mesorregião	Centroides considerados
Mato Grosso	Nordeste Mato-grossense	Querência (MT)
Mato Grosso	Norte Mato-grossense	Sorriso (MT)
Mato Grosso	Sudeste Mato-grossense	Primavera do Leste (MT)
Mato Grosso	Sudoeste Mato-grossense	Tangará da Serra (MT)
Mato Grosso do Sul	Centro Norte de Mato Grosso do Sul	Sidrolândia (MS)
Mato Grosso do Sul	Leste de Mato Grosso do Sul	Chapadão do Sul (MS)
Mato Grosso do Sul	Pantanaís Sul Mato-grossense	Dois Irmãos do Buriti (MS)
Mato Grosso do Sul	Sudoeste de Mato Grosso do Sul	Maracaju (MS)
Minas Gerais	Campo das Vertentes	Carandaí (MG)
Minas Gerais	Central Mineira	Japaraíba (MG)
Minas Gerais	Jequitinhonha	Jacinto (MG)
Minas Gerais	Metropolitana de Belo Horizonte	Pitangui (MG)
Minas Gerais	Noroeste de Minas	Unaí (MG)
Minas Gerais	Norte de Minas	Buritizinho (MG)
Minas Gerais	Oeste de Minas	Carmo do Cajuru (MG)
Minas Gerais	Sul/Sudoeste de Minas	Passos (MG)
Minas Gerais	Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	Uberaba (MG)
Minas Gerais	Vale do Mucuri	Malacacheta (MG)
Minas Gerais	Vale do Rio Doce	Virgolândia (MG)
Minas Gerais	Zona da Mata	Rio Casca (MG)
Pará	Baixo Amazonas	Santarém (PA)
Pará	Marajó	Breves (PA)
Pará	Metropolitana de Belém	Barcarena (PA)
Pará	Metropolitana de Belém	Belém (PA)
Pará	Metropolitana de Belém	Castanhal (PA)
Pará	Nordeste Paraense	Tailândia (PA)
Pará	Sudeste Paraense	Paragominas (PA)
Pará	Sudoeste Paraense	Altamira (PA)
Paraíba	Agreste Paraibano	Massaranduba (PB)
Paraíba	Borborema	Monteiro (PB)
Paraíba	Mata Paraibana	João Pessoa (PB)
Paraíba	Sertão Paraibano	Tavares (PB)
Paraná	Centro Ocidental Paranaense	Mamborê (PR)
Paraná	Centro Oriental Paranaense	Castro (PR)
Paraná	Centro-Sul Paranaense	Guarapuava (PR)
Paraná	Metropolitana de Curitiba	Araucária (PR)
Paraná	Metropolitana de Curitiba	Paranaguá (PR)
Paraná	Noroeste Paranaense	Alto Piquiri (PR)
Paraná	Norte Central Paranaense	Londrina (PR)
Paraná	Norte Pioneiro Paranaense	Sertaneja (PR)
Paraná	Oeste Paranaense	Toledo (PR)
Paraná	Sudeste Paranaense	Teixeira Soares (PR)
Paraná	Sudoeste Paranaense	Renascença (PR)
Pernambuco	Agreste Pernambucano	São Bento do Una (PE)

Tabela A7. Relação de correspondência entre as mesorregiões consideradas e os centroides representativos (continua)

Unidade Federativa	Mesorregião	Centroides considerados
Pernambuco	Mata Pernambucana	Ferreiros (PE)
Pernambuco	Metropolitana de Recife	Recife (PE)
Pernambuco	São Francisco Pernambucano	Petrolina (PE)
Pernambuco	Sertão Pernambucano	Serra Talhada (PE)
Piauí	Centro-Norte Piauiense	União (PI)
Piauí	Norte Piauiense	Boa Hora (PI)
Piauí	Sudeste Piauiense	Acauã (PI)
Piauí	Sudoeste Piauiense	Baixa Grande do Ribeiro (PI)
Rio de Janeiro	Baixadas	São Pedro da Aldeia (RJ)
Rio de Janeiro	Centro Fluminense	Paraíba do Sul (RJ)
Rio de Janeiro	Metropolitana do Rio de Janeiro	Magé (RJ)
Rio de Janeiro	Noroeste Fluminense	Varre-Sai (RJ)
Rio de Janeiro	Norte Fluminense	Macaé (RJ)
Rio de Janeiro	Sul Fluminense	Porto Real (RJ)
Rio Grande do Norte	Agreste Potiguar	Lagoa Salgada (RN)
Rio Grande do Norte	Central Potiguar	Jardim do Seridó (RN)
Rio Grande do Norte	Leste Potiguar	Extremoz (RN)
Rio Grande do Norte	Oeste Potiguar	Mossoró (RN)
Rio Grande do Sul	Centro Ocidental Rio-grandense	Tupanciretã (RS)
Rio Grande do Sul	Centro Oriental Rio-grandense	Cruzeiro do Sul (RS)
Rio Grande do Sul	Metropolitana de Porto Alegre	Barão (RS)
Rio Grande do Sul	Nordeste Rio-grandense	Muitos Capões (RS)
Rio Grande do Sul	Noroeste Rio-grandense	Cruz Alta (RS)
Rio Grande do Sul	Sudeste Rio-grandense	Canguçu (RS)
Rio Grande do Sul	Sudeste Rio-grandense	Rio Grande (RS)
Rio Grande do Sul	Sudoeste Rio-grandense	São Gabriel (RS)
Rondônia	Leste Rondoniense	Vilhena (RO)
Rondônia	Madeira-Guaporé	Porto Velho (RO)
Roraima	Norte de Roraima	Alto Alegre (RR)
Roraima	Sul de Roraima	Iracema (RR)
Santa Catarina	Grande Florianópolis	Palhoça (SC)
Santa Catarina	Norte Catarinense	Mafra (SC)
Santa Catarina	Norte Catarinense	São Francisco do Sul (SC)
Santa Catarina	Oeste Catarinense	Campo Erê (SC)
Santa Catarina	Serrana	Campos Novos (SC)
Santa Catarina	Sul Catarinense	Pedras Grandes (SC)
Santa Catarina	Sul Catarinense	Imbituba (SC)
Santa Catarina	Vale do Itajaí	Taió (SC)
Santa Catarina	Vale do Itajaí	Itajaí (SC)
São Paulo	Araçatuba	Birigui (SP)
São Paulo	Araraquara	Itápolis (SP)
São Paulo	Assis	Cândido Mota (SP)
São Paulo	Bauru	Paranapanema (SP)
São Paulo	Campinas	Casa Branca (SP)
São Paulo	Itapetininga	Itapeva (SP)

Tabela A7. Relação de correspondência entre as mesorregiões consideradas e os centroides representativos (conclusão)

Unidade Federativa	Mesorregião	Centroides considerados
São Paulo	Litoral Sul Paulista	Sete Barras (SP)
São Paulo	Macro Metropolitana Paulista	Salto de Pirapora (SP)
São Paulo	Marília	Iacri (SP)
São Paulo	Metropolitana de São Paulo	São Paulo (SP)
São Paulo	Metropolitana de São Paulo	Santos (SP)
São Paulo	Piracicaba	Tietê (SP)
São Paulo	Presidente Prudente	Rancharia (SP)
São Paulo	Ribeirão Preto	Guaíra (SP)
São Paulo	São José do Rio Preto	Paulo de Faria (SP)
São Paulo	Vale do Paraíba Paulista	Pindamonhangaba (SP)
Sergipe	Agreste Sergipano	Simão Dias (SE)
Sergipe	Leste Sergipano	São Cristóvão (SE)
Sergipe	Sertão Sergipano	Carira (SE)
Tocantins	Ocidental do Tocantins	Peixe (TO)
Tocantins	Oriental do Tocantins	Campos Lindos (TO)