

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RENAN ALVES DO NASCIMENTO

IMPLEMENTAÇÃO DE UM ALGORITMO PARA SOLUÇÃO DO CAMINHO DE  
CUSTO MÍNIMO NA LOGÍSTICA APLICADA AO TRANSPORTE  
RODOVIÁRIO DE SOJA DO ESTADO DE MATO GROSSO

CURITIBA

2014

RENAN ALVES DO NASCIMENTO

IMPLEMENTAÇÃO DE UM ALGORITMO PARA SOLUÇÃO DO CAMINHO DE  
CUSTO MÍNIMO NA LOGÍSTICA APLICADA AO TRANSPORTE  
RODOVIÁRIO DE SOJA DO ESTADO DE MATO GROSSO

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito  
parcial à obtenção do grau de Engenheiro Civil no  
curso de graduação em Engenharia Civil, Setor de  
Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. José Geraldo Maderna Leite

CURITIBA

2014

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

RENAN ALVES DO NASCIMENTO

### **IMPLEMENTAÇÃO DE UM ALGORITMO PARA SOLUÇÃO DO CAMINHO DE CUSTO MÍNIMO NA LOGÍSTICA APLICADA AO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE SOJA DO ESTADO DE MATO GROSSO**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Civil no curso de graduação em Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

---

Prof. José Geraldo Maderna Leite  
Orientador – Departamento de Transportes, UFPR

---

Prof. José Thomaz Mendes Filho  
Departamento de Transportes, UFPR

---

Prof. José Eduardo Pécora Junior  
Departamento de Administração Geral e Aplicada, UFPR

Curitiba, 11 de dezembro de 2014.

**Dedicado ao meu avô Airton (*in memoriam*), pelas palavras de incentivo e por ter tornado-se mais próximo de mim em seus últimos anos de vida.**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, criador da Terra e do Universo, por ter demonstrado em vários momentos da minha vida que sou protegido, guiado e iluminado pela sua presença divina no mais íntimo do meu ser;

Aos meus pais e meus heróis, Sócrates e Creuza, por todo o amor, carinho e apoio incondicional, me deram a vida e me ensinaram a vivê-la com dignidade, e jamais mediram esforços para investir na minha formação e me encorajar a seguir em frente;

Ao Prof. José Geraldo Maderna Leite, orientador de estágio no ITTI e deste Trabalho Final de Curso, que me despertou o interesse pela Logística, por toda a confiança depositada desde o início, pela paciência e compreensão no momento em que este trabalho quase ficou comprometido;

Ao Prof. José Thomaz Mendes Filho, orientador no programa de iniciação à docência na disciplina Economia de Engenharia, um dos professores mais prestativos do curso, proporcionou algo além do esperado nas atividades usuais de monitoria, que me agregou conhecimento e experiência;

Ao Prof. José Eduardo Pécora Junior, que pude conhece-lo em razão do desenvolvimento deste trabalho e aceitou prontamente, sem hesitações, o convite para fazer parte da banca examinadora;

Ao ITTI - Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de fazer parte da equipe na condição de estagiário, permitindo a conclusão deste trabalho;

Aos familiares, amigos e colegas, não citando nomes para não correr o risco de cometer injustiças, que de alguma forma contribuíram ao longo desses anos para tornar minha estadia em Curitiba menos sacrificante.

**“O homem é mortal por seus temores e imortal por seus desejos.”**

**Pitágoras**

**“Se tu podes crer, tudo é possível ao que crê.”**

**Marcos 9:23**

## RESUMO

O comércio internacional abrange vários tipos de *commodities*. A soja, tratada no trabalho, tem sido um dos focos na exportação do Brasil. Mato Grosso tornou-se o centro da indústria de soja do Brasil. Considerando os estados brasileiros, Mato Grosso tem a maior produção seguido por Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás e Mato Grosso do Sul. Os custos de transporte relacionados a logística de escoamento da soja brasileira até o porto fazem com que os exportadores tenham uma perda grande no valor final do produto, e ainda, que o Brasil diminua sua competitividade no mercado internacional. Este estudo tem o objetivo de analisar as rotas de escoamento de exportação da soja do Mato Grosso destacando variáveis de natureza logística e propondo aplicações de técnicas matemáticas de otimização. Para determinação da rota, propõe-se o uso do algoritmo de menor caminho da teoria de grafos, utilizando o algoritmo de Dijkstra.

**Palavras-chave:** Soja, Logística, Custos de transporte, Pesquisa Operacional, Teoria dos Grafos, Algoritmo de Dijkstra.

## **ABSTRACT**

International trade covers various types of commodities. Soybean, treated at this work, has been a focus on export of Brazil. Mato Grosso has become the center of Brazil's soybean industry. Considering the Brazilian states, Mato Grosso has the largest production followed by Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás and Mato Grosso do Sul. Transportation costs related to logistics flow of Brazilian soybean to the port makes exporters have a big loss in the final product, and also that Brazil loses competitiveness in the international market. This study aims to analyze the routes flow of Mato Grosso's soybean exports highlighting variable logistic nature and proposing applications of mathematical optimization techniques. To determine the route, it is proposed to use the shortest path algorithm from graph theory, using Dijkstra's Algorithm.

**Keywords:** Soybean, Logistics, Transportation costs, Operations Research, Graph Theory, Dijkstra's Algorithm.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Ciclo da soja, milho e cana-de-açúcar no Brasil.....	22
FIGURA 2 - Expansão da produção de soja no Brasil 1989-2010. ....	23
FIGURA 3 - Fluxograma da soja. ....	25
FIGURA 4 - Produção de soja por estado na safra 2012/13, em milhões de toneladas.....	26
FIGURA 5 - Divisão de macrorregiões do estado de Mato Grosso. ....	28
FIGURA 6 - Exportação de soja do Brasil para o mundo. ....	30
FIGURA 7 - Malha rodoviária do estado do Mato Grosso. ....	37
FIGURA 8 - Fluxograma dos caminhões de transportadoras no transporte de cargas. ....	38
FIGURA 9 - Fases de um estudo da pesquisa operacional.....	45
FIGURA 10 - Gráfico de Gantt no Microsoft Project para o cálculo do caminho crítico.....	46
FIGURA 11 - As sete pontes que cruzavam o rio Pregel na cidade de Königsberg. ....	47
FIGURA 12 - Exemplo de grafo $G(V, E)$ .....	48
FIGURA 13 - Exemplo de grafo orientado (dígrafo). ....	49
FIGURA 14 - Exemplo de grafo ponderado (valorado). ....	49
FIGURA 15 - Fluxograma do Algoritmo de Dijkstra.....	53
FIGURA 16 - Exemplo de árvore.....	54
FIGURA 17 - Formação da árvore geradora mínima a partir da aplicação do Algoritmo de Dijkstra. ....	54
FIGURA 18 - Regiões escolhidas para o estudo de caso. ....	55
FIGURA 19 - Programa do algoritmo de Dijkstra em linguagem C. ....	57
FIGURA 20 - Malha rodoviária da região 3 – Nordeste.....	66
FIGURA 21 - Grafo da região 3 – Nordeste .....	67
FIGURA 22 - Árvore geradora mínima a partir da cidade de Canarana.....	70
FIGURA 23 - Malha rodoviária da região 5 – Oeste.....	70
FIGURA 24 - Grafo e árvore geradora mínima da região 5 – Oeste. ....	71
FIGURA 25 - Malha rodoviária da região 7 – Sudeste .....	72
FIGURA 26 - Grafo da região 7 – Sudeste.....	73

FIGURA 27 - Árvore geradora mínima a partir da cidade de Primavera do Leste	74
FIGURA 28 - Malha rodoviária da região 4 – Médio-Norte.....	75
FIGURA 29 - Grafo da região 7 – Sudeste.....	76
FIGURA 30 - Árvore geradora mínima a partir da cidade de Sorriso. ....	78
FIGURA 31 - Árvore geradora mínima a partir da cidade de Lucas do Rio Verde.....	79
FIGURA 32 – Determinação da malha rodoviária do estado do Mato Grosso.	80
FIGURA 33 - Determinação da malha rodoviária brasileira.....	81
FIGURA 34 - Grafo da malha rodoviária brasileira.....	82
FIGURA 35 - Árvore geradora mínima a partir das cidades de Sorriso e Lucas do Rio Verde, até os portos.....	85
FIGURA 36 - Árvore geradora mínima a partir da cidade de Canarana, até os portos. ....	85
FIGURA 37 - Árvore geradora mínima a partir da cidade de Sapezal, até os portos. ....	86
FIGURA 38 - Árvore geradora mínima a partir da cidade de Primavera do Leste, até os portos.....	86
FIGURA 39 - Trajeto Sorriso/MT-Santos/SP.....	89
FIGURA 40 - Cálculo do custo logístico rodoviário utilizando o programa HDM-VOC. ....	92
FIGURA 41 - Exportação de Soja do Brasil para Japão – Cenário Atual. ....	93
FIGURA 42 - Exportação de Soja do Brasil para Japão – Cenário Futuro.....	94

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Área plantada e produção brasileira de soja por hectare.....	24
GRÁFICO 2 - Representatividade dos portos brasileiros no escoamento da soja mato-grossense das últimas safras, em porcentagem.....	30
GRÁFICO 3 - Estimativa do custo peso (R\$/t). .....	61
GRÁFICO 4 - Estimativa do custo peso (R\$/1000t.km) .....	61
GRÁFICO 5 - Estimativa do frete rodoviário (R\$/t).....	64
GRÁFICO 6 - Estimativa do frete rodoviário (R\$/1000t.km).....	65

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Produção mundial de soja em milhões de toneladas. ....	21
TABELA 2 - Área produtiva nas regiões de Mato Grosso na safra 2013/14, em hectares.....	28
TABELA 3 - Alíquotas de custo valor. ....	42
TABELA 4 - Custos por km rodado de caminhão bitrem graneleiro para o estado de Mato Grosso em 2014 (R\$/km). ....	58
TABELA 5 - Custos fixos e variáveis de transporte para o caminhão bitrem graneleiro. ....	59
TABELA 6 - Estimativa do custo peso, com respectivos custo valor e GRIS...	60
TABELA 7 - Custos indiretos de transporte para o caminhão bitrem graneleiro. ....	62
TABELA 8 - Estimativa do frete rodoviário segundo classes de percurso.....	64
TABELA 9 - Distâncias entre as principais cidades produtoras da região 3 – Nordeste.....	67
TABELA 10 - Distâncias entre as principais cidades produtoras da região 5 – Oeste.....	71
TABELA 11 - Distâncias entre as principais cidades produtoras da região 7 – Sudeste. ....	73
TABELA 12 - Distâncias entre as principais cidades produtoras da região 4 – Médio-Norte.....	76
TABELA 13 - Distâncias entre as cidades do estado do Mato Grosso.....	80
TABELA 14 - Distâncias entre as cidades para os demais estados brasileiros. ....	81
TABELA 15 - Fretes rodoviários obtidos a partir das distâncias ótimas. ....	87
TABELA 16 - Frete rodoviário médio mensal de soja (R\$/t).....	90
TABELA 17 - Distâncias entre Portos do Brasil e Taiwan, China e Japão. ....	94

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
APROSOJA	Associação dos Produtores de Soja e Milho
ATC	Associação dos Transportadores de Cargas do Mato Grosso
BIT	Banco de Informações e Mapas de Transportes
CBOT	Chicago Board of Trade
CEGN	Centro de Estudos em Gestão Naval
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ERP	Enterprise Resources Planning
EUA	Estados Unidos da América
EVTEA	Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
GRIS	Gerenciamento de Risco
HDM-VOC	Vehicle Operating Costs Model
IBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMEA	Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária
ITTI	Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio
NTC&LOGÍSTICA	Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística
PIS	Programa de Integração Social
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SEPLAN	Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral
SIFRECA	Sistema de Informações de Fretes
USDA	United States Department of Agriculture

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....	16
1.2. OBJETIVOS .....	16
1.3. JUSTIFICATIVA .....	17
1.4. MOTIVAÇÃO .....	18
1.5. LIMITAÇÕES.....	19
1.6. ESTRUTURAÇÃO.....	20
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>21</b>
2.1. SOJA .....	21
2.1.1. A SOJA NO BRASIL .....	22
2.1.2. A SOJA NO ESTADO DE MATO GROSSO.....	27
2.1.3. EXPORTAÇÃO DA SOJA DO ESTADO DE MATO GROSSO .....	29
2.1.4. VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA SOJA NO BRASIL .....	31
2.2. LOGÍSTICA .....	32
2.2.1. LOGÍSTICA DE TRANSPORTES PARA A SOJA NO BRASIL.....	34
2.2.2. TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE SOJA DO ESTADO DO MATO GROSSO .....	36
2.2.3. CUSTOS LOGÍSTICOS E FORMAÇÃO DO FRETE RODOVIÁRIO .....	38
2.2.4. PESQUISA OPERACIONAL APLICADA À LOGÍSTICA DE TRANSPORTES.....	43
<b>2.3. TEORIA DOS GRAFOS .....</b>	<b>47</b>
2.3.1. O PROBLEMA DAS PONTES DE KÖNIGSBERG .....	47
2.3.2. CONCEITOS E DEFINIÇÕES DE GRAFOS .....	48
2.3.3. O PROBLEMA DO CAMINHO DE CUSTO MÍNIMO .....	50
2.3.4. ALGORITMO DE DIJKSTRA.....	51
2.3.5. ÁRVORE GERADORA MÍNIMA .....	53
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>55</b>
3.1. REGIÕES DE ESTUDO E DETERMINAÇÃO DA MALHA RODOVIÁRIA ..	55
3.2. PROGRAMA DO ALGORITMO DE DIJKSTRA .....	56
3.3. FORMAÇÃO DO FRETE RODOVIÁRIO DE SOJA.....	57
3.2.1. ESTIMATIVA DOS CUSTOS INDIRETOS E DO LUCRO .....	61
<b>4. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>66</b>
4.1. REGIÃO 3 – NORDESTE .....	66

4.2. REGIÃO 5 - OESTE .....	70
4.3. REGIÃO 7 – SUDESTE .....	72
4.4. REGIÃO 4 – MÉDIO-NORTE .....	75
4.5. TRANSPORTE DA SOJA ATÉ OS PORTOS.....	79
4.6. FRETES RODOVIÁRIOS .....	87
4.7. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	88
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>95</b>
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
5.2. TRABALHOS FUTUROS.....	97
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>98</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>105</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO**

Com o advento da globalização, as nações mundiais estão tendo um aumento do comércio internacional e a concorrência deixou de ser local para passar a ser global. O Brasil tem, cada vez mais, utilizado o agronegócio como uma estratégia de inserção na economia mundial. Observando a crescente demanda por alimentos no mundo e a importância da soja na produção de outros vários alimentos, a exportação da soja brasileira vem resultando em maior competitividade do país devido ao enfrentamento da concorrência internacional e desempenhando um importante papel no estado do Mato Grosso devido ao fomento da economia local e aumento da renda.

Isso significa que as empresas transportadoras devem repensar suas práticas e processos logísticos com a finalidade de buscar sempre a melhoria. No entanto, somente a busca por melhorias não dará garantias de torná-las organizações competitivas. Essas deverão planejar e aperfeiçoar suas atividades, dentre elas, as relativas a transportes, visando reduzir custos e tempo das operações, além da qualidade do atendimento aos seus clientes e fornecedores como forma de obter vantagens competitivas em relação aos concorrentes.

Na oferta de transporte de soja, prevalece o transporte rodoviário com a maioria das transferências realizadas por caminhões bitrens graneleiros, mesmo considerando que outros modais, apesar da escassez de recursos ferroviários e hidroviários, possam favorecer arranjos com menores custos logísticos.

A problemática do caminho de custo mínimo, que se originou da pesquisa operacional, é um fator determinante para os transportes. Para alcançar agilidade, pontualidade e baixo custo, empresas de transportes poderão valer-se de sistemas que permitam a elas otimizar os caminhos a serem percorridos.

### **1.2. OBJETIVOS**

O presente trabalho tem como objetivo a aplicação prática de uma técnica matemática da pesquisa operacional para solucionar o problema do caminho de



custo mínimo. Propõe-se a implementação do algoritmo de Dijkstra no contexto da logística do transporte rodoviário de soja do estado do Mato Grosso, para a otimização das rotas de escoamento da produção e, com base nesses dados, efetuar a estimativa dos custos logísticos do sistema rodoviário e seus fretes operacionais desde os centros de armazenagem das principais macrorregiões mato-grossenses, a serem determinados pelos “centroides” dos polos de produção agrícola, até a distribuição para os portos para exportação, analisando a possibilidade de melhor aproveitamento dos recursos.

Evidenciando a importância da logística, uma vez que pode afetar significativamente a competitividade das exportações, principalmente para produtos com baixo valor agregado, como é o caso da soja em grão, o trabalho tentará caracterizar as rotas ótimas para o escoamento da soja produzida no estado do Mato Grosso que se destinam ao comércio internacional.

O trabalho desenvolvido não tem a menor pretensão de ser um sistema para um usuário final, mas de ser um referencial para a implementação de um algoritmo que possa ser adaptado para atender as necessidades do usuário de acordo com o contexto onde será utilizado e, futuramente, melhorado para a introdução de uma rede multimodal de transportes de carga e geração de custos logísticos para cada modal, incluindo custos de transbordo e armazenagem, isto além da alocação das cargas considerando a previsão dos volumes de produção em toneladas e as capacidades máximas de operação de cada via.

### 1.3. JUSTIFICATIVA

Compreender os impactos da logística, que pode ser uma das ferramentas como fator de vantagem competitiva do Brasil na comercialização e exportação da soja no mundo globalizado de hoje, justifica a necessidade de um aprofundamento desse tema. A soja foi escolhida para a realização desse trabalho por ser um dos principais produtos comercializados internacionalmente pelo estado do Mato Grosso, e por sofrer grande impacto de um sistema de transporte deficiente.

A justificativa desta pesquisa se reforça com a necessidade de se reduzir o custo do frete ao cliente e com maior qualidade. Em tempos de globalização, em que a competição está cada vez mais acirrada, é extremamente necessário

implantar novas estratégias. Portanto, demonstrar os impactos da logística de transportes na comercialização de soja poderá servir até mesmo para formulações e incentivos de políticas públicas nos setores do agronegócio e do transporte rodoviário e multimodal.

A bibliografia sobre logística de transportes e problemas de caminhos de custos mínimos é imensa. No entanto, existem comparativamente poucos trabalhos que demonstrem sua aplicação prática e os benefícios proporcionados às empresas de transporte rodoviário de cargas através da obtenção da melhoria em seus processos, e à própria sociedade, justificando assim a elaboração desse estudo.

#### 1.4. MOTIVAÇÃO

Apesar de o presente trabalho ter sido produzido como parte dos requisitos necessários para a aprovação nas disciplinas Trabalho Final de Curso em Engenharia de Transportes I e II e obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil na Universidade Federal do Paraná, este foi realizado concomitantemente com os trabalhos no ITTI, na mesma instituição, para o EVTEA da Hidrovia do Rio Paraguai.

O autor do trabalho, embora tenha estagiado ao longo de sua vida acadêmica em áreas correlatas da construção civil, durante três anos em uma das mais conhecidas empresas de manutenção civil da cidade de Curitiba/PR e, posteriormente, atuado em uma empresa de incorporação e construção de empreendimentos na região metropolitana, sempre teve um viés com as áreas de economia, matemática e modelagem computacional.

Foi monitor das disciplinas Programação de Computadores e Economia de Engenharia, ministrada para vários cursos de engenharia da universidade, além de ter apresentado grande interesse pela Logística durante a graduação a partir das aulas ministradas pelo professor orientador deste trabalho na disciplina Planejamento de Transportes, em que teve a oportunidade de aprender algumas noções de Pesquisa Operacional.

Compreendendo a relevância que a Logística tem para um profissional de Engenharia Civil, suas técnicas e ferramentas podem ser empregadas mesmo

dentro do canteiro de obras, gerando redução de custos e desperdícios para garantir a qualidade e a produtividade na execução da obra.

O presente trabalho surgiu, portanto, a partir de trabalhos realizados na área socioeconômica e logística para o referido EVTEA, que demandava um ferramental que pudesse ser utilizado para a análise das rotas ótimas de escoamento da produção, considerando a alocação das cargas e os custos logísticos operacionais para os modais de transporte rodoviário, ferroviário e hidroviário, antes e depois da operação da hidrovía.

O trabalho realizado no ITTI foi oportunamente adaptado pelo autor para o contexto acadêmico, que pôde dar continuidade ao seu trabalho na graduação. Levando em conta que um Trabalho Final de Curso de Engenharia Civil deve ser um projeto prático, foi optado por tratar a respeito da otimização do transporte rodoviário da soja do estado de Mato Grosso para exportação a partir da aplicação de técnicas da pesquisa operacional, dada a abundância de informações disponíveis nas referências bibliográficas para a realização de um estudo de caso, e a familiaridade do autor com as áreas supracitadas, que estarão interligadas na medida do possível. Todavia, o projeto real tenderá para a multimodalidade, focando a Hidrovía do Rio Paraguai para o escoamento de todos os tipos de produtos da área de influência a ser estudada.

### 1.5. LIMITAÇÕES

O presente trabalho não abordará a questão da distribuição e fluxo das cargas, devido à dificuldade em mensurar separadamente o volume de produção destinado à exportação por cidade/macrorregião; Há limitações relacionadas à não consideração da capacidade das rodovias (velocidade, geometria das vias, declividade, número de faixas de rolamento, tipo da pista, estado de conservação, etc.); Da formação do preço da soja, entende-se que esta não é competência da Engenharia Civil. Restringe-se este estudo, portanto, aos custos logísticos de transporte e formação do frete rodoviário a partir de custos médios fornecidos para o caminhão bitrem graneleiro. A solução para os problemas logísticos, embora sejam comentadas, não é objeto deste estudo.

## 1.6. ESTRUTURAÇÃO

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, organizados da seguinte forma:

- o capítulo 1 pretende clarificar a importância do estudo da logística no transporte rodoviário, introduzindo o problema do caminho de custo mínimo como ferramenta de apoio à determinação das rotas de escoamento da soja produzida no estado de Mato Grosso;
- no capítulo 2 será apresentada uma revisão literária a respeito da produção, comercialização e exportação da soja brasileira e mato-grossense; conceitos logísticos envolvidos nesse processo e formação dos fretes rodoviários; inserção da pesquisa operacional e teoria dos grafos em apoio à logística de transportes;
- no capítulo 3, reservou-se um espaço para a metodologia adotada, que será baseada na determinação das áreas de influência do estudo, as principais cidades produtoras de soja e portos de exportação; o programa do algoritmo de Dijkstra em linguagem C; e a estimativa dos custos logísticos operacionais e respectiva formação do frete rodoviário;
- no capítulo 4, será aplicado o estudo de caso para verificação do método proposto, com a determinação das malhas rodoviárias e distâncias entre as cidades; aplicação do Algoritmo de Dijkstra para a malha de cada macrorregião, obtendo um “centroide” de armazenamento, e em seguida para a malha rodoviária nacional; determinação das árvores geradoras mínimas; cálculo dos fretes rodoviários; resultados obtidos e discussão; e
- finalmente, no capítulo 5, serão feitas as considerações finais, propondo-se, ainda, trabalhos futuros.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. SOJA

A soja (*Glycine hispida*), planta da família das leguminosas, é a principal oleaginosa cultivada no mundo, devido ao seu alto teor proteico (SILVA, 2005). Na alimentação humana, além do grão como alimento funcional, dá origem a vários produtos e subprodutos, como óleos, farinhas, leites, sucos, chocolates e temperos. Também pode ser encontrada na indústria química, na composição de tintas, graxas e combustíveis diversos.

A grande disponibilidade no mercado internacional, aliado ao aumento da produção em escala mundial de produtos com a presença de soja, torna-la uma das matérias-primas mais comercializadas para abastecer os grandes complexos agro industriais (SILVA, 2005).

Atualmente os principais países produtores de soja são os EUA, Brasil, Argentina e China, que juntos produzem aproximadamente 90% de toda a demanda mundial.

PAÍS	Safr							
	2009/10		2010/11		2011/12		2012/13	
Estados Unidos	91	35%	91	34%	84	35%	82	31%
Brasil	69	27%	75	28%	67	28%	82	31%
Argentina	55	21%	49	19%	40	17%	50	19%
China	15	6%	15	6%	14	6%	13	5%
Índia	10	4%	10	4%	11	5%	12	4%
Paraguai	6	2%	7	3%	4	2%	9	3%
Canadá	4	2%	4	2%	4	2%	5	2%
Outros	11	4%	13	5%	15	6%	15	6%
<b>TOTAL</b>	<b>260</b>	<b>100%</b>	<b>264</b>	<b>100%</b>	<b>239</b>	<b>100%</b>	<b>268</b>	<b>100%</b>

TABELA 1 - Produção mundial de soja em milhões de toneladas.

Fonte: O autor (2014), a partir de dados do USDA.

Na safra 2012/13, EUA e Brasil produziram, cada, cerca de 82 milhões de toneladas de soja, representando juntos cerca de 62% da produção mundial. Segundo estimativas da CONAB, a safra nacional 2013/14 deverá fazer do Brasil o maior produtor de soja do mundo, ultrapassando os EUA que sofreram com problemas climáticos durante a safra 2011/12, ocasionando queda na sua produção.

### 2.1.1. A soja no Brasil

O ciclo da soja é processo que compreende desde o preparo físico do solo e o plantio, até colheita, transporte, seleção, armazenamento, beneficiamento, industrialização, comercialização e exportação. No Brasil, esse ciclo ocorre em caráter anual e normalmente é alternado com a produção de milho, cujo plantio inicia-se na primavera, entre os meses de setembro e outubro. A duração do ciclo varia entre 90 e 120 dias, com previsão da colheita no ano seguinte, entre os meses de janeiro e fevereiro e estendendo-se durante todo o verão e início do outono, conforme demonstra a figura abaixo.

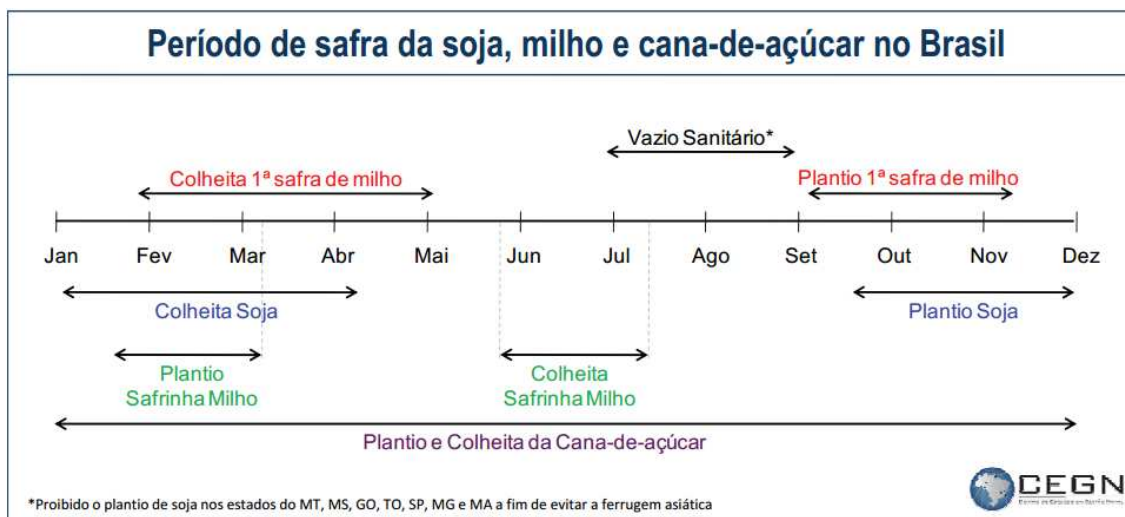


FIGURA 1 - Ciclo da soja, milho e cana-de-açúcar no Brasil.

Fonte: CEGN.

Segundo Câmara (1996), a soja chegou ao Brasil com a vinda dos imigrantes japoneses em 1908, embora oficialmente tenha sido introduzida em 1914 no estado do Rio Grande do Sul. Sua expansão, no entanto, se deu efetivamente a partir dos anos 70, com a implantação do cultivo de soja nas regiões de clima tropical no Brasil (Centro-Oeste, Norte e Nordeste).

A expansão da cultura da soja no Brasil foi um dos principais responsáveis pela introdução do conceito de agronegócio no país (CÂMARA, 1996). Além disso, a soja viabilizou a implantação das indústrias de óleo, cujo interesse era cada vez mais crescente, fomentou o mercado de sementes e, com o avanço da

produção, permitiu a exploração e estabilização econômica em regiões onde, até então, existiam somente matas e cerrados (OJIMA; ROCHA, 2005).

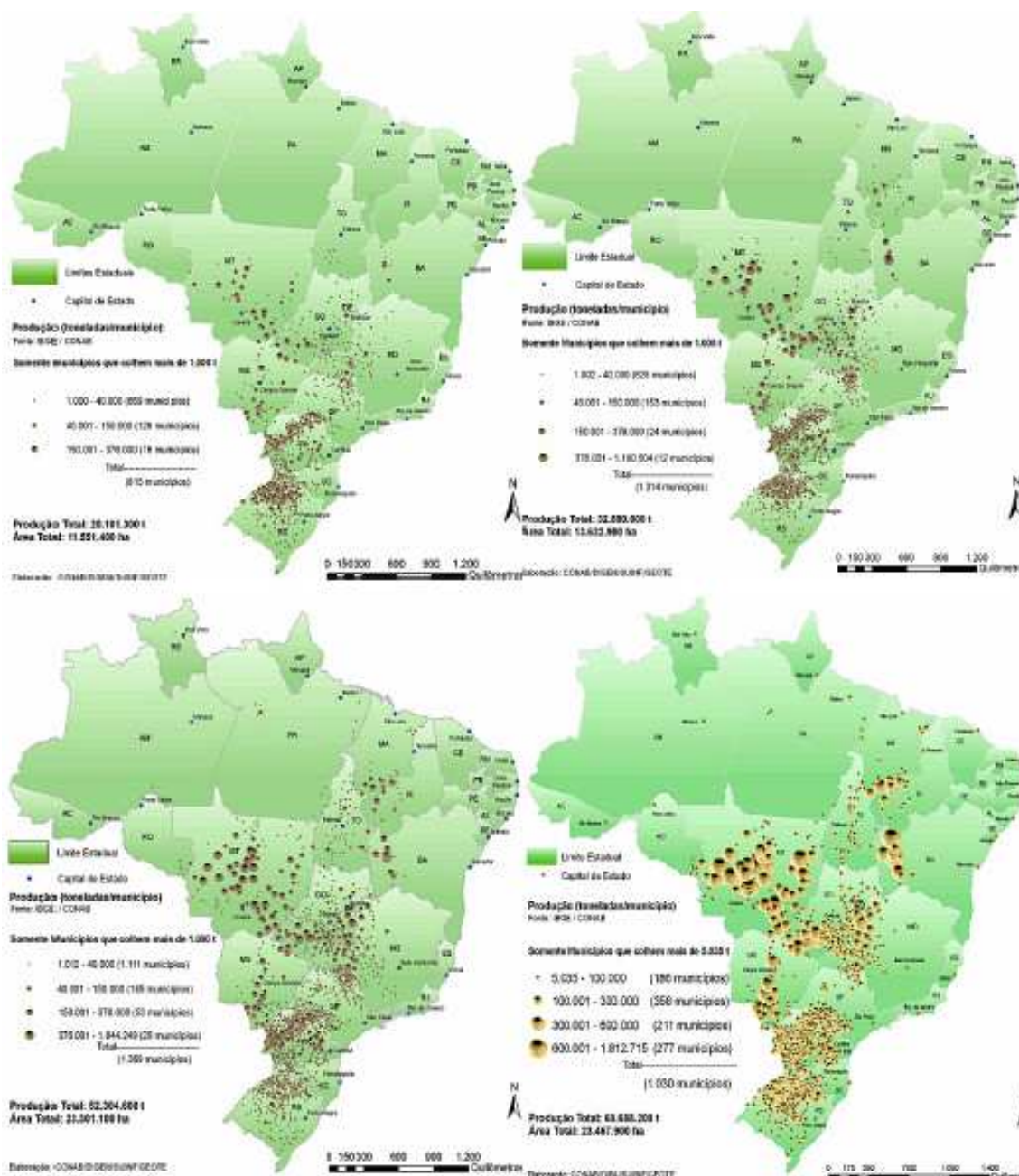


FIGURA 2 - Expansão da produção de soja no Brasil 1989-2010.

Fonte: CONAB.

As pragas e doenças são fatores limitantes no plantio de soja, principalmente nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins, São Paulo, Minas Gerais e Maranhão, sendo necessário um controle na produção. A prática mais comum é o chamado vazio sanitário, que é uma

época do ano na qual, por lei, é determinada a proibição da existência de plantas vivas no campo. Pode variar entre 60 e 90 dias dependendo da região, mas ocorre sempre na entressafra, entre os meses de julho e setembro. Essa medida foi tomada para controlar a quantidade de *uredosporos*, um fungo que causa a ferrugem asiática e que pode dizimar a lavoura.

A produtividade média de soja para o Brasil vem aumentando a cada ano, e na safra 2011/12 atingiu o pico de 3,1 toneladas por hectare. Exceto nas safras 2008/09 e 2011/12, quando aconteceram pequenas quedas, a produtividade brasileira de soja por hectare vem aumentando significativamente desde a safra 2006/07.

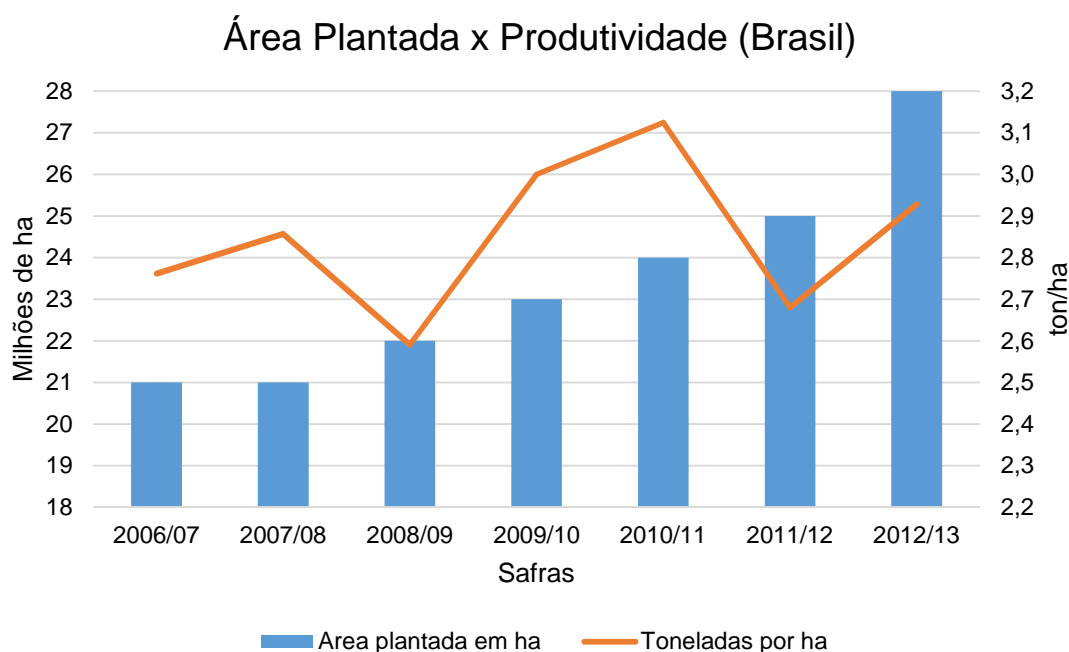


GRÁFICO 1 - Área plantada e produção brasileira de soja por hectare.

Fonte: O autor (2014) - Dados do IBGE e USDA.

A soja pode ser utilizada em produtos dos mais diversos mercados. No Brasil, aproximadamente 15% da produção de soja em grão são destinadas à fabricação de óleo. A partir do óleo extraído do grão, são produzidos óleo de cozinha, tempero de saladas, margarinas, gordura vegetal e maionese. Do processo de obtenção do óleo refinado de soja, obtém-se a lecitina, um agente emulsificante que pode ser encontrado em salsichas, maioneses, sorvetes, achocolatados, barras de cereais e produtos congelados.



A figura abaixo demonstra o caminho da soja brasileira e a porcentagens de uso para cada derivado.

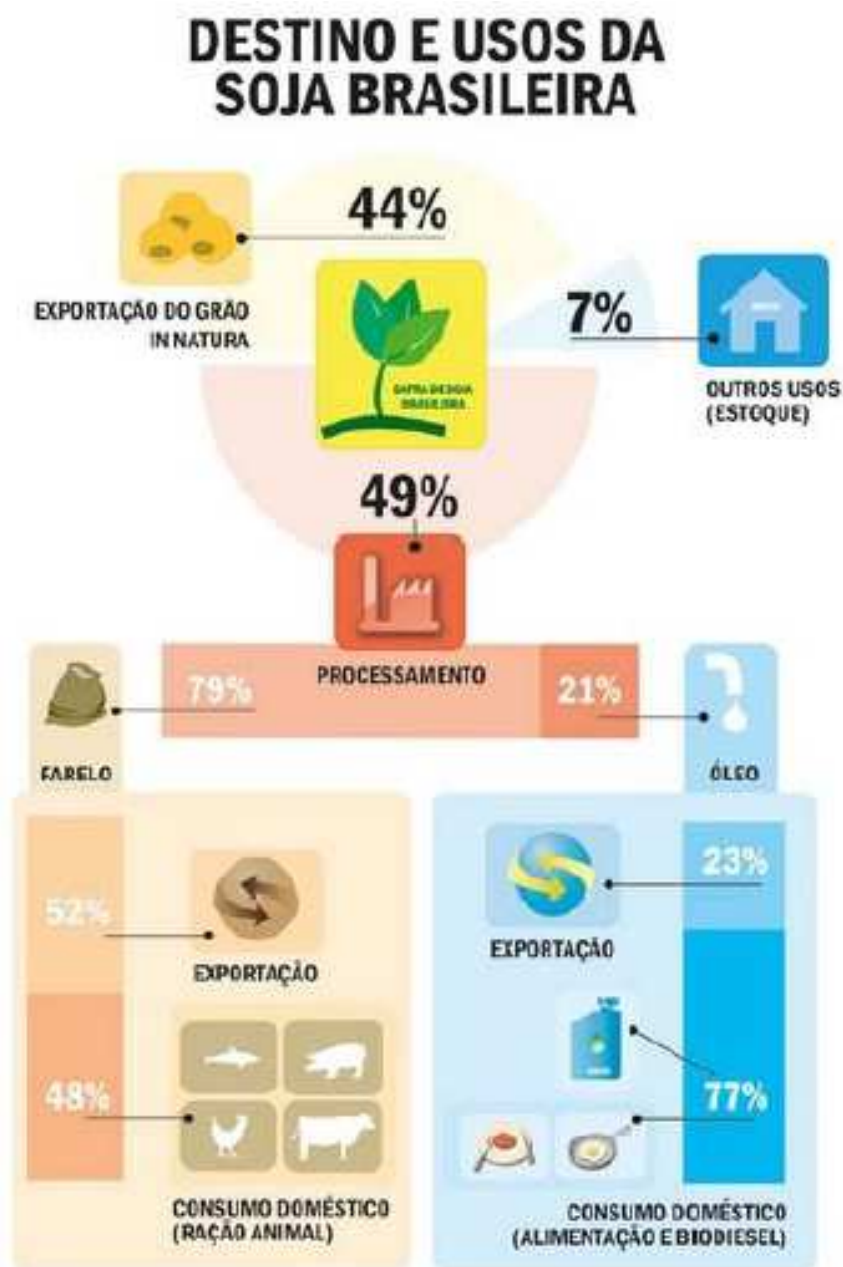


FIGURA 3 - Fluxograma da soja.

Fonte: APROSOJA.

A soja está atualmente presente em todos os estados brasileiros e é uma das espécies vegetais cultivadas de maior importância socioeconômica para o Brasil, tendo produzido na safra 2012/13 cerca de 82 milhões de toneladas. Os maiores estados produtores de soja do Brasil são, respectivamente, Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás e Mato Grosso do Sul. Juntos,

respondem por aproximadamente 67 milhões de toneladas, ou 81% de toda a produção nacional.

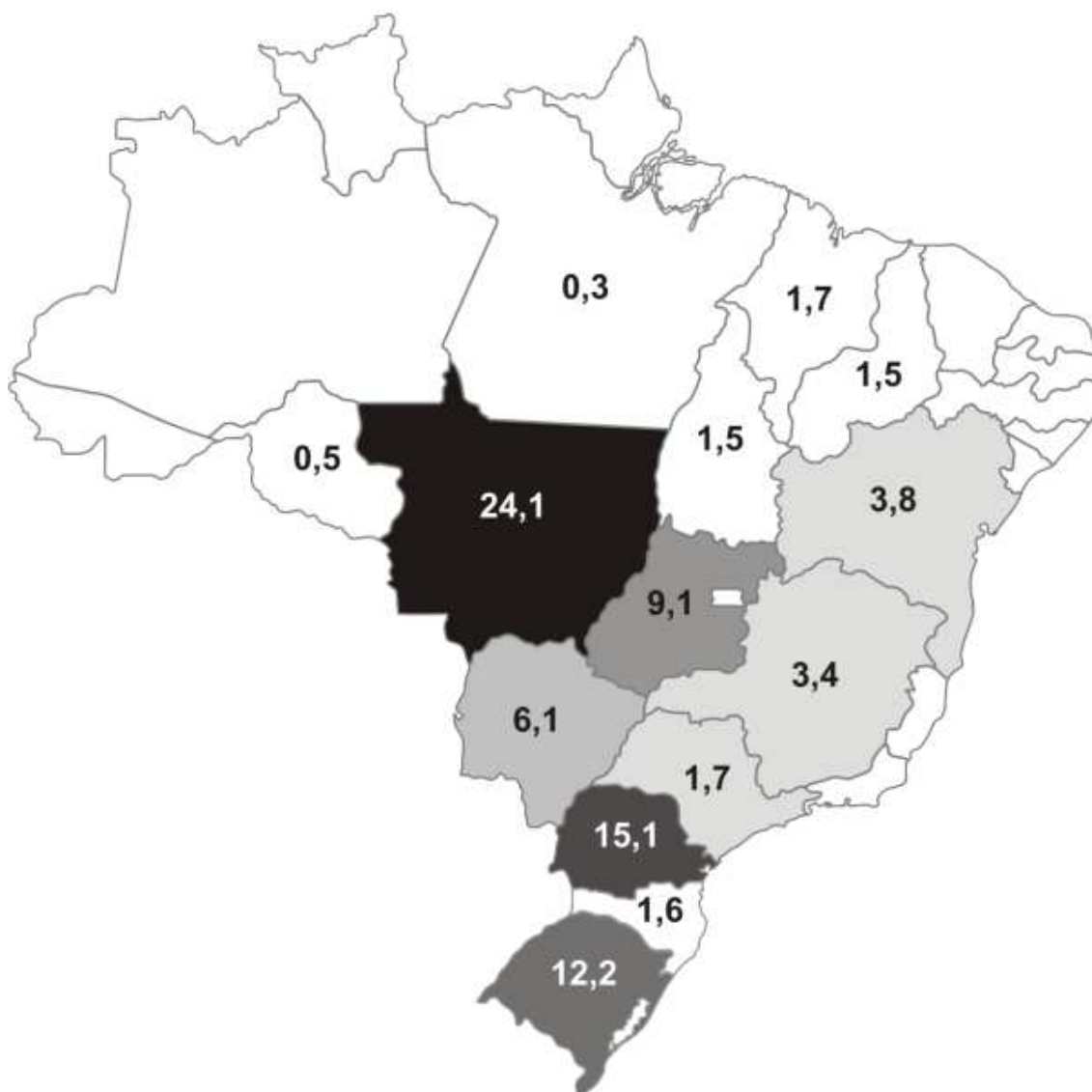


FIGURA 4 - Produção de soja por estado na safra 2012/13, em milhões de toneladas.

Fonte: CONAB.

Na produção brasileira destaca-se o estado de Mato Grosso, sendo o maior produtor com aproximadamente 24 milhões de toneladas na safra 2012/13, correspondendo a 29% de toda a produção nacional, e projeta-se em torno de 26 milhões de toneladas para a safra 2013/14, segundo dados do IMEA. O grão gera, direta e indiretamente, muitos empregos, tornando-se a renda de muitas famílias naquele estado.

### 2.1.2. A soja no estado de Mato Grosso

O primeiro cultivo de soja registrado no estado de Mato Grosso, segundo dados do IBGE, foi na safra 1977/78 quando foram cultivados 5.566 hectares e obtida uma produção de 7.269 toneladas.

Segundo Resende *et.al.* (2007), “*com a evolução das técnicas de plantio, a soja foi trazida para a região Centro-Oeste obtendo-se resultados expressivos, desde a área cultivada até a produtividade. Dentro desse contexto, Mato Grosso tornou-se nas últimas duas décadas o estado de maior destaque na produção de soja do país*”.

A consolidação do estado de Mato Grosso como principal produtor de soja do Brasil proporcionou desenvolvimento e estabilidade econômica para municípios como Sorriso, Diamantino, Lucas do Rio Verde, Sapezal, Campo Novo dos Parecis, Nova Mutum, Tapurah, entre outros, onde o agronegócio hoje representa base econômica e principal fonte de renda (RESENDE *et.al.*, 2007).

Com a vasta distribuição do agronegócio e o território, que pode ser considerado de dimensões continentais, tornaram-se necessários o estudo e a segmentação do estado de Mato Grosso em macrorregiões que representassem o ponto de vista agro econômico, uma vez que as divisões feitas por órgãos oficiais como Seplan, IBGE e até mesmo a Aprosoja, não condiziam de fato com a realidade econômica e produtiva do estado. Portanto, levando em consideração questões como a extensão dos municípios, o polo econômico, os sistemas produtivos e o isolamento geográfico, o IMEA realizou a divisão do estado em sete macrorregiões:

- Região 1 – Noroeste
- Região 2 – Norte
- Região 3 – Nordeste
- Região 4 – Médio-Norte
- Região 5 – Oeste
- Região 6 – Centro-Sul
- Região 7 – Sudeste

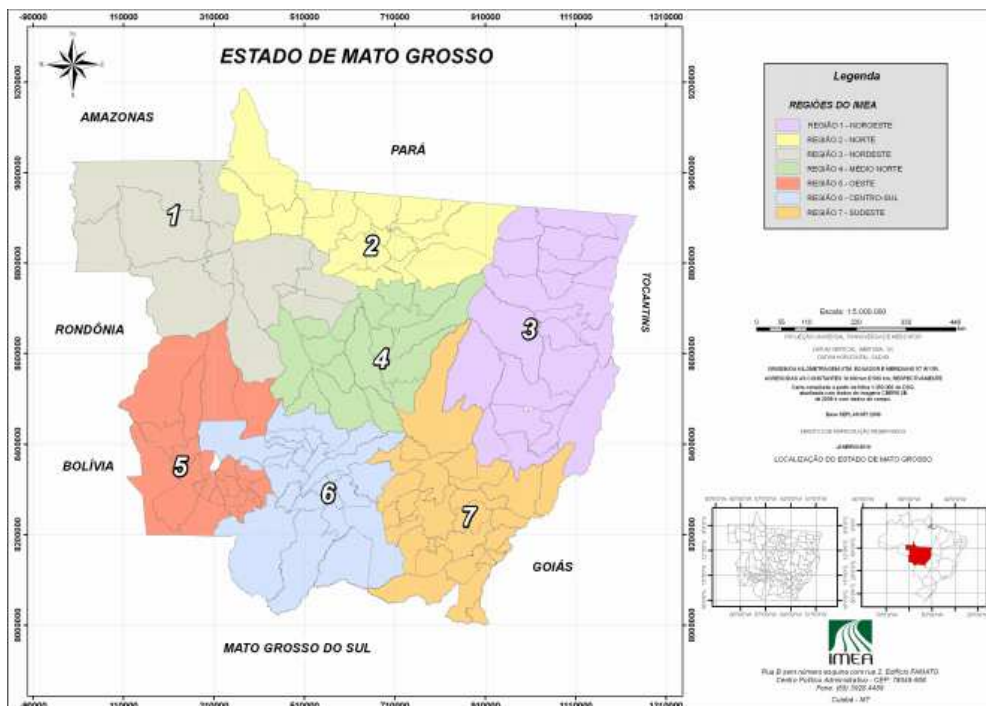


FIGURA 5 - Divisão de macrorregiões do estado de Mato Grosso.

Fonte: IMEA.

A tabela 2 mostra a área produtiva de soja nessas macrorregiões produtoras do estado durante a safra 2013/14 e suas respectivas porcentagens de participação na produção em relação à referente região e ao estado.

REGIÕES	Área (ha)	% região	% estado	REGIÕES	Área (ha)	% região	% estado
<b>MATO GROSSO</b>	<b>8.322.523</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>Noroeste</b>	<b>535.051</b>	<b>100,00%</b>	<b>6,43%</b>
<b>Norte</b>	<b>146.821</b>	<b>100,00%</b>	<b>1,76%</b>	Brasnorte	218.830	40,90%	2,63%
Itaúba	40.863	27,83%	0,49%	Outras	316.222	59,10%	3,80%
Outras	106.138	72,29%	1,28%	<b>Nordeste</b>	<b>1.200.574</b>	<b>100,00%</b>	<b>14,43%</b>
<b>Médio-norte</b>	<b>3.001.212</b>	<b>100,00%</b>	<b>36,06%</b>	Querência	352.142	29,33%	4,23%
Sorriso	577.712	19,25%	6,94%	Canarana	204.995	17,07%	2,46%
Nova Mutum	382.262	12,74%	4,59%	Gaúcha do Norte	134.910	11,24%	1,62%
Nova Ubitatã	353.790	11,79%	4,25%	Nova Xavantina	47.065	3,92%	0,57%
Lucas do Rio Verde	233.055	7,77%	2,80%	Outras	461.462	38,44%	5,54%
Ipiranga do Norte	224.942	7,50%	2,70%	<b>Centro-sul</b>	<b>617.512</b>	<b>100,00%</b>	<b>7,42%</b>
Tapurah	169.781	5,66%	2,04%	Diamantino	366.685	59,38%	4,41%
Santa Rita do Trivelato	153.077	5,10%	1,84%	Tangará da Serra	98.736	15,99%	1,19%
Sinop	153.022	5,10%	1,84%	Santo Antônio do Leverger	38.163	6,18%	0,46%
Vera	138.705	4,62%	1,67%	Chapada dos Guimarães	32.501	5,26%	0,39%
São José do Rio Claro	116.994	3,90%	1,41%	Outras	81.426	13,19%	0,98%
Outras	497.871	16,59%	5,98%	<b>Sudeste</b>	<b>1.746.499</b>	<b>100,00%</b>	<b>20,99%</b>
<b>Oeste</b>	<b>1.074.855</b>	<b>100,00%</b>	<b>12,92%</b>	Primavera do Leste	271.502	15,55%	3,26%
Sapezal	401.782	37,38%	4,83%	Campo Verde	270.969	15,51%	3,26%
Campo Novo do Parecis	375.636	34,95%	4,51%	Santo Antônio do Leste	149.119	8,54%	1,79%
Campos de Júlio	209.145	19,46%	2,51%	Alto Garças	85.265	4,88%	1,02%
Outras	88.292	8,21%	1,06%	Jaciara	41.487	2,38%	0,50%
				Outras	928.156	53,14%	11,15%

TABELA 2 - Área produtiva nas regiões de Mato Grosso na safra 2013/14, em hectares.

Fonte: O autor (2014) – Dados do IMEA.

As macrorregiões Médio-Norte, Sudeste, Nordeste e Oeste do estado Mato Grosso, representadas pelos números 4, 7, 3 e 5, respectivamente, juntas detêm 84,4% de toda a área produtiva de soja na safra 2013/14. Confirmando-se a projeção de produção total do estado na ordem de 26 milhões de toneladas, a produtividade para essa safra será da ordem de 3,1 toneladas por hectare, igualando-se ao pico de produtividade atingido na safra 2010/11.

As expectativas para o mercado brasileiro de soja são bastante promissoras, prevendo para os próximos anos um crescimento significativo da safra e do volume a ser exportado.

### 2.1.3. Exportação da soja do estado de Mato Grosso

A soja se apresenta como um produto basicamente homogêneo e com o seu preço formado no mercado internacional, assim como a maioria dos *commodities* agrícolas. O Brasil, como um dos maiores exportadores mundiais de soja, é considerado um tomador de preços nesse mercado. Cerca de 44% da sua produção é exportada em granel para o mundo. No caso da soja, seu preço é formado na CBOT (MARGARIDO e SOUZA, 1998).

*Commodities* é um termo utilizado em transações comerciais internacionais para mercadorias *in natura*, isto é, que se apresente no seu estado bruto ou com um baixo grau de industrialização.

A exportação de soja em grãos constitui papel importante na economia brasileira e mato-grossense. Segundo estudo publicado pela Embrapa (2004), um em cada quatro dólares exportados pelo complexo agroindustrial brasileiro provém da soja. Os portos de Santos/SP, Paranaguá/PR e Rio Grande/RS, nesta ordem, são os principais portos de escoamento, com pelo menos 60% da soja brasileira exportada, segundo valores do MDIC das últimas safras.

A China é o principal país de destino da soja brasileira. Junto com outros países como Japão, Arábia Saudita, Espanha, Holanda e Tailândia, compõe os principais mercados em que ela está presente. A figura 6 apresenta os principais caminhos da soja brasileira para o mundo. Pode-se observar que cerca de 77% da produção exportada é encaminhada para a Ásia, 21% vai para a Europa e, logo em seguida, aparece o Oriente Médio com 2% da demanda.



FIGURA 6 - Exportação de soja do Brasil para o mundo.

Fonte: Macrologística.

Em relação à exportação da soja mato-grossense, os portos de Santos/SP, Manaus/AM, Vitória/ES, Paranaguá/PR, Santarém/PA e São Francisco do Sul/SC, respondem pelo escoamento de 99% da produção da *commodity*. O gráfico 2 mostra a porcentagem da soja mato-grossense que é escoada pelos principais portos brasileiros, com base em valores médios obtidos pelo MDIC das últimas safras.

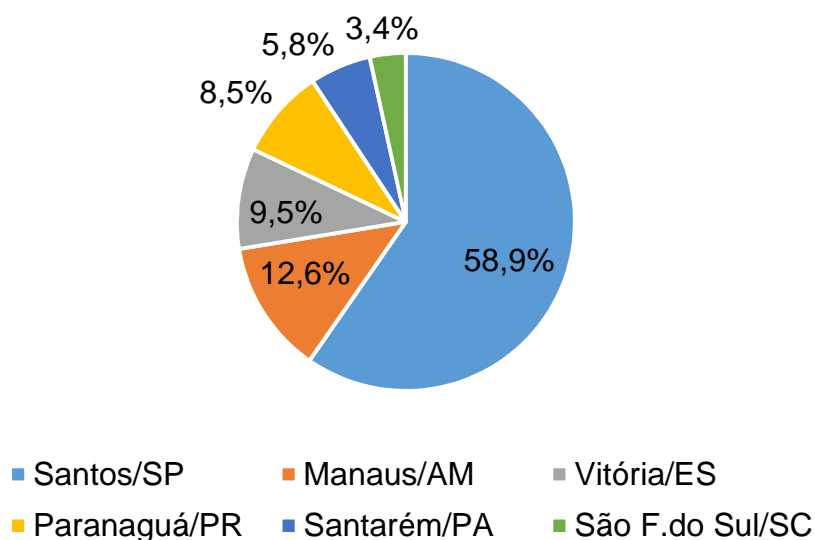


GRÁFICO 2 - Representatividade dos portos brasileiros no escoamento da soja mato-grossense das últimas safras, em porcentagem.

Fonte: O autor (2014) – Dados do MDIC.

Nota-se a representatividade do porto de Santos/SP como sendo o principal no escoamento da soja mato-grossense, seguido imediatamente pelo porto de Manaus/AM. Vale ressaltar que embora o porto de Paranaguá/PR seja o segundo porto em escoamento de soja brasileira, no caso do estado de Mato Grosso ela não se mostra tão representativa.

#### 2.1.4. Vantagens e limitações da soja no Brasil

O Brasil pode ser considerado altamente competitivo no setor de *commodities*, destacando-se em relação aos demais países produtores agrícolas. Jank e Nassar (2000) colocam que os fatores que levam a tal competitividade estão relacionados aos ganhos de produtividade, eficiência logística, economias de escala e rápida absorção da inovação tecnológica.

Dentre as vantagens do Brasil, cita-se a disponibilidade de ótimas terras, clima favorável, recursos humanos qualificados, estrutura de comercialização e detenção de capacidade de gestão e desenvolvimento tecnológico, destacando-se em tecnologias de adubação, plantio, manejo e colheita, além de maquinários eficientes, sementes melhoradas, sistemas de monitoramento por satélite, levando a safras que quebram recordes constantemente.

Entretanto, tais vantagens apresentadas, em termos de qualidade e produtividade, sobrepõem-se à ineficiência no transporte da soja, causando um impacto muito grande na competitividade do país. As vantagens competitivas do agronegócio brasileiro como um todo não conseguem fazer frente às limitações e superar suas desvantagens, constatando-se que os gargalos estão, principalmente, na infraestrutura logística disponível para o escoamento agrícola. A precariedade em uma infraestrutura de transportes restringe os ganhos da comercialização, repercutindo para os exportadores de soja em altos custos e conduzindo à perda de competitividade no mercado internacional.

Albino *et.al.* (2009) também citam a questão do desperdício de grãos de soja, principalmente em decorrência de rodovias esburacadas, pavimentação irregular, falta de sinalização, mão-de-obra não-qualificada, frota depreciada e falta de iniciativa pública e privada, fatores que ajudam a elevar o seu preço final. Quando há uma boa infraestrutura de transporte e eficiência na cadeia agroindustrial, obtêm-se menores custos logísticos e menores desperdícios.

## 2.2. LOGÍSTICA

Antes de tratar sobre a ideia de logística, deve ser entendido inicialmente que seu nascimento está associado ao momento em que foi dado início à produção em todos os setores de modo geral, onde os produtos excedentes deveriam ser armazenados e transportados para a efetivação de transições.

Barbosa *et.al.* (2007) afirmam que *“A contrário do que muitas pessoas pensam, a logística não é um novo processo ou uma metodologia administrativa. A logística sempre existiu, desde os tempos mais remotos, quando o homem começou a produzir mais do que necessitava, começando a precisar de locais de armazenagens, além de transportes para dar vazão à necessidade de trocas dos excedentes com seus vizinhos. Isso já era logística de uma forma potencial, não tão tecnologicamente avançada e integrada como a moderna, mas já era logística”*.

A ideia de logística sempre esteve presente durante a história da humanidade. Porém, foi no ambiente militar que urgiram os primeiros princípios de controle de estoques e distribuição, ao buscarem atender aos objetivos de combate durante a guerra. Esses princípios, ao longo do tempo, acabaram por migrar para as atividades empresariais, ganhando posteriormente um perfil gerencial e estratégico.

Segundo Vieira (2006), durante a Segunda Guerra Mundial, os modelos logísticos foram amplamente empregados de forma a assegurar que as tropas, equipamentos bélicos, suprimentos, etc. estivessem posicionados no lugar e no momento certo de sua utilização.

De acordo com Bowersox e Closs (2010), antes da década de 50, não existia conceito formal ou teórico sobre logística. As organizações possuíam departamentos independentes para atender a demanda de seus clientes, tais como produção, compras, transporte, armazenagem, entre outros. Essas funções, hoje aceitas como logísticas, até então eram consideradas como operações de apoio ou de suporte. Não havia uma coordenação entre esses departamentos, gerando duplicidade de trabalhos e desperdícios.

Com o passar dos anos, esse conceito foi evoluindo e uma nova concepção entrou em vigor, passando a existir a integração das diversas áreas envolvidas dentro de uma organização. O ambiente altamente competitivo,



aliado ao fenômeno da globalização dos mercados, exige das empresas maior agilidade, melhores performances e a pressão por redução de custos. Portanto, mais do que uma simples preocupação com os produtos finais, a logística está preocupada com os locais de estocagem, níveis de estoques e sistemas de informação, bem como com seu transporte e armazenagem (CHING, 2001).

Sendo assim, Dias (2005) propõe que *“A logística é o processo de planejar, implementar e controlar, de forma eficiente e econômica o fluxo de suprimentos e produtos, a armazenagem e o fluxo de informações correspondentes a todo o sistema desde a origem ao destino final, objetivando o atendimento às necessidades dos clientes”*.

Christopher (2009) também expõe seu entendimento ao afirmar que *“A logística é o processo de gerenciamento estratégico da compra, do transporte e da armazenagem de matérias-primas, partes e produtos acabados (além dos fluxos de informação relacionados) por parte da organização e de seus canais de marketing, de tal modo que a lucratividade atual e futura seja maximizada mediante a entrega de encomendas com o menor custo associado”*.

Ainda, Ballou (1993) consegue resumir a definição da logística para *“colocar o produto certo, na hora certa, no local certo e ao menor custo possível”*.

Traduz-se dos conceitos apresentados, portanto, que a base do entendimento não se difere a respeito dessa ferramenta. Nota-se, porém, que os autores dão ênfase ao processo da comunicação, creditando ao fluxo da informação o êxito na logística, pensando no contexto empresarial.

Dessa forma, a proposição sugere que a logística trata-se de um processo de planejamento a ser elaborado dentro de uma organização. No entanto, não se trata do planejamento como um todo, mas de uma parte dele, que ocorrerá em conjunto com outros processos, que formarão a cadeia de suprimentos. O termo logística vai além do transporte propriamente dito, pois permite a sincronização entre os diversos departamentos de uma empresa e as partes interessadas (stakeholders), desde seus fornecedores primários até os consumidores finais. Ou seja, direta ou indiretamente, todos os agentes externos à empresa serão envolvidos nesse sistema.

### 2.2.1. Logística de Transportes para a soja no Brasil

Ao estudar e planejar a logística da soja, deve ser levada em conta uma adequada infraestrutura de armazenagem e transporte, e também a eficiência de toda a cadeia produtiva do agronegócio para obterem menores custos, visto que a produção deverá percorrer grandes distâncias até chegar ao consumidor final.

Após a colheita da soja na lavoura, surge a necessidade de encaminhar a produção às unidades armazenadoras, uma atividade essencial para a conservação dos grãos (limpeza e retirada de impurezas), redução das perdas e estocagem dos excedentes para posterior venda ou consumo, no qual o transporte é racionalizado e, com a formação de um estoque, aumenta-se o poder de barganha dos produtores. Esse trabalho pode ser realizado por entidades pertencentes ao governo, cooperativas ou particulares (SASSERON, 1995).

De acordo com Coeli (2004), o escoamento da produção de grãos de soja para os armazéns ocorre em duas etapas:

- **Transporte das lavouras para o armazém:** costuma ser de responsabilidade do produtor, sendo realizado através de carretas. Seu custo é elevado devido à ausência de pavimentação nas estradas rurais. Trata-se de um transporte local e extremamente pulverizado;
- **Transporte do armazém para exportação ou para a indústria:** A soja em grão costuma ser transportada a granel, embora haja ocasiões em que é ensacada antes da movimentação. A partir dos armazéns dos produtores, a soja em grão segue para ser direcionada para exportação (portos), mas também pode ser transportada para as indústrias de processamento, para transformar a soja em farelo ou óleo.

Dos cinco modais de transporte existentes (rodoviário, ferroviário, hidroviário, dutoviário e aéreo), apenas os três primeiros são utilizados no escoamento da soja. O modal dutoviário não é utilizado devido às características físicas do produto, enquanto que o modal aéreo é extremamente caro e ineficiente para o transporte de *commodities*.

Segundo Hijjar (2004), os modais mais eficientes para o transporte da soja no Brasil para exportação são as ferrovias e hidrovias (grandes volumes, longas distâncias e valor agregado relativamente baixo). Embora esses modais exijam um maior tempo de transporte, sua capacidade de carga é elevada e podem trazer economia de custos e redução de perdas. O modal rodoviário, por sua vez, ficaria responsável em encaminhar os grãos aos terminais ferroviários ou hidroviários. O sistema multimodal de transporte favorece sua vantagem competitiva para a exportação. Todavia, mesmo o Brasil possuindo um território de dimensões continentais, é um país tipicamente rodoviário.

O produtor agrícola brasileiro em geral é adepto a administrar e investir recursos próprios em tecnologias que visem aumentar a eficiência dentro da lavoura (CALLADO, 2008). Fora da lavoura, no entanto, percebe-se que a maior parte da produção de soja é escoada através do modal rodoviário até os portos, mesmo se tratando de longas distâncias. Paula e Faveret (2000) colocam alguns fatores de ordem logística em relação ao modal rodoviário no Brasil:

- cerca de 60% do transporte de carga no Brasil é feito por rodovia;
- por décadas o país praticamente não investiu na melhoria de sua malha viária, que se deteriorou sensivelmente;
- a produção se interiorizou cada vez mais, ficando dependente da malha viária decadente;
- a frota de veículos também envelheceu, gerando mais custos aos seus operadores, que os repassam ao preço do frete;
- o mercado de frete não tem transparência suficiente que possibilite ao seu consumidor um controle sobre os preços; e
- os outros modais de transporte ainda não oferecem versatilidade, confiabilidade e oferta suficientes para se tornarem alternativas reais ao transporte rodoviário.

O transporte de soja concentrado na malha rodoviária acaba prejudicando sua comercialização dentro e fora do País, por refletir no alto custo logístico para a distribuição do grão. No entanto, apesar dos investimentos que estão ocorrendo nas ferrovias e hidrovias brasileiras, como uma saída para a redução

dos custos e aumento da competitividade, ainda é mais racional para o tomador da decisão colocar a carga em um caminhão e enviar até os portos do que realizar vários serviços de transbordo, embora os demais modais também sejam utilizados, porém com predominância do modal rodoviário.

### 2.2.2. Transporte rodoviário de soja do estado do Mato Grosso

O transporte rodoviário de soja é realizado por caminhões bitrens graneleiros com capacidade de até 40 toneladas, e é o principal meio utilizado no Brasil e no estado do Mato Grosso, com cerca de metade do escoamento da produção realizado pelo modal rodoviário. Segundo Rodrigues (2007), desde a década de 50, com a implantação da indústria automobilística e as construções de rodovias, que naquela época foram mais incentivadas que a construção de outros modais de transporte, o transporte rodoviário se expandiu de tal forma que nos dias atuais é o modal mais procurado.

De acordo com Wanke (2010), o transporte rodoviário apresenta pequenos custos fixos e elevados custos variáveis, causados principalmente por combustível, óleo e manutenção do veículo. Em geral, o custo de transporte é influenciado, principalmente, pelos itens distância, volume, densidade, estiva, manuseio, responsabilidade e mercado.

Como vantagens, o modal rodoviário possui maior disponibilidade das vias de acesso, ampla cobertura geográfica integrando as regiões mais isoladas, maior rapidez no embarque e desembarque, além de ser flexível e versátil. Sendo o único modal de transporte capaz de operar absolutamente sozinho, não necessita, portanto, unir-se a outros modais de transporte. (ROCHA, 2003).

As principais rodovias do estado do Mato Grosso são a BR-163, BR-070, BR-364, BR-158, e BR-174. A BR-163 é a mais importante, cortando o estado no sentido norte-sul. Ao norte, interliga ao estado do Pará, fazendo a conexão Cuiabá/Santarém, e ao sul, interliga ao estado do Mato Grosso do Sul, conectando Cuiabá/Campo Grande e permitindo a saída sentido portos de Paranaguá/PR e São Francisco do Sul/SC. A BR-070, tem início em Brasília e corta o estado de Mato Grosso no sentido leste-oeste atingindo a fronteira com a Bolívia. Já a BR-364 liga as áreas produtoras do Mato Grosso ao estado de

Rondônia e permite a saída sentido porto de Santos/SP. Na figura 7 é possível observar as rodovias que escoam a produção de soja do estado.

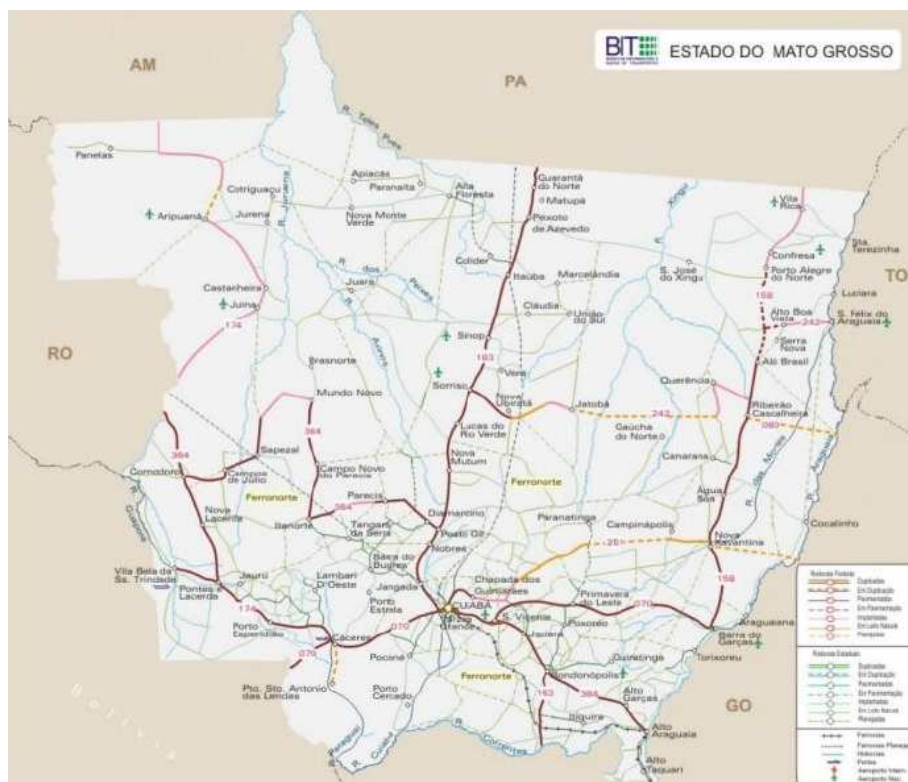


FIGURA 7 - Malha rodoviária do estado do Mato Grosso.

Fonte: BIT.

Ainda assim, vale destacar as desvantagens do modal rodoviário, sobretudo em relação às principais rodovias que ligam o estado aos destinos da soja, que não estão em boas condições de uso. Problemas logísticos como a extensão da malha viária inadequada para o atendimento da demanda, a insuficiência de veículos para transporte no período da safra, a obsolescência da frota de caminhões, a falta de mão-de-obra qualificada e a má conservação da infraestrutura rodoviária (sinalização inadequada, pistas sem acostamento e com muitos buracos) elevam o preço final do produto no Brasil e no exterior e diminui a margem de lucro do produtor e a competitividade do produto brasileiro no mercado externo, ainda mais tratando-se do transporte de soja realizado majoritariamente pelo modal rodoviário. No entanto, o presente trabalho não contemplará essas questões e não abordará possíveis soluções logísticas para o transporte da soja, apesar da relevância do assunto, focando apenas na otimização das rotas para o transporte rodoviário e em seus custos logísticos.

### 2.2.3. Custos logísticos e formação do frete rodoviário

Os custos logísticos são um fator determinante para o estímulo do comércio entre países e entre regiões de um mesmo país. Diferenças nos custos de produção poderão compensar, ou não, os custos logísticos necessários para o transporte entre essas regiões. O custo estará sempre relacionado diretamente à execução efetiva de um serviço, dentro de qualquer entidade em que haja ações administrativas.

A operação de transporte rodoviário de cargas contempla o carregamento, o transporte propriamente dito e a descarga, em condições normais de tráfego (estradas boas, trânsito normal, peso da carga dentro da lei, jornada de trabalho padrão). O fluxograma a seguir (Figura 8) detalha a operação quando realizada por caminhões de transportadoras.

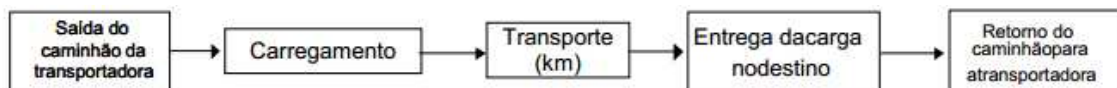


FIGURA 8 - Fluxograma dos caminhões de transportadoras no transporte de cargas.

Fonte: NTC&Logística (2001)

Segundo Santos (2007), o processo de custeio logístico operacional do transporte rodoviário poderá ser feito em quatro etapas:

- definição dos itens de custos: identificação dos principais itens de custos do transporte;
- classificação dos itens de custos em fixos, variáveis e indiretos: é feita em relação à distância percorrida, sendo que todos os custos que não tiverem relação com a quilometragem (exceto despesas administrativas) são custos fixos, todos os custos que variam conforme o deslocamento do caminhão são custos variáveis, e as despesas administrativas são custos indiretos;
- cálculo do custo de cada item: é necessário calcular os custos unitários dividindo cada item pelo número de quilômetros rodados e obtendo o valor por quilômetro rodado, para que se possa custear a rota de entrega de

mercadorias, principalmente para o caso de empresas transportadoras de cargas; e

- custos das rotas por entrega: uma vez calculados os valores unitários de todos os itens de custos, basta formular a equação do preço do frete rodoviário e aplicá-la para as respectivas rotas, dadas as quilometragens a serem percorridas.

O autor ainda coloca que, além dos custos logísticos operacionais, que são fatores básicos na formação de valores do frete rodoviário, há algumas variáveis a serem consideradas que poderão influenciar no preço final:

- possibilidade de carga de retorno: a falta de carga de retorno faz com que o transportador consolide o valor do custo de retorno para compor o preço do frete;
- especificidade da carga transportada e do veículo utilizado: quanto mais específicos forem a carga e o tipo do veículo, menor é a flexibilidade do transportador, e os fretes se elevam; e
- perdas e avarias: as perdas decorrentes de acidentes rodoviários são fatores que contribuem para a elevação do frete.

A adoção de um critério adequado para custeio do frete poderá não somente contribuir para a formação de preços justos, como facilitar uma série de análises e permitir identificar oportunidades de redução de custos.

Para calcular o valor do frete devem-se conhecer os custos fixos, os variáveis e os indiretos. De acordo com a NTC&Logística (2001), os principais custos são:

- **custos variáveis**

- peças, acessórios e materiais de manutenção;
  - despesas com combustíveis e pedágios;
  - óleos lubrificantes;
  - lavagens e graxas; e
  - pneus e recauchutagens.

- **custos fixos**

- remuneração mensal do capital empatado;
- salário do motorista;
- salário de oficina;
- reposição do veículo;
- reposição do equipamento;
- licenciamento;
- seguro do veículo;
- seguro de equipamento; e
- seguros de responsabilidade civil facultativo.

- **custos indiretos\***

*\*Não estão relacionadas diretamente com a operação dos veículos.*

- salários, ordenados e honorários da diretoria;
- aluguéis;
- tarifas de serviços públicos;
- serviços profissionais, podendo ser de serviços de manutenção, conservação, limpeza, serviços de terceiros, de processamento de dados e de atendimento ao cliente;
- impostos e taxas; e
- depreciações.

O frete da maioria das especialidades, como carga comum, carga industrial, lotações, grandes massas, fertilizantes e componentes, postes e similares, pode ser calculado usando-se a seguinte fórmula simplificada, concebida a partir de informações apresentadas por NTC&Logística (2001):

**CUSTO TOTAL = CUSTO PESO + CUSTO VALOR + GRIS + IMPOSTOS**

Em que:

- **IMPOSTOS:** PIS e Cofins aplicado sobre o custo peso;
- **GRIS:** percentual sobre o valor da tonelada da carga transportada, independentemente da distância a ser percorrida. É um custo referente ao gerenciamento de risco, que tem por finalidade cobrir os custos específicos decorrentes das medidas de combate ao roubo de cargas,



notadamente as de prevenção de risco (segurança patrimonial de instalações, rastreamento de veículos, entre outras), redução de risco (ociosidade dos veículos determinada pela limitação do valor das mercadorias) e transferência de riscos, além dos custos de mão de obra aplicada a essas atividades;

- **CUSTO VALOR:** percentual sobre o valor da tonelada da carga transportada; é variável com a distância a ser percorrida. Destina-se a cobrir os custos referentes à retenção ou transferências de perdas incorridas no transporte, isto é, despesas com indenizações de mercadorias não cobertas por seguros (avarias de manuseio, violações, extravios, greves etc.) e os custos da mão-de-obra utilizada nessas atividades; e
- **CUSTO PESO:** é o custo relacionado ao peso da carga. Destina-se a remunerar os custos de transferência (operação rodoviária) bem como as despesas administrativas e de terminais. O valor, que poderá ser em R\$/viagem ou R\$/t de acordo com a distância percorrida, será expresso por:

$$\text{CUSTO PESO} = (A + B.X + C) \cdot [(100 + L) / 100]$$

Onde:

- $A = [ (CF / H) \cdot TCD ] / CAP$  (expresso em R\$/t)  
é o custo do tempo gasto para carregar, descarregar e esperar carga;
- $B = \{ [ CF / (H \cdot V) ] + CV \} / CAP$  (expresso em R\$/km)  
é o custo relacionado à transferência da carga que deve ser multiplicado por X, que é a distância percorrida em km;
- $C = c \cdot (DAT / TEXP)$  (expresso em R\$/t)  
são as despesas indiretas da transportadora (despesas administrativas e de terminais);
- L = lucro da transportadora (expresso em porcentagem);
- CF = custo fixo (R\$);
- H = número de horas trabalhadas por mês (h);
- TCD = tempo gasto para carregar, descarregar e esperar carga (h);

- CAP = capacidade média de carga efetiva (t);
- V = velocidade média do veículo (km/h);
- CV = custo variável (R\$/km);
- DAT = despesas administrativas e de terminais (R\$);
- TEXP = tonelagem expedida (t);
- c = coeficiente do uso de terminais (adimensional).

A FIPE, que adota a metodologia de cálculo proposta pela NTC&Logística, aponta algumas considerações sobre as fórmulas:

- no transporte de carga lotação não se aplica a variável c, pois a carga não passa pelos terminais da empresa e as despesas indiretas são chamadas apenas de despesas administrativas; e
- na operação urbana, os custos referentes a impostos, gerenciamento de riscos, custo valor e despesas indiretas já estão computados nos custos de transferência, portanto não entram na fórmula.

O custo valor deve ser calculado em função da distância a ser percorrida, para que haja maior precisão. As tabelas de custos de referência da NTC&Logística/FIPE recomendam as seguintes alíquotas para o custo valor:

<b>Alíquotas de custo valor</b>	
Distância (km)	Alíquota (%)
0000 – 0250	0,3
0251 – 0500	0,4
0501 – 1000	0,6
1001 – 1500	0,7
1501 – 2000	0,8
2001 – 2600	0,9
2601 – 3000	1,0
3001 – 3400	1,1
3401 – 6000	1,2

TABELA 3 - Alíquotas de custo valor.

Fonte: NTC&Logística (2001).

A alíquota do GRIS pode variar com a faixa de valor agregado, o tipo de produto, as características de comercialização, a maior ou menor possibilidade de identificação das unidades (número de série, lote etc.), e o grau de risco das regiões compreendidas no itinerário. Seu valor de referência nas tabelas da NTC&Logística/FIPE é de 0,3%.

O lucro, por sua vez, será considerado quando for calculado o valor do frete a ser repassado ao cliente final. Quando se tratar somente do frete operacional, isto é, dos custos logísticos operacionais para a empresa transportadora, o lucro não será aplicado.

Com base nesses dados, é possível elaborar uma planilha referencial e respectivos gráficos para o custo de transporte rodoviário de uma determinada carga. Os resultados deverão refletir uma estrutura de custos de uma empresa operando em regime de eficiência. Os custos indiretos deverão ser diluídos pelo peso em toneladas a serem transportados ao mês (R\$/t), e somados com o valor do custo peso.

#### 2.2.4. Pesquisa operacional aplicada à logística de transportes

A pesquisa operacional é uma área da ciência que analisa e modela sistemas do mundo real, fazendo uso de métodos matemáticos, estatísticos e de algoritmos, com o objetivo de identificar possíveis melhorias em seu desempenho. Ehrlich (1985) complementa que *“é um conjunto de técnicas quantitativas com o intuito de auxiliar o processo de decisão dentro de uma filosofia de modelagem e, preferivelmente, de otimização.”*

O conceito de pesquisa operacional surgiu pela primeira vez durante a Segunda Guerra Mundial. De acordo com Andrade (1989), os pesquisadores daquela época buscavam soluções para problemas de operações militares. Os aliados enfrentavam dificuldades estratégicas, táticas e logísticas, tentando gerenciar um enorme contingente de pessoal e de munições. Os cientistas, por sua vez, conseguiram através de modelos matemáticos determinar as melhores ações a serem tomadas. Com o sucesso obtido e o resultado final daquelas aplicações, suas técnicas foram levadas posteriormente ao mundo empresarial, auxiliando na tomada de decisões para solucionar problemas de grandes dimensões na qual a mente humana por si só não consegue considerar todas as

variáveis e possibilidades, procurado obter assim os melhores resultados possíveis de acordo com as políticas da empresa.

Os problemas que podem ser encontrados na vida real apresentam dificuldades das mais diversas naturezas. Antes de mais nada, é preciso estabelecer entre os indivíduos envolvidos um certo consenso na percepção desse problema, para que então seja tratado como um sistema a ser modelado. A partir da modelagem, será possível planejar, simular, analisar e compreender o comportamento desse sistema, para avaliar a viabilidade de determinada decisão ou ação alternativa. Embora nenhum modelo aborde toda a realidade, deve-se buscar atingir um nível de precisão de possibilite encontrar a solução que melhor atenda aos interesses das partes envolvidas.

A pesquisa operacional oferece ferramentas matemáticas para se resolver problemas complexos, em que são necessários muitos cálculos. Aplicativos poderão ser desenvolvidos e utilizados para simular computacionalmente (OLIVEIRA, 2009). Normalmente busca-se encontrar, nos diversos níveis de gestão, valores máximos (de lucro, desempenho, aproveitamento) ou mínimos (de risco, de custo). Do ponto de vista da pesquisa operacional, quando se fala em máximo ou mínimo está implícito que, matematicamente, não será possível existir nenhuma outra solução melhor. É dito, portanto, que a solução será ótima e o sistema estará otimizado.

Segundo LACHTERMACHER (2008), a resolução para problemas a partir da implantação da pesquisa operacional envolve cinco fases distintas, conforme a seguir apresentado:

- **Definição do problema:** este processo tem início no instante em que um problema é detectado. A partir deste momento define-se o problema da forma mais precisa possível, identificam-se suas limitações e restrições e definem-se os objetivos do estudo.
- **Construção do modelo:** um modelo é uma representação simplificada de um sistema real. A geração de um modelo apropriado é fundamental para a qualidade da solução. A construção de um bom modelo implica que detalhes sejam incorporados de forma consistente para que os resultados atinjam as necessidades.

- **Solução do modelo:** este processo tem o objetivo de encontrar uma solução para o modelo proposto. A solução para o problema de um modelo é geralmente baseada em técnicas matemáticas. Aplica-se a técnica que tenha um algoritmo mais adequado para gerar uma solução com melhor nível de precisão e rapidez de processamento.
- **Validação do modelo:** consiste em verificar se não há erros no modelo, ou seja, o modelo deve representar o sistema real para o qual ele foi construído, sendo capaz de simular o comportamento em um nível aceitável. Uma forma de verificar a eficiência do modelo é através da realização de comparações. Compara-se a solução gerada pelo modelo com os conhecimentos prévios obtidos através de dados gerados pelo sistema no passado.
- **Implementação da solução:** a solução é implementada após a análise dos resultados obtidos através do modelo. Este é um processo considerado crítico, pois a nova solução, quando aplicada na prática, altera a situação existente, podendo demonstrar a necessidade de modificações do modelo em algumas de suas partes.

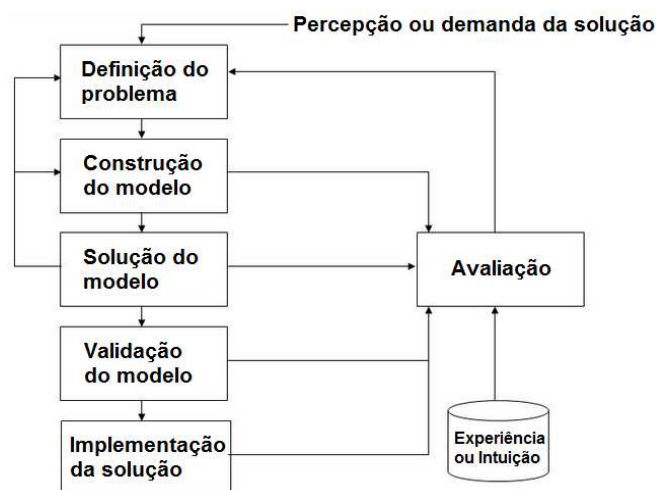


FIGURA 9 - Fases de um estudo da pesquisa operacional.

Fonte: O autor (2014), adaptado de Lachtermacher (2008).

Esta área está diretamente relacionada com a logística, pois muitos sistemas produtivos, industriais e gerenciais podem fazer uso para alcançar um desempenho superior, contribuindo de forma significativa para o sucesso das atividades das empresas. O planejamento e a execução das atividades são de

responsabilidade da logística, enquanto que a pesquisa operacional, através de suas técnicas e métodos matemáticos, encontra a melhor solução para os diversos problemas da logística.

Muitos softwares utilizados por empresas possuem complexos algoritmos por trás para resolver desafios típicos de logística, como por exemplo determinar a melhor quantidade de produtos para se manter em estoque, os melhores volumes de produção (e seu agendamento), lotes econômicos de compra, cronogramas de produção (gráfico de Gantt), entre outros.

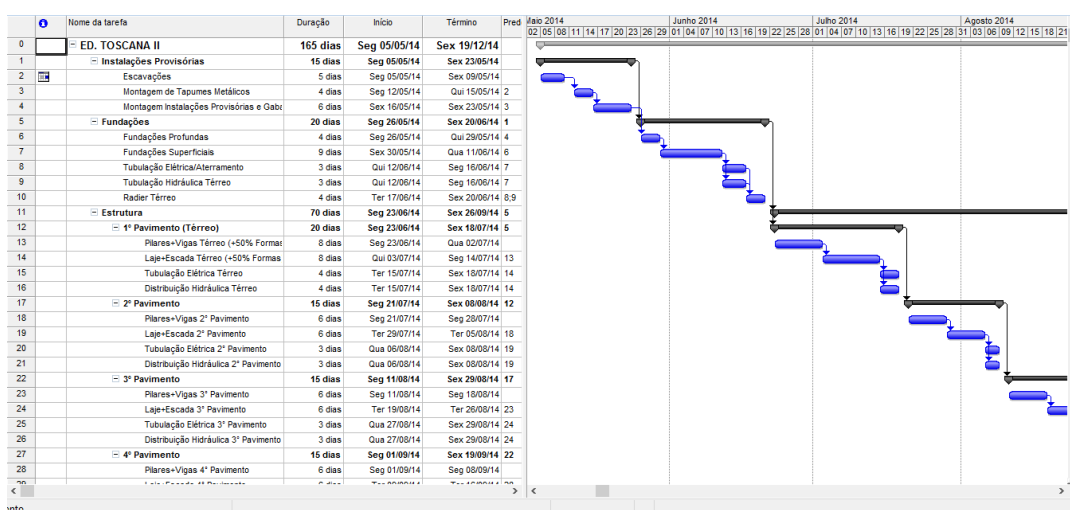


FIGURA 10 - Gráfico de Gantt no Microsoft Project para o cálculo do caminho crítico.

Fonte: O autor (2014).

Quando associada à logística e transportes, a pesquisa operacional pode realizar atividades de distribuição de maneira eficiente, definindo trajetos que reduzam custos e tempo das entregas. Trata-se da solução para o caminho de custo mínimo, uma solução clássica da Matemática para fazer roteamento de veículos com aplicações práticas consagradas como o problema das pontes de Königsberg, o problema do caixeiro viajante e o problema do carteiro chinês.

Fica evidente, portanto, que a estruturação dos problemas de logística e transportes compreendem basicamente aplicações práticas da pesquisa operacional, no contexto dos problemas de rede. Sua modelagem é facilitada através da teoria dos grafos, que faz uso de diagramas de vértices (nós) ligados por um conjunto de arestas. Com uma melhor utilização dos recursos e potencializando as atividades relacionadas ao transporte, as empresas de transporte rodoviário de cargas podem criar diferenciais frente à concorrência.

## 2.3. TEORIA DOS GRAFOS

A teoria dos grafos é a ramificação da Matemática que estuda as propriedades dos grafos. Tem grande importância na logística referente aos transportes e nas mais diversas áreas, não somente devido ao seu aspecto teórico, como também ao imenso potencial de aplicabilidade de modelos para os mais diversos problemas fundamentais.

O principal objetivo da teoria dos grafos é o estudo de algoritmos em grafos que sejam eficientes para a resolução de problemas relacionados a importantes aplicações práticas, cuja formulação é caracterizada pelo interesse em implementá-los computacionalmente.

### 2.3.1. O problema das pontes de Königsberg

O problema das pontes de Königsberg é o estudo mais clássico e antigo já registrado, que faz uso de grafos como modelo matemático. Foi resolvido pelo matemático suíço Leonhard Euler em 1736, no rio Pregel, junto à cidade de Königsberg, na antiga Prússia.

Naquela região havia duas ilhas, que formavam quatro regiões de terra (A, B, C, D), e que eram interligadas por sete pontes (a, b, c, d, e, f, g). O conjunto das pontes conectavam as duas ilhas entre si (A, D) e com as margens (B, C).

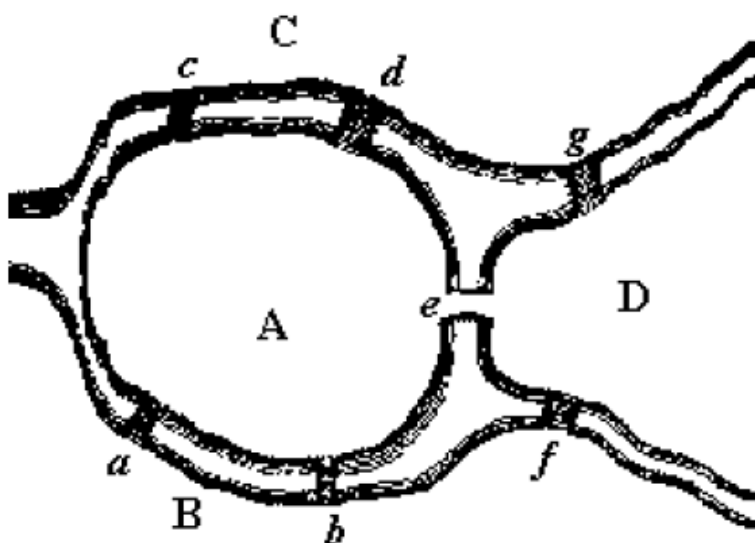


FIGURA 11 - As sete pontes que cruzavam o rio Pregel na cidade de Königsberg.

Fonte: Biggs et al. (1986).

Por muito tempo os moradores daquela cidade discutiram se era possível determinar um trajeto que atravessasse cada ponte uma única vez, de modo que ao final do percurso chegasse ao ponto de partida. Euler provou que não existe um caminho que possibilitasse a solução do problema adotando tais restrições, usando um raciocínio muito simples: transformou os caminhos em retas e suas interseções em vértices (nós). Através desse modelo foi demonstrado que para cada nó deve haver um número par de caminhos para que o trajeto desejado ocorra, pois será necessário um caminho para “entrar” e outro para “sair”.

A teoria dos grafos tornou-se um tema rico em resultados teóricos e de uma surpreendente variedade e profundidade (BIGGS *et al.*, 1986). Considerado o problema das pontes de Königsberg o marco inicial da teoria dos grafos na história da Humanidade, a partir foram desenvolvidos muitos outros estudos com o intuito de propor técnicas e soluções de problemas envolvendo grafos.

### 2.3.2. Conceitos e definições de grafos

Um grafo  $G$  é uma estrutura abstrata formada por dois conjuntos finitos  $V$  e  $E$ , sendo  $V$  um conjunto não vazio de vértices, e  $E$  um conjunto de pares conectados de vértices, chamados arestas. Uma aresta de  $G$  será denotada por  $\{u, v\}$ .  $V(G)$  e  $E(G)$  representam os conjuntos de vértices e arestas do grafo  $G$ , que por sua vez é denotado por  $G(V, E)$ . (ALOISE; CRUZ, 2001).

A figura 12 demonstra um grafo, que é graficamente representado por vértices ou nós, significando os objetos, unidos por um traço denominado aresta. No referido exemplo, tem-se a ilustração gráfica de um grafo  $G(V, E)$  que representa uma sequência de vértices  $V(G) = \{A, B, C, D\}$  e um conjunto de arestas, ligadas entre os vértices  $E(G) = \{\{A, B\}, \{A, C\}, \{A, D\}, \{C, D\}\}$ .

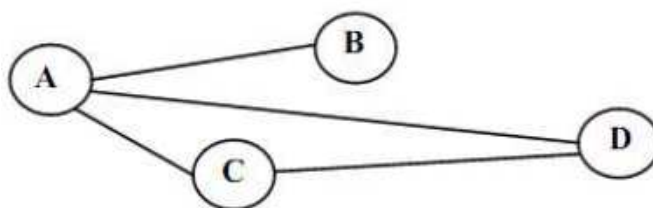


FIGURA 12 - Exemplo de grafo  $G(V, E)$ .

Fonte: Tenenbaum (1995).



O termo grafo, na literatura, não está associado à orientação do sentido das arestas, onde um vértice de uma determinada aresta é definido como origem e o vértice adjacente como destino. Quando houver a orientação das arestas, estes serão chamados de grafos orientados, ou dígrafos.

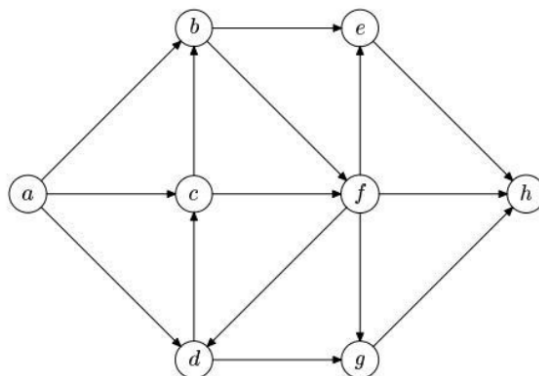


FIGURA 13 - Exemplo de grafo orientado (dígrafo).

Fonte: Cormen *et.al.* (2002).

Por se tratar de um problema para determinação do caminho de custo mínimo, serão atribuídos valores às suas arestas, representados por números reais (pesos). Uma vez determinado o vértice de origem e o vértice de destino, calcula-se o caminho com menor peso entre os mesmos. Estes serão chamados de grafos ponderados, ou valorados.

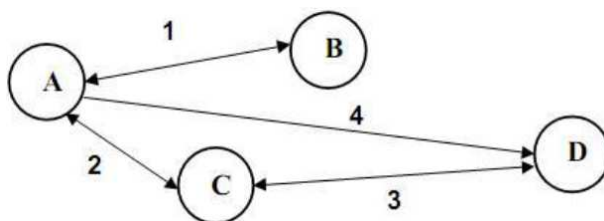


FIGURA 14 - Exemplo de grafo ponderado (valorado).

Fonte: Tenenbaum (1995).

Em um grafo ponderado, os pesos das arestas poderão ser atribuídos nos parâmetros de distância, custos (financeiros, materiais), tempo (percurso, atraso), densidade de tráfego, entre outros. Para o presente trabalho, a distância será o parâmetro adotado para os pesos, pois serão determinados os menores trajetos. Os custos logísticos de transporte rodoviário serão calculados posteriormente através de metodologia própria.

### 2.3.3. O problema do caminho de custo mínimo

O problema para definir o caminho de custo mínimo consiste na minimização da travessia entre dois vértices de um determinado grafo, dados os pesos de cada aresta a ser percorrida. No caso da logística referente aos transportes, este poderá representar não somente caminhos de distâncias mínimas, como também caminhos de tempo mínimo ou, ainda, de custos financeiros propriamente ditos.

Sendo um dos problemas mais estudados na teoria dos grafos, sua determinação mostra-se constante e consistentemente como um subproblema da complexidade em grafos (LARSON; ODONI, 1981). Entretanto, vale ressaltar que, do ponto de vista operacional, o melhor caminho não é necessariamente o menor caminho. Dado um problema e sua necessidade, a solução será aquela que atende aos interesses do usuário da forma mais adequada possível.

Uma vez conhecidos os pesos das arestas, uma forma de caminhar pelo grafo poderá ser definida. Os algoritmos mais conhecidos especializados em solucionar o problema do caminho de custo mínimo são apresentados a seguir.

- **Algoritmo de Bellman-Ford:** soluciona o problema para grafos com um vértice-fonte e arestas, mesmo que estas contenham pesos negativos. Porém, os grafos deverão ser obrigatoriamente orientados, sem ciclos negativos, para que o algoritmo funcione satisfatoriamente. É um algoritmo mais lento e, portanto, aplicado somente nos casos de grafos que possuam arestas com pesos negativos (COULOURIS *et.al.*, 2008);
- **Algoritmo de Floyd-Warshall:** assim como o algoritmo de Bellman-Ford, ele também é capaz de solucionar o problema para grafos que contenham arestas com pesos negativos. A diferença entre eles está no fato de que o algoritmo de Floyd-Warshall encontra o menor caminho para todos os possíveis vértices-fonte e os demais vértices do grafo, tornando-o extremamente complexo e impraticável, enquanto que o algoritmo de Bellman-Ford executa o cálculo apenas a partir de um único vértice-fonte (ARENALES *et al.*, 2007);

- **Algoritmo de Dijkstra:** soluciona o problema para grafos orientados ou não com um vértice-fonte cujas arestas tenham peso maior ou igual a zero. Sem reduzir o desempenho, este algoritmo é capaz de determinar o caminho mínimo, partindo de um vértice-fonte para todos os outros vértices do grafo, desde que não possua arestas com pesos negativos (CORMEN *et.al.*, 2002).

Para o presente trabalho será adotado o algoritmo de Dijkstra, por se tratar de um algoritmo de menor complexidade e performance satisfatória. Não há necessidade de o grafo ser orientado, pois a malha rodoviária trabalha exclusivamente nos dois sentidos, e as suas distâncias, por natureza, são representadas por valores numéricos positivos não nulos.

#### 2.3.4. Algoritmo de Dijkstra

O algoritmo de Dijkstra é um algoritmo simples, porém eficiente, que localiza o caminho de custo mínimo entre um determinado vértice-fonte e os demais vértices de um grafo, desde que não haja arestas com valores negativos. Poderá ser utilizado para grafos orientados ou não (DAVIS JR., 1997).

Desenvolvido e publicado em 1959, o algoritmo leva o sobrenome do seu criador, o cientista da computação Edsger Wybe Dijkstra (ZAMBONI *et al.*, 2007), que estudou e propôs, através do algoritmo, a solução para dois problemas em grafos: caminhos de custo mínimo com vértice-fonte única e árvore geradora mínima. O problema dos caminhos de custo mínimo é um problema clássico em otimização combinatória. Dados um grafo ponderado com pesos não negativos nas arestas e um vértice-fonte, encontrar caminhos de custo mínimo para todos os demais vértices (NEVES, 2007).

O algoritmo parte de uma estimativa do valor inicial (infinito) para o caminho de custo mínimo e vai sucessivamente ajustando “percorrendo” essa estimativa, finalizando somente quando tal processo já tiver obtido um caminho de custo mínimo a partir do vértice-fonte adotado. Caso contrário, ele continua fazendo a busca. Os vértices serão classificados em três grupos: os já visitados, os candidatos (adjacentes) e os nunca visitados (desconhecidos) (DAVIS JR., 1997).

A cada passo do algoritmo, os vértices do conjunto serão verificados para determinar qual seria a opção mais curta para expandir a pesquisa. É calculado o custo do vértice atual para os seus adjacentes e se o custo encontrado for menor que o gravado como menor caminho para aquele vértice que inicialmente foi estimado como infinito, o valor será atualizado (DAVIS JR., 1997).

É utilizado nesse algoritmo uma técnica chamada relaxamento de arestas, que consiste em rotular os vértices incidentes de forma temporária ou definitiva. A estimativa de um vértice que ainda possui o valor inicial (infinito) corresponde à rotulação temporária caso este vértice seja incidente de outras arestas, possibilitando que novas buscas sejam realizadas e a estimativa possa ser melhorada, podendo-se dizer, portanto, que o vértice está “desmarcado”. Quando não houver mais possibilidades de melhorar a estimativa, então o melhor valor encontrado para aquele vértice será rotulado como definitivo, que será dito estar “marcado” (GOODRICH; TAMASSIA, 2006).

Seja  $G(V, E)$  um grafo orientado ou não, e  $s$  um vértice-fonte de  $G$ .

- Atribui-se valor zero à estimativa de custo mínimo do vértice-fonte  $s$ , e valor inicial infinito às demais estimativas;
- Atribui-se um valor qualquer aos precedentes (o precedente de um nó  $t$  e o nó que precede  $t$  no caminho de custo mínimo de  $s$  para  $t$ );
- Enquanto houver vértice “desmarcado”:
  - Seja  $k$  um vértice ainda “desmarcado” cuja estimativa seja a de menor custo dentre todos os vértices “desmarcados”;
  - O vértice  $k$  será “marcado”;
  - Para todo vértice  $j$  ainda “desmarcado” que seja adjacente do vértice  $k$ :
    - Soma-se a estimativa de custo do vértice  $k$  com o peso da aresta que une  $k$  a  $j$ ;
    - Caso a soma seja menor que a estimativa anterior para o vértice  $j$ , substitui-se e adota-se o vértice  $k$  como sendo o precedente do vértice  $j$ ;
- Quando todos os vértices tiverem sido “marcados”, o caminho obtido a partir do vértice-fonte será o caminho de custo mínimo.

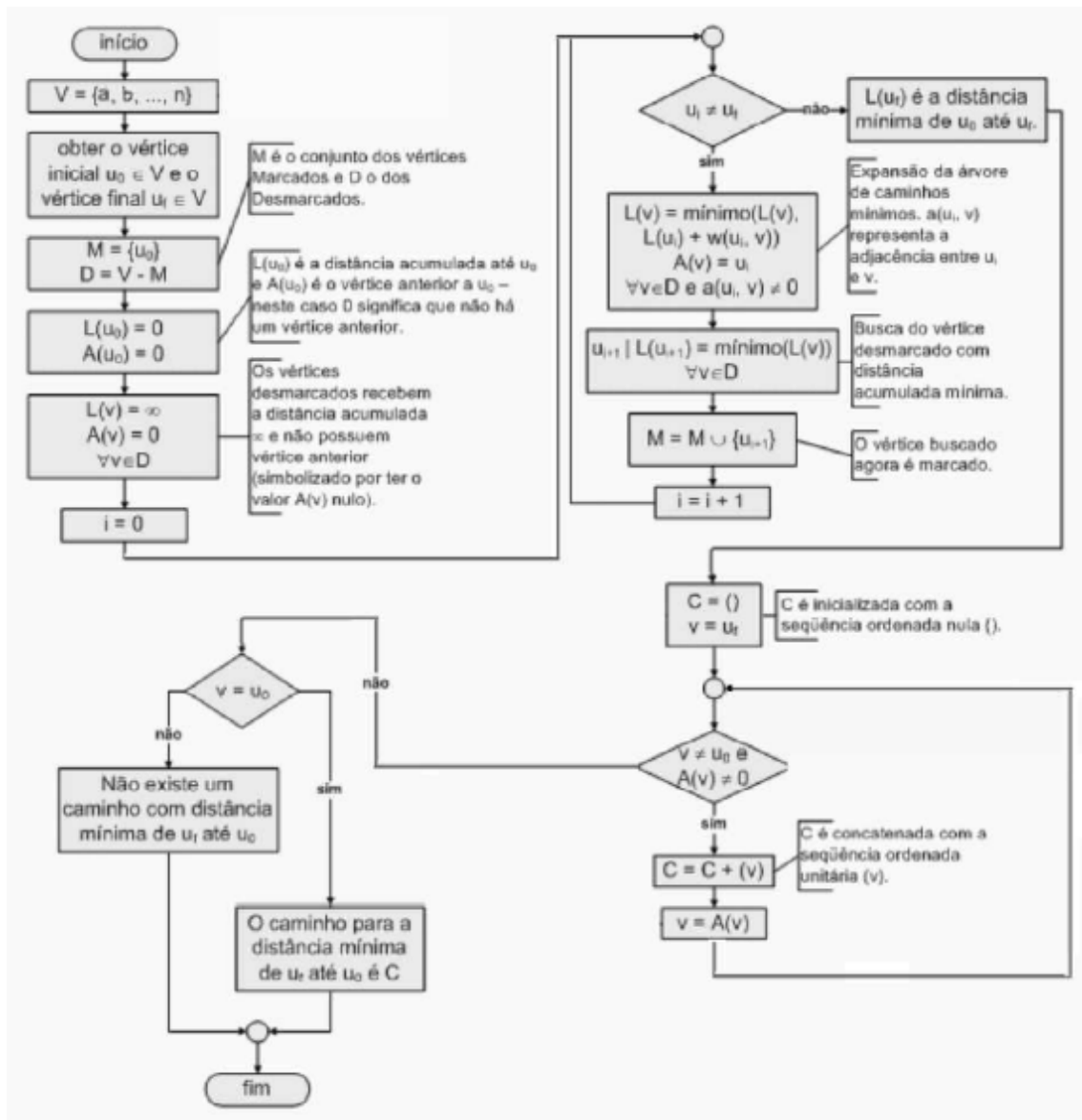


FIGURA 15 - Fluxograma do Algoritmo de Dijkstra.

Fonte: Zamboni *et.al.* (2007).

A solução encontrada pelo algoritmo de Dijkstra formará uma árvore geradora mínima, que define o caminho de custo mínimo entre uma única origem para todos os possíveis destinos.

### 2.3.5. Árvore geradora mínima

Uma árvore é composta por vértices que são conectados por arestas. Embora as árvores possuam poucas aplicações na teoria dos grafos, esta será de grande valia para o problema do caminho de custo mínimo, do ponto de vista

da logística referente aos transportes, pois possibilitará a visualização gráfica e espacial, ainda que abstrata, da solução do menor caminho a ser percorrido entre os vértices conectados pela rede de transportes.

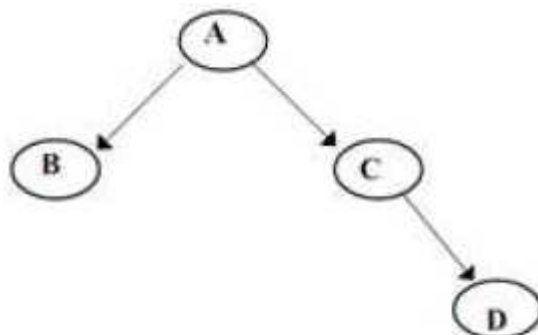


FIGURA 16 - Exemplo de árvore.

Fonte: Tenenbaum (1995).

Dado um grafo ponderado ou não, a formação da árvore geradora mínima consistirá em encontrar uma árvore geradora a partir do caminho de custo mínimo, na qual todos os vértices se conectem, direta ou indiretamente, uns aos outros. Essa estrutura deve possuir o menor custo possível, onde o custo será atribuído pela somatória dos pesos das arestas que compõem o caminho mínimo encontrado pelo algoritmo utilizado.

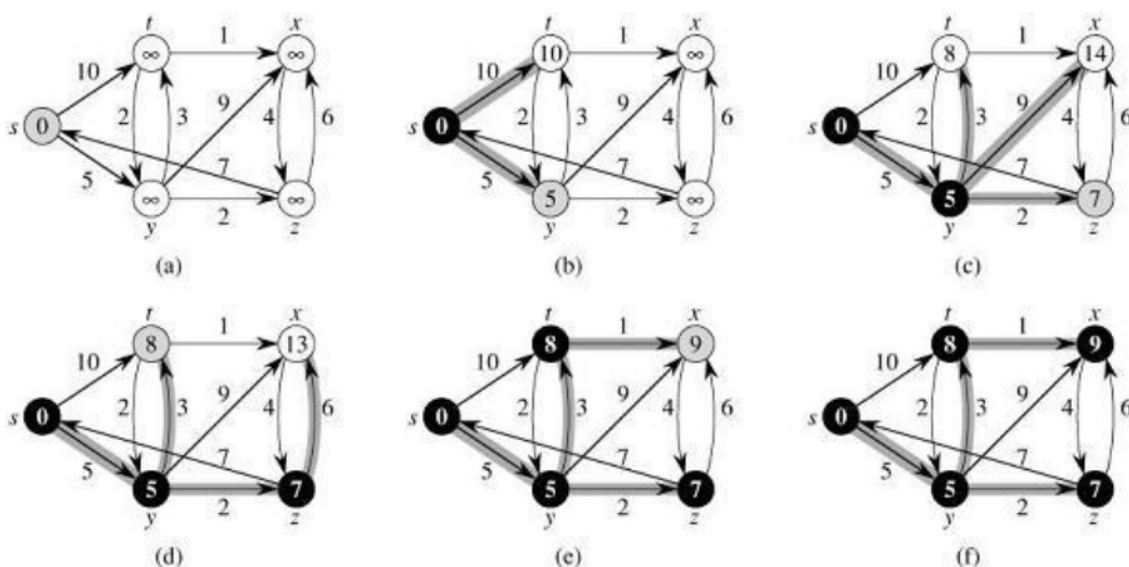


FIGURA 17 - Formação da árvore geradora mínima a partir da aplicação do Algoritmo de Dijkstra.

Fonte: Cormen *et.al.* (2002).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. REGIÕES DE ESTUDO E DETERMINAÇÃO DA MALHA RODOVIÁRIA

Para o estudo de caso deste trabalho, serão adotadas as macrorregiões determinadas pelo IMEA de maior representatividade na produção de soja, com base nas áreas produtivas referentes à safra 2013/14. Portanto, foram escolhidas as macrorregiões Médio-Norte, Sudeste, Nordeste e Oeste, representadas, na figura 18, pelos números 4, 7, 3 e 5, respectivamente, juntas detêm 84,4% de toda a área produtiva de soja do estado de Mato Grosso.

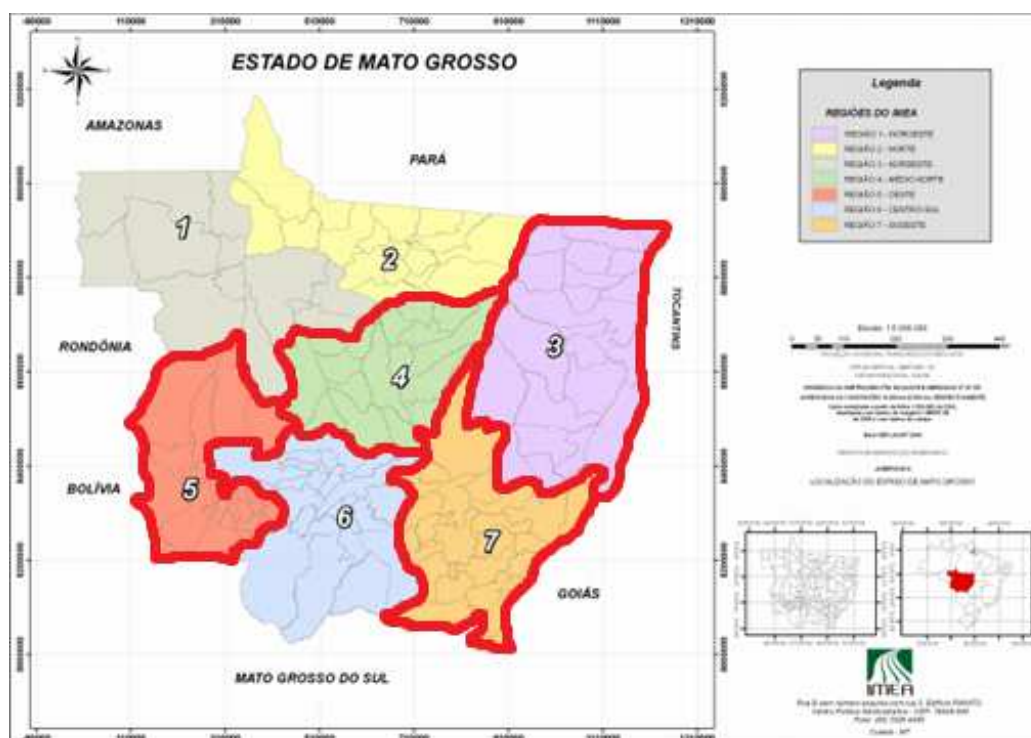


FIGURA 18 - Regiões escolhidas para o estudo de caso.

Fonte: O autor (2014), adaptado de IMEA.

Para cada região, serão selecionadas as principais cidades produtoras de soja, com base no banco de dados do IMEA apresentado anteriormente. No caso específico da região 7 – Sudeste, também será considerada a cidade de Rondonópolis que, devido seu porte, não poderia ser deixada de fora.

Juntas, essas regiões abrigam pelo menos 20 grandes cidades produtoras de soja, e entende-se que seria muito complexo determinar, pensando numa

abrangência nacional para o escoamento da produção, uma malha rodoviária que contemplasse todas as cidades na determinação de caminhos de custo mínimo para cada uma delas. Considerando-se que em cada região as cidades estão relativamente próximas (os portos, salvo exceções, estarão a pelo menos 2000 km de distância), além de ser muito trabalhoso tratar cada cidade individualmente, haveria repetições de resultados para a otimização desses caminhos, e a diferença no frete rodoviário seria insignificante.

Logo, optou-se por aplicar o algoritmo de Dijkstra inicialmente para cada macrorregião, encontrando cidades “centroides” a partir das distâncias de forma numérica, gráfica e/ou intuitiva, para simular a concentração da produção em centros de armazenagem, e a partir da determinação dessas cidades fazer a aplicação para a malha brasileira até os portos.

Em relação aos portos, conforme visto anteriormente, as cidades de Santos/SP, Manaus/AM, Vitória/ES, Paranaguá/PR, Santarém/PA e São Francisco do Sul/SC concentram 99% do escoamento da soja para exportação e, portanto, serão adotadas essas cidades.

A determinação da malha rodoviária se dará através dos mapas rodoviários do estado de Mato Grosso e do Brasil, onde serão computadas as cidades forem julgadas necessárias, que será entendido como todas as cidades onde houver intersecção de rodovias.

As distâncias serão extraídas do Google Maps ou através de outros meios (sitios oficiais dos governos federal e estadual, sitios de associações produtoras, escalas de mapas, etc.), nos casos de rodovias estaduais ou municipais mato-grossenses que não estiverem cadastradas pela ferramenta online.

### 3.2. PROGRAMA DO ALGORITMO DE DIJKSTRA

Para o cálculo do caminho de custo mínimo e otimização das rotas foi desenvolvido um programa do algoritmo de Dijkstra em linguagem C, de simples manuseio, gerado pelo ambiente Dev-C++ versão 5.7.1.

A estrutura do programa consiste em realizar o cadastro do número de vértices do grafo, no caso as cidades, e seus respectivos pesos (distâncias) desde que exista uma ligação direta entre as mesmas. Em caso contrário não será necessário inserir valor nulo. Vale ressaltar que o programa não considera



grafos orientados e registra os caminhos de volta considerando  $\{A,B\} = \{B,A\}$ , por tratar-se de uma rodovia, onde o deslocamento de ida teoricamente será o mesmo de volta. Em seguida, efetua-se o cálculo dos menores caminhos dentro do grafo.

A simulação foi efetuada em um computador com sistema operacional Microsoft Windows 8.1, processador Intel I3 M370 2,40ghz, 4GB de memória e HD de 320 GB, embora se acredite que o mesmo funcione perfeitamente em computadores de outros sistemas e com configuração mais obsoleta.



```
C:\Users\Renan\Desktop\dijkstra.exe
Implementacao do Algoritmo de Dijkstra
Elaboracao ITTI - Renan Alves do Nascimento
Comandos:
d - Adicionar um grafo
r - Procurar os menores caminhos no grafo
CTRL+c - Sair do programa
>>> _
```

FIGURA 19 - Programa do algoritmo de Dijkstra em linguagem C.

Fonte: O autor (2014).

### 3.3. FORMAÇÃO DO FRETE RODOVIÁRIO DE SOJA

Dados levantados pela ATC (2014) mostram os custos logísticos apurados em 30 empresas de pequeno, médio e grande portes, atuantes no estado de Mato Grosso, para o transporte de soja através de caminhões bitrens graneleiros com capacidade de carga de até 40 toneladas, considerando-se uma quilometragem média de 80.000 km/ano por caminhão e desprezando a existência de cargas de retorno (rodando 50% cheio e 50% vazio). Sendo assim, os custos apresentados tratam-se de valores médios para a ida e volta do destino inicial.

Na tabela 4 apresentam-se custos por quilômetro rodado de caminhão bitrem graneleiro para o estado de Mato Grosso em 2014 (R\$/km), e na tabela 5 apresentam-se custos fixos e variáveis de transporte para o referido caminhão.

1 COMBUSTÍVEL		7 IMPOSTOS S/ VEÍCULOS		GRUPOS DE CUSTOS		Custo Por KM
Óleo Diesel		IPVA		1	COMBUSTÍVEL	R\$ 0,92
2 LUBRIFICANTES/FILTROS		Licenciamentos		2	LUBRIFIC. / FILTROS	R\$ 0,04
Óleo do Motor		Seguro Obrigatório		3	MANUTENÇÃO	R\$ 0,35
Óleo da Caixa de Câmbio		Transferências		4	PNEUS	R\$ 0,13
Óleo do Diferencial		Honorários de Despachantes		5	MOTORISTAS	R\$ 0,70
Filtros Diversos		Taxas de Inspeção Inmetro		6	DESP. OPERACIONAIS	R\$ 0,02
Graxas		Licenças Especiais (AET's)		7	IMPOSTOS S/VEÍCS.	R\$ 0,04
Aditivos		8 COMUNICAÇÃO		8	COMUNICAÇÃO	R\$ 0,02
3 MANUTENÇÃO		Telefonia Fixa		9	DESP. ADMINISTRAT.	R\$ 0,20
Lavagem de Veículos		Telefonia Celular		10	IMPOSTOS	R\$ 0,15
Peças Elétricas		Rastreamento		11	SEGUROS DE VEÍCS.	R\$ 0,15
Peças Mecânica		Internet		12	DEPRECIÇÃO	R\$ 0,33
Soldas		Manut. de Equip. Comunic.		<b>CUSTO TOTAL P/ KM</b>		<b>R\$ 3,05</b>
Mão de Obra Própria		9 DESP. ADMINISTRATIVAS		<b>OBSERVAÇÕES IMPORTANTES:</b>  Levantamento de custos realizado em 30 empresas de pequeno, médio e grande porte, atuantes no Estado de Mato Grosso.  Custos apurados de um bitrem graneleiro rodando uma quilometragem média anual de 80.000 km.  Preço médio do combustível cotado nas empresas que abastecem suas frotas em bases próprias e em postos de combustíveis.  Consumo médio de 2,30 km p/ litro, rodando 50% vazio e 50% carregado.		
Mão de Obra de Terceiros		Salários de Funcions. Adm.				
Material de Pintura/Funilaria		Férias e Décimo Terceiro				
Tapeçaria e Acessórios		Comissões e Gratificações				
Equipamentos Obrigatórios		Cursos e Treinamentos				
Franquias de Seguros		Honorários Contábeis				
Material Oficina Própria		Honorários Advocáticos				
Encargos Sociais/Cont.Sind.		Correios e Cartórios				
Cursos e Treinamentos		Seguro de Vida em Grupo				
Uniformes		Assinaturas Oficiais				
4 PNEUS		Uniformes				
Pneus Novos		Planos de Saúde				
Recapagens		Frete de Encomendas				
Câmaras e Protetores		Tarifas Bancárias				
Borracharia Externa		Manut. e Conserv. Predial				
Borracharia Própria		Manut. Equip. Informática				
Vulcanização		Material de Escritório				
Recuperação de Pneus		Equip. de Informática e Com.				
5 MOTORISTAS		Alimentação de Funcionários				
Comissões Sobre Fretes		Desp. Com Veics. Administr.				
Prêmios e Gratificações		Viagens e Estádias				
Complementos Salariais		Encargos Sociais e Cont.Sind				
Diárias e Estádias		Água e Energia Elétrica				
Férias e Décimo Terceiro		10 IMPOSTOS				
Uniformes		PIS				
Rescisões		COFINS				
Cursos e Treinamentos		ISSQN - IPTU - ALVARÁ				
Causas Trabalhistas		11 SEGUROS DE VEÍCULOS				
Encargos Sociais/Cont. Sind.		Seguro Contra Terceiros				
6 DESP. OPERACIONAIS		Seguro Total ou Auto Seguro				
Pedágios de Retorno		12 DEPRECIÇÃO				
Balsa		Depreciação de Veículos				
Taxas de Acessos						
Seguro de Carga						
Taxas de Telerisco						

TABELA 4 - Custos por km rodado de caminhão bitrem graneleiro para o estado de Mato Grosso em 2014 (R\$/km).

Fonte: ATC (2014).

<b>CUSTOS VARIÁVEIS</b>	<b>Custo por km</b>	<b>CUSTOS FÍXOS</b>	<b>Custo por km</b>
1. Combustível	R\$ 0,92	5. Motoristas	R\$ 0,70
2. Lubrificantes/ Filtros	R\$ 0,04	6. Despesas Operacionais	R\$ 0,02
3. Manutenção	R\$ 0,35	7. Imp. Veículos	R\$ 0,04
4. Pneus	R\$ 0,13	CF =	R\$ 0,76/km
CV =	R\$ 1,44/km	$\frac{CF \times 80000km/ano}{12}$	R\$ 5066,67/mês

TABELA 5 - Custos fixos e variáveis de transporte para o caminhão bitrem graneleiro.

Fonte: O autor (2014), com dados da ATC (2014).

O cálculo inicial tratará somente dos custos do transporte propriamente dito, isto é, o custo para a transportadora; Portanto não serão contemplados os custos indiretos e o lucro. Conforme visto anteriormente, a variável C, referente às despesas administrativas, é determinada em função da tonelagem expedida e independe da distância, de modo que os custos indiretos médios apresentados pela ATC (2014) em R\$/km mostram adequados somente para longos trajetos, onde o custo seria mais diluído do que em trechos mais curtos.

A jornada de trabalho dos motoristas profissionais, conforme a Lei 12.619/2012 é de 10h/dia, sendo previsto um dia de folga por semana. Admitindo-se que o ano tenha 52 semanas e, desprezando os dias de feriado, o número de dias trabalháveis por mês será de:  $(365-52)/12 = 26$  dias/mês. Portanto, pode-se considerar o número de horas trabalhadas no mês como sendo  $H = 26 \cdot 10 = 260$ h/mês.

Admitindo-se, ainda, que a velocidade média do caminhão durante a viagem seja  $V = 60$ km/h, e que o tempo para carregar, descarregar e esperar carga seja  $TCD = 6$ h/viagem, a equação do custo peso será:

$$A = [ ( 5066,67 / 260 ) \cdot 6 ] / 40 = 2,923078846;$$

$$B = \{ [ 5066,67 / ( 260 \cdot 60 ) ] + 1,44 \} / 40 = 0,044119663;$$

$$C = 0; L = 0;$$

$$\text{CUSTO PESO} = 2,923078846 + 0,044119663 \cdot X$$

Onde X é a distância percorrida em km.

A partir desta equação e, observando as classes de percurso, foram compostas as segunda e terceira colunas da tabela 6. Em casa classe, considerar-se o valor extremo superior.

			Caminhão bitrem 40t		Custo valor Aliq. (%)	GRIS (%)	Aliq.
Classe de percurso (km)			Custo peso (R\$/t)	Custo peso (R\$/1000t.km)			
1	a	25	R\$ 4,03	R\$ 161,04	0,3	0,3	
26	a	50	R\$ 5,13	R\$ 102,58	0,3	0,3	
51	a	75	R\$ 6,23	R\$ 83,09	0,3	0,3	
76	a	100	R\$ 7,34	R\$ 73,35	0,3	0,3	
101	a	125	R\$ 8,44	R\$ 67,50	0,3	0,3	
126	a	150	R\$ 9,54	R\$ 63,61	0,3	0,3	
151	a	175	R\$ 10,64	R\$ 60,82	0,3	0,3	
176	a	200	R\$ 11,75	R\$ 58,74	0,3	0,3	
201	a	225	R\$ 12,85	R\$ 57,11	0,3	0,3	
226	a	250	R\$ 13,95	R\$ 55,81	0,3	0,3	
251	a	275	R\$ 15,06	R\$ 54,75	0,4	0,3	
276	a	300	R\$ 16,16	R\$ 53,86	0,4	0,3	
301	a	325	R\$ 17,26	R\$ 53,11	0,4	0,3	
326	a	350	R\$ 18,36	R\$ 52,47	0,4	0,3	
351	a	375	R\$ 19,47	R\$ 51,91	0,4	0,3	
376	a	400	R\$ 20,57	R\$ 51,43	0,4	0,3	
401	a	425	R\$ 21,67	R\$ 51,00	0,4	0,3	
426	a	450	R\$ 22,78	R\$ 50,62	0,4	0,3	
451	a	475	R\$ 23,88	R\$ 50,27	0,4	0,3	
476	a	500	R\$ 24,98	R\$ 49,97	0,4	0,3	
501	a	550	R\$ 27,19	R\$ 49,43	0,6	0,3	
551	a	600	R\$ 29,39	R\$ 48,99	0,6	0,3	
601	a	650	R\$ 31,60	R\$ 48,62	0,6	0,3	
651	a	700	R\$ 33,81	R\$ 48,30	0,6	0,3	
701	a	750	R\$ 36,01	R\$ 48,02	0,6	0,3	
751	a	800	R\$ 38,22	R\$ 47,77	0,6	0,3	
801	a	850	R\$ 40,42	R\$ 47,56	0,6	0,3	
851	a	900	R\$ 42,63	R\$ 47,37	0,6	0,3	
901	a	950	R\$ 44,84	R\$ 47,20	0,6	0,3	
951	a	1000	R\$ 47,04	R\$ 47,04	0,6	0,3	
1001	a	1100	R\$ 51,45	R\$ 46,78	0,7	0,3	
1101	a	1200	R\$ 55,87	R\$ 46,56	0,7	0,3	
1201	a	1300	R\$ 60,28	R\$ 46,37	0,7	0,3	
1301	a	1400	R\$ 64,69	R\$ 46,21	0,7	0,3	
1401	a	1500	R\$ 69,10	R\$ 46,07	0,7	0,3	
1501	a	1600	R\$ 73,51	R\$ 45,95	0,8	0,3	
1601	a	1700	R\$ 77,93	R\$ 45,84	0,8	0,3	
1701	a	1800	R\$ 82,34	R\$ 45,74	0,8	0,3	
1801	a	1900	R\$ 86,75	R\$ 45,66	0,8	0,3	
1901	a	2000	R\$ 91,16	R\$ 45,58	0,8	0,3	
2001	a	2200	R\$ 99,99	R\$ 45,45	0,9	0,3	
2201	a	2400	R\$ 108,81	R\$ 45,34	0,9	0,3	
2401	a	2600	R\$ 117,63	R\$ 45,24	0,9	0,3	
2601	a	2800	R\$ 126,46	R\$ 45,16	1,0	0,3	
2801	a	3000	R\$ 135,28	R\$ 45,09	1,0	0,3	
3001	a	3200	R\$ 144,11	R\$ 45,03	1,1	0,3	
3201	a	3400	R\$ 152,93	R\$ 44,98	1,1	0,3	
3401	a	3600	R\$ 161,75	R\$ 44,93	1,2	0,3	
3601	a	3800	R\$ 170,58	R\$ 44,89	1,2	0,3	
3801	a	4000	R\$ 179,40	R\$ 44,85	1,2	0,3	
4001	a	4200	R\$ 188,23	R\$ 44,82	1,2	0,3	
4201	a	4400	R\$ 197,05	R\$ 44,78	1,2	0,3	
4401	a	4600	R\$ 205,87	R\$ 44,76	1,2	0,3	
4601	a	4800	R\$ 214,70	R\$ 44,73	1,2	0,3	
4801	a	5000	R\$ 223,52	R\$ 44,70	1,2	0,3	
5001	a	5200	R\$ 232,35	R\$ 44,68	1,2	0,3	
5201	a	5400	R\$ 241,17	R\$ 44,66	1,2	0,3	
5401	a	5600	R\$ 249,99	R\$ 44,64	1,2	0,3	
5601	a	5800	R\$ 258,82	R\$ 44,62	1,2	0,3	
5801	a	6000	R\$ 267,64	R\$ 44,61	1,2	0,3	

TABELA 6 - Estimativa do custo peso, com respectivos custo valor e GRIS.

Fonte: O autor (2014).

Estimativas do custo peso, em R\$/t e em R\$/1000t.km, são apresentadas, respectivamente, nos gráficos 3 e 4.

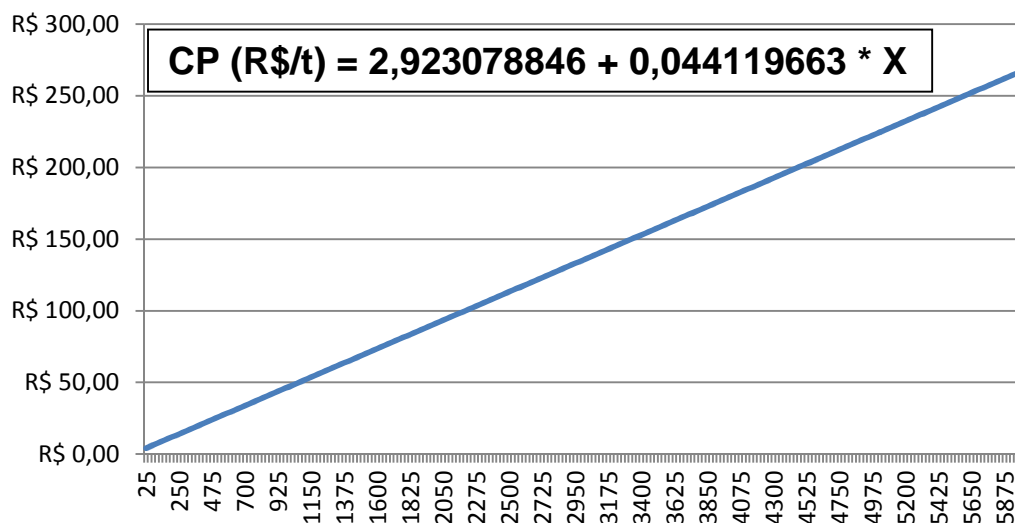


GRÁFICO 3 - Estimativa do custo peso (R\$/t).

Fonte: O autor (2014).

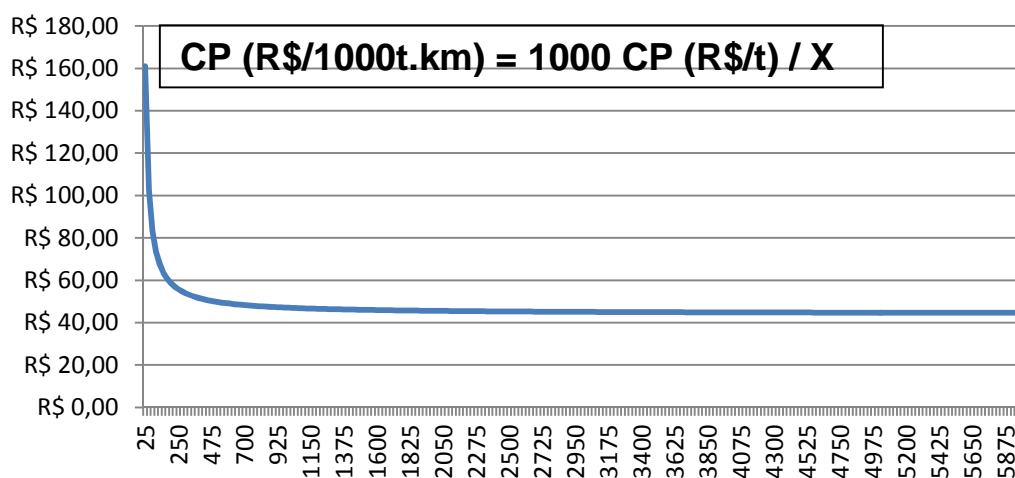


GRÁFICO 4 - Estimativa do custo peso (R\$/1000t.km)

Fonte: O autor (2014).

### 3.2.1. Estimativa dos custos indiretos e do lucro

Notícia publicada por Valor Econômico (2014) revela, com nota divulgada pela Aprosoja, que na safra 2013/2014 o frete do transporte rodoviário de soja entre Sorriso/MT e Santos/SP chegou a bater no pico da safra a casa dos R\$ 330,00/t.

Sabendo-se que o custo peso em R\$/1000t.km passa por uma estabilização a partir de distâncias acima de 600 km, conforme pode ser observado no gráfico 4, e como o presente trabalho trata do custo logístico até os portos para exportação, em que essa distância certamente será atingida, pode-se estimar empiricamente os custos indiretos e o lucro de uma empresa transportadora usando os valores médios de custos indiretos da ATC (2014) (foi comentado anteriormente sua aplicação mais adequada para longos trajetos). Embora seja um cálculo a partir de dados secundários, acredita-se que, os fretes rodoviários a serem obtidos no estudo do caso deverão atingir valores próximos aos praticados na vida real.

Na tabela 7 apresentam-se custos indiretos de transporte para o caminhão bitrem graneleiro.

<b>CUSTOS INDIRETOS</b>	<b>Custo por km</b>
8. Comunicação	R\$ 0,02
9. Despesas Administrativas	R\$ 0,20
10. Impostos	R\$ 0,15
11. Seguros	R\$ 0,15
12. Depreciação	R\$ 0,33
CI =	R\$ 0,85/km

TABELA 7 - Custos indiretos de transporte para o caminhão bitrem graneleiro.

Fonte: O autor (2014), com dados da ATC (2014).

Tomando por base uma distância de Sorriso/MT a Santos/SP de aproximadamente 2000km, com base em referências externas. Tem-se, então, um percurso de ida e volta de 4000km, considerando que o cliente deve bancar o retorno do caminhão vazio, já que os valores médios da ATC (2014) preveem a inexistência de cargas de retorno. Para a realização dessa viagem, ida e volta, o custo peso obtido foi de R\$ 179,40/t. Considerando a capacidade máxima do caminhão bitrem graneleiro de 40 toneladas, o valor estimado de C será:

$$\text{DAT} = \text{CI} * X = 0,85 * 4000 = \text{R\$ } 3.400,00$$

$$\text{C} = (\text{DAT} / \text{TEXP}) = 3400/40 = \text{R\$ } 85,00/\text{t}$$

Pode-se estimar, portanto, o lucro das empresas transportadoras, adotando que o valor final do frete rodoviário é igual ao custo peso, pois a incidência do custo valor e do GRIS é tão pequena que pode ser desprezada. Portanto, a partir da equação do custo peso, tem-se:

$$\text{CUSTO PESO} = (A + B.X + C) * [(100 + L) / 100]$$

$$330,00 = (179,40 + 85,00) * [(100+L) / 100] \Rightarrow \boxed{L = 25\%}$$

A incidência dos custos indiretos no valor final do frete, por sua vez, será bastante relevante. Para distâncias acima de 600 km, onde a curva do gráfico de custo peso em R\$/1000t.km sofre estabilização, podemos dizer que o valor que C representa percentualmente sofrerá uma variação mínima.

Se o valor de C obtido para a viagem de ida e volta de Sorriso/MT a Santos/SP é de R\$ 85,00, e o frete é de R\$ 330,00, este valor representará aproximadamente 26% do valor final. Sendo assim, podemos chegar a uma equação genérica para a formação do frete rodoviário neste estudo:

$$\text{FRETE} = (A + B.X + C) * [(100 + L) / 100]$$

$$\text{FRETE} = (A + B.X + 0,26*\text{FRETE}) * [(100 + 25) / 100]$$

$$\text{FRETE} = (A + B.X + 0,26*\text{FRETE}) * 1,25$$

$$\text{FRETE} = 1,25*(A + B.X) + 0,325*\text{FRETE}$$

$$0,675*\text{FRETE} = 1,25*(A + B.X)$$

$$\text{FRETE} = 1,85*(A + B.X)$$

Onde X é a distância percorrida em km ( $X > 600$ )

$$A = 2,923078846$$

$$B = 0,044119663$$

Portanto,

$$\text{FRETE} = 5,407695865 + 0,081621376.X$$

Onde X é a distância percorrida em km ( $X > 600$ )

O frete adotado nesse trabalho admitirá que o lucro é de 25% sobre o valor em R\$/t da carga transportadora, e que a estrutura de custos reflete uma transportadora operando em regime de plena eficiência.

Na tabela 8 informam-se estimativas do valor de frete rodoviário segundo classes de percurso, cujas representações gráficas são apresentadas nos gráficos 5 e 6.

Classe de percurso (km)		Caminhão bitrem 40t	
		Frete (R\$/t)	Frete (R\$/1000t.km)
601	a 650	R\$ 58,46	R\$ 89,94
651	a 700	R\$ 62,54	R\$ 89,35
701	a 750	R\$ 66,62	R\$ 88,83
751	a 800	R\$ 70,70	R\$ 88,38
801	a 850	R\$ 74,79	R\$ 87,98
851	a 900	R\$ 78,87	R\$ 87,63
901	a 950	R\$ 82,95	R\$ 87,31
951	a 1000	R\$ 87,03	R\$ 87,03
1001	a 1100	R\$ 95,19	R\$ 86,54
1101	a 1200	R\$ 103,35	R\$ 86,13
1201	a 1300	R\$ 111,52	R\$ 85,78
1301	a 1400	R\$ 119,68	R\$ 85,48
1401	a 1500	R\$ 127,84	R\$ 85,23
1501	a 1600	R\$ 136,00	R\$ 85,00
1601	a 1700	R\$ 144,16	R\$ 84,80
1701	a 1800	R\$ 152,33	R\$ 84,63
1801	a 1900	R\$ 160,49	R\$ 84,47
1901	a 2000	R\$ 168,65	R\$ 84,33
2001	a 2200	R\$ 184,97	R\$ 84,08
2201	a 2400	R\$ 201,30	R\$ 83,87
2401	a 2600	R\$ 217,62	R\$ 83,70
2601	a 2800	R\$ 233,95	R\$ 83,55
2801	a 3000	R\$ 250,27	R\$ 83,42
3001	a 3200	R\$ 266,60	R\$ 83,31
3201	a 3400	R\$ 282,92	R\$ 83,21
3401	a 3600	R\$ 299,24	R\$ 83,12
3601	a 3800	R\$ 315,57	R\$ 83,04
3801	a 4000	R\$ 331,89	R\$ 82,97
4001	a 4200	R\$ 348,22	R\$ 82,91
4201	a 4400	R\$ 364,54	R\$ 82,85
4401	a 4600	R\$ 380,87	R\$ 82,80
4601	a 4800	R\$ 397,19	R\$ 82,75
4801	a 5000	R\$ 413,51	R\$ 82,70
5001	a 5200	R\$ 429,84	R\$ 82,66
5201	a 5400	R\$ 446,16	R\$ 82,62
5401	a 5600	R\$ 462,49	R\$ 82,59
5601	a 5800	R\$ 478,81	R\$ 82,55
5801	a 6000	R\$ 495,14	R\$ 82,52

TABELA 8 - Estimativa do frete rodoviário segundo classes de percurso.

Fonte: O autor (2014).

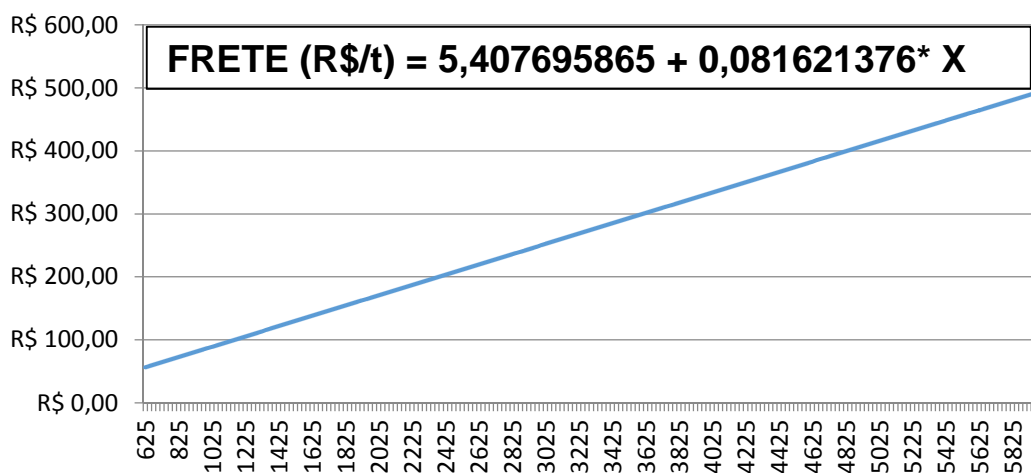


GRÁFICO 5 - Estimativa do frete rodoviário (R\$/t).

Fonte: O autor (2014).



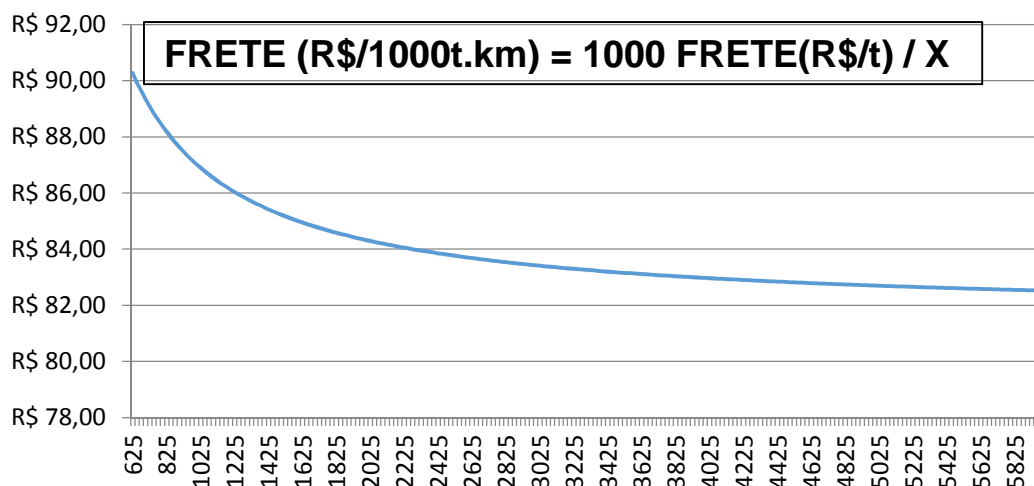


GRÁFICO 6 - Estimativa do frete rodoviário (R\$/1000t.km).

Fonte: O autor (2014).

Para o transporte dentro da macrorregião, isto é, de cada cidade produtora de soja até a cidade “centroide”, onde estará a central de armazenagem, o custo do transporte e armazenamento será desprezado, devido ao curto trajeto a ser percorrido e a utilização de carretas particulares, de modo que os custos logísticos tratados nesse estudo não se aplicarão para esse caso.

Já para o transporte rodoviário dos “centroides” até os portos, uma vez otimizadas as rotas, as distâncias até os portos serão multiplicadas por dois, pois os custos logísticos preveem o retorno do caminhão até a cidade de origem sem carga de retorno, de modo que o cliente bancará o custo para ida e volta.

Adotam-se, usualmente, as chamadas “classes de percurso” para a formação dos fretes rodoviários, que são intervalos de quilometragem (poderão ser encontrados a cada 25 km, 50 km, 100 km ou 200 km), utilizados para tabelar os preços, dispensando a necessidade de se efetuar o cálculo utilizando a fórmula. Para a realização deste estudo, são adotadas classes de 25 km. Por exemplo, dada uma distância percorrida  $X = 4422$  km, a distância a ser adotada para a aplicação do frete será de 4425 km ( $4401 \text{ km} \leq X \leq 4425 \text{ km}$ ), que corresponde ao valor extremo superior no respectivo intervalo.

## 4. ESTUDO DE CASO

### 4.1. REGIÃO 3 – NORDESTE

#### CIDADES

- |   |                 |   |                |
|---|-----------------|---|----------------|
| 1 | QUERÊNCIA       | 3 | CANARANA       |
| 2 | GAÚCHA DO NORTE | 4 | NOVA XAVANTINA |



FIGURA 20 - Malha rodoviária da região 3 – Nordeste

Fonte: O autor (2014).

DISTÂNCIAS (km)		
1	2	119
1	3	115
2	3	145
2	4	254
3	4	176

TABELA 9 - Distâncias entre as principais cidades produtoras da região 3 – Nordeste.

Fonte: O autor (2014).

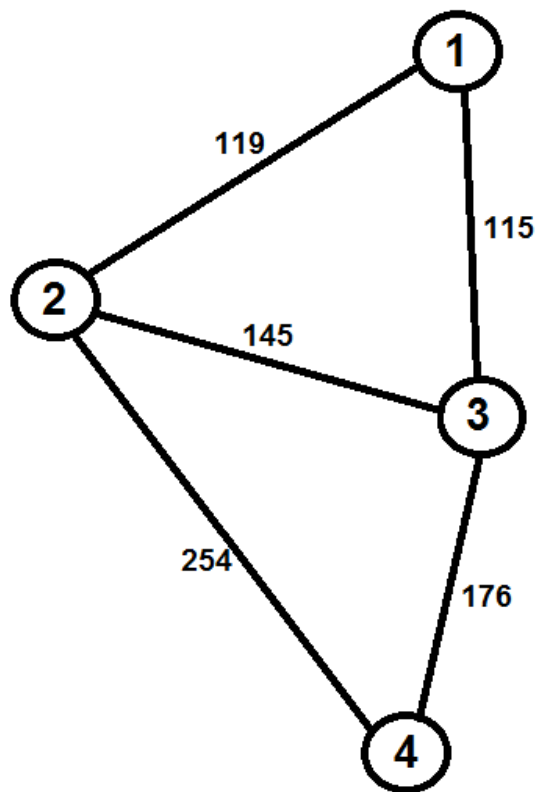


FIGURA 21 - Grafo da região 3 – Nordeste

Fonte: O autor (2014).

←[2J ←[1H

Implementação do Algoritmo de Dijkstra

Elaboração ITTI – Renan Alves do Nascimento

Comandos:

d – Adicionar um grafo

r – Procurar os menores caminhos no grafo

CTRL+c – Sair do programa

>>> d

Informe o numero de vertices (mínimo 2): 4

Entre com os vértices:

Vertice de origem (entre 1 e 3 ou '0' para sair): 1

Vertice de destino (entre 1 e 3, menos 1): 2

Distancia (positiva) entre os vértices 1 e 2: 119

Vertice de origem (entre 1 e 3 ou '0' para sair): 1

Vertice de destino (entre 1 e 3, menos 1): 3

Distancia (positiva) entre os vértices 1 e 3: 115

Vertice de origem (entre 1 e 3 ou '0' para sair): 2

Vertice de destino (entre 1 e 3, menos 2): 3

Distancia (positiva) entre os vértices 2 e 3: 145

Vertice de origem (entre 1 e 3 ou '0' para sair): 2

Vertice de destino (entre 1 e 3, menos 2): 4

Distancia (positiva) entre os vértices 2 e 4: 254

Vertice de origem (entre 1 e 3 ou '0' para sair): 3

Vertice de destino (entre 1 e 3, menos 3): 4

Distancia (positiva) entre os vértices 3 e 4: 176

Vertice de origem (entre 1 e 3 ou '0' para sair): 0

←[2J ←[1H

Implementacao do Algoritmo de Dijkstra

Elaboração ITTI – Renan Alves do Nascimento

Comandos:

d – Adicionar um grafo

r – Procurar os menores caminhos no grafo

CTRL+c – Sair do programa

>>> r

Lista dos caminhos mínimos do grafo:

De 1 para 1: Nao Existe

Distancia: -

De 1 para 2: 1 -> 2

Distancia: 119

De 1 para 3: 1 -> 3

Distancia: 115

De 1 para 4: 1 -> 3 -> 4  
 Distancia: 291

De 2 para 1: 2 -> 1  
 Distancia: 119

De 2 para 2: Nao Existe  
 Distancia: -

De 2 para 3: 2 -> 3  
 Distancia: 145

De 2 para 4: 2 -> 4  
 Distancia: 254

De 3 para 1: 3 -> 1  
 Distancia: 115

De 3 para 2: 3 -> 2  
 Distancia: 145

De 3 para 3: Nao Existe  
 Distancia: -

De 3 para 4: 3 -> 4  
 Distancia: 176

De 4 para 1: 4 -> 3 -> 1  
 Distancia: 291

De 4 para 2: 4 -> 2  
 Distancia: 254

De 4 para 3: 4 -> 3  
 Distancia: 176

De 4 para 4: Nao Existe  
 Distancia: -

Observa-se que a cidade “centroide” que se conecta às demais com as menores distância será Canarana, representada pelo número 3, onde será considerado o centro de armazenagem da macrorregião. Tem-se, portanto, a árvore geradora mínima, e o caminho para a macrorregião está otimizado.

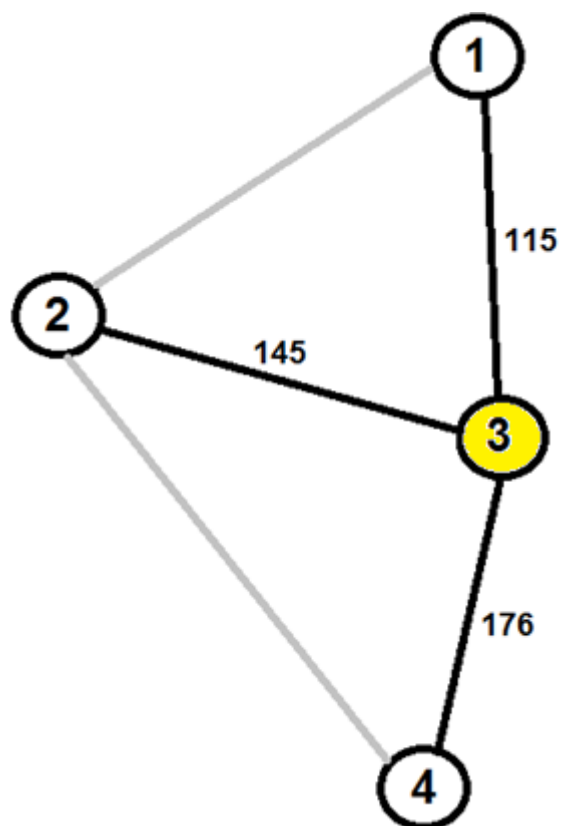


FIGURA 22 - Árvore geradora mínima a partir da cidade de Canarana.  
Fonte: O autor (2014).

#### 4.2. REGIÃO 5 - OESTE

##### CIDADES

- 1 CAMPOS DE JÚLIO
- 2 SAPEZAL
- 3 CAMPO NOVO DO PARECIS



FIGURA 23 - Malha rodoviária da região 5 – Oeste  
Fonte: O autor (2014).

DISTÂNCIAS (km)		
1	2	57
2	3	108

TABELA 10 - Distâncias entre as principais cidades produtoras da região 5 – Oeste.

Fonte: O autor (2014).

Embora o grafo para a macrorregião 5 já represente a árvore geradora mínima, tendo a cidade de Sapezal, representada pelo número 2, como a cidade “centroide” conectando-se às demais com a menor distância, é feita a demonstração da aplicação do programa do algoritmo de Dijkstra para os menores caminhos do grafo, sem representar a parte do cadastro do grafo.

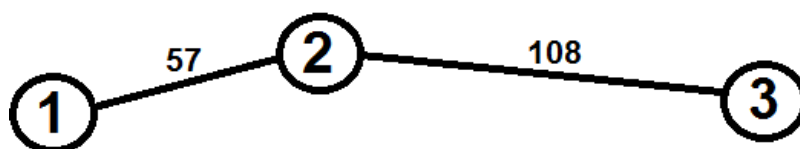


FIGURA 24 - Grafo e árvore geradora mínima da região 5 – Oeste.

Fonte: O autor (2014).

Lista dos caminhos mínimos do grafo:

De 1 para 1: Nao Existe

Distancia: -

De 1 para 2: 1 -> 2

Distancia: 57

De 1 para 3: 1 -> 2 -> 3

Distancia: 165

De 2 para 1: 2 -> 1

Distancia: 57

De 2 para 2: Nao Existe

Distancia: -

De 2 para 3: 2 -> 3

Distancia: 108

De 3 para 1:	3 -> 2 -> 1
Distancia:	165
De 3 para 2:	3 -> 2
Distancia:	108
De 3 para 3:	Nao Existe
Distancia:	-

#### 4.3. REGIÃO 7 – SUDESTE

##### CIDADES

1	SANTO ANTÔNIO DO LESTE	4	JACIARA
2	PRIMAVERA DO LESTE	5	RONDONÓPOLIS
3	CAMPO VERDE	6	ALTO GARÇAS

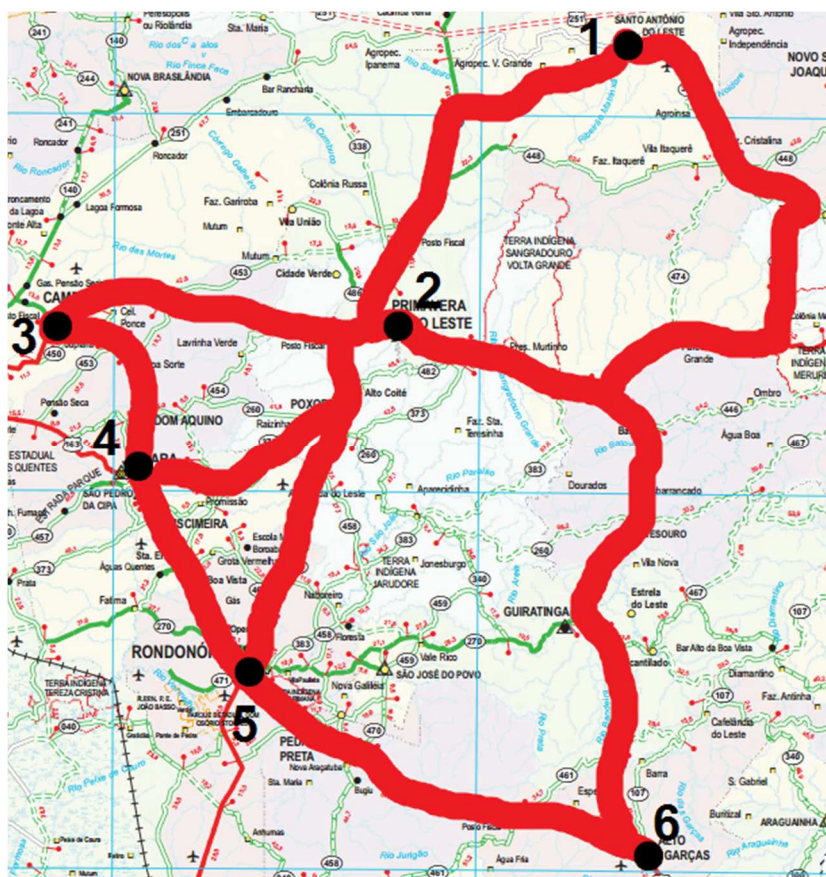


FIGURA 25 - Malha rodoviária da região 7 – Sudeste

Fonte: O autor (2014).



DISTÂNCIAS (km)		
1	2	150
1	6	356
2	3	103
2	4	114
2	5	129
2	6	269
3	4	75
4	5	70
5	6	149

TABELA 11 - Distâncias entre as principais cidades produtoras da região 7 – Sudeste.

Fonte: O autor (2014).

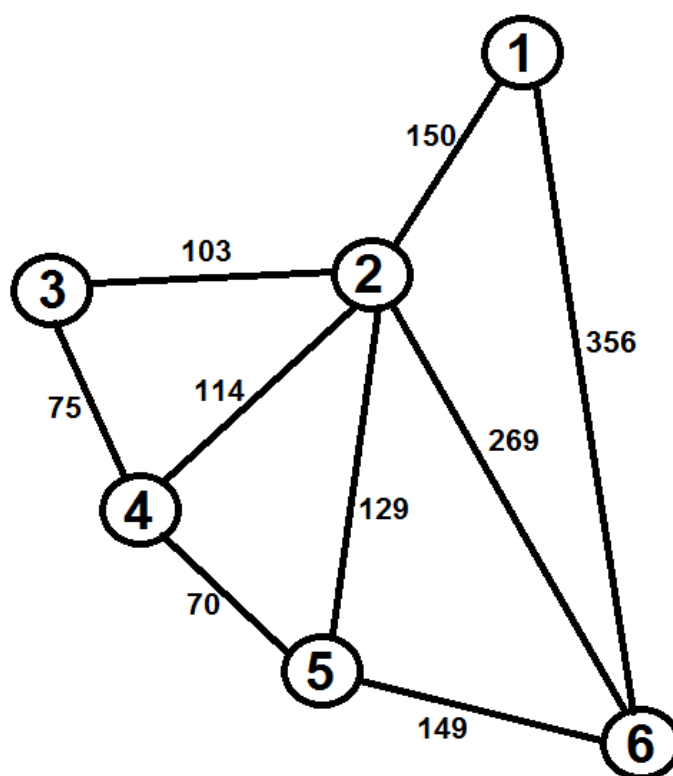


FIGURA 26 - Grafo da região 7 – Sudeste

Fonte: O autor (2014).

Por praticidade e conveniência, é admitido que a cidade de Primavera do Leste, representada pelo número 2, é a cidade “centroide” para o armazenamento da produção de soja. Analisando visualmente pode ser notado que é a única cidade com ligação direta em relação às demais; Assim, tem-se a árvore geradora mínima. É realizada a demonstração da aplicação do programa

do algoritmo de Dijkstra para os menores caminhos do grafo somente para a cidade 2 como vértice-origem, sem representar a parte do cadastro do grafo.

De 2 para 1: 2 -> 1  
 Distancia: 150  
 De 2 para 2: Nao Existe  
 Distancia: -  
 De 2 para 3: 2 -> 3  
 Distancia: 103  
 De 2 para 4: 2 -> 4  
 Distancia: 114  
 De 2 para 5: 2 -> 5  
 Distancia: 129  
 De 2 para 6: 2 -> 6  
 Distancia: 269

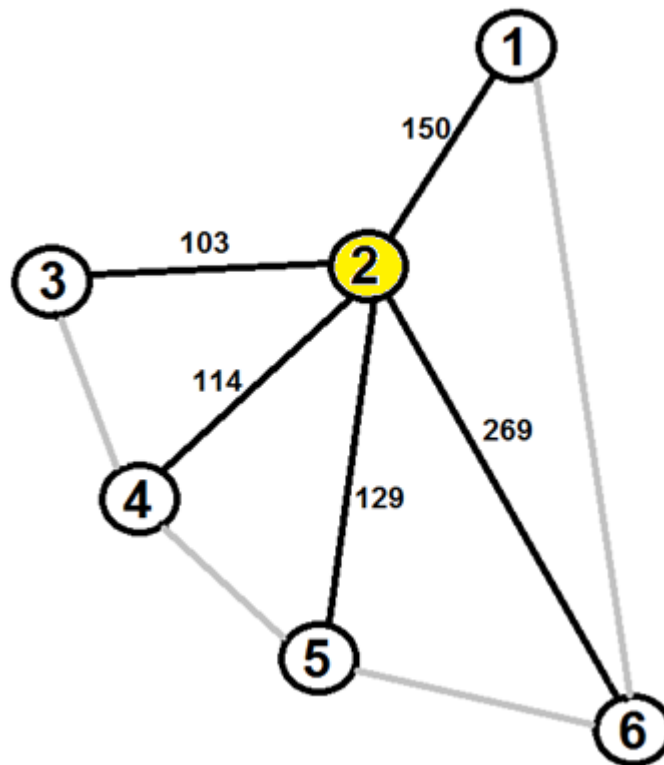


FIGURA 27 - Árvore geradora mínima a partir da cidade de Primavera do Leste

Fonte: O autor (2014).

#### 4.4. REGIÃO 4 – MÉDIO-NORTE

##### CIDADES

- |   |                   |    |                         |
|---|-------------------|----|-------------------------|
| 1 | SINOP             | 6  | LUCAS DO RIO VERDE      |
| 2 | IPIRANGA DO NORTE | 7  | NOVA UBIRATÃ            |
| 3 | VERA CRUZ         | 8  | SÃO JOSÉ DO RIO CLARO   |
| 4 | SORRISO           | 9  | NOVA MUTUM              |
| 5 | TAPURAH           | 10 | SANTA RITA DO TRIVELATO |

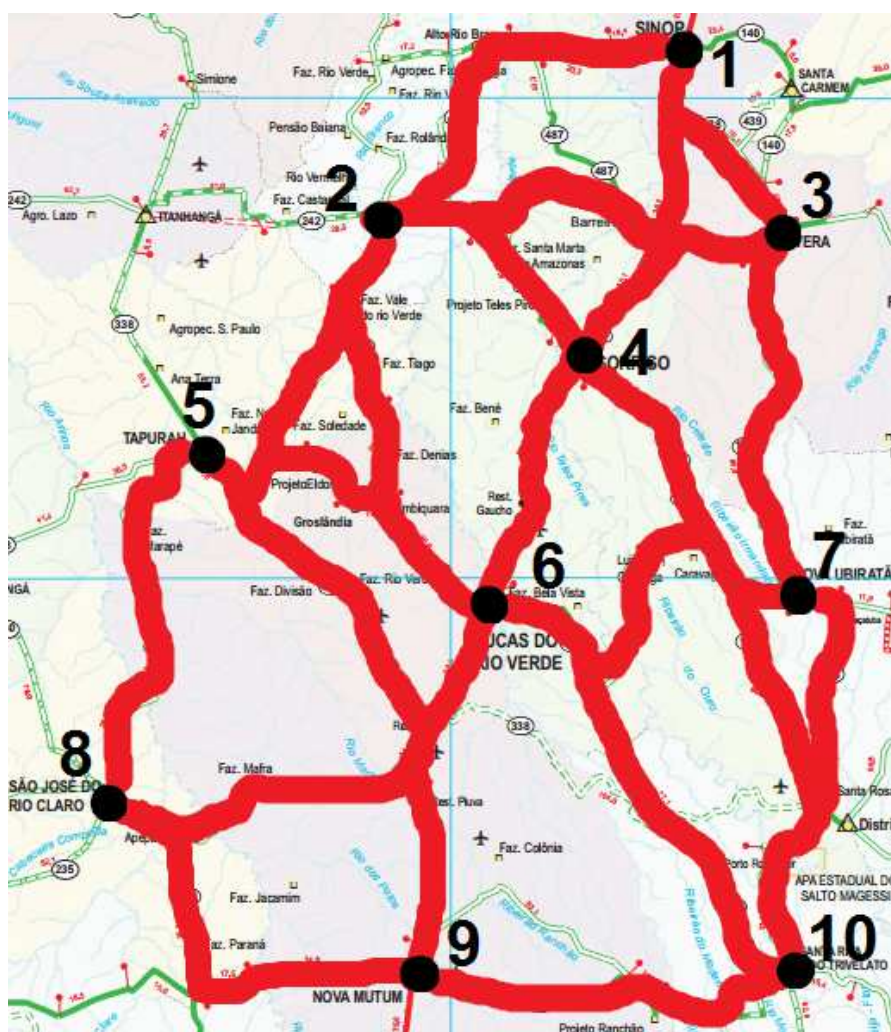


FIGURA 28 - Malha rodoviária da região 4 – Médio-Norte.

Fonte: O autor (2014).

DISTÂNCIAS (km)					
1	2	81	4	10	211
1	3	77	5	6	98
1	4	85	5	8	132
2	3	91	5	9	152
2	4	71	6	7	72
2	5	91	6	8	145
2	6	107	6	9	96
3	4	67	6	10	139
3	7	95	7	10	125
4	6	87	8	9	111
4	7	66	9	10	106

TABELA 12 - Distâncias entre as principais cidades produtoras da região 4 – Médio-Norte.

Fonte: O autor (2014).

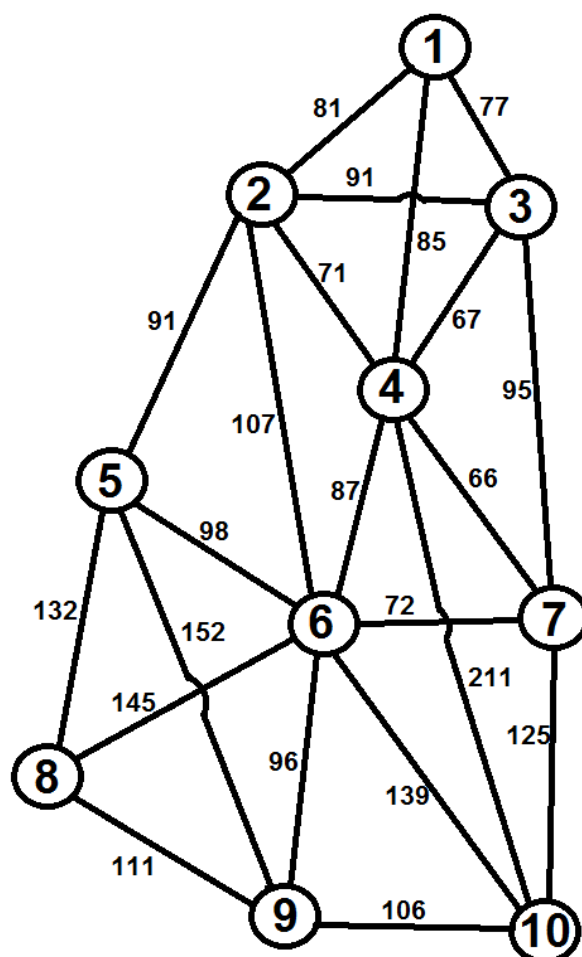


FIGURA 29 - Grafo da região 7 – Sudeste.

Fonte: O autor (2014).

Por praticidade e conveniência, são admitidas as cidades de Sorriso e Lucas do Rio Verde, representadas pelos números 4 e 6, respectivamente, como centrais de armazenagem da produção da soja, dado que as demais cidades estão localizadas nas “extremidades”, além da importância da macrorregião, daí a seleção de duas cidades. É realizada a demonstração da aplicação do programa do algoritmo de Dijkstra para os menores caminhos do grafo somente a partir dessas cidades, sem representar a parte do cadastro do grafo.

De 4 para 1:	4 -> 1
Distancia:	85
De 4 para 2:	4 -> 2
Distancia:	71
De 4 para 3:	4 -> 3
Distancia:	67
De 4 para 4:	Nao Existe
Distancia:	-
De 4 para 5:	4 -> 2 -> 5
Distancia:	162
De 4 para 6:	4 -> 6
Distancia:	87
De 4 para 7:	4 -> 7
Distancia:	66
De 4 para 8:	4 -> 6 -> 8
Distancia:	232
De 4 para 9:	4 -> 6 -> 9
Distancia:	183
De 4 para 10:	4 -> 7 -> 10
Distancia:	191
De 6 para 1:	6 -> 4 -> 1
Distancia:	172
De 6 para 2:	6 -> 2
Distancia:	107

De 6 para 3: 6 -> 4 -> 3  
 Distancia: 154  
 De 6 para 4: 6 -> 4  
 Distancia: 87  
 De 6 para 5: 6 -> 5  
 Distancia: 98  
 De 6 para 6: Nao Existe  
 Distancia: -  
 De 6 para 7: 6 -> 7  
 Distancia: 72  
 De 6 para 8: 6 -> 8  
 Distancia: 145  
 De 6 para 9: 6 -> 9  
 Distancia: 96  
 De 6 para 10: 6 -> 10  
 Distancia: 139

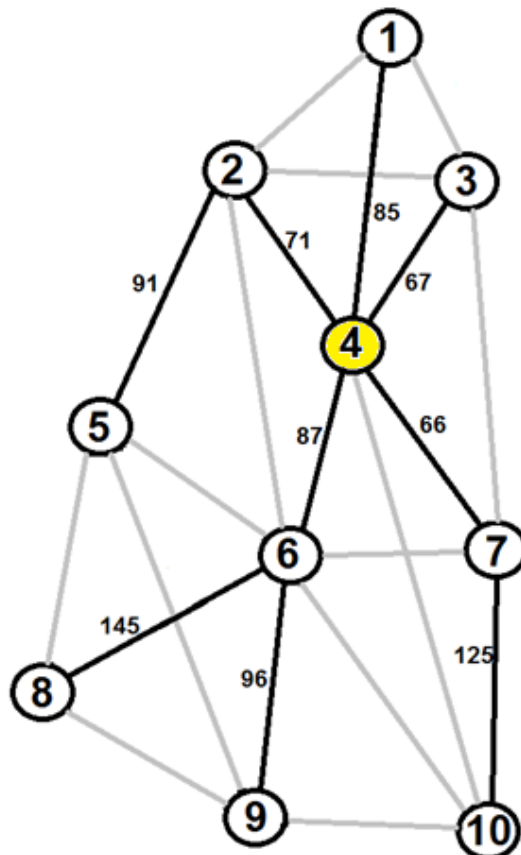


FIGURA 30 - Árvore geradora mínima a partir da cidade de Sorriso.

Fonte: O autor (2014).

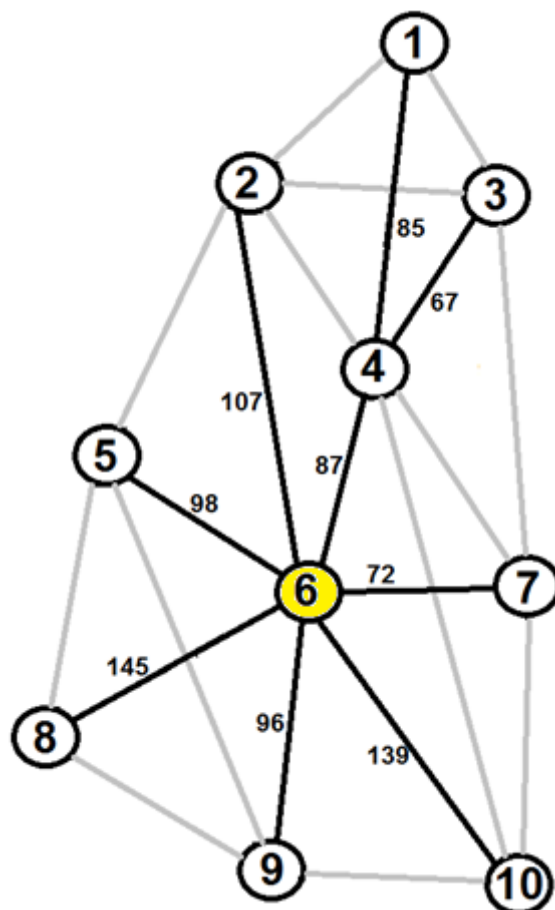


FIGURA 31 - Árvore geradora mínima a partir da cidade de Lucas do Rio Verde.

Fonte: O autor (2014).

#### 4.5. TRANSPORTE DA SOJA ATÉ OS PORTOS

##### CIDADES – MATO GROSSO

1	<b>SORRISO</b>	7	RONDONÓPOLIS
2	<b>LUCAS DO RIO VERDE</b>	8	COMODORO
3	<b>CANARANA</b>	9	CAMPO NOVO DO PARECIS
4	<b>SAPEZAL</b>	10	NOVA MUTUM
5	<b>PRIMAVERA DO LESTE</b>	11	DIAMANTINO
6	<b>CUIABÁ</b>	12	BARRA DO GARÇAS

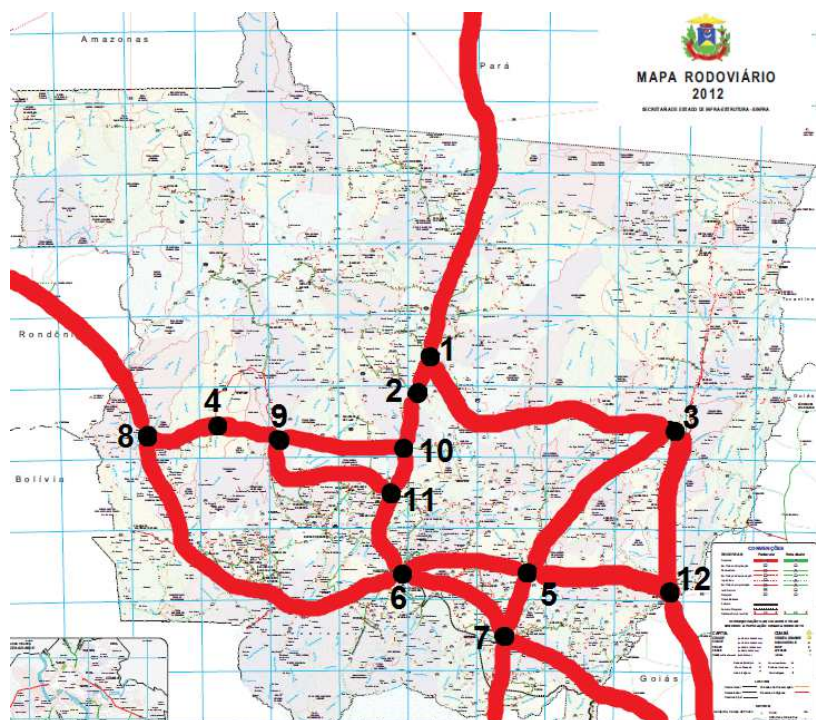


FIGURA 32 – Determinação da malha rodoviária do estado do Mato Grosso.

Fonte: O autor (2014).

DISTÂNCIAS (km)					
1	2	87	5	7	129
1	3	630	5	12	277
2	10	96	6	7	217
3	5	427	6	8	638
3	12	321	6	11	184
4	8	132	9	10	229
4	9	108	9	11	270
5	6	235	10	11	124

TABELA 13 - Distâncias entre as cidades do estado do Mato Grosso.

Fonte: O autor (2014).

CIDADES – BRASIL

- |                       |                                   |
|-----------------------|-----------------------------------|
| 13 HUMAITA/AM         | 21 NOVA ALVORADA DO SUL/MS        |
| 14 ITAITUBA/PA        | 22 DOURADOS/MS                    |
| <b>15 MANAUS/AM</b>   | 23 MARINGÁ/PR                     |
| <b>16 SANTAREM/PA</b> | <b>24 SANTOS/SP</b>               |
| 17 JATAÍ/GO           | 25 CURITIBA/PR                    |
| 18 UBERLÂNDIA/MG      | <b>26 PARANAGUÁ/PR</b>            |
| 19 VITÓRIA/ES         | <b>27 SÃO FRANCISCO DO SUL/SC</b> |
| 20 CAMPO GRANDE/MS    |                                   |



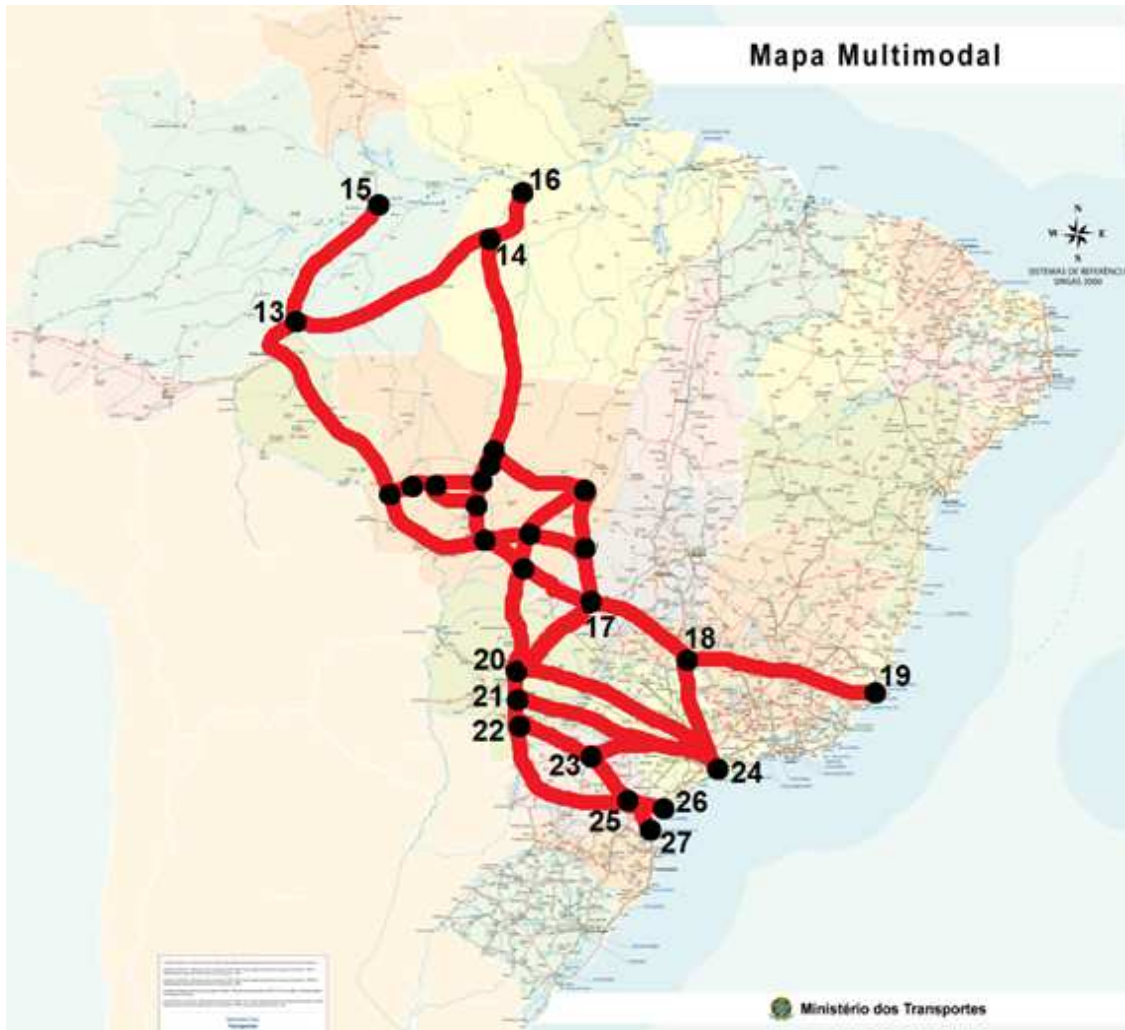


FIGURA 33 - Determinação da malha rodoviária brasileira.

Fonte: O autor (2014).

DISTÂNCIAS (km)						21	22	110
1	14	1081	14	16	369	21	24	976
7	17	403	17	18	432	22	23	432
7	20	494	17	20	569	22	25	870
8	13	1026	18	19	1056	23	24	712
12	17	274	18	24	668	23	25	425
13	14	1047	20	21	116	25	26	90
13	15	696	20	24	1075	25	27	176

TABELA 14 - Distâncias entre as cidades para os demais estados brasileiros.

Fonte: O autor (2014).

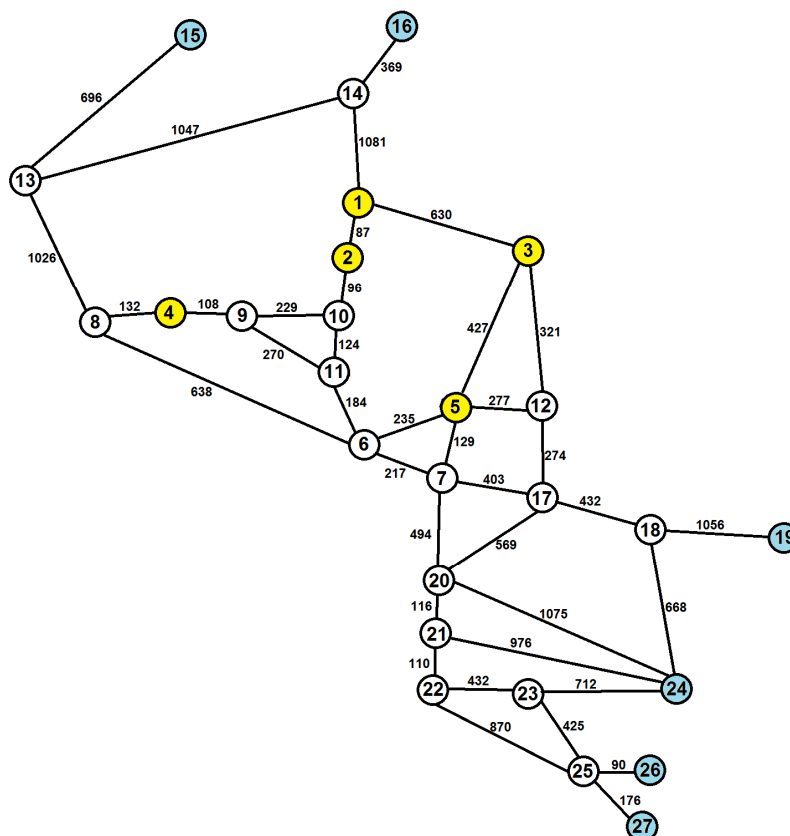


FIGURA 34 - Grafo da malha rodoviária brasileira.

Fonte: O autor (2014).

Para o grafo apresentado, os vértices 1, 2, 3, 4 e 5, serão os vértices-origem, que representam, respectivamente, as cidades de Sorriso, Lucas do Rio Verde, Canarana, Sapezal e Primavera do Leste, que foram as cidades “centroide” determinados nos cálculos anteriores, e que corresponderão aos centros de armazenagem das macrorregiões.

Os vértices 15, 16, 19, 24, 26 e 27, por sua vez, representam, respectivamente, as cidades de Manaus/AM, Santarém/PA, Vitória/ES, Santos/SP, Paranaguá/PR e São F. do Sul/SC, nas quais localizam-se os portos utilizados para o escoamento da soja mato-grossense para exportação.

É realizada aqui a demonstração da aplicação do programa do algoritmo de Dijkstra para os menores caminhos somente a partir das cidades de origem até as cidades onde estão localizados os portos.

De 1 para 15: 1 -> 2 -> 10 -> 9 -> 4 -> 8 -> 13 -> 15

Distancia: 2374

De 1 para 16: 1 -> 14 -> 16  
 Distancia: 1450

De 1 para 19: 1 -> 2 -> 10 -> 11 -> 6 -> 7 -> 17 -> 18 -> 19  
 Distancia: 2599

De 1 para 24: 1 -> 2 -> 10 -> 11 -> 6 -> 7 -> 17 -> 18 -> 24  
 Distancia: 2211

De 1 para 26: 1 -> 2 -> 10 -> 11 -> 6 -> 7 -> 20 -> 21 -> 22  
 -> 23 -> 25 -> 26  
 Distancia: 2375

De 1 para 27: 1 -> 2 -> 10 -> 11 -> 6 -> 7 -> 20 -> 21 -> 22  
 -> 23 -> 25 -> 27  
 Distancia: 2461

De 2 para 15: 2 -> 10 -> 9 -> 4 -> 8 -> 13 -> 15  
 Distancia: 2287

De 2 para 16: 2 -> 1 -> 14 -> 16  
 Distancia: 1537

De 2 para 19: 2 -> 10 -> 11 -> 6 -> 7 -> 17 -> 18 -> 19  
 Distancia: 2512

De 2 para 24: 2 -> 10 -> 11 -> 6 -> 7 -> 17 -> 18 -> 24  
 Distancia: 2124

De 2 para 26: 2 -> 10 -> 11 -> 6 -> 7 -> 20 -> 21 -> 22 -> 23  
 -> 25 -> 26  
 Distancia: 2288

De 2 para 27: 2 -> 10 -> 11 -> 6 -> 7 -> 20 -> 21 -> 22 -> 23  
 -> 25 -> 27  
 Distancia: 2374

De 3 para 15: 3 -> 1 -> 2 -> 10 -> 9 -> 4 -> 8 -> 13 -> 15  
 Distancia: 3004

De 3 para 16: 3 -> 1 -> 14 -> 16  
 Distancia: 2080

De 3 para 19: 3 -> 12 -> 17 -> 18 -> 19  
 Distancia: 2083

De 3 para 24: 3 -> 12 -> 17 -> 18 -> 24  
 Distancia: 1695

De 3 para 26: 3 -> 5 -> 7 -> 20 -> 21 -> 22 -> 23 -> 25 -> 26  
 Distancia: 2223

De 3 para 27: 3 -> 5 -> 7 -> 20 -> 21 -> 22 -> 23 -> 25 -> 27  
 Distancia: 2309

De 4 para 15: 4 -> 8 -> 13 -> 15  
 Distancia: 1854

De 4 para 16: 4 -> 9 -> 10 -> 2 -> 1 -> 14 -> 16  
 Distancia: 1970

De 4 para 19: 4 -> 9 -> 11 -> 6 -> 7 -> 17 -> 18 -> 19  
 Distancia: 2670

De 4 para 24: 4 -> 9 -> 11 -> 6 -> 7 -> 17 -> 18 -> 24  
 Distancia: 2282

De 4 para 26: 4 -> 9 -> 11 -> 6 -> 7 -> 20 -> 21 -> 22 -> 23  
 -> 25 -> 26  
 Distancia: 2446

De 4 para 27: 4 -> 9 -> 11 -> 6 -> 7 -> 20 -> 21 -> 22 -> 23  
 -> 25 -> 27  
 Distancia: 2532

De 5 para 15: 5 -> 6 -> 8 -> 13 -> 15  
 Distancia: 2595

De 5 para 16: 5 -> 6 -> 11 -> 10 -> 2 -> 1 -> 14 -> 16  
 Distancia: 2176

De 5 para 19: 5 -> 7 -> 17 -> 18 -> 19  
 Distancia: 2020

De 5 para 24: 5 -> 7 -> 17 -> 18 -> 24  
 Distancia: 1632

De 5 para 26: 5 -> 7 -> 20 -> 21 -> 22 -> 23 -> 25 -> 27  
 Distancia: 1796

De 5 para 27: 5 -> 7 -> 20 -> 21 -> 22 -> 23 -> 25 -> 27  
 Distancia: 1882

Como o grafo é muito extenso, é representado nas árvores geradoras mínimas somente o caminho até os portos, para não sobrecarregar as imagens.

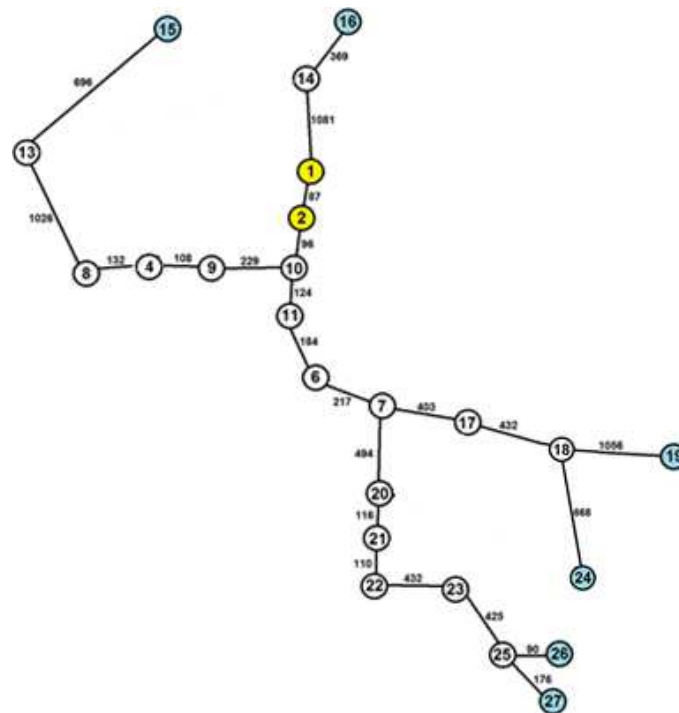


FIGURA 35 - Árvore geradora mínima a partir das cidades de Sorriso e Lucas do Rio Verde, até os portos.

Fonte: O autor (2014).

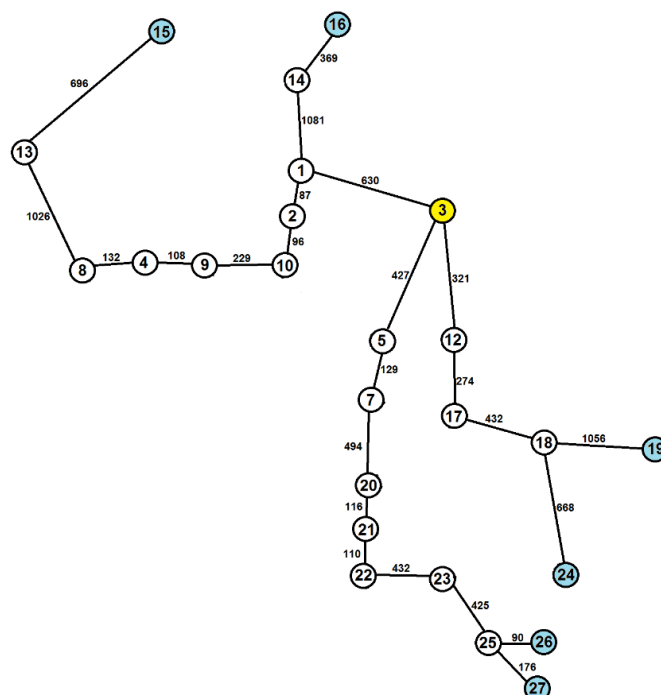


FIGURA 36 - Árvore geradora mínima a partir da cidade de Canarana, até os portos.

Fonte: O autor (2014).

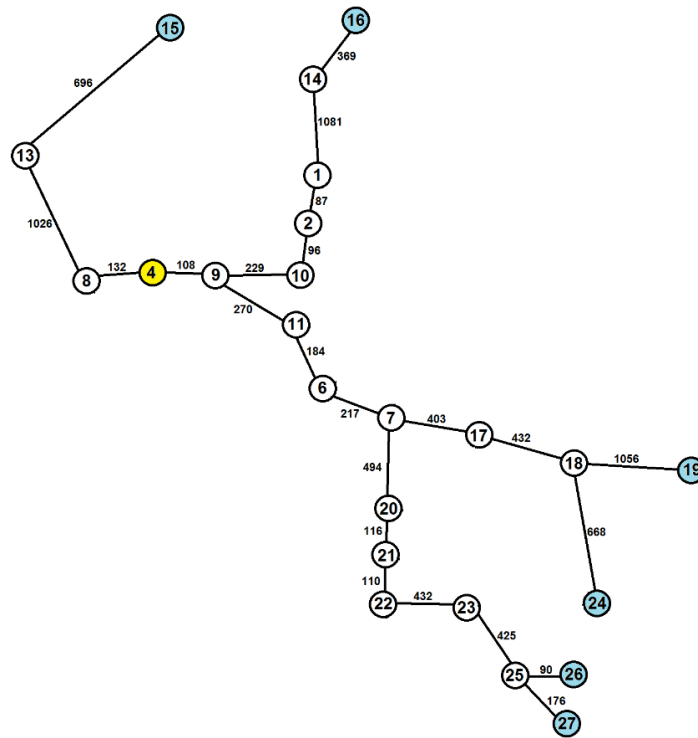


FIGURA 37 - Árvore geradora mínima a partir da cidade de Sapezal, até os portos.

Fonte: O autor (2014).

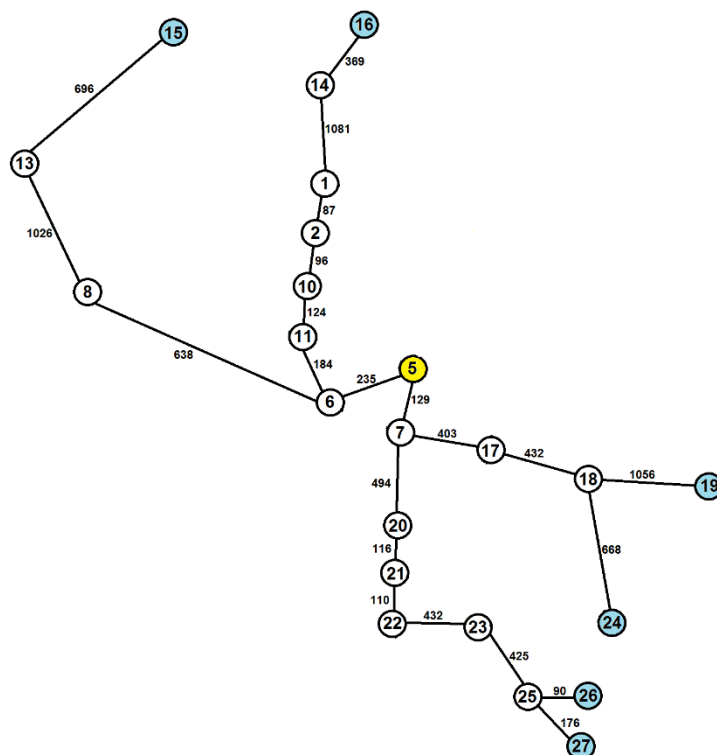


FIGURA 38 - Árvore geradora mínima a partir da cidade de Primavera do Leste, até os portos.

Fonte: O autor (2014).

## 4.6. FRETES RODOVIÁRIOS

Caminhão bitrem 40t										
Origem	Destino	Dist. (km)	Dist (x2) (km)	Classe de percurso	Dist.Adot.(km)	Custo peso (R\$/t)	Custo peso (R\$/1000km)	Frete (R\$/t)	Frete (R\$/1000t.km)	
Sorriso	Manaus	2374	4748	4726 a	4750	212,49	44,74	393,11	82,76	
	Santarém	1450	2900	2876 a	2900	130,87	45,13	242,11	83,49	
	Vitória	2599	5198	5176 a	5200	232,35	44,68	429,84	82,66	
	Santos	2211	4422	4401 a	4425	198,15	44,78	366,58	82,84	
Lucas do Rio Verde	Paranaguá	2375	4750	4726 a	4750	212,49	44,74	393,11	82,76	
	S.F.do Sul	2461	4922	4901 a	4925	220,21	44,71	407,39	82,72	
	Manaus	2287	4574	4551 a	4575	204,77	44,76	378,83	82,80	
	Santarém	1537	3074	3051 a	3075	138,59	45,07	256,39	83,38	
Canarana	Vitória	2512	5024	5001 a	5025	224,62	44,70	415,56	82,70	
	Santos	2124	4248	4226 a	4250	190,43	44,81	352,30	82,89	
	Paranaguá	2288	4576	4576 a	4600	205,87	44,76	380,87	82,80	
	S.F.do Sul	2374	4748	4726 a	4750	212,49	44,74	393,11	82,76	
Sapezal	Manaus	3004	6008	6001 a	6025	288,74	44,60	497,18	82,52	
	Santarém	2080	4160	4151 a	4175	187,12	44,82	346,18	82,92	
	Vitória	2083	4166	4151 a	4175	187,12	44,82	346,18	82,92	
	Santos	1695	3390	3376 a	3400	152,93	44,98	282,92	83,21	
Primavera do Leste	Paranaguá	2223	4446	4426 a	4450	199,26	44,78	368,62	82,84	
	S.F.do Sul	2309	4618	4601 a	4625	206,98	44,75	382,91	82,79	
	Manaus	1854	3708	3701 a	3725	167,27	44,90	309,45	83,07	
	Santarém	1970	3940	3926 a	3950	177,20	44,86	327,81	82,99	
Sapezal	Vitória	2670	5340	5326 a	5350	238,96	44,67	442,08	82,63	
	Santos	2282	4564	4551 a	4575	204,77	44,76	378,83	82,80	
	Paranaguá	2446	4892	4876 a	4900	219,11	44,72	405,35	82,72	
	S.F.do Sul	2352	4704	4701 a	4725	211,39	44,74	391,07	82,77	
Primavera do Leste	Manaus	2595	5190	5176 a	5200	232,35	44,68	429,84	82,66	
	Santarém	2176	4352	4351 a	4375	195,95	44,79	362,50	82,86	
	Vitória	2020	4040	4026 a	4050	181,61	44,84	335,97	82,96	
	Santos	1632	3264	3251 a	3275	147,41	45,01	272,72	83,27	
Sapezal	Paranaguá	1796	3592	3576 a	3600	161,75	44,93	299,24	83,12	
	S.F.do Sul	1882	3764	3751 a	3775	169,47	44,89	313,53	83,06	

TABELA 15 - Fretes rodoviários obtidos a partir das distâncias ótimas.

Fonte: O autor (2014).

#### 4.7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a determinação da malha rodoviária nas macrorregiões do estado de Mato Grosso, foram adotadas rodovias federais, estaduais e municipais, o que tornou difícil a determinação da distância de alguns trechos pelo fato de não constarem no Google Maps (2014), embora na vida real essas malhas sejam amplamente utilizadas pelos usuários que vivem no estado. Já para a malha rodoviária em âmbito nacional, optou-se por priorizar rodovias federais, por serem as mais conhecidas e caracterizadas como “corredores da soja”.

A determinação das cidades “centroides” para os centros de armazenagem atingiram o resultado esperado, contemplando, coincidentemente, através do modelo matemático proposto, a principal cidade da macrorregião em produção, com exceção da região 3 – Nordeste, cujo centroide corresponde à cidade de Canarana (embora a cidade de Querência seja a principal em área produtiva). Já para a região 4 – Médio-Norte, optou-se por duas cidades, Sorriso e Lucas do Rio Verde, por a região concentrar 36% da produção de soja do estado, e por serem as únicas cidades que não estavam localizados nas “extremidades” da malha definida, adotando uma solução que fosse mais prática.

O programa do algoritmo de Dijkstra, embora tenha atendido às necessidades para a obtenção dos resultados deste trabalho, apresentou alguns erros durante a simulação, principalmente durante a introdução de grafos maiores, de modo que sua execução era automaticamente encerrada. Chama a atenção, portanto, as necessidades de efetuar eventuais correções e otimizações, de alterar o compilador utilizado ou até mesmo de trocar a linguagem de programação por outra que forneça maior suporte. Deverá ser estudado, também, pensando em um futuro aprimoramento, a introdução de leitura e gravação do banco de dados do grafo em arquivo texto (formato txt), para que os dados não se percam e não seja necessário introduzir novamente o grafo no programa toda vez que ele for inicializado.

A equação genérica obtida para o frete rodoviário, tomando por base o frete cobrado no trecho Sorriso/MT-Santos/SP, cuja estimativa dos custos indiretos foi de 26% do frete e o lucro da transportadora como sendo de 25% sobre o valor do transporte, resultou em  $FRETE = 1,85*(A + B.X)$ . O custo peso



inicialmente calculado considerou  $C=0$  e  $L=0$ , de forma que a determinação da sua equação foi  $\text{CUSTO PESO} = A + B.X$ . Pode-se dizer então que  $\text{FRETE} = 1,85 \cdot (\text{CUSTO PESO})$  e, portanto, que o frete corresponde a um acréscimo de 85% sobre o valor do custo peso.

Para o caso específico do trecho Sorriso/MT-Santos/SP, cujo frete real foi base para a estimativa do custo indireto e do lucro na metodologia deste estudo, a distância encontrada para a rota otimizada foi de 2211 km, ante os 2000 km inicialmente adotados. Considerando ida e volta, 4422km, e classe de percurso de 4401 km a 4425 km. O frete obtido, por sua vez, é de R\$ 366,58/t, uma diferença de R\$ 36,58/t, bastante significativa em relação ao frete inicial dado.

A distância encontrada pelo Google Maps (2014) para o referido trecho foi de 2005km. A diferença de 206km é muito grande, tratando-se de uma rota otimizada.

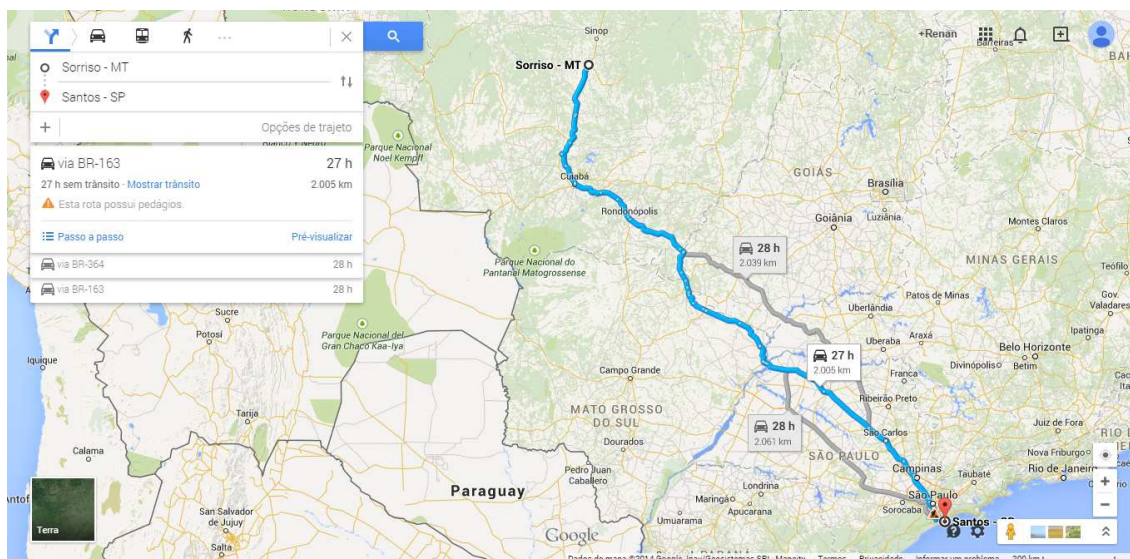


FIGURA 39 - Trajeto Sorriso/MT-Santos/SP.

Fonte: Google Maps (2014).

Dois fatores podem ter contribuído para a origem desse erro:

- As distâncias no estudo de caso foram determinadas entre cada cidade, e não a distância total até os portos. Como essas distâncias normalmente são calculadas tomando por base o marco zero de cada cidade, isto é, passando por dentro de cada cidade, pode ter sido gerado um acúmulo de valores residuais;

- Os caminhos escolhidos para a cidade de Santos/SP não serem os mais adequados, de modo que pode ter sido encontrado o caminho de custo mínimo para a malha determinada, mas não necessariamente o melhor caminho, evidenciando o conceito teórico da Pesquisa Operacional de que para a aplicação de cada uma das cinco fases (definição do problema, construção do modelo, solução do modelo, validação do modelo e implementação da solução), o modelo matemático do problema deverá estar associado com a intuição e a experiência.

Recalculando o frete rodoviário para o trecho Sorriso/MT-Santos/SP dessa vez com a distância obtida através do Google Maps (2014) no valor de 2005 km. Considerando-se 4010 km para o trajeto de ida e volta, que corresponde à classe de percurso de 4001 km a 4025 km e adota-se, portanto, o valor extremo superior da classe de 4025km. O frete rodoviário obtido será de R\$ 333,93/t, uma diferença aceitável de apenas R\$ 3,93/t.

Um bom parâmetro para conferência e verificação da metodologia adotada para a estimativa do frete rodoviário é o indicador divulgado pela Sifreca, que semanalmente divulga boletins com valores médios cobrados em diversos trechos, inclusive para rotas com origem no estado de Mato Grosso.

### Indicador Semanal

Período: 24/11/2014 - 30/11/2014 (Outras rotas)

Origem	UF	Destino	UF	Frete (R\$/t)	Momento (R\$/t.km)	Var. % (semana anterior)
Ribeiro Gonçalves	PI	Uruçuí	PI	25,00	0,2000	0,00
Ponta Grossa	PR	Paranaguá	PR	42,78	0,1990	0,00
Rio Verde	GO	Anápolis	GO	39,00	0,1345	0,00
Querência	MT	São Simão	GO	85,00	0,0886	0,00
Canarana	MT	São Simão	GO	76,00	0,0950	0,44
Cristalina	GO	Pirapora	MG	65,00	0,1589	0,00
Santana do Araguaia	PA	Palmeirante	TO	60,00	0,1263	3,09
Santana do Araguaia	PA	Barcarena	PA	170,00	0,1678	0,00
Santana do Araguaia	PA	Porto Nacional	TO	50,00	0,1279	0,00
Uruçuí	PI	Porto Franco	MA	60,24	0,1097	0,00

TABELA 16 - Frete rodoviário médio mensal de soja (R\$/t).

Fonte: Sifreca (2014).

Tomando como exemplo o trecho Canarana/MT-São Simão/GO, uma das cidades “centroides” definidas no estudo de caso, tem-se que, entre o frete dado em R\$/t e o chamado “momento”, em R\$/t.km, é possível determinar a distância base utilizada para o cálculo. Logo, tem-se  $X = 76,00/0,0950 = 800$  km.

Aplicando a metodologia deste estudo, para a classe de percurso entre 751 km e 800 km, tem-se o frete rodoviário unitário no valor de R\$ 70,70/t, valor R\$ 5,30/t abaixo do valor real. Embora seja uma diferença significativa, deve-se considerar que, com as devidas conversões de valores (o trabalho adota a unidade R\$/1000t.km), tem-se R\$ 0,0884/t.km, ante R\$ 0,0950/t.km da Sifreca, o que explica o frete praticado encontrar-se mais caro.

Partindo desse raciocínio, agora para o trecho Querência/MT-São Simão/GO, mesmo destino, alterando somente a origem. O “momento” está mais baixo em relação ao caso anterior, no valor de R\$ 0,0886/t.km. Efetuando-se a razão entre o frete e o momento,  $X = 85,00/0,0886 = 959$  km. Dada a classe de percurso entre 951 km e 975 km, o frete rodoviário será de R\$ 84,99/t. Uma diferença de apenas R\$ 0,01/t, tornando-se desprezível.

Pode-se afirmar, portanto, que a estimativa de custos indiretos e lucro utilizadas nesse estudo é bastante precisa. Apesar da possibilidade de erros, conforme demonstrado para o caso de Canarana/MT, a aproximação mostrou-se correta, permitindo-se que haja uma tolerância ou margem de erro.

O cálculo do custo logístico poderia perfeitamente ter sido introduzido e integrado no programa do algoritmo de Dijkstra. Optou-se por não o fazer justamente para permitir esse tipo de reflexão ao longo do estudo. Além disso, a estipulação de custos fixos e variáveis é bastante complexa, e devem envolver uma série de variáveis e requerer conhecimento das propriedades do veículo a ser utilizado. No caso deste trabalho, foram utilizados valores médios prontos, entendendo-se, portanto, que não seria adequado simplesmente introduzir esses valores dentro do programa.

Um bom exemplo de programa que efetua o cálculo estimativo de custos logísticos operacionais rodoviários é o HDM-VOC, um modelo criado e desenvolvido pelo Banco Mundial. Esse modelo utiliza vários parâmetros como, por exemplo, características do veículo, utilização do veículo, características da rodovia, condições de tráfego e custos de operação e manutenção.

Embora o programa esteja obsoleto, sem novas atualizações nos últimos anos e não sendo possível executá-lo nos sistemas operacionais mais novos, apresenta algoritmos interessantes que podem ser considerados em um estudo de formação de fretes rodoviários.

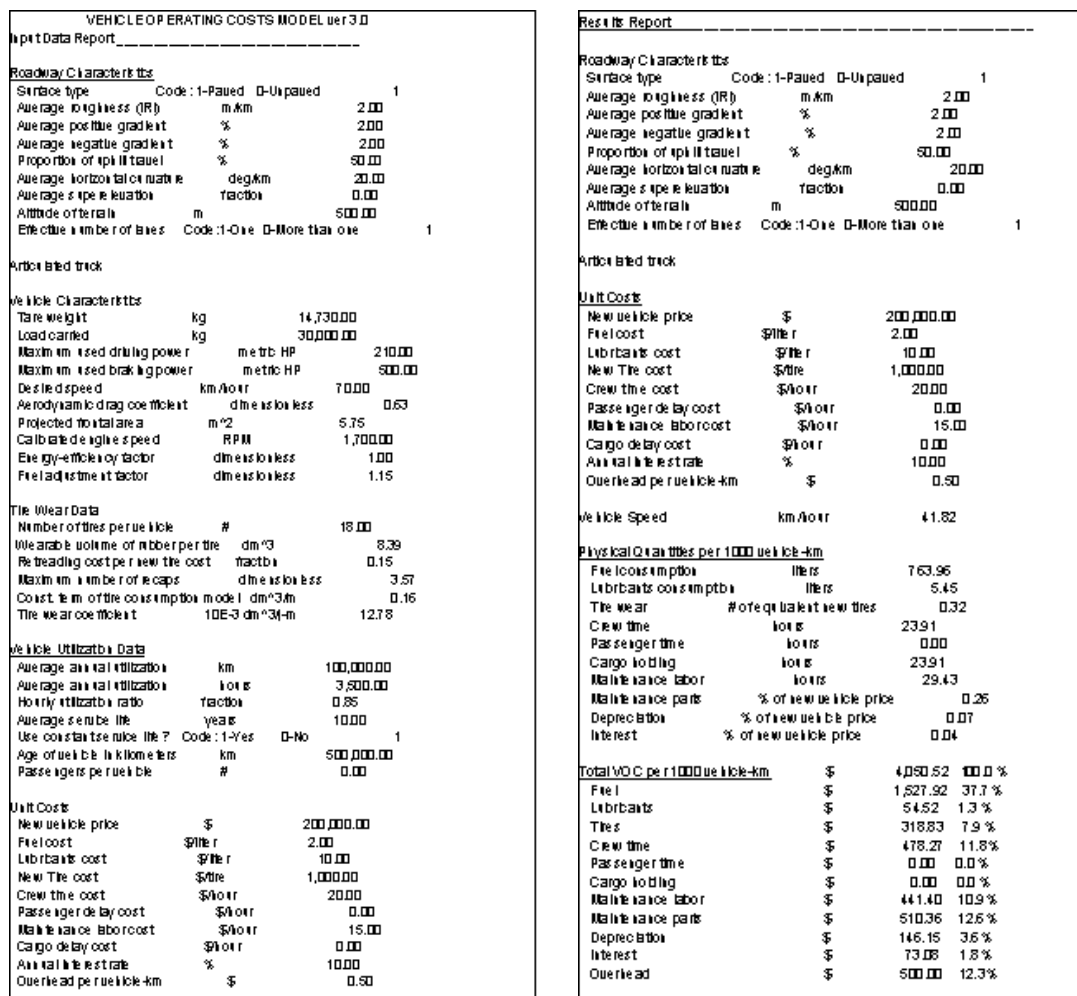


FIGURA 40 - Cálculo do custo logístico rodoviário utilizando o programa HDM-VOC.

Fonte: ITTI (2014).

Quando são estimados os custos logísticos operacionais de maneira adequada, a empresa transportadora poderá maximizar seus lucros, fazendo com que suas expectativas sejam favoráveis ao seu desenvolvimento. Do contrário, a empresa imaginará estar ganhando uma margem de lucro adequada, mas na realidade poderia ser melhorada com a apuração de todos os custos relevantes, de modo que estaria, eventualmente, deixando de faturar uma

importante parcela monetária, que poderia ser um fator importante para a sua competitividade diante do mercado.

Uma grande causa para os problemas logísticos de exportação da soja brasileira é a concentração (ou falta de distribuição) dos fluxos das cargas no período de escoamento da safra. As empresas exportadoras precisam de uma cadeia logística muito bem organizada para superar essa concentração.

A interiorização do plantio de soja em grande escala chama a atenção para as questões de infraestrutura logística para exportação da soja brasileira. Este fenômeno reforça a necessidade da melhoria da estrutura logística de exportação, pois o crescimento está ocorrendo em locais significativamente distantes dos principais portos de exportação utilizados atualmente.

O transporte rodoviário é atualmente o mais utilizado em nosso país. No entanto, em razão das deficiências na estrutura de transporte brasileira, os custos logísticos para o transporte da safra de soja são elevados, causando reflexos negativos sobre os preços recebidos pelos produtores, especialmente para o estado do Mato Grosso. A utilização de um sistema multimodal seria mais eficiente e se faz necessária na exportação da soja, devido à localização do estado no centro do País e distante dos portos oceânicos de exportação, e pela evidência que a opção multimodal se mostra mais promissora. A figura 41 ilustra a multimodalidade na exportação da soja para os tempos atuais.

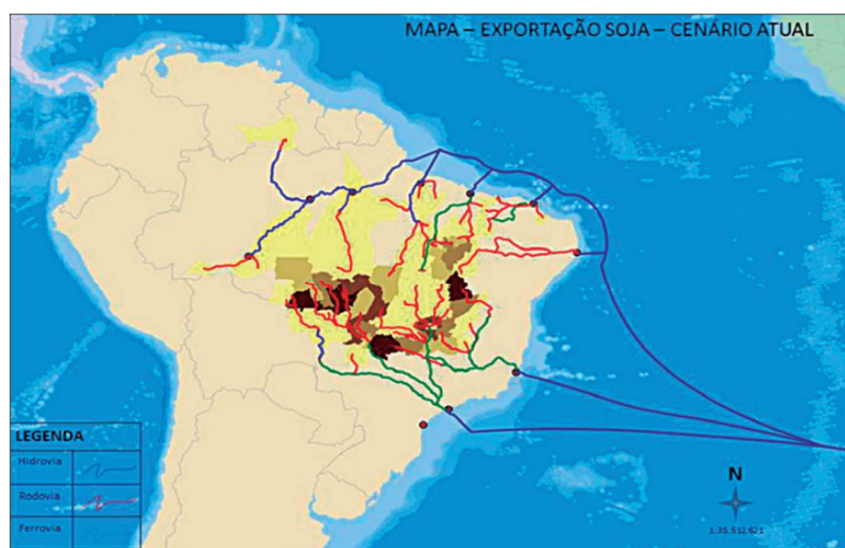


FIGURA 41 - Exportação de Soja do Brasil para Japão – Cenário Atual.

Fonte: ANTAQ.



Considerando-se a posição geográfica, os portos brasileiros localizados mais ao norte possuem melhores vantagens comparativas para um eventual exercício do papel de *hub port*, podendo constituir um importante catalisador principalmente quando se vislumbra a ampliação do comércio internacional da soja mato-grossense para continente asiático, conforme demonstra a figura 42.



FIGURA 42 - Exportação de Soja do Brasil para Japão – Cenário Futuro.

Fonte: ANTAQ.

No estudo realizado, para as cidades de Sorriso, Lucas do Rio Verde e Sapezal, o porto de Santarém/PA é mais vantajoso, do ponto de vista logístico, que o porto de Santos/PR. Além disso, as distâncias até o continente asiático seriam reduzidas com uma operação brasileira no Canal do Panamá.

Destino	Kaohsiung (TWN)		Tianjin (CHN)		Nagoya (JPN)	
	C. P. <sup>1</sup>	C. B. E <sup>2</sup>	C. P. <sup>1</sup>	C. B. E <sup>2</sup>	C. P. <sup>1</sup>	C. B. E <sup>2</sup>
Itacoatiara (AM)	21.973	22.523	21.646	24.631	19.891	24.687
Santarém (PA)	21.759	21.922	21.059	23.057	19.679	24.085
Vila do Conde (PA)	20.935	21.098	20.235	22.233	18.855	23.261
Itaqui (MA)	21.233	20.548	20.533	21.683	19.153	22.711
Pecém (CE)	21.785	19.844	21.085	20.979	19.705	22.007
Suape (PE)	22.522	19.207	21.822	20.342	20.442	21.370
Vitória (ES)	24.011	18.972	23.311	20.107	21.931	21.135
Santos (SP)	24.856	19.340	24.156	20.476	22.776	21.504
Paranaguá (PR)	25.082	19.442	24.382	20.578	23.002	21.605

<sup>1</sup> Rota pelo Canal do Panamá.  
<sup>2</sup> Rota pelo Cabo da Boa Esperança.

TABELA 17 - Distâncias entre Portos do Brasil e Taiwan, China e Japão.

Fonte: ANTAQ.

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou, através de procedimentos de modelagem, caracterizar o caminho de menor custo de transporte avaliando as principais rotas de escoamento desde os municípios produtores até os portos utilizados para embarque e exportação da soja. Nesse sentido, o objetivo foi demonstrar a importância dos custos logísticos no desempenho das exportações de soja.

Ficou evidente o conhecimento em diversas áreas relacionadas, direta ou indiretamente, com o tema escolhido. Foi necessário realizar pesquisas sobre assuntos diferenciados, para que fosse obtido o melhor resultado possível.

Após embasamento teórico sobre o assunto desenvolvido, através da análise de dados estatísticos obtidos em sites especializados e em artigos voltados para área, conclui-se que a soja é responsável por grande parte das exportações do agronegócio brasileiro. Ao analisar a logística de transporte da soja em território brasileiro, observa-se que o modal rodoviário é o mais utilizado.

Vista a importância econômica da soja para o Brasil, e dada a grande produção e potencial produtivo, o estado de Mato Grosso tem grande representatividade no País, como maior produtor, sendo responsável por grande parte das exportações brasileiras do produto.

A busca de otimização na logística de transportes visa, também, a satisfação do cliente, peça fundamental do processo; Com efeito, deve ser objetivo de toda e qualquer empresa satisfazer as necessidades do cliente, no mais curto prazo, da melhor maneira e ao menor custo possível e razoável. As técnicas e ferramentas da pesquisa operacional são muito úteis para esse tipo de solução, pois auxiliam na compreensão de problemas complexos na gestão logística, os quais exigem métodos para que possam ser mensurados e analisados.

Vale ressaltar, no entanto, a importância das ferramentas computacionais em tais aplicações, pois geralmente problemas reais apresentam um grande número de variáveis, o que torna a resolução manual difícil, demorada e, em alguns casos, quase impossível. Salienta-se, ainda, a importância das técnicas de otimização no processo de tomada de decisões, pois suas aplicações, na

resolução de problemas reais, podem ajudar na administração dos recursos físicos, tendo em vista tanto a diminuição de custos e a maximização de lucros de uma empresa, a exemplo do estudo de caso apresentado neste trabalho.

O objetivo proposto para o presente trabalho foi plenamente atendido. Os caminhos otimizados e o gerenciamento dos custos da logística em sua interface com transportes para a soja do estado de Mato Grosso podem trazer benefícios tanto para a distribuidora como para as localidades no exterior que vão receber a mercadoria, na proporção em que se reduzir o custo generalizado.

Com novas ideias nos processos de decisão a empresa transportadora tem uma nova forma de gerenciar seus custos, tornando assim os processos mais ágeis e práticos e, indiretamente, minimizando o tempo de viagem de entrega da soja. Observa-se que o método proposto é de fácil implementação computacional, podendo ser utilizado como ferramenta nos processos de gestão das empresas, definindo o caminho mínimo para redução de custos.

Apesar das dificuldades encontradas, os resultados obtidos pela metodologia exposta para os fretes rodoviários foram satisfatórios, e mesmo com os pequenos desvios encontrados, se aproximaram da realidade operacional das empresas transportadoras.

Conclui-se que, ao gerenciar os custos em logística e transportes, a empresa transportadora pode obter competitividade significativa no mercado, destacando o aprimoramento no gerenciamento de estratégias de redução de custos, seja na busca de rotas alternativas ou no aprofundamento do conhecimento de todos os seus elementos significativos.

O estado de Mato Grosso apresenta-se com condições para continuar sendo o maior produtor de soja do Brasil, já que seus produtores investem em tecnologia para obter melhores resultados no plantio e na colheita, para enfrentar e manter-se competitivos no comércio internacional. Entretanto, um fator que parece decisivo para a continuidade desse processo é a questão do transporte de soja até os portos brasileiros. Observa-se ao longo desse trabalho que a logística tem papel fundamental para a eficiência dos transportes através de seus mecanismos, sendo possível buscar soluções para melhorar a qualidade e eficiência econômica dos transportes.

A soja tem importância relevante na produção de bens do País. Todavia, para que o potencial produtivo da soja seja explorado e para que o Brasil possa



consolidar-se no posto de maior produtor mundial, tornam-se necessários investimentos em tecnologias. Em especial, investimentos direcionados à melhoria no transporte rodoviário e, no longo prazo, nas rodovias, ferrovias e hidrovias, para que as mudanças na matriz de transportes permitam menores custos logísticos, além incentivo ao uso da multimodalidade.

## 5.2. TRABALHOS FUTUROS

Apesar de os resultados deste trabalho terem sido promissores, ainda há bastante espaço para melhorias. Muitos outros recursos poderão ser incluídos futuramente, como a inserção de malhas multimodais (rodovias, ferrovias e hidrovias) na programação do algoritmo de Dijkstra, prevendo a atribuição de coeficientes (ou distâncias virtuais) nos trechos ferroviários e hidroviários para a obtenção dos caminhos de custo mínimo.

Os custos de transporte também poderiam ser inseridos no programa, tomando por base variáveis relacionadas às características do veículo para cada modal, características da malha, condições de tráfego ou navegabilidade e custos de operação e manutenção, nos mesmos moldes do HDM-VOC.

Por fim, a elaboração de uma metodologia para determinar a alocação das cargas, respeitando as capacidades e os limites de cada via, bem como os custos de armazenagem e transbordo. Essas sugestões de melhorias reforçariam ainda mais a possibilidade de uso da modelagem como ferramenta viável para a realização de estimativas de custos de transportes visando minimizar o seu impacto no valor final do produto transportado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINO, R. G. C.; JORGE, J. F. J.; JORGE, N. S.; SILVA, J. C. O. **Desperdício de grãos na logística rodoviária do agronegócio**. Departamento de Administração de Empresas - Faculdades Integradas de Ourinhos, Ourinhos, 2009.

ALOISE, D. J; CRUZ, J. S. da. **Teoria dos grafos e aplicações**. Centro de Ciências Exatas e da Terra, Departamento de Informática e Matemática Aplicada, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2001.

ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e técnicas para análise de decisão**. Rio de Janeiro: LTC, 1989.

ANTAQ. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Canal do Panamá: efeitos da expansão nos portos do Brasil**. Disponível em: <[http://www.antaq.gov.br/portal/Pdf/PublicacoesTecnicas/20140611\\_Canal\\_Do\\_Panama.pdf/](http://www.antaq.gov.br/portal/Pdf/PublicacoesTecnicas/20140611_Canal_Do_Panama.pdf/)>. Acesso em: novembro de 2014.

APROSOJA. Associação dos Produtores de Soja e Milho. Disponível em: <<http://www.aprosoja.com.br/>>. Acesso em: outubro de 2014.

ARENALES, M; ARMENTANO, V. A; MORABITO, R. **Pesquisa operacional: modelagem em algoritmos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

ATC. **Planilha de custos por km rodado de bitrem graneleiro para o estado de Mato Grosso em 2014**. Disponível em: <<http://www.atc.org.br/PDFs/planilha-de-custos-bitrem-2014.pdf>>. Acesso em: setembro de 2014.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial**. 1ª. ed. São Paulo: Atlas, 1993.

BARBOSA, A. A. R.; MUNIZ, J.; URIAS, A. Contribuição da logística na indústria da construção civil brasileira. **Revista Ciências Exatas**, v. 2, n. 2. Universidade de Taubaté. Taubaté, 2007.

BIGGS, N. L; LLOYD, E. K; WILSON, R. J. **Graph theory 1736-1936**. Oxford: University Press, 1986.

BIT. Banco de Informações e Mapas de Transportes. Prefeitura Municipal de Sapezal. Disponível em: <http://www.sapezal.mt.gov.br/Mapas/>. Acesso em: outubro de 2014.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2010.

CALLADO, A. A. C. **Agronegócio**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.

CÂMARA, G. M. S. **A cultura da soja: notas de aula**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1996.

CEGN. Centro de Estudos em Gestão Naval. **Período de safra da soja, milho e cana-de-açúcar no Brasil**. Disponível em: <<http://www.gestaonaval.org.br/arquivos/documentos/Log%C3%ADstica/CEGN%20-%20Per%C3%ADodo%20de%20safra%20da%20soja%20milho%20e%20cana-de-a%C3%A7%C3%ACar%20no%20Brasil.pdf>>. Acesso em: outubro de 2014.

CHING, H. Y. **Gestão de estoques na cadeia de logística integrada – Supply Chain**. 2ª. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: criando redes que agregam valor**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

COELI, C. C. M. **Análise da demanda por transporte ferroviário: o caso do transporte de grãos e farelo de soja na Ferronorte**. Dissertação (Mestrado em Administração) - Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: outubro de 2014.

CORMEN, T. H.; LEISERSON, C. E.; RIVEST, R. L; STEIN, C. **Algoritmos:** teoria e prática. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

COULOURIS, G.; DOLLIMORE, J.; KINDBERG, T. **Sistemas distribuídos:** conceitos e projetos. São Paulo: Artmed, 2008.

DAVIS Jr., C. A. Aumentando a eficiência da solução de problemas de caminho mínimo em SIG. **GIS Brasil 97.** Anais. Curitiba, 1997.

DIAS, M. A. P. **Administração de materiais:** princípios, conceitos e gestão. São Paulo: Atlas, 2005.

EHRlich, P. J. **Pesquisa operacional:** curso introdutório. São Paulo: Atlas, 1985.

EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja:** região central do Brasil 2004. Disponível em: <<http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/SojanoBrasil.htm>>. Acesso em: outubro de 2014.

FIPE. **Como são apurados os custos do transporte rodoviário de carga?** Disponível em: <<http://www.fipe.org.br/web/index.asp?c=7&aspx=/web/indices/inct/index.aspx>> Acesso em: setembro de 2014.

GOODRICH, M. T.; TAMASSIA, R. **Estrutura de dados e algoritmos em Java.** Porto Alegre: Bookman, 2006.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<http://maps.google.com.br/>>. Acesso em: novembro de 2014.

HIJJAR, M. F. **Logística, soja e comércio internacional**. Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: outubro de 2014.

IMEA. Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária. Disponível em: <<http://www.imea.com.br/>>. Acesso em: outubro de 2014.

JANK, M. S. e NASSAR, A. M. **Economia e gestão dos negócios agroalimentares**: competitividade e globalização. São Paulo: Pioneira, 2000.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa operacional na tomada de decisões**. 1ª. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2008.

LARSON, R. C.; ODONI, A. R. **Urban operations research**. São Paulo: Prentice Hall, 1981.

MARGARIDO, A. M.; E. L. L. SOUZA. Formação de preços da soja no Brasil. **XXXVI Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural**. Anais. Poços de Caldas, 1998.

MACROLOGÍSTICA. Disponível em: <<http://www.macrologistica.com.br/>>. Acesso em: outubro de 2014.

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/>>. Acesso em: outubro de 2014.

NEVES, P. T. **Variações e aplicações do algoritmo de Dijkstra**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007.

NTC&LOGÍSTICA. **Manual de cálculo de custos e formação de preços do transporte rodoviário de cargas.** (Atualizado em novembro de 2001). Disponível em: <<http://www.guiadotrc.com.br/pdf/FILES/MANUAL.pdf>>. Acesso em: setembro de 2014.

NTC&LOGÍSTICA. **Planilha referencial de custo de transporte rodoviário com equipamento silo (granéis sólidos).** Disponível em: <<http://www.setcergs.com.br/ArtigosNoticias/Arquivos/silo.pdf>>. Acesso em: setembro de 2014.

OJIMA, A. L. R. O.; ROCHA, M. B. **Desempenho logístico e inserção econômica do agronegócio da soja: as transformações no escoamento da safra.** XLIII Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural. Ribeirão Preto, 2005.

OLIVEIRA, A. L. R. M. V. Aplicação de pesquisa operacional em logística: como resolver um problema do caixeiro viajante em uma cooperativa de coleta de lixo reciclável. **Anuário da produção de iniciação científica discente.** vol. XII, nº 13, 2009.

PAULA, S. R.; FAVERET, P. **Panorama do complexo da soja.** BNDES. Rio de Janeiro, 1998.

RESENDE, E. S.; BONJOUR, S. C. M.; FIGUEIREDO, A. M. R. Análise de rotas alternativas de transporte: o caso da soja de Mato Grosso. **Revista de Estudos Sociais** v. 9, n.1 e 2. Faculdade de Economia da Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá, 2007.

ROCHA, P. C. A. **Logística & aduana.** 2ª ed. São Paulo: Aduaneiras, 2003.

RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e à logística internacional.** 4 ed. São Paulo: Aduaneiras, 2007.

SANTOS, R. V. dos. Custos operacionais e formação de preço de frete no transporte rodoviário de cargas: um estudo de caso. **XIV Congresso Brasileiro de Custos**. Anais. João Pessoa, 2007.

SASSERON, J. L. Armazenamento de grãos. *In*: GOMES, R. A. R.; CASTRO, M. F. P. M.; VALENTINI, S. R. T.; BOLONHEZI, S (Coord.). **Atualização em tecnologia de pós-colheita de grãos**. Instituto de Tecnologia de Alimentos. Campinas, 1995.

SIFRECA. Sistema de Informações de Fretes. **Indicadores de fretes Rodoviários**. Disponível em: <<http://esalqlog.esalq.usp.br/sifreca/mercado-de-fretes/soja/>>. Acesso em: novembro de 2014.

SILVA, O. C. da. **Análise da competitividade do complexo soja brasileira perante o comércio internacional**. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

TENENBAUM, A. M. **Estrutura de dados usando C**. São Paulo: McGraw Hill. 1995.

USDA. United States Department of Agriculture. Disponível em: <<http://www.usda.gov/wps/portal/usda>>. Acesso em outubro de 2014.

VALOR ECONÔMICO. **Preço do transporte de soja de Mato Grosso a Santos bate recorde**. Publicado em 24 de fevereiro de 2014. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/agro/3441880/preco-do-transporte-de-soja-de-mato-grosso-santos-bate-recorde>>. Acesso em: setembro de 2014.

VIEIRA, H. F. **Logística aplicada à construção civil**: como melhorar o fluxo de produção nas obras. São Paulo: Pini, 2006.

WANKE, P. F. **Logística e transporte de cargas no Brasil**: produtividade e eficiência no século XXI. São Paulo: Atlas. 2010.

ZAMBONI, L. C.; PAMBOUKIAN, S. V. D.; BARROS, E. A. R. Algoritmo de Dijkstra: apoio didático e multidisciplinar na implementação, simulação e utilização computacional. **WCCSETE: World Congress on Computer Science, Engineering and Technology Education**. Anais. 2007.



## APÊNDICE

Código-fonte do programa do algoritmo de Dijkstra em linguagem C

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#define FLSH gets(l)
int destino, origem, vertices = 0;
int distancia;
int *distancias = NULL;
void dijkstra(int vertices,int origem,int destino,int *distancias)
{
    int i, v, cont = 0;
    int *ant, *tmp;
    int *z; /* vertices para os quais se conhece o caminho minimo */
    double min;
    double dist[vertices]; /* vetor com as distâncias dos caminhos */
    /* aloca as linhas da matriz */
    ant = calloc (vertices, sizeof(int *));
    tmp = calloc (vertices, sizeof(int *));
    if (ant == NULL) {
        printf ("** Erro: Memoria Insuficiente **");
        exit(-1);
    }
    z = calloc (vertices, sizeof(int *));
    if (z == NULL) {
        printf ("** Erro: Memoria Insuficiente **");
        exit(-1);
    }
    for (i=0;i<vertices;i++) {
        if (distancias[(origem - 1) * vertices + i] !=- 1) {
            ant[i] = origem - 1;
            dist[i] = distancias[(origem-1)*vertices+i];
```

```

    }
    else {
        ant[i]= -1;
        dist[i] = HUGE_VAL;
    }
    z[i]=0;
}
z[origem-1] = 1;
dist[origem-1] = 0;
/* Laco principal */
do {
    /* Encontrando o vertice que deve entrar em z */
    min = HUGE_VAL;
    for (i=0;i<vertices;i++)
        if (!z[i])
            if (dist[i]>=0 && dist[i]<min) {
                min=dist[i];v=i;
            }
    /* Calculando as distancias dos novos vizinhos de z */
    if (min != HUGE_VAL && v != destino - 1) {
        z[v] = 1;
        for (i = 0; i < vertices; i++)
            if (!z[i]) {
                if (distancias[v*vertices+i] != -1 && dist[v] +
distancias[v*vertices+i] < dist[i]) {
                    dist[i] = dist[v] + distancias[v*vertices+i];
                    ant[i] =v;
                }
            }
    }
} while (v != destino - 1 && min != HUGE_VAL);
/* Mostra o Resultado da busca */
printf("\tDe %d para %d: \t", origem, destino);
if (min == HUGE_VAL) {

```

```

        printf("Nao Existe\n");
        printf("\tDistancia: \t- \n");
    }
    else {
        i = destino;
        i = ant[i-1];
        while (i != -1) {
            //    printf("<-%d",i+1);
            tmp[cont] = i+1;
            cont++;
            i = ant[i];
        }
        for (i = cont; i > 0 ; i--) {
            printf("%d -> ", tmp[i-1]);
        }
        printf("%d", destino);
        printf("\n\tDistancia: %d\n",(int) dist[destino-1]);
    }
}

void limpar(void){
    printf("\033[2J"); /* limpa a tela */
    printf("\033[1H\n"); /* poe o curso no topo */
}

void cabecalho(void){
    limpar();
    printf("Implementacao do Algoritmo de Dijkstra\n");
    printf("Elaboracao ITTI - Renan Alves do Nascimento\n");
    printf("Comandos:\n");
    printf("\t d - Adicionar um grafo\n"
           "\t r - Procurar os menores caminhos no grafo\n"
           "\t CTRL+c - Sair do programa\n");
    printf(">>> ");
}

void add(void){

```

```

int i,k;
do {
    printf("\nInforme o numero de vertices (minimo 2): ");
    scanf("%d",&vertices);
} while (vertices<2);
if (!distancias)
    free(distancias);
distancias = (int *) malloc(sizeof(int)*vertices*vertices);
for (i=0;i <= vertices * vertices;i++)
    distancias[i] = -1;
printf("\n Entre com os vertices:\n");
do {
    do {
        printf("\n Vertice de origem (entre 1 e %d ou '0' para sair): ",
vertices);
        scanf("%d",&origem);
    } while (origem < 0 || origem > vertices);
    if (origem) {
        do {
            printf("\n Vertice de destino (entre 1 e %d, menos
%d): ", vertices, origem);
            scanf("%d", &destino);
        } while (destino < 1 || destino > vertices || destino ==
origem);
        do {
            printf("\n Distancia (positiva) entre os vertices %d e
%d: ",
origem, destino);
            scanf("%d",&distancia);
        } while (distancia <= 0);{
distancias[(origem-1) * vertices + destino - 1] = distancia;
k=origem;
origem=destino;
destino=k;

```

```

        distancias[(origem-1) * vertices + destino - 1] = distancia;
    }
}
} while (origem);
}
void procurar(void){
    int i,j;
    /* Azul */
    printf("Lista dos caminhos minimos do grafo: \n");
    for (i=1;i<=vertices;i++) {
        for (j=1; j <= vertices; j++)
            dijkstra(vertices,i,j,distancias);
        printf("\n");
    }
    printf("<Pressione ENTER para retornar ao menu principal>\n");
    /* Volta cor normal */
}
int main(int argc, char **argv) {
    int i, j;
    char opcao[3], l[50];
    do {
        cabecalho();
        scanf("%s", &opcao);
        if ((strcmp(opcao, "d")) == 0) {
            add();
        }FLSH;
        if ((strcmp(opcao, "r") == 0) && (vertices > 0) ) {
            procurar();
            FLSH;
        }
    } while (opcao != "x");
    printf("\nAte a proxima...\n\n");
    return 0;
}

```