



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

ANDRÉ GUIMARÃES PEIXOTO

**MÉTODO PARA A CONSTRUÇÃO DE UMA MATRIZ DE
ORIGEM E DESTINO UTILIZANDO ALGORITMO PARA
LOCALIZAÇÃO DE TRECHOS PARA A REALIZAÇÃO DAS
PESQUISAS**

**FLORIANÓPOLIS
2013**

ANDRÉ GUIMARÃES PEIXOTO

**MÉTODO PARA A CONSTRUÇÃO DE UMA MATRIZ DE
ORIGEM E DESTINO UTILIZANDO ALGORITMO PARA
LOCALIZAÇÃO DE TRECHOS PARA A REALIZAÇÃO DAS
PESQUISAS**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade
Federal de Santa Catarina, como
parte dos requisitos para a
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil

Área de Concentração: Infraestrutura e Gerência Viária

Orientador: Professor Dr. Amir Mattar Valente

Florianópolis
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

André Guimarães Peixoto

Método para a Construção de uma Matriz de Origem e Destino Utilizando Algoritmo para Localização de Trechos para a Realização das Pesquisas / André Guimarães Peixoto; orientador, Amir Mattar Valente - Florianópolis, SC, 2013. 165 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Planejamento de transportes. 3. matriz de origem e destino. 4. algoritmo. 5. Modelo gravitacional. I. , Amir Mattar Valente. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

**MÉTODO PARA A CONSTRUÇÃO DE UMA MATRIZ DE
ORIGEM E DESTINO UTILIZANDO ALGORITMO PARA
LOCALIZAÇÃO DE TRECHOS PARA A REALIZAÇÃO DAS
PESQUISAS**

por

ANDRÉ GUIMARÃES PEIXOTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Florianópolis, 04 de Julho de 2013.

Prof. Dr. Roberto Caldas de Andrade Pinto
Coordenador do PPGEC/UFSC

Prof. Dr. Amir Mattar Valente
Orientador - PPGEC/UFSC

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Amir Mattar Valente
Moderador – PPGEC/UFSC

Prof^ª. Dr^ª. Liseane Padilha Thives
PPGEC/UFSC

Dr. Alexandre Hering Coelho
Labtrans/UFSC

Dr. Sérgio Ronaldo Granemann - UNB

Dedico este trabalho à meus pais que me incentivaram e deram força de longe nos momentos em que precisei

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Angela Guimarães Peixoto e José Liberino Nogueira Peixoto pela força dada nos momentos de saudades da terra natal e pela formação dos princípios que me deram força, determinação e perseverança para concluir os desafios da vida.

À minha irmã, Patrícia Guimarães Peixoto e cunhado, Homero Oliveira Martins por terem gerado o meu amado sobrinho e afilhado João Pedro Peixoto Martins, que me oferece a alegria necessária para viver.

À minha avó, Laura Pereira Guimarães, tia, Berta Camilla Pereira Guimarães e tio, Gastão Arnaldo Pereira Guimarães que me deram o incentivo para tornar realidade o meu sonho.

Aos meus amigos de mais de 30 anos de companheirismo: Adilson Santana, Alexandre Galizza, Augusto Urias, Carlos Eduardo Castro, Guilherme Naves, Gustavo Arruda, João Carlos Barreto, Manoel Fonseca, Marcelo Bertin, Murilo Fleury, Pedro Naves, Rodrigo de Pádua, Rodrigo Lage, Rodrigo Tosta e Wandler de Pádua, que sempre torceram pelo meu sucesso e, à Luciana Cavalcanti, um exemplo de vida e determinação que tenho muito estima e carinho.

Aos meus companheiros e amigos de ANTT, principalmente à, Jecé Janer Moreira Lopes, Gilberto Guimarães Mendes e Miguel Mário Bianco Masella que me proporcionaram ensinamentos sobre transportes e incentivo em realizar este sonho e à Mylena Alencastro.

À todos os meus amigos do Laboratório de Transportes (LabTrans), principalmente ao Fabiano Giacobbo, que me ofereceu condições para participar dessa grande família.

Aos meus amigos de Florianópolis que conquistei nesses anos em que morei em Florianópolis, principalmente aos moradores do Candice, condomínio da praia da Joaquina.

À todos os meus amigos do DFTRANS, órgão em que sou concursado.

Aos integrantes da banca, professora Dra. Liseane Padilha Thives, professor Dr. Alexandre Hering Coelho e professor Dr. Sérgio Granemann, pelos comentários e sugestões que proporcionaram valor à esta dissertação e à professora Dra. Lenise Grando Goldner, que não pode comparecer, devido a compromissos já assumidos. E, ao meu orientador professor Dr. Amir Mattar Valente, pelos vários convites feitos para proporcionar realidade, o sonho do mestrado e pela paciência em tantas reuniões realizadas via telefone.

E, à todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado à todos vocês!

*“Talvez não tenha conseguido fazer
o melhor, mas lutei para que o
melhor fosse feito. Não sou o que
deveria ser, mas graças a Deus, não
sou o que era antes.”*

(Martin Luther King)

RESUMO

O planejamento de transporte é um importante instrumento para a tomada de decisões. Um dos pressupostos do desenvolvimento dos modelos criados pelos estudiosos da área visa a construção das matrizes de origem e destino. Este trabalho apresenta um método que sistematiza essa construção, utilizando dados de pesquisas realizadas na rede de transportes. Visando facilitar o procedimento de localização dos pontos de pesquisa, foi desenvolvido um algoritmo capaz de identificar os trechos que contemplam o maior número de pares de origem e destino da matriz. A obtenção de matrizes por meio de pesquisas oferece vantagens em termos de custo, pela redução do número de pontos de pesquisa e, do tempo de realização do estudo. Após as pesquisas e consequente obtenção dos dados, é construída uma matriz de origem e destino amostral. Em seguida, é realizada uma inferência com o intuito de estimar os pares de origem e destino não contemplados na pesquisa. O modelo utilizado para tanto foi o gravitacional. Como resultado foi elaborado um método para a obtenção de uma matriz de origem e destino estimada que auxilia na otimização da relação benefício-custo para a sua construção.

Palavras chave: Planejamento de transportes; matriz de origem e destino; algoritmo; modelo gravitacional.

ABSTRACT

The transportation planning is an important instrument for the decision making process. One of the assumptions made by the researchers of the area for the development of their models is the construction of the origin – destination matrices. This dissertation presents a method that systematizes the construction of the origin- destination matrices, by using research data from the transportation network. To make the localization of the research points easier, an algorithm was developed which is able to identify the sections that include the largest number of matrix origin – destination pairs. Obtaining matrices through research data give advantages in terms of cost, by reducing the number of research points and the time necessary to perform the study. After researches and the consequent data collection, a sample origin – destination matrix is built. Then, the origin – destination pairs which weren't covered by the research are estimated by inference. The model used was the gravitational model. As result, a method was elaborated to obtain an estimated origin – destination matrix which helps in the cost-benefit relationship optimization for its building.

Key Words: Transportation planning; origin – destination matrix; algorithm; gravitational model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Fluxograma da aplicação dos fatores de expansão na pesquisa horária.....	45
Figura 2:	Matriz de origem e destino.....	55
Figura 3:	Fluxograma da sequência de passos utilizados para a calibração do modelo gravitacional – Conhecimento das variáveis autônomas da função....	60
Figura 4:	Fluxograma da sequência de passos utilizados para a calibração do modelo gravitacional – Conhecimento da matriz de origem e destino completa.....	62
Figura 5:	Exemplo dos nós na rede viária – SisLog.....	73
Figura 6:	Fluxograma do MCMOD.....	90
Figura 7:	Visualização dos links e dos nós.....	93
Figura 8:	Exemplo da matriz de origem e destino unitária.....	94
Figura 9:	Curva ABC.....	98
Figura 10:	Localização das zonas de tráfego da área de estudo..	109
Figura 11:	Localização dos centroides da área de estudo.....	117
Figura 12:	Rede de transporte da área de estudo.....	120
Figura 13:	Resultados das alocações realizadas.....	123
Figura 14:	Resultado da aplicação do ALTP.....	128
Figura 15:	Curva ABC – Estudo de caso.....	129
Figura 16:	Localização dos links/trechos para as pesquisas – Nível de abrangência.....	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Discriminação das etapas do MCMOD.....	88
Tabela 2:	Exemplo da caracterização de um link.....	93
Tabela 3:	Zonas de tráfego da área de estudo.....	109
Tabela 4:	Determinação dos centroides pelo valor do PIB do ano de 2009 (R\$).....	110
Tabela 5:	Zonas de tráfego e centróides.....	118
Tabela 6:	Relação dos links da rede de transportes por ordem crescente.....	119
Tabela 7:	Matriz de origem e destino unitária para alocação.	121
Tabela 8:	Relatório do SisLog - Par: ZT1- Aripuanã – ZT2- Alta Floresta.....	125
Tabela 9:	Relação dos links dos caminhos mínimos gerados com a quantidade de pares de origem e destino que o utilizam.....	126
Tabela 10:	Resultados da aplicação do ALTP – Listagem.....	127
Tabela 11:	Trechos selecionados pelo nível de abrangência...	130
Tabela 12:	Descrição dos links selecionados para as pesquisas.....	131
Tabela 13:	Localização dos 7 postos entre os pares da matriz de origem e destino.....	134
Tabela 14:	Matriz de origem e destino amostral – Pesquisa realizada em 03/04/2013 (das 8:00 às 20:00) (Ton.).....	136
Tabela 15:	Percentual de veículos entrevistados por posto de pesquisa.....	137
Tabela 16:	Fatores de expansão arbitrados para os 7 postos de pesquisa.....	138
Tabela 17:	Exemplo de cálculo do fator de expansão diário (%).....	139
Tabela 18:	Exemplo de cálculo dos fluxos da quarta-feira em relação aos da semana (%).....	139
Tabela 19:	Exemplo de cálculo do fator de expansão semanal (%).....	140
Tabela 20:	Exemplo do cálculo do fator de expansão mensal/sazonal (%).....	140
Tabela 21:	Matriz de origem e destino amostral expandida – Ano 2013 (Ton.).....	142

Tabela 22:	Dados hipotéticos referentes à produção (P_i) e consumo (C_j) internos das zonas de tráfego – Ano 2013 (Ton.).....	144
Tabela 23:	Matriz impedância – Tempo (horas).....	145
Tabela 24:	Parâmetros calculados pelo método de Gonçalves.	146
Tabela 25:	Resultado da análise dos dados das variáveis independentes (P_i , C_j e d_{ij}) e dependente (T_{ij}) observada na pesquisa de origem e destino hipotética.....	148
Tabela 26:	Resultados da validação das variáveis autônomas do modelo gravitacional.....	149
Tabela 27:	Matriz de origem e destino completa – Ano: 2013 (Ton.).....	151

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	23
1.1. JUSTIFICATIVA.....	24
1.2. OBJETIVOS.....	25
1.2.1. OBJETIVO GERAL.....	25
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	27
2.1. VISÃO SISTÊMICA.....	27
2.2. PLANEJAMENTO.....	29
2.3. PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES.....	32
2.4. MATRIZ DE ORIGEM E DESTINO.....	37
2.4.1. VIA ESTIMATIVA DIRETA SIMPLES.....	39
2.4.2. VIA CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE TRÁFEGO.....	39
2.5. TÉCNICA DE EXPANSÃO DAS PESQUISAS.....	42
2.6. MODELO GRAVITACIONAL.....	48
2.6.1. CONCEITO.....	49
2.6.2. SOLUÇÕES MATEMÁTICAS.....	51
2.6.2.1. MODELO DESCRITO POR GONÇALVES.....	52
2.6.2.2. AJUSTAMENTO DIRETO.....	63
2.6.3. VALIDAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO GRAVITACIONAL.....	65
2.7. MODELAGEM MATEMÁTICA E ALGORITMOS.....	67
2.8. <i>GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS)</i> PARA TRANSPORTES.....	69
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	75
3.1. LOCALIZAÇÃO DOS POSTOS DE CONTAGEM VOLUMÉTRICA DE TRÁFEGO.....	75
3.2. MODELO GRAVITACIONAL.....	81
4. MÉTODO PARA A CONSTRUÇÃO DE UMA MATRIZ DE ORIGEM E DESTINO.....	87
4.1. Introdução.....	87
4.2. Método para a construção de uma matriz de origem e destino (MCMOD).....	87
4.2.1. descrição.....	87
4.2.2. detalhamento das etapas (e).....	91

5. APLICAÇÃO DO MCMOD – ESTUDO DE CASO.....	107
5.1. Delimitação da área de estudo.....	107
5.2. Definição das zonas de tráfego.....	108
5.3. Definição dos centroides.....	110
5.4. Determinação da rede de transportes.....	119
5.5. Construção da matriz de origem e destino unitária.....	121
5.6. Alocação da matriz de origem e destino unitária.....	122
5.7. Aplicação do altp.....	127
5.8. Definição do nível de abrangência visando à seleção dos melhores <i>links</i>	129
5.9. Aplicação do nível de abrangência.....	130
5.10. Realização das pesquisas de origem e destino.....	135
5.11. expansão das pesquisas de origem e destino.....	137
5.12. cálculo dos parâmetros do modelo gravitacional.....	143
5.13. validação dos parâmetros do modelo gravitacional.....	148
5.14. determinação da matriz de origem e destino completa.....	150
6. CONCLUSÕES.....	153
7. RECOMENDAÇÕES.....	157
REFERÊNCIAS.....	159

1. INTRODUÇÃO

O custo de transporte atingiu elevados patamares, afetando a competitividade dos produtos comercializados com o mercado mundial. Nota-se que o crescimento econômico gerou níveis de demanda superiores à capacidade do sistema de transportes. Dessa forma, a infraestrutura não suportou o aumento da produção agrícola e industrial.

De acordo com Ortúzar e Willumsen (1990), passou-se tempo suficiente com pouco ou nenhum planejamento de transporte para a melhoria da oferta de transporte. Contudo, no final da década de 80, soluções técnicas foram desenvolvidas mundialmente visando solucionar os problemas que prejudicavam o pleno funcionamento do sistema de transportes. Dado que os recursos são limitados, foram implementados modelos a partir do grande desenvolvimento da capacidade computacional. Este esforço vai beneficiar as decisões cuidadosamente orientadas para a maximização das vantagens da nova oferta de transportes, minimizando os seus custos e efeitos colaterais indesejáveis.

Visando à efetividade do planejamento de transportes no Brasil, aparece como técnica fundamental para a realização e efetivação desse planejamento, a construção de matrizes de origem e destino. Ela fornece subsídios para a tomada de decisões visando ao melhoramento da infraestrutura de transportes no país. Um dos meios de obtenção da matriz de origem e destino é pela realização de levantamentos de dados na rede de transportes.

Para a eficácia da coleta de dados necessita-se identificar os melhores pontos da rede de transportes que contemplem a maior parte dos pares da matriz. Ela será de grande importância para evitar gastos desnecessários, pois seriam evitados trechos rodoviários com pouca importância conforme o número de viagens geradas pelos pares de origem e destino. Para inclusão das viagens não contempladas será adotado o modelo gravitacional, que é o mais utilizado pelos estudiosos para este tipo de inferência.

O estudo proposto é de grande valia para a redução dos custos da elaboração do planejamento de transportes e para o conhecimento da matriz de origem e destino brasileira e de outras regiões.

1.1. Justificativa

O governo federal baseia suas decisões utilizando o planejamento de transportes. Entretanto, ele não é realizado de forma adequada, pois os planos elaborados são voltados a soluções paliativas de curto prazo. Devido à falta de tempo e necessidade de conclusão dos trabalhos, são deixados em segundo plano, etapas fundamentais ao pleno desenvolvimento do planejamento proposto, tornando os resultados insatisfatórios. Para sua efetivação, inicialmente deve-se determinar a área de estudo para, posteriormente, realizar o levantamento de dados para conhecimento das origens, dos destinos, do tipo de mercadorias e das respectivas quantidades transportadas pela rede viária. A partir das pesquisas é obtida a matriz de origem e destino.

Entretanto, diante das dificuldades de obtenção de dados sobre os volumes movimentados nas rodovias brasileiras e pela grande extensão do território nacional, é de grande valia o desenvolvimento deste estudo para ajudar a sua implementação. A distribuição de viagens representa a etapa mais importante do modelo sequencial de planejamento de transportes, que ainda conta com as etapas de geração, divisão modal e alocação das viagens. Na distribuição de viagem é possível determinar toda a movimentação de mercadorias entre os pares de origem e destino, ferramenta fundamental para a realização do planejamento de transportes.

Foram realizadas algumas tentativas de obtenção da matriz de origem e destino brasileira. Uma delas uniu o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) para angariar esforços na tentativa de efetivar sua construção. Outra tentativa foi realizada a partir da elaboração de convênio entre as secretarias de fazenda dos estados brasileiros, receita federal e agências reguladoras, visando à retirada de dados e informações dos documentos eletrônicos: conhecimento de transporte eletrônico (CT-e) e nota fiscal eletrônica (NF-e). As informações contidas nesses documentos, como origem, destino e quantidade transportada são utilizadas para a construção da matriz de origem e destino sem a necessidade de realização das pesquisas em loco. Ambas as tentativas ainda não alcançaram seus objetivos, entretanto, podem ser efetivadas e utilizadas para futuros estudos.

O presente trabalho se encaixa como um instrumento metodológico facilitador para a obtenção da matriz de origem e destino. Existem dados referentes aos documentos fiscais CT-e e NF-e, onde a partir destes podem ser construídas as matrizes de origem e destino, sem a necessidade de realização de pesquisas em campo. Entretanto, os documentos fiscais não podem ser divulgados pela Receita Federal do Brasil (RFB) e Secretarias de Fazenda dos estados brasileiros, impossibilitando o uso em estudos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Desenvolvimento de um método para a construção de matrizes de origem e destino, utilizando algoritmo para a localização otimizada de trechos para a realização das pesquisas de campo e inferência dos fluxos não contemplados pelo modelo gravitacional.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Desenvolvimento de um algoritmo para a localização de trechos para a realização das pesquisas de origem e destino (ALTP);
- b) Aplicação da técnica de expansão da matriz de origem e destino amostral;
- c) Inferência da matriz de origem e destino completa, utilizando o modelo gravitacional e;
- d) Aplicação do método para a construção de uma matriz de origem e destino (MCMOD), utilizando a rede de transportes do estado do Mato Grosso (MT), juntamente com a simulação da movimentação interna de grãos na área de estudo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O material que se pretende utilizar neste trabalho é abrangente, contendo uma série de conceitos e discussões julgadas essenciais para a compreensão do método. Assim, inicialmente, é apresentada a teoria sobre pensamento sistêmico para dar embasamento ao processo de planejamento. Posteriormente, conceitua-se, de forma específica o planejamento de transportes. Em seguida, é demonstrada a teoria referente à distribuição de viagens, onde é determinada a matriz de origem e destino, via pesquisas de campo. Com o objetivo de redução das amostras e tornar as pesquisas eficientes, foi desenvolvido algoritmo para o conhecimento da localização ótima dos trechos para a realização das pesquisas, evitando assim, trechos pouco representativos. E, visando à expansão das pesquisas, foi utilizada técnica demonstrada por manual específico, para estimar a matriz com fluxos relativos ao período estudado. Por fim aborda-se o modelo gravitacional, técnica utilizada no estudo para a realização da inferência da matriz de origem e destino completa. De forma complementar, é explicitada a importância da utilização dos *Geographic Information System (GIS)* para o estudo.

2.1. Visão sistêmica

O planejamento é inerente ao pensamento sistêmico. Segundo Sengel (2002), o pensamento sistêmico é uma disciplina para ver o todo. É um quadro referencial para ver o inter-relacionamento, ao invés de simples eventos. Antes de qualquer decisão em longo prazo, deve-se visualizar todas as inter-relações entre todos os atores das mudanças pretendidas. Para sua efetivação é necessária a mudança de mentalidade. Antes de qualquer decisão, deve-se ver o todo para depois ver as partes.

Novaes (1982) cita que sistema é um conjunto de partes ou subsistemas interconectados, apresentando interdependências entre os componentes e seus atributos. Assim, como o autor mencionou, a abordagem sistêmica necessita de visualização do todo para o processo decisório.

Em longo prazo, a consequência da utilização de soluções não sistêmicas é a crescente necessidade de doses cada vez maiores da solução. É por isso que as intervenções governamentais mal concebidas não são apenas ineficazes, são viciantes e estimulam à dependência cada vez maior, diminuindo a capacidade de resolução dos problemas. Mudando a forma de pensar é que se pode modificar políticas e práticas profundamente enraizadas.

A forma de interagir é fundamental para estabelecer visões e compreensões compartilhadas e novas capacidades de ação coordenada. Construir uma visão compartilhada estimula o compromisso com o longo prazo.

A visão sem o pensamento sistêmico acaba projetando quadros do futuro, sem uma compreensão das forças que precisam ser dominadas para haver dinamismo nas decisões.

O pensamento sistêmico também mostra que pequenas atitudes bem focalizadas podem produzir melhorias significativas e duradouras, desde que atuem no lugar certo. É a chamada alavancagem (SENGEL, 2002). O fundamental é encontrar a maior alavancagem, que, com o mínimo de esforço, resultaria em melhoria duradoura e significativa. Muitas vezes a alavancagem segue o princípio da economia dos meios. Os melhores resultados provêm não de esforços em larga escala, mas sim de pequenas ações bem focalizadas.

Para Sengel (2002), planejamento cria processos de equilíbrio de longo prazo. O autor indica que estes processos são representados por círculos. Entretanto, são difíceis de serem identificados. Aparentemente, parece que as mudanças não estão acontecendo. O processo de equilíbrio mantém o *status quo*, mesmo quando todos os participantes querem mudanças.

Os esforços para quebrar paradigmas sofrem resistência, na tentativa de manter uma meta implícita ao sistema. Enquanto essa meta não for reconhecida, os esforços de mudança fracassarão. Para vencer a resistência à mudança, devem-se identificar as suas fontes. Para não enfrentar o sistema, são tomadas atitudes paliativas que aparentemente, obtêm-se melhorias no curto prazo. Contudo, as soluções paliativas somente aliviam os sintomas dos problemas e, por isso, são tomadas as atitudes sem planejamento, pois reduz os riscos e custos em curto prazo. Mas, aparecem reflexos em

longo prazo que fazem os problemas ressurgirem ampliados e com custos muito maiores.

Um dos maiores benefícios proporcionados pelo pensamento sistêmico é a possibilidade de se distinguir mudanças de alta alavancagem e mudanças de baixa alavancagem em situações muito complexas. A arte do pensamento sistêmico está em ver através da complexidade, enxergando as estruturas subjacentes que geram as mudanças. O pensamento sistêmico significa organizar a complexidade em uma história coerente em que são detectadas as causas dos problemas e sobre a forma que eles podem ser solucionados de maneira duradoura.

2.2. Planejamento

O planejamento deve ser entendido como um processo sistêmico para alcançar, em um prazo determinado, um conjunto de metas estabelecidas previamente com a máxima eficiência. Para Matus (1993), o planejamento, em uma visão social, é definido como sendo o cálculo situacional sistemático que relaciona o presente com o futuro e o conhecimento com a ação.

De outro ponto de vista, Chiavenato (1999) argumenta que o planejamento determina antecipadamente os objetivos a serem alcançados e como fazer para alcançá-los. É um processo permanente e contínuo, voltado para o futuro e com foco na racionalidade da tomada de decisão. Da mesma forma, cita-se que é sistêmico, além de iterativo e interativo.

Pensando do ponto de vista do interesse público, de acordo com Poister (2010), o objetivo do planejamento é protegê-los, devendo ser um processo contínuo e não isolado, visando as metas traçadas no início do planejamento. Ele é gerido por gestores com a função de antecipar habilmente à mudanças inerentes ao sistema.

Tendo em perspectiva o pensamento sistêmico como forma de decisão é necessário colocar em prática o resultado do processo de planejamento. Assim são preparados os planos. Maximiano (2004) cita que eles devem conter os seguintes componentes: objetivos,

meios de realização e meios de controle. Conforme Poister (2010) deve-se desenvolver planos de ação que especificam o que deve ser feito para realizar estratégias e, posteriormente, avaliar as suas implicações e suas consequências.

De acordo com Maximiano (2004), os objetivos são resultados desejados que orientam o intelecto e a ação, sempre que possível, devem estar baseados em indicadores de desempenho. Já os meios de realização representam os cursos da ação, ou seja, os caminhos a serem perseguidos para a concretização do objetivo proposto. Por fim, os meios de controle são instrumentos para avaliar até que ponto os objetivos estão sendo atingidos e os cursos de ação escolhidos estão sendo apropriados.

Os planos podem ser permanentes ou temporários. Os primeiros contêm as decisões programadas, que devem ser usadas em situações pré-definidas, como exemplo, políticas, procedimentos e missão. E os temporários apresentam uma finalidade singular, extinguindo-se quando os objetivos são realizados.

Quanto ao tipo, os planos podem ser:

- Estratégicos: definem a missão, o futuro e as formas de atuar no ambiente, bem como os objetivos de longo prazo;
- Funcionais: definem os objetivos e cursos de ação das áreas funcionais para realizar os planos estratégicos e;
- Operacionais: definem atividades, recursos e formas de controles necessários para realizar os cursos de ação escolhidos.

De acordo com Guerra (2007), a interatividade entre os seus níveis é essencial para o bom desempenho da organização. Os representantes dos níveis, funcional e operacional, além de fornecer informações básicas ao nível estratégico, devem desenvolver as atividades a eles estabelecidas na esperança de ser o caminho mais eficiente e eficaz para a instituição, pois são determinações que supõem uma visão mais ampla e completa dos objetivos a serem alcançados. Para complementar, segundo Carvalho (1976), o processo de planejamento estratégico apresenta algumas etapas típicas, que tende a ser cíclico:

- Identificação e definição da missão e dos objetivos: visa explicitar a missão da organização e os objetivos do planejamento;
- Análise do ambiente externo: identifica e avalia as oportunidades e ameaças à organização, originadas no ambiente em que se insere;
- Avaliação interna: consiste na análise crítica e avaliação de seus pontos fortes e fracos inerentes aos diversos recursos que a entidade possui;
- Delineamento de estratégias: identifica e elabora estratégias para atingir os objetivos;
- Avaliação comparativa das estratégias e escolha: realiza a investigação das alternativas considerando os recursos disponíveis e;
- Execução, avaliação e controle: aplica as estratégias em planos táticos e atividades operacionais com supervisão e realização de correções.

Por outro lado, Poister (2010), relaciona o planejamento estratégico com três movimentos:

- Transição do planejamento estratégico à gestão do planejamento;
- Mudança de medição do desempenho e;
- Ligação mais estreita de estratégia com gerenciamento de desempenho que será essencial para que o planejamento assuma um papel mais significativo.

O planejamento estratégico está preocupado com a formulação da estratégia por uma abordagem que combina o pensamento futurista, com a avaliação subjetiva de valores, metas e prioridades para traçar uma direção em longo prazo para torná-lo mais eficiente ao processo de planejamento (POISTER, 2010).

2.3. Planejamento de transportes

De acordo com Campos (2007), o planejamento de transportes visa adequar as necessidades de transporte de uma região ao seu desenvolvimento conforme suas características estruturais. Isso significa implantar novos sistemas ou melhorar os existentes. Gonçalves (1992) cita que uma parte importante do processo de planejamento de transportes é a estimativa do número provável de viagens, no presente e em alguma data futura. Como existe uma variedade de sérios problemas urbanos e regionais, a atividade de planejamento associada com estes problemas tem se tornado muito importante.

Assim, de acordo com a autora, surge a modelagem regional onde o modelo é a representação simplificada de um segmento do mundo real. Ele é utilizado para melhor entender um fenômeno do mundo real e para tomar decisões baseadas neste entendimento para outros horizontes.

Visando à simplificação da realização do planejamento de transportes, são utilizados os métodos sequenciais de modelagem para as estimativas da demanda futura de transportes. É caracterizada por uma estrutura sequencial, que representa um processo de tomada de decisão condicional (GONÇALVES, 1992). A estrutura citada é explicitada a seguir.

- Decisão de realizar uma viagem, partindo de uma origem;
- Decisão de ir até um destino;
- Decisão de usar uma modalidade de transporte e;
- Decisão de ir por certa rota.

Em Gonçalves (1992) são citadas as quatro etapas: geração, distribuição, repartição modal e alocação do tráfego na rede. Campos (2007) refere-se aos submodelos comentados, como Modelo 4 Etapas para a realização dos estudos prospectivos.

As quatro etapas são:

- Geração de Viagens: modelos de geração de viagens onde se determina a quantidade de viagens geradas e atraídas pelas zonas de tráfego pré-definidas. Tem o objetivo de prever o número total de viagens que iniciam (produzidas) e terminam (atraídas) na zona de tráfego definida;
- Distribuição de Viagens: a partir do total de viagens geradas e atraídas pela zona de tráfego, cria-se a matriz de origem e destino. Para tanto, é necessário a realização de pesquisas na rede viária para a obtenção dos dados para a construção da matriz. De acordo com Gonçalves (1992), a distribuição de viagens tornou-se uma fase importante e complexa do processo de planejamento de transportes. Ela fornece ao planejador um procedimento sistemático para a estimativa de fluxos interzonais alternativos de uso do solo e sistemas de transportes. Estes fluxos constituem então uma parte básica da informação de viagens, necessária para o planejamento de transportes;
- Escolha do Modal: onde se determina a quantidade de viagens em cada modal de transportes. A divisão modal leva em conta fatores como tipicidade da carga, tempo, distância e custo para a escolha da melhor alternativa e que torne eficiente a movimentação de mercadorias e;
- Escolha de rotas: onde se estabelece os volumes de tráfego que são alocados entre os diferentes trechos de rede. Além de determinação das linhas de escoamento do tráfego, os métodos de alocação são utilizados para: identificar as deficiências que atualmente existem no sistema viário; analisar os efeitos dos melhoramentos que devem ser executados na rede rodoviária; escalonar as prioridades de execução de obras no sistema viário; determinar o volume de tráfego que será desviado para a nova estrada. Para escolher uma determinada linha de escoamento, levam-se em conta vários fatores: distância percorrida, tempo de viagem, limitações de peso; existência ou não de pedágios; custo de viagem; composição do tráfego.

De acordo com Tedesco (2008), a partir da aplicação do modelo 4 etapas é possível antever ou direcionar melhorias operacionais, implantação de novos serviços ou mesmo adequação ou ampliação de infraestrutura para o transporte. Essa ferramenta pode ser importante nas tomadas de decisão em relação aos investimentos públicos e mudanças nas redes de transportes.

A evolução destes modelos levou ao desenvolvimento de técnicas que avaliam a rede a nível microscópico, permitindo identificar problemas de congestionamento proporcionando uma distribuição equilibrada de fluxo na rede em relação à sua capacidade (CAMPOS, 2007). A técnica de planejamento de transporte descrita serve de base para um planejamento viário na medida em que a partir desta distribuição podem-se verificar quais as vias que precisam ser ampliadas para maior fluidez do tráfego e quais os corredores mais sobrecarregados de demanda.

De acordo com Gonçalves (1992), entre os mais utilizados está o UTMS – Urban Transportation Model System, sendo utilizado em mais de 200 cidades dos EUA e outros ao redor do mundo. O modelo foi concebido originalmente para ser aplicado em áreas urbanas, a sua estrutura tem sido também utilizada em nível regional.

Após a demonstração das características gerais do modelo 4 etapas, a próxima parte é descrever com mais detalhes a fase de distribuição de viagens, um dos objetos do presente estudo.

Gonçalves (1992) conceitua que ela é feita com base na potencialidade de cada zona gerar viagens, na atratividade das diversas zonas de destino e na distância, tempo ou custo de transporte entre cada par de zonas de origem e de destino. Estes elementos podem ser denominados como impedância entre as diversas zonas que compõem a área de estudo.

De acordo com McNally (2007), a impedância estimada assumida serve para capturar o comportamento de viagens subjacentes e deve ser estável no futuro para ser utilizada. A impedância é caracterizada não somente pela distância, mas também pelo tempo de viagem, custo, dentre outros. A impedância exerce influência fundamental para a realização do planejamento de transportes e da elaboração da matriz de origem e destino.

Os modelos de distribuição são expressos, de forma genérica, pela seguinte equação (GONÇALVES, 1992):

$$T_{ij} = f(\text{variáveis socioeconômicas em } i \text{ e } j; \text{ separação espacial entre } i \text{ e } j) \quad (\text{I.1})$$

Onde:

T_{ij} : Número estimado de viagens de i até j no intervalo de tempo considerado;

Variáveis Socioeconômicas em i e j : dados sobre a movimentação de mercadorias e;

Separação Espacial entre i e j : impedância relacionada às zonas i e j .

Na equação (I.1), o número de viagens de i até j é função diretamente proporcional às variáveis socioeconômicas e inversamente proporcionais, à separação espacial entre os pontos de origem e destino.

Muitos modelos matemáticos foram concebidos para a etapa de distribuição de viagens com o desenvolvimento da modelagem sequencial agregada para a previsão da demanda futura. A seguir têm-se os principais.

- Modelos de fatores de crescimento (Fratar) e;
- Modelos Sintéticos (Gravitacional).

Estes modelos procuram entender a relação causal associada aos movimentos.

De acordo com Germani et al (1985), o modelo Fratar tem as seguintes características:

- Não produzem viagens no futuro entre um par de zonas onde atualmente a frequência de viagens é nula;
- Não levam em conta modificações no uso do solo e;
- São utilizados para previsões de poucos anos ou para viagens do tipo “através”.

Pelo motivo de não levar em conta as modificações na infraestrutura, o modelo Fratar não poderia ser utilizado para este estudo. A afirmação é apoiada na necessidade do método em prever alterações no sistema de transportes. Essas alterações são possibilitadas pela utilização dos modelos sintéticos. Eles baseiam-se nas seguintes suposições, conforme Germani et al (1985):

- São sensíveis à separação espacial entre zonas (função distância);
- Utilizam estudos de uso do solo;
- Não requerem uma pesquisa de origem destino completa e;
- Consideram fatores socioeconômicos das zonas.

Constata-se que os modelos sintéticos são mais eficientes que os modelos de fatores de crescimento. A maior eficiência dos modelos sintéticos se dá quando ocorrem mudanças na infraestrutura da área de estudo. Estas mudanças podem ser caracterizadas pela pavimentação de uma rodovia; pelos investimentos realizados para a aquisição de locomotivas mais modernas aumentando, dessa forma, a sua velocidade; pelo aumento da capacidade das esclusas em uma hidrovia; pela aquisição de novas e mais modernas aeronaves visando a redução do tempo de viagem e; por fim, pelo aumento da espessura da tubulação, aumentando o volume transportado pela dutovia. Todo melhoramento da infraestrutura é realizado modificando-se os valores na matriz impedância.

Entretanto, de acordo com McNally (2007), em zonas de estudo onde o fator político é representativo, as previsões a partir da modelagem gravitacional não atinge os objetivos esperados. Além deste fator, surgem também, como entraves à eficácia dos resultados da modelagem, os contratos fechados que já delimitam os modais em que devem ser movimentadas as cargas. Este fato é verificado no transporte da produção agrícola, onde as deficiências na infraestrutura provocam acidentes e elevam os custos de transporte. Por esse motivo, estipula-se em contrato a rota por onde a produção percorrerá aumentando os custos em curto prazo, e reduzindo os riscos do transporte.

No caso exposto, a modificação da rota pode resultar no aumento da distância entre os dois pontos de origem e de destino e conseqüentemente o tempo da viagem. Este procedimento afeta todo o planejamento realizado, tornando-o não fundamental.

E, por fim, também oferece obstáculos aos resultados, o uso inadequado de fatores diários e sazonais para estimar os volumes médios diários de veículos - VMD e a ausência de dados fidedignos que resultem em uma boa classificação do nível de tráfego da área do estudo (WIGMANN E EVERETT, 2004).

Por outro lado, os erros podem ocorrer diretamente pela má utilização dos softwares para a realização das projeções e até mesmo a partir de variáveis e parâmetros mal escolhidos e dimensionados.

2.4. Matriz de origem e destino

De acordo com Loureiro (2007), a matriz de origem e destino é um dos principais produtos para a modelagem das viagens em uma rede de transportes. Ela representa o padrão de fluxos de viagens entre zonas em uma área de estudo. É também determinada para a descrição do transporte em uma determinada região (ABRAHAMSSON, 1998). De outra forma, a matriz de origem e destino relaciona os desejos de deslocamentos de pessoas ou de mercadorias em uma região, sendo representadas por matrizes bidimensionais, onde cada elemento representa o desejo de deslocamento ou demanda deslocamento, entre uma origem e um destino específico. A matriz é o fruto do resultado da segunda etapa do modelo sequencial ou 4 Etapas em que fornece informações sobre o fluxo de mercadorias ou passageiros em uma determinada área de estudo.

Complementando, no processo de planejamento de transportes uma das partes mais importantes é a estimativa do número provável de viagens, no presente e no futuro, entre as zonas que compõem o estudo. Segundo Calixto (2011), uma informação essencial para grande parte dos sistemas de simulação e controle de tráfego são as demandas existentes por viagens na rede viária analisada. Esta demanda é dada tipicamente através da matriz de origem e destino.

Na matriz, o valor armazenado em uma célula (linha i e coluna j) é a demanda de fluxo estimada de uma zona i para uma zona j , para um determinado período de tempo estudado. Assim, estão definidos todos os fluxos existentes entre cada uma das zonas de interesse definidas na rede viária do estudo.

O conhecimento da distribuição espacial da oferta e da demanda é condição básica para o dimensionamento do sistema de transportes. A determinação dos volumes de tráfego nos segmentos que compõem a rede viária se deve à alocação da matriz de origem e destino sobre esta rede. A partir dos seus resultados, pode-se elaborar uma política de transportes, podendo ser realizadas previsões e modelagens, construindo cenários prospectivos para analisar diversas situações do comportamento da demanda por transportes.

Uma matriz de origem e destino é estimada utilizando dois métodos:

- Estimativa direta simples e;
- Estimação utilizando contagem volumétrica de tráfego.

Ambos os métodos são aplicados a partir de amostragens, tendo em vista a redução do tempo de realização das pesquisas e a diminuição dos gastos com a implementação dos postos de pesquisas. Entretanto, dependendo do tamanho da área de estudo, é possível a realização das pesquisas levando em consideração a matriz de origem e destino completa.

Yang et al (1991), reforça a existência dos modelos relacionados. Sendo que, o principal modelo é via contagem volumétrica de tráfego nas rodovias. O objetivo chave deste método visa garantir a confiabilidade das estimativas.

A seguir são apresentados os métodos de forma mais detalhada.

2.4.1. Via estimativa direta simples

De acordo com Cacetta (1989), a estimativa via estimativa direta simples abrange vários tipos de pesquisa, como entrevista em domicílio, nas rodovias e técnicas de contagem de placas de veículos. Segundo Souza (2007), esta técnica é realizada a partir do registro das placas dos veículos que trafegam nas diversas estações de observação ou combinação desses tipos de pesquisas dependendo do objetivo.

BRASIL (2006) identifica os métodos de identificação de placas, para áreas com elevado volume de tráfego em que fica impossibilitada a parada de veículos; o método de tarjetas postais, para áreas com uma intensidade elevada que impede a detenção do veículo por muito tempo e; o método de etiquetas nos veículos, onde é vantajoso para estudar movimentos em áreas pequenas.

Entretanto, esses métodos apresentam uma série de problemas, pois requerem uma quantidade considerável de tempo, recursos humanos e financeiros, além de serem rapidamente desatualizados, portanto não são os mais eficazes.

Willumsen (1978) relata que as entrevistas nas rodovias dependem do nível de serviço do tráfego e da disponibilidade de mão de obra. Para sanar esses tipos de problemas, estudos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de obter métodos menos onerosos e demorados na estimação de matrizes de origem e destino.

2.4.2. Via contagem volumétrica de tráfego

Ela parte do princípio de que existam contagens de fluxo observadas nas rodovias para um determinado período de tempo. Segundo Chen et al (2007), as contagens volumétricas de tráfego são frequentemente coletadas para monitorar a circulação do tráfego. Eles quantificam o número de veículos e quantidades que passam pelo ponto de pesquisa durante um tempo determinado. É usualmente conduzido para monitorar e descrever as características do tráfego como: tráfego diário médio anual, tráfego diário médio, o volume de pico, a distância

percorrida e os valores de movimentação entre pares de origem e destino.

A partir dessas contagens procura-se estimar a matriz, a partir dos dados levantados nas pesquisas que, uma vez alocada à rede viária, reproduza os fluxos observados. De acordo com Abrahamsson (1998), a modelagem é caracterizada por apresentar as seguintes soluções baseadas em:

- Maximização da entropia ou minimização da informação;
- Inferência estatística e;
- Gradiente.

Já Willumsen e Tamin (1989), expõem que estas opções também podem ser divididas em:

- Modelos gravitacionais;
- Maximização da entropia ou minimização da informação;
- Técnicas de equilíbrio do usuário e;
- Inferência estatística.

Entretanto, também merece uma série de cuidados para as estimativas. Neste tipo, deve-se calibrar os parâmetros da função utilizando métodos de regressão linear ou não linear para a construção de dados de demanda. Eles assumem uma distribuição de fluxos gravitacional para realizar a inferência da matriz de origem e destino.

Abordagens baseadas em modelos gravitacionais assumem que o comportamento dos padrões de viagens pelos usuários pode ser corretamente modelado por três fatores distintos: geração de viagens, atração de viagens e impedância/custo das viagens. Os pontos (nós) de início e fim de cada trecho (*link*) geram e atraem viagens e a impedância/custo de uma viagem é normalmente dado pela distância ou tempo entre os dois nós, ou seja, quanto mais distante e maior tempo de se percorrer entre um nó de origem e um nó de destino, maior será o custo de viagem entre eles.

Após o conhecimento dos parâmetros do modelo na calibração, são necessários tempo e mão de obra bem qualificada capaz de calcular e analisar os resultados encontrados na fase de validação.

As contagens volumétricas de tráfego são bem atrativas, pois utilizam dados incompletos, visando estimar as matrizes de origem e destino. Este método não necessita de dados completos para a realização das estimativas (TAMIN E SUYUTI, 2003). Nesse caso, é necessária a modelagem para a inferência da matriz.

Yim e Lam (1990) comentam que existem vantagens principalmente econômicas, a partir de pesquisas de contagem de tráfego. Também é citada a eficácia dos resultados visando o planejamento de transporte e gerenciamento de tráfego.

Assim, apresentam-se todas as razões de serem atrativas.

- Baixo custo: esse tipo de dado é relativamente inexpressivo para obtê-lo e requer menos mão-de-obra e tempo e oferece facilidades da organização e gerenciamento e além do mais os contadores automáticos de tráfego estão se desenvolvendo bem;
- Disponibilidade: contagens de tráfego são regularmente utilizadas por autoridades da área e com múltiplos usos em planejamento de transportes e;
- Não perturbador: as contagens de tráfego podem ser obtidas sem causar atrasos ou perturbação para veículos e viajantes.

Entretanto, o método via contagem volumétrica implica também em desvantagens. Ele não é sempre bem aceito pela comunidade científica, pois a matriz gerada pode não representar a realidade. Yim e Lam (1990) comentam que existem problemas técnicos e operacionais para a aplicação em sistemas com grande número de variáveis. Necessita-se, nesse caso, de mão de obra especializada e bem treinada para a realização das pesquisas. A falta de treinamento pode afetar diretamente a qualidade dos dados, tornando-os não confiáveis. Pode-se citar, também, que a extensão da área de abrangência do estudo, pode incorrer em aumento do tempo de realização das pesquisas e no aumento da probabilidade de serem geradas amostras incoerentes e inconsistentes.

Outra desvantagem oferecida pela estimativa de matriz via contagem é representada pelo grau de erro dos resultados alcançados (YANG ET AL, 1991). Para amenizar o problema realiza-se uma investigação técnica sobre a confiabilidade da matriz de origem e

destino, empregando-se o cálculo do erro relativo máximo possível. O resultado mostra o limite superior do erro real em relação à matriz estimada. Realizando este procedimento determina-se o máximo nível de erro que a matriz pode alcançar.

Já segundo Calixto (2011), há vários pesquisadores que estudam métodos de estimação de matrizes de origem e destino a partir de contagens volumétricas de tráfego. Entretanto, da mesma forma apresentada, o autor também cita desvantagens.

Os dados necessários para a realização de estimativas de matrizes, raramente estão disponíveis em sua totalidade. Assim, verifica-se um grande entrave para a sua efetivação. É comum que existam dados de contagem para apenas parte da malha viária referente à área de estudo. O problema de construção de matrizes é bem mais complexo por conta da dificuldade e aplicação dos dados. A possibilidade de obter os dados não contemplados nas pesquisas é realizada a partir da inferência dos dados utilizando a modelagem gravitacional.

Apesar das desvantagens relacionadas, o processo de construção de matrizes de origem e destino, baseado em contagens de tráfego, representa a melhor opção para a construção de matrizes de origem e destino a partir do levantamento de dados, levando-se em conta, o médio e longo prazos. Entretanto, para o curto prazo, a primeira alternativa se adequa melhor às necessidades, por não necessitar de muito tempo de realização da pesquisa.

2.5. Técnica de expansão das pesquisas

Segundo Goldner (2011), a expansão de dados de tráfego é um estudo de origem e destino que estabelece a medida do modelo de movimentação de pessoas e/ou mercadorias de uma área em particular de interesse. A autora estabelece que a área de interesse pode ser dividida em áreas internas de análise, sendo que as viagens devem ser realizadas entre zonas de origem e de destino. A pesquisa é utilizada para fins de planejamento para novas e melhores vias para o transporte de passageiros e mercadorias.

Existem vários tipos de levantamento, como os métodos de entrevistas domiciliares, identificação de placas, de tarjetas postais e de etiquetas nos veículos. Entretanto, o que melhor se adapta a esta dissertação é a entrevista direta com os motoristas na rodovia. Nesse caso os motoristas são obrigados a parar e declarar sua origem e destino, o tipo de mercadoria transportada e a quantidade movimentada, dentre outras informações complementares. Goldner (2011) também explicita que o número de postos é função da complexidade da rede rodoviária em estudo, bem como do grau de precisão desejado, que aumenta conseqüentemente, o número de horas de cada entrevista.

Dois aspectos devem ser levados em conta para a implantação dos postos de pesquisa. O primeiro é a visibilidade do local escolhido no trecho da rodovia. Ele deve oferecer visibilidade de pelo menos 200 metros entre os postos e os veículos que se aproximam do local. E, o segundo, é que o local deve ter faixa de acostamento para possibilitar a parada de veículos para a entrevista (GOLDNER, 2011).

Para as contagens nos trechos contínuos, como o mais recomendado para pesquisas de origem e destino, é necessário que sejam construídos postos de contagem. Segundo BRASIL (2006), os estudos em sistemas de vias rurais utilizam cinco tipos distintos de postos:

- Postos Permanentes: onde são instalados em todos os pontos onde se necessita uma série contínua de dados para a determinação de volumes horários, tendências de volumes de tráfego, ajustamento de contagens curtas em outros locais. Este tipo de posto funciona 24 horas por dia;
- Postos Sazonais: destinados a determinar a variação dos volumes de tráfego durante os meses do ano. Estes postos demonstram os períodos de safra e entressafra para produtos agrícolas e períodos de férias escolares para passageiros;
- Postos de Cobertura: onde se realizam contagens uma vez no ano durante 48 horas consecutivas em dois dias úteis da semana. A duração das contagens nesses postos será função do grau de confiabilidade desejado na determinação do volume do fluxo entre uma origem e um destino,

podendo ser de 7, 3 ou 1 dia, de 24 horas ou 16 horas;

- Postos de Cordão Externo: o cordão externo define os limites da área de influência direto dos estudos e;
- Postos de Cordão Interno: um cordão interno tem como objetivo dividir a área de influência direta de modo a possibilitar uma comparação entre os fluxos reais de tráfego que cruzam o cordão, com os obtidos a partir de pesquisas de origem e destino, para verificar seu grau de precisão e proceder ao seu ajustamento.

É importante determinar a época correta para os levantamentos. Eles são condicionados a diversos fatores, sendo um dos principais, a sazonalidade da movimentação das mercadorias e das pessoas. Recomenda-se que em áreas rurais, sempre que possível, devem ser feitas pelo menos duas pesquisas: uma durante a época da safra e outra na entressafra. Na primeira é detectada a movimentação dos principais produtos da área de estudo e na segunda identifica-se o padrão de distribuição do tráfego (BRASIL, 2006). Entretanto, visando melhorar a confiabilidade dos dados coletados é necessário distribuir as pesquisas por mais de um período do ano, procurando cobrir as variações sazonais como períodos de safra agrícola e de entressafra. Ao invés de uma semana seguida, o ideal seria efetuar a pesquisa em quatro trimestres. Mais especificamente, três pesquisas de dois dias seguidos e, uma de um dia, cobrindo todos os dias da semana (BRASIL, 2006).

Implementando-se as pesquisas em apenas um dos períodos recomendados, elas podem refletir um padrão superestimado ou subestimado das movimentações relativas ao período do estudo. Atualmente, visando à redução dos custos, tem sido comum adotar períodos e amostras ainda menores, aumentando, conseqüentemente, o erro das estimativas.

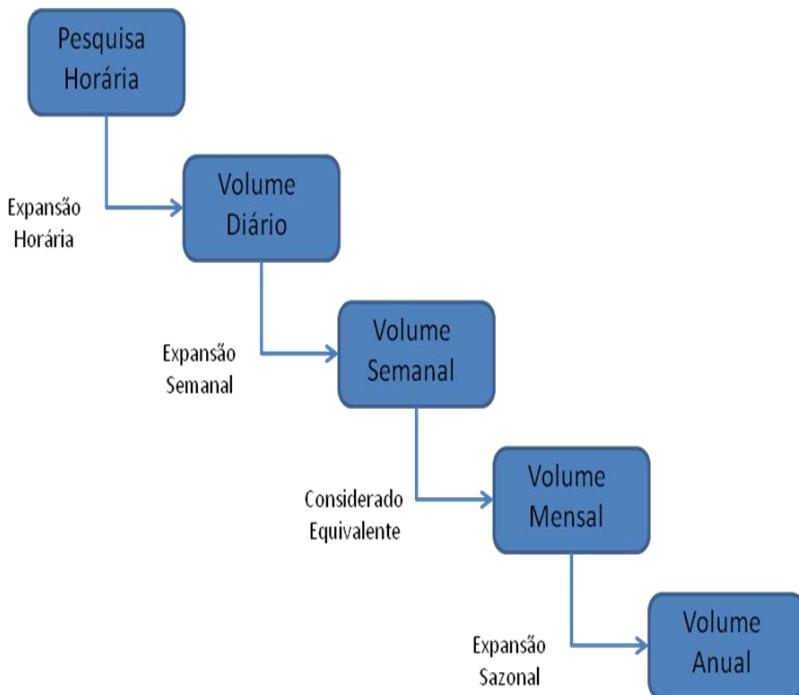
Em princípio as pesquisas devem ser feitas entre 06:00 horas e 22:00 horas, perfazendo 16 horas, durante todo o período das contagens. Nas principais rodovias alguns postos podem ser selecionados para operar durante 24 horas. Vale citar que as contagens de 24 horas permitem obter os coeficientes de expansão para aplicação aos resultados das entrevistas (BRASIL, 2006).

De acordo com o objetivo do estudo, os resultados das pesquisas devem ser expandidos para um dia inteiro, uma semana, um mês e para um ano para conhecimento dos fluxos entre os centroides da área de estudo.

Segundo BRASIL (2006), o volume de tráfego varia ao longo do tempo, sendo classificado nas seguintes escalas de variações cíclicas temporais.

- Horárias;
- Semanais e;
- Mensais/Sazonais.

De acordo com a figura 1 é determinado o fluxograma com os processos a serem realizados para alcançar a expansão anual de uma pesquisa curta, realizada em parte de um dia. Isto depende do foco das pesquisas, se elas devem ser feitas ao longo de uma semana, dia, mês ou ano.



Fonte: LabTrans (2008)

Figura 1: Fluxograma da aplicação dos fatores de expansão na pesquisa horária

A expansão horária é utilizada para os dados dos volumes de origem e destino obtidos por amostragem. Dessa forma é necessário expandir a amostra para as 24 horas do dia em que a pesquisa foi realizada. O volume diário deve ser distribuído entre as horas em que não se realizaram as pesquisas. O somatório dos dados colhidos nas horas pesquisadas é multiplicado pelo fator de expansão horária obtido por um posto com características similares, sendo demonstrado pelas equações (I.2) e (I.3).

$$f_{Pd} = \frac{VP_{24}}{V_{Ph}} \quad (I.2)$$

Onde:

f_{Pd} : fator de expansão horária;

V_{P24} : volume durante as 24 horas do dia e;

V_{Ph} : volume durante as “h” horas de pesquisa.

$$V_{diário} = f_{Pd} * fluxopesquisado \quad (I.3)$$

Onde:

$V_{diário}$: volume expandido para um dia;

f_{Pd} : fator de expansão horária.

Para se determinar o fator de expansão semanal é necessário que sejam avaliadas todos os volumes disponíveis em 7 dias consecutivos, em trechos com características similares aos da rodovia pesquisada e determinar o fator de expansão por dia da semana. Em seguida deve ser multiplicado pelas informações obtidas, via amostragem para aquela semana. São utilizadas para os cálculos, as equações (I.4) e (I.5).

$$f_{Ps} = \frac{V_{Ps}}{V_{Pd}} \quad (I.4)$$

Onde:

f_{Ps} : fator de expansão semanal de um dia específico da semana;

V_{Ps} : volume durante os 7 dias da semana e;

V_{Pd} : volume durante o dia determinado.

$$V_{semana} = f_{Ps} * V_{diário} \quad (I.5)$$

Onde:

V_{semana} : volume expandido para uma semana;

f_{Ps} : fator de expansão semanal de um dia específico da semana;

$V_{diário}$: volume expandido para um dia;

Com relação à expansão mensal/sazonal, ela é fundamental, pois o tráfego varia durante todos os dias do ano, o que torna necessário expandir os levantamentos efetuados. Para obtê-la é necessário analisar as pesquisas existentes realizadas ao longo do ano, também em postos com trechos de rodovias com características similares. Definidos os postos que devem ser considerados são calculadas as relações de tráfego, em cada mês, com o volume do ano. Posteriormente realiza-se a expansão, multiplicando os volumes obtidos, pelo fator de expansão mensal/sazonal, demonstrado pelas equações (I.6) e (I.7).

$$f_a = \frac{V_{Pa}}{V_{Pm}} \quad (I.6)$$

Onde:

f_a : fator de expansão mensal/sazonal;

V_{Pa} : volume médio diário anual e;

V_{Pm} : volume médio diário mensal.

$$V_{ano} = f_a * V_{mês} \quad (I.7)$$

Onde:

V_{ano} : volume expandido para um ano;

f_a : fator de expansão mensal/sazonal;

$V_{mês}$: volume expandido para o mês;

2.6. Modelo gravitacional

Neste item serão explicitados os conceitos referentes ao modelo gravitacional e, as formas de se calcular possibilitando a obtenção da matriz de origem e destino completa.

2.6.1. Conceito

Wilson (apud Gonçalves, 1992), deduziu o modelo gravitacional pelo princípio da máxima entropia. Os modelos entrópicos ou de maximização de entropia se enquadram nos modelos de otimização que são utilizados para a determinação de viagens ou deslocamentos de produtos entre as zonas que compõem uma área de estudo (VALENTE, 1983). Os métodos de maximização de entropia trabalham com os indivíduos e/ou mercadorias, como componentes básicos do sistema, determinando as probabilidades destes efetuarem suas viagens entre as respectivas zonas. De acordo com Valente (1983), os modelos entrópicos supõem que uma distribuição equilibrada do sistema de interesse, maximiza a entropia da rede. Concluindo-se, pode-se afirmar que a entropia representa o grau de aleatoriedade do sistema, ou seja, quanto maior a dispersão da informação, maior será a entropia.

Já segundo Loureiro (2010), o uso do conceito de maximização da entropia e minimização da informação tem várias aplicações no sistema de transporte, seja este urbano ou interurbano. A premissa básica é que a matriz de origem e destino com maior entropia será também a matriz com maior probabilidade de ocorrer ou de ser observada.

O modelo gravitacional é bem difundido na literatura e já utilizado em diversos estudos. Conforme Hutchinson (1979), este modelo é uma expressão derivada heurísticamente para sintetizar intercâmbios de viagens. Tem o nome de modelo gravitacional porque se adapta ao conceito de Isaac Newton que postulou a Teoria Gravitacional que estabelece que a força de gravidade que age entre dois corpos é diretamente proporcional à massa desses dois corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.

Na mesma linha de raciocínio, Gonçalves (1992) utilizou a mesma teoria, pois cita que o modelo parte da suposição de que os padrões de interação espacial de seu estudo são regidos por leis análogas à Lei da Gravidade.

No enfoque da modelagem de matrizes de origem e destino, de acordo com Ortúzar e Willumsen (1990), o modelo gravitacional é regido pelos seguintes propriedades.

- O modelo gravitacional fornece uma maneira mais rigorosa de especificar as propriedades matemáticas do resultado da modelagem. Pode-se mostrar também que, mesmo com os possíveis problemas, os resultados possibilitam que existam soluções viáveis, pois o problema de otimização tem uma única solução;
- O uso de um quadro de programação matemática também facilita o uso de um kit de ferramentas padrão de métodos de solução e análise da eficiência de algoritmos alternativos;
- O referencial teórico utilizado para gerar o modelo também auxilia no fornecimento de uma melhor interpretação da solução gerada pelo modelo e;
- O fato de que o modelo do estudo pode ser gerado em um número diferente de maneiras, devido à aceitação ou não dos pressupostos necessários para a sua geração para que posteriormente sejam interpretados. Entretanto, nem sempre o modelo do estudo é apropriado, pois devem ser analisadas todas as opções ou esquemas a serem testados.

A magnitude do intercâmbio de viagens entre duas zonas i e j é diretamente proporcional ao número de viagens produzidas na zona i , ao número de viagens atraídas para a zona j e, inversamente proporcionais, a alguma função de separação espacial das duas zonas (HUTCHINSON, 1979).

Por outro modo de explicitar, Gonçalves (1992), estabelece que a atração varie diretamente com a massa relativa da comunidade e inversamente com a distância até o centro de gravidade da comunidade considerada, elevada a uma potência, que varia de acordo com o propósito da viagem.

De acordo com Ortúzar e Willumsen (1990), o primeiro uso rigoroso tem sua formulação mais simples, como segue:

$$T_{ij} = \frac{\alpha^* P_i^* P_j}{d_{ij}^2} \quad (I.8)$$

Onde:

T_{ij} : Número de viagens entre as cidades i e j ;

α : Fator de proporcionalidade;

P_i : População da cidade de origem i ;

P_j : População da cidade de destino j ;

d_{ij}^2 : distância entre as cidades i e j .

A equação (I.9) é definida de forma genérica, a partir da equação (I.8).

$$T_{ij} = \frac{K * P_i^{\alpha_1} * C_j^{\alpha_2}}{d_{ij}^{\alpha_3}} \quad (I.9)$$

Onde:

T_{ij} : Número de viagens entre as cidades i e j ;

K : Fator de proporcionalidade;

P_i : População da cidade de origem i ;

C_j : População da cidade de destino j ;

d_{ij} : distância entre as cidades i e j ;

α_1 , α_2 e α_3 : variáveis autônomas da função.

2.6.2. Soluções matemáticas

Aqui são apresentados dois tipos de soluções matemáticas: a primeira descrita por Gonçalves (1992) e a outra por ajustamento direto, utilizando a teoria sobre álgebra linear (MUNEM E FOULIS, 1982), mais especificamente sobre função logarítmica natural que é utilizada para linearizar a função descrita pela equação (I.9), para posterior obtenção dos parâmetros autônomos da função. Os cálculos podem ser obtidos utilizando planilha eletrônica, para ambos os métodos.

2.6.2.1. Modelo descrito por Gonçalves

Segundo Ortúzar e Willumsen (1990), a equação (I.9) é simples demais, não apresentando restrições para o somatório dos fluxos de origem e destino. Visando aplicar estas restrições, foram introduzidas duas, uma no destino e outra na origem. A seguir encontram-se dispostas as equações (I.10) e (I.11).

$$\sum_i T_{ij} = D_j \quad (\text{I.10})$$

$$\sum_j T_{ij} = O_i \quad (\text{I.11})$$

Ou seja, as somas ao longo das linhas e colunas da matriz de viagens devem ser iguais ao número de viagens originadas e ao número de viagens destinadas à cada zona, respectivamente. De acordo com Gonçalves (1992), os modelos gravitacionais que incorporam as duas restrições chamaram-se de restritos e os que incorporam apenas uma das restrições, denominam-se simplesmente restritos.

Seguindo a teoria estudada por Wilson (apud Gonçalves, 1992), apresentou-se o modelo gravitacional duplamente restrito sendo determinado pela fórmula geral a seguir.

$$T_{ij} = A_i * O_i * B_j * D_j * f(d_{ij}) \quad (\text{I.12})$$

Os fatores A_i e B_j são denominados fatores de balanceamento e são expostos com o intuito de garantir que as restrições sejam satisfeitas.

No trabalho de Ortúzar e Willumsen (apud Gonçalves, 1992), são descritos os fatores de balanceamento e são determinados pelas fórmulas a seguir.

$$B_j = \frac{1}{\sum_i A_i * O_i * f(d_{ij})} \quad (\text{I.13})$$

$$A_i = \frac{1}{\sum_j B_j * D_j * f(d_{ij})} \quad (\text{I.14})$$

Wilson (apud Gonçalves, 1992) salientou que d_{ij} , no modelo, deve ser interpretado como uma medida geral de impedância entre as zonas i e j , a qual pode ser medida como distância real, tempo de viagem, custo ou alguma combinação ponderada desses fatores e que é referida como custo generalizado de transportes.

A impedância entre as zonas i e j é expressa como função do custo generalizado de transportes, c_{ij} . Gonçalves (1992) mostra que dependendo da forma de percepção do custo de transporte na distribuição de viagens, algumas variações de f são encontradas.

Ortúzar e Willumsen (1990) demonstram que as mais utilizadas são a função exponencial negativa e a função potencial, dada respectivamente por:

$$f C_{ij} = \exp(-\beta * C_{ij}) \quad (I.15)$$

$$f C_{ij} = C_{ij}^{-\delta} = \exp(-\delta * LN C_{ij}) \quad (I.16)$$

Onde, β e δ são parâmetros e serão determinados nos procedimentos de calibração do modelo gravitacional.

Gonçalves (1992) menciona que a calibração consiste em estimar os valores dos parâmetros β e δ , de tal forma que a matriz de viagens obtida pelo modelo é a que melhor se ajusta aos dados observados pelo levantamento realizado em campo para a construção da matriz de origem e destino completa. A calibração do modelo gravitacional envolve a determinação dos fatores de balanceamento A_i e B_j e do parâmetro de impedância β .

Segundo Novaes (1982), para a modelagem atingir os resultados esperados, é necessário calibrar o modelo para previsão do futuro. Um modelo mal calibrado pode invalidar as projeções e conseqüentemente a credibilidade de seus resultados. O autor também menciona que a calibração do modelo deve ter intervalos de tempo relativamente curtos para evitar alterações de comportamento do sistema.

A calibração representa o estágio mais importante do processo de modelagem, pois durante procedimento de conhecimento de seus parâmetros o pesquisador pode desenvolver uma base de entendimento do modelo, explorando sua estrutura e a sensibilidade de suas variáveis. Além disso, auxilia na avaliação de relevância e limitações do modelo para pesquisas e aplicações práticas.

De acordo com Hutchinson (1979), a técnica mais largamente usada para calibrar a forma do modelo gravitacional é desenvolvida pelo Bureau of Publics Roads. O autor diz que o propósito do procedimento de calibragem é estabelecer o relacionamento entre as zonas i e j com a distância entre eles.

Já Wilgmann e Everett (2004), citam que a calibração do modelo ajusta os valores de parâmetros até que os resultados estimados correspondem ao observado. Para fins de previsão, assumem-se os parâmetros resultantes da calibração para os horizontes do estudo. Após a calibração deve-se realizar a validação da calibração. Segundo Ortúzar e Willumsen (1990), a tarefa de validação é diferente, pois nele é avaliada a certeza de que o modelo é apropriado para as decisões. Ela testa a capacidade do modelo em prever o comportamento futuro. O analista deve avaliar se o modelo resulta em níveis aceitáveis de capacidade de erro, já explicitado neste trabalho. Entretanto, segundo os autores, a validade depende da natureza das políticas e projetos a serem avaliados. De acordo com os cenários prospectivos, é definida a eficácia da calibração para o estudo.

Dando prosseguimento, Gonçalves (1992), cita que para um valor específico de β os fatores de balanceamento A_i e B_j , associados às zonas de origem e destino, são determinados por um processo iterativo. Assim, com a substituição das equações $f(c_{ij})$ na função T_{ij} , a nova função para se estimar o número de viagens entre i e j , é a seguinte:

$$T_{ij} = A_i * O_i * B_j * D_j * e^{-\beta * c_{ij}} \quad (I.17)$$

Consequentemente, as equações para a realização do processo iterativo encontram-se descritos a seguir.

$$A_i = \frac{1}{\sum_j B_j * D_j * e^{-\beta * c_{ij}}} \quad (I.18)$$

$$B_j = \frac{1}{\sum_i A_i * O_i * e^{-\beta * C_{ij}}} \quad (I.19)$$

Após apresentadas todas as equações pertinentes, Ortúzar e Willumsen (apud Gonçalves, 1992) ilustraram a forma da matriz de distribuição de viagens.

		ATRAÇÃO					$\sum_j T_{ij}$
		1	2	3	...j	...z	
GERAÇÃO	1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	... T_{1j}	... T_{1z}	O_1
	2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	... T_{2j}	... T_{2z}	O_2
	3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	... T_{3j}	... T_{3z}	O_3
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	i	T_{i1}	T_{i2}	T_{i3}	... T_{ij}	... T_{iz}	O_i
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	z	T_{z1}	T_{z2}	T_{z3}	... T_{zj}	... T_{zz}	O_z
	$\sum_i T_{ij}$	D_1	D_2	D_3	... D_j	... D_z	$\sum_{ij} T_{ij} = T$

Figura 2: Matriz de origem e destino

O processo iterativo citado é realizado utilizando o Método de Furness, em que consiste em atribuir inicialmente o valor 1 a todos os A_i e determinar os valores dos B_j , através das equações descritas (ORTÚZAR E WILLUMSEN, 1990). Utilizando os valores obtidos para B_j , serão determinados novos valores para A_i , repetindo-se o procedimento até que o equilíbrio seja encontrado.

Evans (apud Gonçalves, 1992) provou que os A_i e B_j sempre podem ser encontrados desta maneira e que a matriz obtida e que satisfaz as restrições de consistência é única. Com relação ao parâmetro de impedância β o método mais difundido é o procedimento desenvolvido por Hyman (apud Gonçalves, 1992).

Hyman (apud Gonçalves, 1992), desenvolveu critérios de calibração dos modelos gravitacionais duplamente restritos, onde a função de impedância é uma exponencial negativa. Ele mostrou que o critério a ser adotado para a determinação do parâmetro de

impedância é escolher o valor de β tal que o custo médio no modelo e o custo médio observado seja igual ou semelhante.

Com base nesse resultado, foi proposto o seguinte método para a determinação de β . De acordo com Bez (apud Gonçalves, 1992), para a primeira iteração é utilizada a equação abaixo.

$$\beta_1 = \frac{3}{2 * \bar{C}} \quad (\text{I.20})$$

Onde:

β_1 : Parâmetro de impedância – 1ª iteração;

\bar{C} Custo médio de viagem observado.

Na segunda, é determinada a equação a seguir (Ortúzar e Willumsen, (apud Gonçalves, 1992)).

$$\beta_2 = \frac{C}{\bar{C}} * \beta_1 \quad (\text{I.21})$$

Onde:

β_2 Parâmetro de impedância – 2ª iteração;

\bar{C} Custo médio de viagem observado;

C Custo médio de viagem modelado – 1ª iteração;

β_1 Parâmetro de impedância – 1ª iteração.

Nessas equações a variável C é o custo médio obtido com os T_{ij} resultantes da primeira iteração. Conforme estudo de Ortúzar e Willumsen (apud Gonçalves, 1992), nas iterações subsequentes, deve-se utilizar a equação a seguir.

$$\beta_{m+1} = \frac{\left(\bar{c} - c_{m-1}\right) * \beta_m - \left(\bar{c} - c_m\right) * \beta_{m-1}}{c_m - c_{m-1}} \quad (\text{I.22})$$

Onde:

β_{m+1} Parâmetro de impedância referente à iteração posterior;

\bar{C} Custo médio de viagem observado;

β_m Custo médio de viagem observado referente à iteração anterior;

C_{m-1} Parâmetro de impedância referente à iteração vigente;

C_m Custo médio de viagem observado referente à iteração vigente;

β_{m-1} Parâmetro de impedância referente à iteração anterior.

O procedimento iterativo continua até que o custo médio de viagem no modelo seja suficientemente próximo ao custo médio de viagem observado.

Após a calibração concluída e validada, devem-se realizar as projeções referentes à geração de viagens, para posteriormente serem realizadas as simulações para os horizontes propostos para o estudo. De acordo com Campos (2007), as projeções devem ser realizadas utilizando os métodos mais utilizados para prever a demanda futura, como exemplos:

- Fator de Crescimento: determina o número de viagens futuras por zona de tráfego em função de variáveis que têm influência na geração das mesmas, tais como: população, renda e etc;
- Taxas de Viagens: determina o número de viagens pelo tipo de ocupação do solo. Para cada tipo de atividade define-se uma taxa de produção e/ou atração de viagens e;
- Regressão: visa construir uma relação linear, ou não, entre o número de viagens existentes (variável dependente) e os vários fatores que influenciam as viagens (variáveis independentes), sendo que a forma mais frequente é o modelo de regressão múltipla.

Gonçalves (1992), determina que a convergência não é assegurada para todos os casos, na maioria das aplicações práticas ela é razoavelmente rápida.

Os fluxogramas das figuras 3 e 4 apresentam toda a sequência de passos a serem utilizados para a calibração dos parâmetros referentes ao modelo gravitacional, validação dos resultados encontrados a partir das equações (I.28) e (I.29) a serem demonstradas posteriormente e inferência da matriz de origem e destino com o número de viagens entre as zonas i e j não contemplados no levantamento de dados.

Com os dados tabulados e expandidos, relativos ao levantamento de dados, determina-se a matriz de origem e destino amostral expandida base que é utilizada para a calibração, juntamente com os respectivos custos entre os pares de origem e destino contemplados pelo levantamento de dados em campo, compondo assim, a matriz impedância base.

O primeiro passo é estimar o parâmetro β e os fatores de balanceamento B_j e A_i . Arbitra-se o parâmetro de balanceamento A_i com valor igual a 1, conforme descrito anteriormente, utilizando-se o método de Furness, compondo a 1ª iteração do modelo gravitacional. Em seguida, a partir do cálculo do custo observado e da equação (I.20), calcula-se o valor de β para a realização da 1ª iteração. O custo observado é calculado pela seguinte fórmula:

$$C_{\text{observado}} = \frac{\sum (T_{ij} * \text{Impedância}_{ij})}{\sum T_{ij}} \quad (\text{I.23})$$

Não atingida a convergência, utiliza-se para a 2º e demais iterações, as equações (I.21) e (I.22), respectivamente.

Conforme o modelo, inicialmente, são determinados os fatores de balanceamento B_j 's, a partir da equação (I.19). Em seguida, checam-se os valores de O_i . Quando comparados com os valores da matriz geração base (produção), deve atingir valores menores que 1%. Este valor é determinado arbitrariamente, de acordo com o grau de erro pretendido.

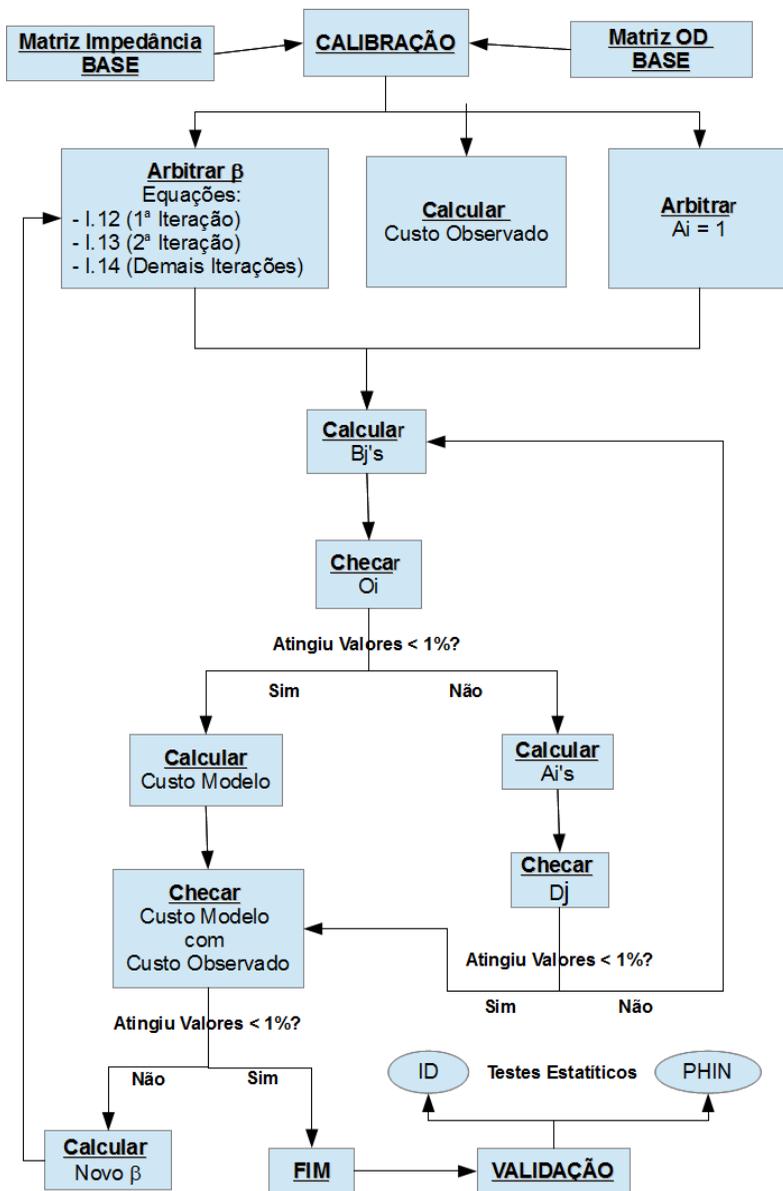
Caso o erro seja menor do que 1% calcula-se o custo da matriz de origem e destino do modelo e, em seguida, a diferença entre os custos: observado e modelado. Para o cálculo do custo modelado é utilizada a mesma fórmula da equação (I.20), mudando

apenas a matriz, de observada para modelada. A diferença entre os custos também é determinada a partir de valores inferiores a 1%, determinada de acordo com o nível de erro pretendido para o custo. Se a diferença entre os custos for maior que 1% deve-se recalcular o novo β a partir da equação (I.21) referente à 2ª iteração e repetir todo o procedimento e, se for menor do que 1% é o fim da calibração.

E, caso o erro seja maior do que 1%, calculam-se os valores referentes aos fatores de balanceamento A_i 's, pela equação (I.18). Posteriormente, checam-se os valores correspondentes à D_j . Da mesma forma que no caso da comparação dos valores de O_i com os valores referentes à matriz geração base (produção), determina-se o valor de 1% para aprovação dos resultados.

Entretanto, os valores de D_j são comparados com a matriz geração base (atração). Se alcançar valores inferiores à 1%, são checados novamente os custos observado e modelado. Caso contrário, são calculados os B_j 's novamente.

Se os custos forem menores que 1% está finalizado o procedimento de calibração, partindo assim para a fase de validação dos resultados. Caso os custos não forem menores que 1%, deve-se calcular um novo β e repetir todo o processo demonstrado até a convergência pretendida. A figura 3 apresenta o fluxograma onde são demonstrados todos os passos referentes à calibração.

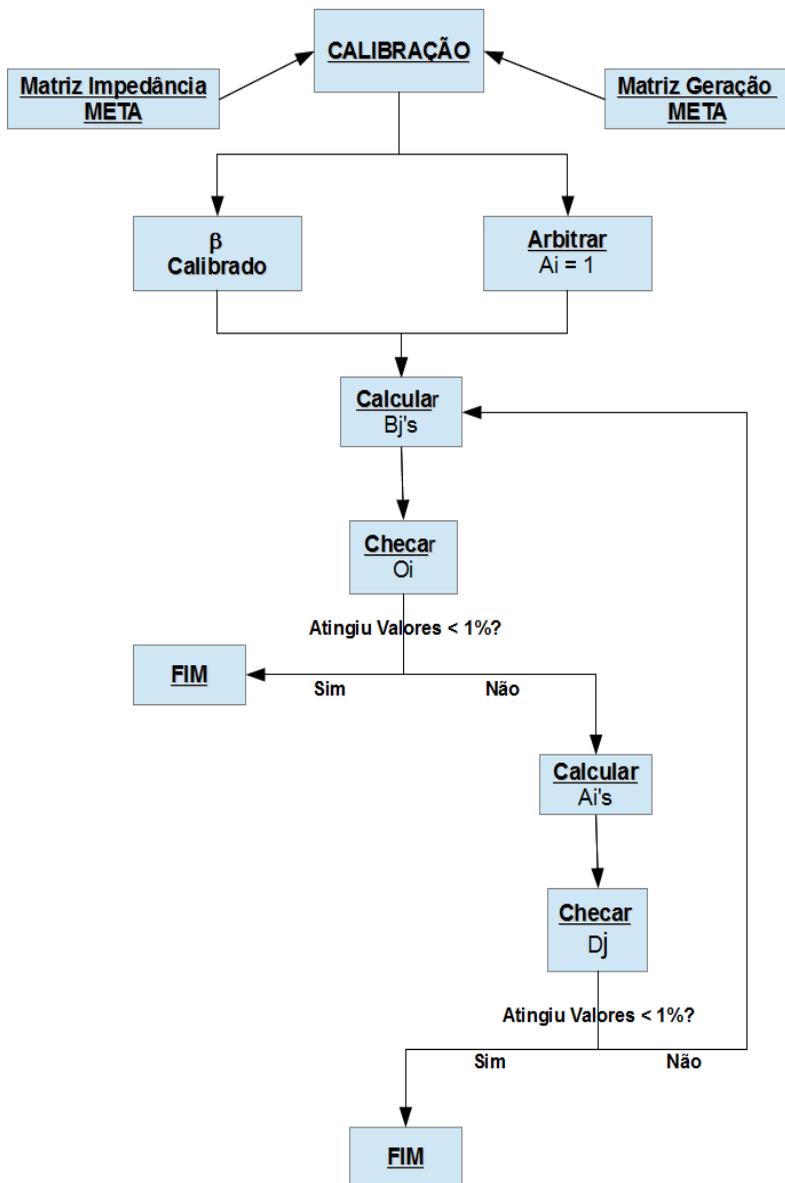


Fonte: Adaptado de Gonçalves (1992)

Figura 3: Fluxograma da sequência de passos utilizados para a calibração do modelo gravitacional – Conhecimento das variáveis autônomas da função

Para a próxima etapa, após a calibração do modelo, é necessária a utilização do β calibrado; da matriz geração meta, com valores referentes à produção e atração e; a matriz impedância meta, contando também com o custo entre os pares de origem e destino onde não foi realizado o levantamento de dados. Repete-se todo o procedimento realizado demonstrado pelo fluxograma da figura 3. As variáveis O_i e D_j também devem ser menores que 1% para atingir a convergência. Se atingirem este valor, infere-se a matriz de origem e destino completa. Caso contrário, são calculados novamente os B_j 's até que seja alcançada a diferença estipulada.

A figura 4 apresenta o fluxograma desta etapa do modelo gravitacional.



Fonte: Adaptado de Gonçalves (1992)

Figura 4: Fluxograma da sequência de passos utilizados para a calibração do modelo gravitacional – Conhecimento da matriz de origem e destino completa

Conforme Gonçalves (1992) é essencial adotar um conjunto de hipóteses, associadas com as relações entre o número de viagens entre cada par de zonas de origem e destino e as variáveis explicativas de tais iterações. Assume-se que, em um dado intervalo de tempo, o número de viagens entre cada par de zonas de origem e destino, é:

- Proporcional à propensão da zona de origem gerar viagens (número de viagens geradas por ela);
- Proporcional à atratividade da zona de destino (número de viagens atraídas por ela);
- Inversamente proporcional a uma medida de impedância associada com a distância entre as zonas e;
- Inversamente proporcional a uma medida de impedância associada ao número de oportunidades que se interpõem entre as zonas consideradas.

O modelo deverá ser capaz de levar em consideração os efeitos da propensão de geração de viagens das zonas de origem, a atratividade das zonas de destino, bem como os efeitos de impedância da separação espacial e das oportunidades intervenientes entre as zonas consideradas (GONÇALVES, 1992).

2.6.2.2. Ajustamento direto

Neste item é demonstrado o método de cálculo utilizando o ajustamento direto para conhecimento das variáveis autônomas da função e posterior formulação das equações do modelo gravitacional, para o cálculo dos pares de origem e destino desconhecidos da matriz. O cálculo pela forma de ajustamento direto apresenta uma redução do tempo para a obtenção das variáveis. Contudo, o grau de erro dos resultados podem ser maiores, devido à não inclusão de restrições de fluxos para as origens e para os destinos, como previsto por Gonçalves (1992). Visando à solução desse problema é possível inserir equações de injunção na equação gravitacional, descrita pela equação (I.27).

Inicialmente deve ser descrita a equação que será utilizada para o cálculo dos parâmetros autônomos da função do modelo gravitacional, visualizada em (I.9).

Para o cálculo das variáveis é necessário linearizar a equação (I.9). Assim, é necessário transformá-la em função logarítmica. Foram utilizados os conceitos descritos em Munem e Foulis (1982), para a realização dos procedimentos.

A equação (I.24) pode ser descrita da seguinte forma:

$$T_{ij} = K * P_i^{\alpha 1} * C_j^{\alpha 2} * d_{ij}^{-\alpha 3} \quad (I.24)$$

Em seguida deve-se aplicar o logaritmo neperiano à equação (I.24).

$$\ln T_{ij} = \ln K * \ln P_i^{\alpha 1} * \ln C_j^{\alpha 2} * \ln d_{ij}^{-\alpha 3} \quad (I.25)$$

Utilizando as propriedades da função logarítmica, descritas em Munem e Foulis (1982), apresenta-se a equação (I.26).

$$\ln T_{ij} = \ln K * \alpha 1 \ln P_i * \alpha 2 \ln C_j * -\alpha 3 \ln d_{ij} \quad (I.26)$$

Sendo assim:

$$\ln T_{ij} = Y;$$

$$\ln K = A;$$

$$\ln P_i = B;$$

$$\ln C_j = C;$$

$$\ln d_{ij} = D.$$

Aplicando-se os itens descritos à equação (I.26), tem-se a função do modelo gravitacional linearizada:

$$Y = A + \alpha 1 * B + \alpha 2 * C - \alpha 3 * D \quad (I.27)$$

Obtendo-se as variáveis independentes B, C e D da equação (I.27), equivalentes à produção, consumo e distância entre os pares, conhecidos pela realização das pesquisas de campo, deve-se realizar o método de ajustamento a partir de regressão linear múltipla, visando encontrar as variáveis autônomas A, α_1 , α_2 e α_3 , descritos na equação. Este procedimento pode ser realizado pela utilização de ferramentas de análise de dados disponíveis no mercado ou, via software livre.

2.6.3. Validação dos parâmetros do modelo gravitacional

Visando a avaliação dos possíveis erros relacionados à modelagem, caso for escolhido o modelo gravitacional, via método de Gonçalves, tem-se utilizado para a análise do desempenho do modelo, alguns métodos estatísticos (GONÇALVES, 1992). Ressalta-se que o desempenho é avaliado medindo-se a proximidade dos fluxos das matrizes de viagem estimada e expandida observada. A seguir encontram-se relacionados os principais métodos de comparação entre conjuntos de dados, apresentados em Gonçalves (1992).

- Índice de Dissimilaridade: é definido pela seguinte equação:

$$ID = \frac{50}{T^*} - \sum_{ij} |T_{ij}^* - T_{ij}| \quad (I.28)$$

Onde:

T^* : somatório das linhas e colunas dos pares de origem e destino observados;

$\sum_{ij} |T_{ij}^* - T_{ij}|$: Somatório do módulo da diferença entre cada par de origem e destino observado e estimado.

Os valores de ID variam entre 0 e 100 e quanto maior for o ID, pior será o ajuste entre as matrizes observada e estimada. Ela mede a percentagem de viagens que necessitam ser realocadas entre os pares de origem e destino, a fim de que a matriz de viagem estimada coincida com a matriz de viagem observada.

- Estatística PHI - Normalizada: é definido pela seguinte equação:

$$MPHI = \sum_{ij} \frac{T_{ij}^*}{T_{ij}^*} - \left| LN \left(\frac{T_{ij}^*}{T_{ij}^*} \right) \right| \quad (I.29)$$

Onde:

$\sum_{ij} \frac{T_{ij}^*}{T_{ij}^*}$: Somatório da divisão entre cada par de origem e destino observado pelo somatório dos pares de origem e destino observados na matriz base

$LN \left(\frac{T_{ij}^*}{T_{ij}^*} \right)$: Logaritmo do módulo da divisão entre os pares de origem e destino observados e estimados

É baseada na Teoria da Informação e assume o valor zero quando as matrizes de viagem observada e estimada coincidem. Quanto maior for o valor de MPHI, pior o ajuste entre as matrizes de viagem observada e estimada. Ela tem a importante propriedade de poder ser utilizada para comparar o ajuste de diferentes matrizes de viagem. É considerada apropriada para avaliar o desempenho de modelos de viagens alternativos.

Dentro desta concepção e apesar da ocorrência de erros inerentes à fatores externos que podem causar resultados inesperados.

E, complementando, caso seja utilizado o método via ajustamento direto, apresentam-se os indicadores de análise estatística referente aos parâmetros, calculados via regressão linear múltipla, como: coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação (r^2).

2.7. Modelagem matemática e algoritmos

Segundo Ferruzzi et al (2004), a modelagem matemática procura traduzir situações reais para a linguagem matemática, utilizando-se para isso, estudo e conhecimento da situação física e o conhecimento matemático. Com o auxílio da matemática o homem utiliza representações que são capazes de explicar e interpretar fenômenos. Estas representações são chamadas de modelo. O uso da matemática como linguagem simbólica conduz a uma representação da situação do problema. Um modelo matemático pode ser entendido como um conjunto de símbolos e relações matemáticas que representam uma situação, um fenômeno ou um objeto real a ser estudado. Os modelos matemáticos podem ser traduzidos na forma de algoritmos.

De acordo com Ferrari (2010), os algoritmos podem ser definidos como uma sequência finita de passos ou instruções para resolver determinado problema. Sempre que se desenvolve um algoritmo estabelece-se um padrão de comportamento que deverá ser seguido, ou seja, uma norma de execução de ações, para alcançar o resultado pretendido.

Ferrari (2010) cita que para o desenvolvimento de um algoritmo é necessário obedecer algumas premissas básicas no momento de sua construção:

- Definição de ações simples e sem ambiguidade;
- Organização das ações de forma ordenada e;
- Estabelecimento das ações dentro de uma sequência finita de passos.

Os algoritmos são capazes de realizar tarefas como: ler e escrever dados; avaliar expressões algébricas, relacionais e lógicas; tomar decisões com base nos resultados das expressões avaliadas e; repetir um conjunto de ações de acordo com uma condição. O algoritmo pode ser composto por três partes:

- Entrada de dados (geralmente);
- Processamento de dados e;
- Saída de dados.

Na parte de entrada são fornecidas as informações necessárias para que o algoritmo possa ser executado. Estas informações podem ser fornecidas no momento em que o programa estiver sendo executado ou podem estar embutidas dentro dele. Na parte do processamento são avaliadas todas as expressões algébricas, relacionais e lógicas, assim como todas as estruturas de controle existentes no algoritmo. E, por fim, na parte de saída, todos os resultados do processamento são enviados para um ou mais dispositivos de saída como monitor, impressora ou memória do computador.

Contudo, para execução do algoritmo é necessário que sejam realizados esquemas visando a descrição das etapas pertinentes a um processo de modelagem matemática. A seguir, apresentam-se as etapas do processo para a construção do algoritmo (FERREIRA, 2009).

- Definição do problema: a partir de uma situação real é proposto e identificado o problema a ser estudado. Na sequência inicia-se a pesquisa sobre o assunto definido em busca de dados necessários à solução do problema;
- Simplificação e Formulação de Hipóteses: após o processo de coletas de dados ocorre a análise e, posterior seleção das informações, isto é, uma simplificação das observações de modo que preservem as características principais do problema;
- Dedução do modelo matemático: momento no qual ocorre a substituição da linguagem na qual se encontra o problema para uma linguagem adequada às necessidades;
- Resolução do problema matemático: é a fase na qual, utilizando os recursos da matemática que mais se adequar ao problema, procura-se a solução ao questionamento matemático formulado;
- Validação: neste período ocorre a análise de aceitação do modelo apresentado. Os dados são comparados aos dados fornecidos pelo modelo proporcionando a validação do modelo matemático e;

- Aplicação do Modelo: após a validação do modelo este deve ser utilizado como base à compreensão da resolução do problema.

Diante do alto número de trechos rodoviários na rede de transporte proposta, seria necessário muito tempo para a resolução de quais pontos da rede contemplam o maior número de pares de origem e destino. A construção do algoritmo reduz o tempo de definição dos pontos de coleta das informações e, portanto, de fundamental importância para esta dissertação. Entretanto, deve-se escolher a linguagem que mais se adapta à formulação do problema.

2.8. *Geographic information system (GIS) para transportes*

Os *Geographic Information System's* (GIS) são usados cada vez mais como plataforma para aplicações de modelos de transporte. Sua capacidade de armazenar, gerenciar, exibir e analisar grandes volumes de informações os torna adequados para lidar com bases de dados necessárias a esses modelos. A crescente melhora na interface com o usuário, a redução de custos e a exigência de um número cada vez maior de mapas, faz com que o uso de GIS venha se tornando mais comum nos órgãos públicos, empresas e universidades.

Na presente dissertação o GIS será utilizado para as seguintes atividades:

- Disponibilizar dados geográficos sobre centroides e, principalmente, informações sobre a malha viária que serão utilizadas para a determinação dos caminhos mínimos entre os pares de origem e destino;
- Disponibilizar ferramentas específicas para o cálculo da menor distância utilizando caminhos mínimos (Dijkstra);
- Realizar as alocações de tráfego para obtenção da matriz de origem e destino unitária.

A partir de pesquisa bibliográfica foram verificados alguns GIS capazes de realizar as atividades correspondentes à presente dissertação. A seguir apresentam-se os sistemas.

- TransCAD;
- SisLog;
- GRASS;
- ArcGIS.

O TransCAD é um GIS muito utilizado na comunidade científica. Ele é conhecido na literatura como sendo um sistema especialmente voltado para transportes. Ele apresenta uma linguagem de programação conhecida como GISDR (Geographic Information System Development's Kit). O TransCAD vem sendo utilizado constantemente nos órgãos públicos e privados, e é portanto, bem aceito (CALIPER, 1996).

Segundo o autor, o sistema apresenta métodos de equilíbrio e não equilíbrio. Os métodos de alocação de equilíbrio do sistema são:

- *User Equilibrium*: utiliza um processo iterativo para convergir para uma solução, na qual nenhum passageiro consegue melhorar o tempo de viagem mudando de rotas. Em cada iteração o Transcad calcula os fluxos, incorporando as restrições de capacidade dos *links* e os efeitos da dependência do tempo. O algoritmo utilizado nesse método é dado basicamente pela subtração entre o fluxo atual em um link e o fluxo tudo ou nada no mesmo link, dividida pelo fluxo atual em um link. Adota-se um critério de convergência para a relação acima as iterações terminam quando o valor é alcançado;
- *Stochastic User Equilibrium*: é uma generalização do UE, porém ele assume que os passageiros não possuem informações completas acerca das características da rede e/ou percebem os custos diferentemente. A alocação produz resultados melhores que o primeiro, pois permite a utilização em menor escala das rotas menos atrativas e em maior escala das rotas mais atrativas. Embora isso ocorra, a utilização de rotas

menos atrativas não será nula. Esse método utiliza o MSA (Method of Successive Averages), que é conhecido por ser um método convergente, ao custo de elevado número de iterações e;

- System Optimum Assignment: este método calcula a alocação que minimiza o tempo total de viagem na rede. Nesse tipo de alocação nenhum usuário pode mudar de rota sem causar um aumento no tempo total de viagem do sistema. A alocação pode ser entendida como um modelo que minimize o congestionamento quando os passageiros têm suas rotas pré-determinadas.

E os de não equilíbrio de alocação de tráfego são:

- All or Nothing Assignment: este método aloca todo o fluxo entre um par O/D no menor caminho existente. No Transcad a alocação não considera se o fluxo alocado ultrapassa a capacidade do link ou se ocorrem congestionamentos, o tempo de viagem é um input e tem o valor fixo e;
- Stoch Assignment: esse método aloca o fluxo de um par O/D entre múltiplos caminhos disponíveis. A proporção de um caminho em particular é dada pela probabilidade deste caminho ser escolhido, que é calculada por um modelo Logit. Ou seja, quanto menor for a impedância, maior a probabilidade do caminho ser escolhido. Porém nem todos os caminhos disponíveis são considerados, mas somente aqueles “razoáveis”, que conectam a origem a um destino distante. O tempo de viagem de um link é um *input* fixo e não depende do volume transportado.

O Sistema de Logística (SisLog), é um produto do convênio entre a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e o Laboratório de Transportes (LabTrans), vinculado à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Ele é um sistema georreferenciado, que realiza diferentes tipos de simulações para o planejamento de transportes. O modelo de planejamento de transportes contemplado pelo sistema é o modelo quatro etapas, que realiza de forma sequencial todas as quatro etapas do modelo. O sistema pode criar diversos cenários capazes de simular as possíveis alterações na rede viária brasileira. Também mostra os mapas com a visualização dos resultados das simulações realizadas. Ele é capaz de retornar os caminhos mínimos por menor tempo, distância, custo logístico ou custo operacional.

A rede viária modelada no SisLog contempla os modais rodoviário, ferroviário, hidroviário, cabotagem e navegação de longo curso. A rede viária de cada modal contém informações sobre distância, tempo e velocidade. Com relação ao modal rodoviário, existem as informações sobre a jurisdição (federal, estadual e municipal), classificação (duplicada, pavimentada, implantada ou leito natural), e outras menos importantes. Os arquivos da rede viária são organizados no formato SNT (System Network) que contém todas as informações da malha dos modais que interligam todas as cidades, portos e terminais ferroviários. Sobre a malha conectada são realizadas as simulações de caminhos mínimos. Sendo assim, somente os *links* e nós aqui conectados, fazem parte das alternativas disponíveis para as simulações.

Com relação aos *links*, eles são divididos por subtrechos. Por exemplo, a rodovia BR 070 está dividida em vários subtrechos, como ilustrado na figura 5. Cada um contém as informações citadas anteriormente.

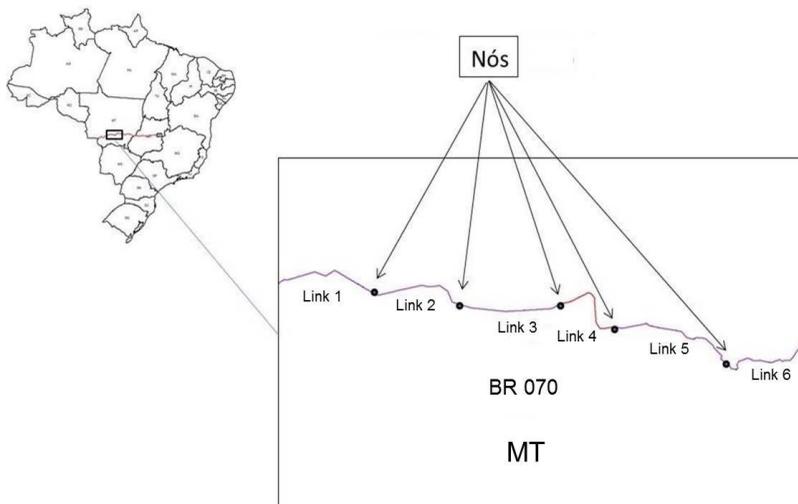


Figura 5: Exemplo dos nós na rede viária - SisLog

Em 1982, o US Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratory (CECERL) iniciou o desenvolvimento de um SIG para auxiliar no gerenciamento de instalações militares, o GRASS (Geographic Resources Analysis Support System). Ele é um sistema de código aberto e atualmente suporta os formatos vetorial e matricial (REIS, 2005). Seu desenvolvimento fomentou a criação da *Open Gis Consortium*, cuja missão é disponibilizar abertamente especificações de interfaces espaciais para uso global (REIS, 2005). O sistema utiliza a linguagem (código fonte) C. O sistema incorporou recursos para a área de geotecnologias como:

- Tratamento sobre arquivos matriciais (recursos para vetorização, análises de correlação/covariância, reamostragem, ajuste das tabelas de cores, geração de superfícies por intermédio de linhas vetoriais);
- Análises 3D sobre arquivos matriciais (importação de dados 3D – ASCII formato xyz, interpolação e visualização);
- Análises vetoriais (geração de contornos a partir de superfícies matriciais, ferramenta de digitalização);

- Análises de malhas de pontos (triangulação – Delaunay, interpolação para geração de superfície, análises geodésicas);
- Processamento de imagens (composição de cores, ajustes de histograma, ortoretificação, reamostragem, conversão de cores: IHS/RGB);
- Análises sobre o MDT (geração de contornos, análises de caminhos/custos);
- Visualização (análises sobre superfícies 3D, camadas vetoriais, camadas matriciais) e;
- Criação de mapas (postscript, html).

Entretanto, o sistema carece de uma interface gráfica amigável. O usuário precisa recorrer à linha de comando para ter acesso a alguns recursos.

Por último apresenta-se o ArcGIS, que é uma conjunto de softwares criados pela *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). A seguir, apresentam-se todas os softwares que fazem parte do ArcGIS:

- ArcView;
- ArcEditor;
- ArcInfo e;
- ArcReader.

Existem vários recursos oferecidos pelo sistema. Dentre eles existem as seguintes funções para análises: espaciais, em 3D, geoestatísticas, das rotas mais eficientes utilizando o sistema de transportes da área, inserção de informações sobre o fluxo do tráfego e tempo de viagem, de tráfego, de negócio e visualização de mapas. (HILLIER, 2011).

Todos os GIS elencados contêm as funções específicas para determinação de caminhos mínimos e a geração de mapas. Entretanto, pela disponibilidade, facilidade de operação e experiência foi utilizado o sistema SisLog para esta dissertação. Entretanto, pode-se utilizar qualquer outro GIS para a realização do método, necessitando apenas que o sistema tenha todas as funcionalidades relacionadas para a efetivação dos estudos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na revisão bibliográfica foi realizado levantamento do estado da arte das áreas de pesquisa relativas ao foco do trabalho: a localização dos postos de contagem volumétrica de tráfego, onde foram definidos os pontos para a realização das pesquisas de campo e; o modelo gravitacional, utilizado para inferir a matriz de origem e destino completa.

3.1. Localização dos postos de contagem volumétrica de tráfego

Com relação à implementação e desenvolvimento de algoritmo capaz de identificar a melhor localização, com o menor número de pontos de pesquisa que contemplem o maior número de pares de origem e destino da matriz, foram encontrados alguns estudos.

Hodgson (1990) discutiu o fluxo de captura do problema de localização-alocação de uma rede de transporte. Ele assumiu que todos os fluxos entre cada par de origem e destino tomaram o mesmo caminho, ou seja utilizou-se o método de alocação “tudo ou nada”. E assim, foi determinada a melhor localização do posto de pesquisa contabilizando os *links* com o maior carregamento de pares de origem e destino, via modelagem matemática.

Lam e Lo (1990) propuseram alguns procedimentos, visando identificar a ordem em que as ligações devem ser selecionadas para estimar as matrizes. Assim, pode-se conhecer a localização dos trechos que utilizam o maior número de pares de origem e destino.

Já Yang et al (1991) examinaram a confiabilidade da estimativa da matriz de origem e destino a partir do número e localização de pontos de contagem de tráfego na rede. A quantidade e a posição dos *links* observados na rede de transportes têm significativos impactos na precisão e confiabilidade da matriz de origem e destino. Somente as pesquisas em campo não identificam a veracidade da matriz, pois pode haver problemas no posicionamento dos postos, afetando consequentemente, os resultados. Nesse caso, os autores utilizaram um algoritmo baseado no modelo dos mínimos quadrados, visando a eficiência de utilização de cada link na rede viária. E, para determinar as

melhores rotas foi calculada a probabilidade dos fluxos utilizarem determinado caminho à uma outra opção.

O problema detectado por Yang et al (1991), foi significativo, pois apontou a propriedade de que as viagens não são observadas em qualquer ponto de contagem. Tendo em vista a solução do problema, foi implementado um algoritmo com o intuito de oferecer consistência aos resultados, comparando-se com casos reais.

Berman et al (1995), propuseram uma nova abordagem para a localização das instalações, sem necessidade de conhecimento de todos os fluxos dos pares de origem e destino. O problema foi formulado utilizando o processo de decisão de Markov, visando solucionar a distribuição de viagens inicial. Este procedimento é uma forma de modelar processos onde as transições entre estados são probabilísticas. É possível observar em que estado o processo se encontra, interferindo periodicamente a partir de ações. Cada ação tem um custo que depende do estado em que o processo se encontra. Depende apenas da ação e do estado atual do sistema e são chamados de processos de decisão porque modelam a possibilidade de um agente interferir no sistema. Os processos de Markov são usados para modelar situações onde é necessário executar ações em sequência em ambientes com incerteza. De acordo com Gonçalves (2007), o processo de decisão citado tem por objetivo tratar o problema da decisão sequencial, tendo como aplicação a tomada de decisão em sistemas inteligentes, em que a utilidade do agente depende de uma sequência de decisões. Problemas de decisão sequencial incluem utilidades, incertezas e detecção, generalizando os problemas de busca e planejamento de ações.

Yim e Lam (1998) propuseram um algoritmo que utiliza os pares de origem e destino para a localização dos melhores pontos de coleta de dados. Na ciência da computação existem duas propriedades principais na criação e elaboração de algoritmos:

- Fazer o algoritmo ter um tempo de execução sempre aceitável e;
- Ser a solução ótima ou provavelmente boa para o problema em todos os casos.

Entretanto, um algoritmo pode não cumprir uma dessas propriedades, podendo ser: um algoritmo que encontra boas soluções a maioria das vezes, mas não tem garantias de que sempre encontrará a solução ou; um algoritmo que tem processamento rápido,

mas não tem provas de que será rápido para todas as situações. Mas, na maioria dos casos, ele tende a satisfazer todos esses itens.

O objetivo do estudo de Yim e Lam (1998) é formular via programação linear utilizando um algoritmo heurístico, visando determinar a melhor localização de postos de pesquisa para estimação de matrizes de origem e destino. Os autores determinaram para cada trecho viário a quantidade de pares que utilizam o trecho selecionado e, em seguida, descontaram-se os pares duplicados em cada um. O ALTP descrito nesta dissertação baseou-se na teoria descrita pelos autores, sendo complementado pelas regras descritas por Yang e Zhou (1998), os quais citam que, além dos pares de origem e destino, devem ser contemplados no algoritmo, todos os fluxos e a sua cobertura em todas as partes da área de estudo.

Yang e Zhou (1998) introduziram quatro regras básicas para encontrar os pontos de pesquisa de origem e destino, sendo relacionada pelos pesquisadores da área:

- Regra de cobertura de matriz de origem e destino: a menor parcela de postos de contagem na rede necessita ser localizado, para observar o maior número de pares de origem e destino (Somente Pares de Origem e destino);
- Regra de fração máxima de fluxo: os postos de contagem na rede viária necessitam ser localizados contendo uma fração máxima de fluxos envolvendo os pares de origem e destino, ou seja, estipula-se em paralelo, as máximas quantidades de pares de origem e destino, contemplando a maior quantidade de fluxos (Pares de origem e destino + Fluxos);
- Regra máxima de interceptação dos fluxos: pelos trechos rodoviários observados, recomenda-se escolher os que interceptam a maior quantidade absoluta de fluxo entre os centroides (Somente Fluxos) e;
- Regra de link independente: recomenda-se que as contagens devam ser realizadas a partir de trechos rodoviários linearmente independentes, ou seja, bem distribuídos no espaço, representando todas as partes da área de estudo.

Nesta dissertação foi estudado, com maior detalhe, a primeira regra, pois apenas dimensiona o problema de contemplação dos pares de origem e destino, sem contar os fluxos passantes pelos trechos rodoviários utilizados.

O problema de localização dos contadores de tráfego é formulado por um modelo de programação matemática, a partir de um método de programação linear para determinar o número mínimo de postos de contagem para observar uma fração determinada do fluxo do tráfego total, pela rede viária.

Para as classes de rodovias com valores representativos e características semelhantes, pode ser determinada uma quantidade de postos a serem distribuídos nas rodovias, onde se permita estimar o volume com uma margem de erro aceitável. Segundo o manual, o tamanho mínimo da amostra pode ser calculado utilizando-se a distribuição de Student (t) que pode ser usada para determinar os limites inferior e superior da amostra, com um determinado percentual de certeza que os valores encontram-se entre os limites estipulados.

Bianco et al (2001) também resolveram o problema de localização de sensores, onde o objetivo foi procurar o número mínimo e a localização de postos de contagem a fim de inferir todos os fluxos de tráfego em uma rede de transportes. Os autores implementaram um algoritmo onde foram encontrados o limite inferior e superior do número de sensores, com suas respectivas localizações. O tempo de apresentação dos resultados foi de apenas alguns segundos e por esse motivo, torna a utilização de programação muito eficiente. Os autores propuseram três passos para a seleção da localização ideal dos postos, fornecendo a cobertura completa do tráfego. O primeiro determina o número ótimo das respectivas localizações dos postos de contagem de tráfego, visando cobrir todos os pares da rede viária. O segundo foi dimensionar a maximização do número de pares de origem e destino cobertos e, por último determinar o número de postos adicionais para cobrir todos os pares.

Para Chootinan et al (2003), muitos esforços têm sido realizados para a realização de pesquisas de origem e destino usando dados de tráfego coletados por estações de contagem de tráfego em rede de transportes. No entanto, o autor explicita que é necessária, para a qualidade das estimativas, a formulação de algoritmo para a localização dos postos de contagem. O problema da localização das estações de contagem de tráfego é formulado com um modelo de programação matemática, formulado a partir de um algoritmo genético. O objetivo do trabalho foi maximizar o número de pares de origem e

destino e determinar a instalação ótima dos postos de contagem. Entretanto, foi identificado que a quantidade das estimativas depende da precisão dos dados, e somente a partir da modelagem são determinados a localização dos postos na rede de transportes.

No trabalho de Pacheco (1999), é identificado o conceito de algoritmos genéticos. Eles são inspirados no princípio Darwiniano da evolução das espécies e na genética. São algoritmos probabilísticos que fornecem um mecanismo de busca paralela e adaptativa baseado no princípio da sobrevivência dos mais aptos e na reprodução. As técnicas de inteligência computacional têm sido empregadas com sucesso no desenvolvimento de sistemas inteligentes de previsão, suporte à decisão, controle, otimização, modelagem, classificação e reconhecimento de padrões em geral.

Os princípios da natureza são imitados na construção de algoritmos computacionais que buscam uma melhor solução para um determinado problema, pela evolução de populações de soluções codificadas utilizando cromossomos artificiais. Eles representam uma estrutura de dados que representa uma das possíveis soluções do espaço de busca do problema. Os algoritmos genéticos são aplicados em problemas complexos de otimização: problemas com diversos parâmetros ou características que precisam ser combinadas em busca da melhor solução; problemas com muitas restrições ou condições que não podem ser representadas matematicamente e; problemas com grandes espaços de busca.

De acordo com Zhang (2011), na literatura de pesquisa e otimização de operações, o algoritmo genético tem sido amplamente aceito, pois produz resultados satisfatórios. Ele imita o processo de evolução natural, avaliando, selecionando e filtrando dentro de soluções aleatórias. Em geral o algoritmo genético tem as seguintes etapas: inicialização, avaliação, seleção, reprodução e terminação. O autor estudou a localização de sensores que minimizam o número total de sensores numa determinada área de estudo. Foi empregado o conceito de rede oculta e fluxo incremental na análise do problema e propôs o algoritmo genético para sua solução para redes de grande porte. O algoritmo é programado em MATLAB e testado em rede gerada aleatoriamente. Entretanto, o tamanho da rede viária, a quantidade de nós e o número de arcos desta rede oferecem um grande impacto no tempo de saída dos resultados. Contudo, os resultados atingem o objetivo e determina-se, dessa forma, a melhor localização dos sensores.

Segundo Edara et al (2011) a utilização da técnica de algoritmo genético se mostrou eficaz na determinação de locais de implementação de postos de contagem. Os autores comentaram que os problemas de localização de detectores são pouco explorados no setor de transportes. Portanto, este fato gera matrizes que não refletem a realidade. Entretanto, existem vários autores utilizando essa técnica de conhecimento da localização de pontos de contagem a partir de algoritmos.

Dando continuidade, Yang et al (1991) e Ehler et al (2006) também desenvolveram um modelo de programação linear para determinar os locais das estações de pesquisa para interceptar o maior número de pares de origem e destino. Eles estudaram a localização dos locais para a contagem de tráfego em sistemas viários congestionados. A não utilização dos meios computacionais disponíveis oferece dificuldades no alcance do objetivo. Assim, o desenvolvimento de métodos simples de programação proporciona uma maior rapidez nos resultados.

Yang et al (2006) desenvolveram um algoritmo de programação, entretanto de forma não-linear, a partir de um algoritmo genético. O problema pode ser definido como: locais ideais de um determinado número de postos de contagem e determinar o número mínimo de estações de contagem e seus locais.

Segundo Chen et al (2007), o tradicional problema da contagem é a localização dos postos de contagem, o número de postos na rede de transportes e a rede viária de cobertura. A qualidade das pesquisas e conseqüentemente, das estimativas dependem do método de estimação e a localização do grupo de trechos de rodovias onde serão realizadas as contagens. As contagens podem ser realizadas para monitorar a circulação do tráfego, quantificando o número de veículos, o tipo de mercadoria e o volume da carga que passa pelo ponto durante um período de tempo. Nas contagens é possível conhecer as características do tráfego: o tráfego diário anual médio, o tráfego diário médio e o volume de pico. Também pode ser eficiente o uso de contagem para estimar a matriz de origem e destino.

Intuitivamente, a localização das estações de contagens se dá em pontos críticos da rede, em interseções congestionadas e entradas de freeways. Entretanto, essa seleção subjetiva não pode garantir a qualidade das informações obtidas. É comum que estes pontos sejam determinados por tentativa e erro, ou seja, define-se o ponto e, caso a demanda não reflita o esperado, a sua

localização é alterada. No Brasil esta técnica foi muito difundida. Entretanto o risco é elevado e o gasto é crescente com esta atividade.

Alguns pesquisadores propuseram alguns procedimentos heurísticos para identificar a categoria e os trechos das rodovias que podem ser selecionados (CHEN ET AL, 2007). Para determinar o número mínimo de pontos de contagem requer observar a fração do tráfego do fluxo total na rede. O autor menciona que, potencialmente, a melhor estratégia para selecionar a localização de contadores e obter a matriz estimada é baseada em dois princípios:

- Analisar especificamente os trechos das rodovias onde existe o maior número de pares de origem e destino sendo cobertos nos corredores e;
- Identificar os trechos das rodovias não cobertos.

Segundo Bera e Rao (2011), estudos baseados no número ideal de postos de contagem volumétrica visam contemplar, da mesma forma, o maior número de pares de origem e destino nos trechos rodoviários. Este procedimento pode ser realizado especificando o percentual do nível de abrangência dos pares de origem e destino que serão cobertos pelas pesquisas.

Assim, diante dos estudos realizados pela comunidade científica, foi implementado um algoritmo, tentando acompanhar toda a sistemática proposta pelos estudos desenvolvidos. A presente dissertação sistematiza todos os procedimentos possíveis, visando atingir o objetivo central.

3.2. Modelo gravitacional

O modelo gravitacional vem, em longo tempo, sendo utilizado para descrever a forma empírica do padrão de comércio entre países. Sua utilização como ferramenta de análise das relações comerciais internacionais iniciou a partir da década de 60, com as publicações de Tinbergen (1962), Poyhonen (1963) e Linnemann (1966). Esses autores estabeleceram uma forma de agregação entre três variáveis determinantes das relações bilaterais de comércio: a demanda do importador, a oferta do exportador e os custos de realização de tal transação (AZEVEDO ET AL, 2006). O modelo tem a capacidade de

explicar os fluxos de comércio bilateral, sendo utilizados para mensurar o viés doméstico dos fluxos de comércio, ou seja, medir o tamanho do comércio internacional entre países.

As equações para cada par de origem e destino relacionam o comércio entre dois países de forma positiva para suas rendas e negativamente para a distância entre eles (SALLES ET AL, 2011). Comumente, a função é composta pelo Produto Interno Bruto (PIB) ou a renda das regiões exportadoras e importadoras, juntamente com a distância entre ambos e de variáveis *dummy*, que são adotadas visando a otimização dos resultados e a adequação socioeconômica das zonas de tráfego na área de estudo.

Segundo, Leusin Jr. e Azevedo (2009), realizou-se um estudo para o levantamento de informações referentes ao efeito fronteira nas regiões brasileiras. De acordo com os estudos realizados os resultados mostraram que o comércio entre estados brasileiros é trinta e três vezes superior ao comércio internacional desses estados. O fator fronteira eleva os custos e implica na redução do comércio entre os estados e países. O modelo gravitacional tem a capacidade de explicar os fluxos de comércio, utilizado para mensurar a análise dos fluxos de comércio intranacionais e internacionais. O caso brasileiro evidencia que o comércio brasileiro representa um forte viés intranacional, mesmo após a abertura das importações, ocorrido em 1990.

Em paralelo, McCallum (apud Leusin Jr. e Azevedo, 2009), em seu estudo, compara o comércio intranacional do Canadá com as exportações do Canadá para os Estados Unidos. Os resultados encontrados evidenciam também um forte viés doméstico dos fluxos de comércio do Canadá. O autor observou pelo modelo gravitacional que o comércio do Canadá entre províncias canadenses seria vinte e duas vezes maior que o comércio entre províncias canadenses e estados americanos de semelhantes tamanhos e distâncias. A partir destes resultados, pode-se afirmar que as fronteiras nacionais continuam sendo um importante obstáculo para os fluxos de comércio internacionais. As justificativas baseiam-se nas barreiras existentes ao comércio internacional oferecendo custos adicionais de comércio.

Complementando, segundo Jorge e Castilho (2011), evidenciam que os impactos dos arranjos regionais de comércio sobre os fluxos mundiais baseiam-se na hipótese de que as atividades comerciais tradicionalmente geradores de comércio podem engendrar efeitos de criação de desvios de investimentos estrangeiro. A variável PIB dos países influencia positivamente os fluxos de investimento direto estrangeiro, uma vez que mercados maiores são mais atrativos. Já a

renda per capita que reflete o nível de desenvolvimento de um país, pode impactar tanto positivamente quanto negativamente. Se o investimento direto estrangeiro visar o mercado hospedeiro, o impacto esperado é positivo, uma vez que sinaliza maior poder de compra. E, caso a finalidade é exportar para os demais países buscará por custos menores de mão de obra e, por esse motivo, o impacto é negativo. Também foi constatado que a distância exerce um impacto negativo, pois aumentam os custos de transporte para as movimentações entre os países.

Souza e Burnquist (2011) também realizaram estudos utilizando o modelo gravitacional visando avaliar os efeitos da facilitação de comércio definida em termos da simplificação dos procedimentos de fronteira sobre o padrão de comércio bilateral de um conjunto de quarenta e três países. Os resultados sugerem que as melhorias nas áreas de facilitação de comércio, que levariam a um incremento relativo dos índices de simplificação, podem estimular os fluxos de comércio entre países. Os autores definem que, um conjunto de políticas reduz os custos para a realização do comércio entre países sem grandes entraves para as exportações e importações. Como exemplo de políticas pode-se citar o aumento da eficiência dos portos pela adoção da redução da burocracia nos postos alfandegários. O objetivo da facilitação do comércio pela utilização do modelo gravitacional tem sido relativamente bem sucedido e é um dos poucos identificados na área de negociações internacionais.

Como outra aplicação sobre o modelo gravitacional tem-se o artigo de Mata e Freitas (2008) o qual discute fatores de atração das exportações agropecuárias brasileiras. A especificação do autor inclui somente duas variáveis na abordagem gravitacional: PIB dos países importadores e a distância. Os resultados indicam que quanto mais distante for o país, menor será a aquisição de produtos agropecuários brasileiros. Com relação ao PIB, quanto maior a economia do parceiro, mais ele importa produtos agropecuários do Brasil. Segundo os resultados, o aumento de 1% na distância dos fluxos no Brasil, para um de seus parceiros comerciais equivale a uma queda de 2,38% nas vendas dos produtos brasileiros. Nesse sentido, conforme Mata e Freitas (2008) as exportações brasileiras são negativamente elásticas à distância com os mercados consumidores externos. Os resultados apresentaram uma atração positiva exercida pelos países do leste asiático e pacífico, provavelmente associado à presença do Japão, China e Índia. E, ao mesmo tempo, os países latino-americanos e africanos não se mostraram receptivos por conta do baixo dinamismo

econômico das áreas. Os países com maior contingente populacional e com maior nível de atividade econômica (PIB) são os que importam mais produtos do setor agropecuário.

Seguindo o objetivo da dissertação, foram também pesquisadas bibliografias referentes à construção de matrizes de origem e destino utilizando o modelo gravitacional para inferir fluxos.

Exemplificando esta questão, Em BRASIL (2012), a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) propôs, pelo Projeto da Rede Nacional de Transportes Rodoviário Interestadual de Passageiros (PROPASS), o plano de outorgas das linhas operadas com ônibus do tipo rodoviário. Neste plano foram elaborados estudos de mercado para linhas novas e oriundas de medida judicial. Foi realizado o detalhamento da metodologia utilizada pela ANTT para o cálculo da viabilidade ou não das linhas objeto de licitação. Para tanto, foi utilizada a teoria do modelo gravitacional visando formular uma equação com o intuito de mensurar a demanda potencial entre dois pares de origem e destino. A especificação do modelo é demonstrada pela seguinte equação:

$$T_{ij} = \frac{\alpha_0 P_i^{\alpha_1} * P_j^{\alpha_2} * MIG_i^{\alpha_3} * MIG_j^{\alpha_4} \left(\frac{M_i}{P_i}\right)^{\alpha_5} * \left(\frac{M_j}{P_j}\right)^{\alpha_6} * r_i^{\alpha_7} * r_j^{\alpha_8} * (r_i r_j)^{\alpha_9} * dummy^{\alpha_{10}}}{d_{ij}^{\alpha_{11}}} \quad (I.30)$$

Onde:

T_{ij} : fluxo anual total de passageiros entre os municípios i e j ;

P_i e P_j : população dos municípios i e j ;

r_i e r_j : renda média per capita dos municípios i e j ;

M_i e M_j : movimento total anual de embarque de passageiros em terminais dos municípios i e j ;

Dummy: variável que determina se o município é ou não um pólo turístico;

MIG_i e MIG_j : taxa de habitantes que não são naturais dos estados dos municípios de origem i e destino j ;

d_{ij} : distância rodoviária entre os municípios i e j e j ;

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \alpha_7, \alpha_8, \alpha_9, \alpha_{10}$ e α_{11} : coeficientes que variam em função da região e da extensão da ligação.

Segundo Brasil (2011), o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) realizou um estudo de demanda destinado à avaliação técnica, econômico-financeira e jurídico-regulatória de soluções destinadas à viabilizar o sistema logístico ferroviário de carga entre os portos no sul/sudeste do Brasil e portos do Chile. A distribuição da demanda proposta no estudo tem o objetivo de estimar os intercâmbios de viagens entre as zonas de transporte na área de estudo e no seu entorno, com a utilização de um modelo matemático. De acordo com o estudo, foram pesquisados os modelos que poderiam ser utilizados. O modelo gravitacional foi o escolhido por apresentar grandes vantagens para o objetivo do estudo. Uma das vantagens é a sua estrutura flexível e sua sensibilidade à alterações localizadas do sistema de transportes que afetem a acessibilidade relativa de uma zona face às demais. Elas alteram o potencial atrator desta zona, beneficiando-a na competição com o restante da área de estudo. O resultado deste estudo modelou os fluxos de mercadorias e determinou as matrizes de origem e destino para a soja em grãos, farelo de soja, óleo de soja, milho, trigo, sorgo, fertilizantes primários, produtos siderúrgicos, açúcar, etanol, gasolina, óleo diesel, óleo combustível, cobre, zinco e contêineres. Assim, foi possível a identificação dos fluxos entre as zonas, utilizando o modelo gravitacional.

Por fim, de acordo com Santos (2004), foi possível compreender a dinâmica dos fluxos turísticos entre pares de origem e destino utilizando o modelo gravitacional. Para explicar o fenômeno foram propostas algumas adaptações dos princípios da gravitação social, constituindo o modelo gravitacional do turismo. As conclusões do estudo apontam para a validade do modelo, indicando que a dinâmica da origem e destino dos fluxos turísticos pode ser explicada com base na interação das forças repulsiva, atrativa e de atrito.

4. MÉTODO PARA A CONSTRUÇÃO DE UMA MATRIZ DE ORIGEM E DESTINO

4.1. Introdução

O método para a construção de uma matriz de origem e destino (MCMOD) é composto por três eventos centrais: o desenvolvimento e aplicação de um algoritmo para a localização de trechos para a realização das pesquisas de origem e destino (ALTP); a utilização da técnica de expansão da matriz, resultado da tabulação dos dados coletados e; a utilização do modelo gravitacional, visando estimar o fluxo dos pares de origem e destino não contemplados pelas pesquisas de campo.

4.2. Método para a construção de uma matriz de origem e destino (MCMOD)

Este item é composto por dois subitens: o primeiro descreve, em linhas gerais, todas as etapas fundamentais para a efetivação do MCMOD, juntamente com o fluxograma, explicitando toda a sua rotina. E, o segundo, detalha cada uma das etapas.

4.2.1. Descrição

A partir do referencial teórico e da revisão bibliográfica, definem-se todas as etapas do MCMOD, que representa uma ferramenta para o planejamento de transportes.

Em linhas gerais, o primeiro passo foi identificar a localização e a quantidade mínima de trechos da rede viária que possam receber os postos, visando à realização das pesquisas de origem e destino.

Para tanto, a partir da determinação prévia da rede de transportes da área de estudo, inicialmente, realizou-se a alocação da matriz de origem e destino unitária, onde foram gerados os caminhos mínimos entre os centroides. Verificou-se assim, a redução dos possíveis trechos em que poderiam ser construídos os postos de pesquisa. Ressalta-se que na determinação da rede de transportes, etapa anterior à alocação citada, teoricamente todos os seus respectivos trechos encontram-se aptos a receberem os postos.

Posteriormente, com o desenvolvimento e aplicação do ALTP, foram conhecidos todos os trechos que cobriram os pares de origem e destino da matriz. E, por fim, com a aplicação do nível de abrangência, foram localizados e determinados os melhores, onde devem ser implantados os postos, para a realização das pesquisas de origem e destino.

Após as pesquisas, aplicou-se a teoria relativa à expansão da matriz de origem e destino, resultado da tabulação dos dados coletados pelas pesquisas de campo e, em seguida, utilizou-se o método de estimativa do fluxo dos pares não contemplados nas pesquisas, via modelo gravitacional.

Assim, realizando-se as etapas descritas a seguir, o objetivo geral da dissertação pode ser atingido, ou seja, a construção da matriz de origem e destino completa, referente à área de estudo. O MCMOD é composto, de forma geral, por 14 (catorze) etapas (E), conforme descrito a seguir.

Tabela 1: Discriminação das etapas do MCMOD

Etapa	Descrição
E1	Delimitação da área de estudo
E2	Definição das zonas de tráfego
E3	Definição dos centroides
E4	Determinação da rede de transportes
E5	Construção da matriz de origem e destino unitária
E6	Alocação da matriz de origem e destino unitária
E7	Algoritmo para localização de trechos para as pesquisas (ALTP)

E8	Definição do nível de abrangência visando a seleção dos melhores <i>links</i>
E9	Aplicação do nível de abrangência
E10	Realização das pesquisas de origem e destino
E11	Expansão da matriz de origem e destino amostral
E12	Cálculo dos parâmetros do modelo gravitacional
E13	Validação dos parâmetros do modelo gravitacional
E14	Determinação da matriz de origem e destino completa

O MCMOD encontra-se dividido em processos e resultados. Os processos são caracterizados por retângulos em amarelo e os resultados são demonstrados após as setas, conforme identificado no fluxograma. Ele possibilita a visualização de toda a sequência do método com o objetivo de facilitar a sua compreensão.

A seguir, pela figura 6, apresenta-se o fluxograma do MCMOD.

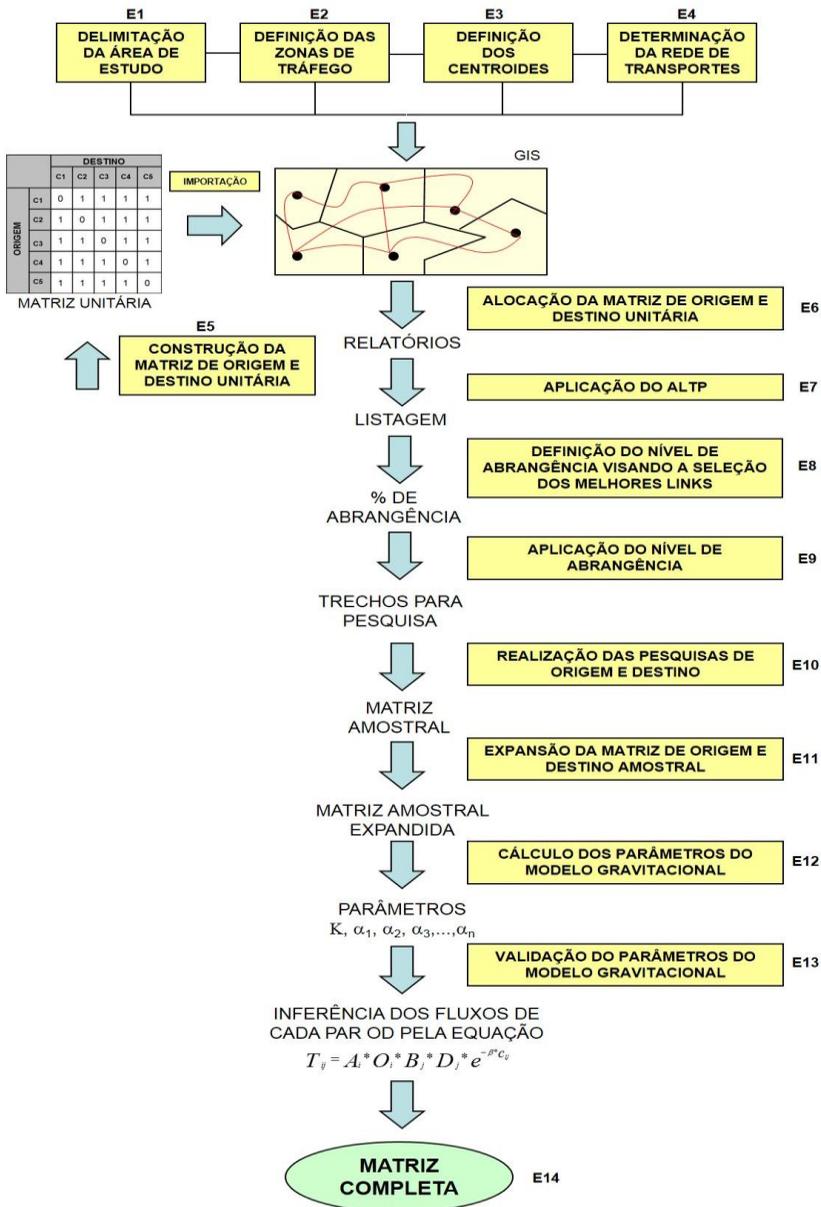


Figura 6: Fluxograma do MCMOD

4.2.2. Detalhamento das etapas (E)

Tendo em vista o fluxograma visualizado pela figura 6, encontram-se detalhadas todas as etapas que compõem o MCMOD para a construção da matriz de origem e destino.

E1- Delimitação da área de estudo

O passo inicial para a realização do planejamento de transportes, a partir da matriz de origem e destino é definir a área de estudo e, posteriormente, realizar o diagnóstico do sistema de transportes existente na região. Segundo Campos (2006), delimita-se a área de estudo para conhecimento de todos os fluxos de mercadorias e/ou passageiros existentes da região.

Deve-se adotar um critério para a escolha desta área, buscando justificá-la com o maior número de dados e informações. Na área de estudo, devem ser cruzadas as principais vias e corredores de transportes.

E2- Definição das zonas de tráfego

A partir da definição da área de estudo, realiza-se o seu zoneamento. Ele é subdividido em zonas de tráfego, sendo que cada uma das zonas deve conter um centroide. Deve-se adotar um critério para a sua definição, existindo diversas possibilidades, como as áreas relativas às mesorregiões, microrregiões e de municípios, de um ou mais estados.

E3- Definição dos centroides

Os centroides representam pontos de origem e de destino em que são realizadas as movimentações de mercadorias e/ou passageiros entre as zonas de tráfego. O objetivo é melhor avaliar o desenvolvimento econômico e de uso do solo local (CAMPOS, 2006). Estabelecendo-se os centroides é construída a matriz de origem e destino unitária, onde são alocados os fluxos unitários, na rede de transportes pré-definida.

Vale ressaltar que cada centroide acumula toda a produção e consumo da respectiva zona de tráfego.

E4- Determinação da rede de transportes

Após a definição da área de estudo, com suas zonas de tráfego e seus respectivos centroides, é realizada a pesquisa referente à infraestrutura existente, capaz de realizar o transporte de mercadorias e/ou passageiros entre os centroides. Com relação à rede viária, devem ser estabelecidos, com bom nível de detalhes, alguns itens importantes como: o tipo de modal, ou seja, quais modos de transporte compõem o estudo, dentre eles as rodovias, ferrovias, hidrovias, navegação de cabotagem ou dutovias; a classificação das vias selecionadas, como exemplo para rodovias, vias pavimentadas, duplicadas, implantadas, em obras de pavimentação ou em leito natural e; também merece importância, no caso de rodovias, a sua jurisdição, ou seja, se as rodovias são federais, estaduais ou municipais.

Para a visualização da área de estudo, das zonas de tráfego, dos centroides e da rede de transportes, pode-se recorrer a um GIS, com o intuito de representar e localizar todos os itens referentes a estas etapas. No sistema, a rede de transportes é representada por *links* codificados e por nós, sendo que uma rodovia é composta por vários *links*, unidos e subdivididos por estes nós. Os *links* constituem um segmento homogêneo de tráfego, até o seu destino final. A seguir, pela tabela 2, apresenta-se a caracterização completa de um link rodoviário e, a forma como pode ser representado no GIS, pela figura 7.

Tabela 2: Exemplo da caracterização de um link

Link	Sigla	PNV	Ext. (km)	Veloc. (km/h)	Jurisd.	Classif.	Fonte	Tipo
14463	BR070	070BMT 0592	13,56	54	Federal	Pav.	DNIT	GPS

Ano	Km Inicial	Km Final	Munic Início do Nó	Munic Final do Né	Região	Clima	Pista	Geom Horiz.	Geom Vertical
2007	745,34	758,90	Cáceres /MT	Cáceres/ MT	CO	Semi-úmido	Simples	Pouco sinuosa	Traçado fácil

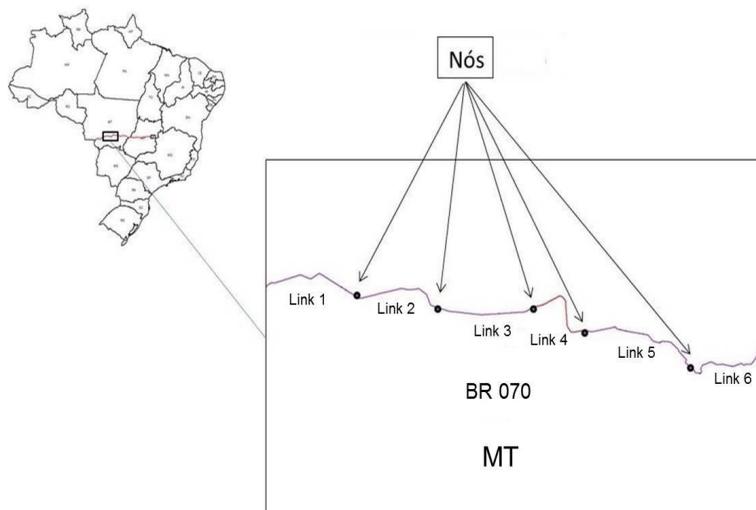


Figura 7: Visualização dos links e dos nós

E5- Construção da matriz de origem e destino unitária

A partir da definição dos centroides deve ser construída a matriz de origem e destino unitária. Ela representa a combinação entre todos os centroides, admitindo-se como fluxo o número 1. Para os pares iguais, deve ser adotado o valor zero, pois não há razão, neste estudo, para existir fluxo entre eles. Entretanto, caso o objetivo do estudo pretenda utilizar estes fluxos, deve-se utilizar também o valor 1. Após a sua construção, ela deve ser importada para o sistema de alocação de viagens e realizada a alocação na rede de transportes, pré-determinada.

A seguir, apresenta-se a visualização de um exemplo de matriz de origem e destino unitária.

		DESTINO				
		C1	C2	C3	C4	C5
ORIGEM	C1	0	1	1	1	1
	C2	1	0	1	1	1
	C3	1	1	0	1	1
	C4	1	1	1	0	1
	C5	1	1	1	1	0

Figura 8: Exemplo da matriz de origem e destino unitária

E6- Alocação da matriz de origem e destino unitária

Esta matriz de origem e destino unitária, visualizada pela figura 8, deve ser utilizada para a alocação dos fluxos unitários entre os pares de origem e destino, com o objetivo de conhecer os caminhos mínimos entre eles. Para a realização da alocação utiliza-se a rede viária que compõe a área de estudo. Neste caso, é fundamental a escolha da impedância, podendo ser a distância, o tempo de viagem ou o custo de transporte entre os centroides.

Para as alocações pode ser utilizada a técnica de alocação “tudo ou nada”, ou seja, todo o fluxo de cada par de origem e destino deve ser utilizado pelo trecho determinado pelo itinerário de menor impedância. Esta técnica tem como base o fato de que os usuários optam por efetuar suas viagens naquelas vias com menor resistência ao deslocamento, ou seja, a menor impedância. Existem outras opções de modelos de alocação de viagem como: estocásticos, no qual, os condutores têm comportamentos inconstantes e heterogêneos, pois alguns valorizam o tempo de viagem e outros a distância e; de equilíbrio (Wardrop), onde são apresentados dois tipos de comportamento dos condutores: escolha dos seus percursos independentemente e no seu melhor interesse, com base nas condições de tráfego resultantes das escolhas de outros e; cooperação da escolha de trajetos, tendo em vista a produção de um padrão de tráfego que dê o máximo de benefício à comunidade.

A técnica “tudo ou nada”, apesar de sua fácil aplicação, não considera a capacidade das vias, os acréscimos de tempo de viagem que ocorrem como consequência do aumento de volume de tráfego nas vias escolhidas, nem leva em consideração as preferências na escolha da rota (MELO, 1975). Entretanto, apesar de sua simplicidade, é bem difundido, e utilizado, em estudos realizados pelos pesquisadores da área.

Visando concretizar este ponto é necessário recorrer a um sistema de alocação de viagens, capaz de importar a matriz unitária e realizar a alocação na rede de transportes da área de estudo, retornando os caminhos mínimos gerados, via relatório.

O relatório deve conter informações, como a denominação e sigla do modal utilizado, a extensão e a velocidade do trecho de todos os caminhos mínimos gerados entre os centroides, dentre outras. Cada link/trecho discriminado é representado por uma codificação, sendo parte integrante de uma rodovia. O relatório deve representar e relacionar todos os *links*/trechos representantes de cada caminho mínimo.

Neste relatório gerado pelo sistema de alocação citado, a quantidade de *links*/trechos é representativa, e, em consequência, o tempo de processamento dos dados torna-se elevado, para que sejam conhecidos e localizados todos os *links*/trechos que são utilizados pelos pares de origem e destino da matriz.

E7- Algoritmo para a localização de trechos para as pesquisas (ALTP)

• Descrição

O algoritmo para a localização de trechos para as pesquisas (ALTP) tem como objetivo a localização de todos os *links* da rede viária, que cobrem os pares de origem e destino da matriz. O relatório dos caminhos mínimos fornece uma grande quantidade de *links* que são utilizados para chegar aos pontos de destino, de determinada viagem realizada entre duas zonas de tráfego.

O funcionamento do ALTP segue os seguintes passos:

- Processamento do relatório, fornecido pelo sistema de alocação de viagens;
- Relação dos *links*, em ordem crescente de codificação, com os respectivos carregamentos de pares de origem e destino;
- Determinação do link mais carregado;
- Conhecimento de todos os pares de origem e destino que utilizam o link mais carregado;
- Exclusão de todos os pares de origem e destino contemplados no link mais carregado, nos *links* restantes;
- Determinação do segundo link mais carregado;
- Conhecimento de todos os pares de origem e destino que utilizam o segundo link mais carregado;
- Exclusão de todos os pares de origem e destino contemplados no segundo link mais carregado, nos *links* restantes e;
- Assim, utiliza-se o mesmo procedimento, até a cobertura de todos os pares de origem e destino da matriz.

Para o desenvolvimento do ALTP é necessário utilizar uma linguagem de programação com recursos para o processamento de listagens, que, posteriormente será utilizado na etapa referente à aplicação do nível de abrangência.

- **Aplicação**

Para a aplicação do ALTP é necessário que esteja disponibilizado, pelo sistema de alocação de viagens, o relatório dos caminhos mínimos, referente à alocação da matriz de origem e destino unitária na rede de transportes. Em seguida utilizam-se comandos específicos, para o início da operação. Busca-se o arquivo do relatório em planilha eletrônica e inicia-se o processo de localização do primeiro link, com a maior quantidade de pares de origem e destino da matriz, até alcançar a sua cobertura total.

Como resultado, o ALTP deve retornar, em ordem decrescente da quantidade de pares de origem e destino contemplados, uma listagem com os *links* da rede viária que cobrem todos os pares de origem e destino da matriz unitária, e na prática, conseqüentemente, com os fluxos transportados entre eles. Pode-se visualizar, nesta listagem, o trecho com o maior número de pares de origem e destino passantes, portanto o melhor trecho para ser implementado um posto.

As variáveis mais importantes nessa listagem devem ser:

- Código do link;
- Sigla oficial do trecho;
- Quantidade de pares de origem e destino que utilizam o trecho;
- Representatividade da quantidade de pares em relação ao total e;
- Percentual acumulado da quantidade de pares.

A quantidade de pares de origem e destino observados na listagem deve ser equivalente ao quadrado do número de centroides, subtraído pela quantidade de centroides da matriz, ou seja, para uma matriz 10×10 , a quantidade de pares deve ser obtida pela equação: $10^2 - 10 = 90$ pares de origem e destino.

E8- Definição do nível de abrangência visando à seleção dos melhores *links*

Para a definição do nível de abrangência é necessário que seja conhecido o percentual de pares de origem e destino que serão pesquisados, para a redução da amostra. Deve-se levar em consideração, variáveis como: tempo disponível para a realização das pesquisas de origem e destino; restrições orçamentárias; limitação da quantidade de pessoal, para a realização das pesquisas; tamanho da área de estudo; número de zonas de tráfego; qualidade da rede viária; dentre outros.

Assim, o critério para definir o nível de abrangência, deve ser conhecido de acordo com o nível de detalhamento pretendido para a realização das pesquisas de campo. A tendência é que o percentual alcance entre 80 a 85% dos pares observados nas pesquisas, tendo em vista a curva ABC, visualizada pela figura 9.

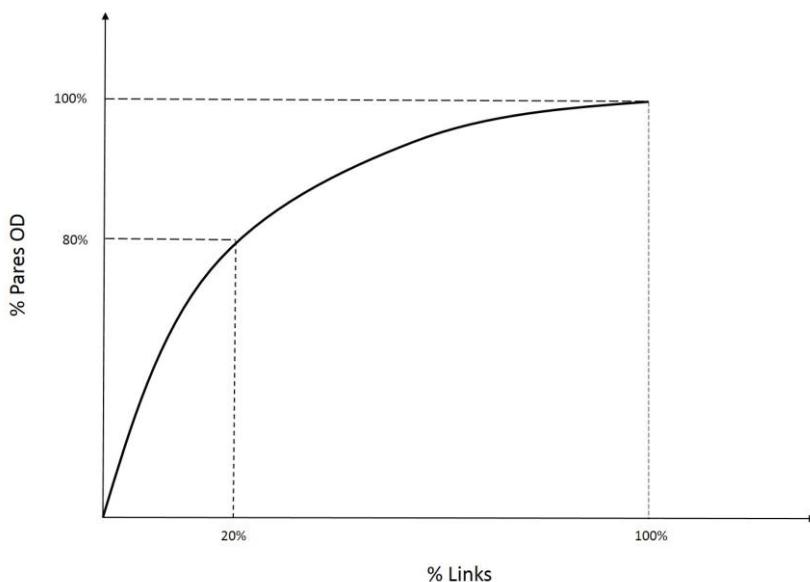


Figura 9: Curva ABC

Conforme a figura 9, em apenas 20% da quantidade de *links*, são cobertos 80% dos pares de origem e destino e, em 80% dos *links*, são representados por somente 20% dos pares de origem.

E9- Aplicação do nível de abrangência

Após a definição do percentual relativo ao nível de abrangência das pesquisas, é realizada a sua aplicação na listagem de *links*, resultado da utilização do ALTP. O seu uso proporciona a redução, ainda maior, dos possíveis *links*/trechos onde serão implementados os postos para a realização das pesquisas.

Em consequência, haverá a redução do custo e do tempo de realização do levantamento de dados em campo. Ressalta-se que, para cada link/trecho selecionado, deve-se determinar um posto de coleta de dados.

E10- Realização das pesquisas de origem e destino

Inicialmente, para a realização das pesquisas de origem e destino em campo, deve-se definir os pontos para a construção dos postos de pesquisas de origem e destino. Segundo o BRASIL (2006), para a localização e construção dos postos devem ser tomados alguns cuidados. O fundamental é que seja evitado que os postos sejam construídos no início ou final de curvas e ser bem visível pelos motoristas. Para tanto, deve-se percorrer todo o trecho para, posteriormente, escolher o local exato de construção do posto de pesquisa.

Dessa forma, deve-se desenvolver uma estratégia para a sua realização. Além do mais, é fundamental que sejam definidos os dias da semana ideais para a coleta de dados, em quais semanas e em quais meses do ano. Estas informações são conhecidas a partir dos dados sobre a sazonalidade da região. Caso as pesquisas forem realizadas em apenas um dia da semana, o reflexo seria o pequeno nível de confiabilidade das amostras. Contudo, caso existam tempo e recursos financeiros disponíveis, sugere-se três pesquisas, de dois dias seguidos e, uma de um dia, cobrindo todos os dias da semana, conforme BRASIL (2006).

Elas devem ser realizadas nos quatro trimestres do ano de referência. Essa periodicidade de realização das pesquisas visa contemplar todos os efeitos sazonais da área de estudo. Estes efeitos, caso não detectados, podem superestimar ou subestimar as amostras. Recomenda-se que as pesquisas sejam realizadas entre 6:00 horas às 22:00 horas, totalizando 16 horas de entrevistas, segundo também o BRASIL (2006).

Para não incorrer nestes erros, inicialmente a área de estudo deve ser estudada com um bom nível de detalhamento. Nesta análise, são identificados todos os possíveis efeitos sazonais referentes à movimentação da produção ou de pessoas.

Por fim, os resultados são tabulados, gerando a matriz de origem e destino amostral. Ela é amostral devido à não cobertura de todos os fluxos entre os pares de origem e destino, tendo como objetivo a redução do tempo de realização das pesquisas de campo. Complementando, a matriz de origem e destino amostral, na maioria dos casos, pode não representar todos os veículos que passam pelos postos e, também o fluxo anual. Por esse motivo deve ser utilizada a técnica para a expansão dessa matriz.

Dependendo do objetivo do estudo, podem ser considerados ou não os fluxos externos à área de estudo, como as movimentações de cargas para exportação e/ou importação; fluxos com destino à outros centroides, fora da área de estudo; fluxos de origem externa à área de estudo e; dos fluxos intra-centroides.

E11- Expansão da matriz de origem e destino amostral

O primeiro passo para a realização da expansão da matriz de origem e destino é determinar se todos os veículos que passaram pelos postos de pesquisa foram entrevistados. Caso negativo, deve-se realizar a expansão, simulando que 100% deles foram efetivamente entrevistados. Para tanto, em paralelo às pesquisas de campo, deve ser realizada contagem dos veículos no período compreendido pelas pesquisas. Assim, contabilizam-se todos os veículos que passaram pelo posto, inclusive aqueles que não foram entrevistados. Em seguida, deve-se determinar o percentual de veículos que foram pesquisados em cada posto, determinado pelo estudo.

Posteriormente, os fluxos pesquisados nestes postos devem ser expandidos, visando estimar e captar aqueles que não participaram das entrevistas, no período de realização das pesquisas. A equação utilizada para este cálculo encontra-se disposta a seguir.

$$V_{\text{Total do Posto}} = \frac{V_{\text{Entrevistas no Período}} * 100\%}{\% \text{ Entrevistas no Período}} \quad (I.31)$$

Onde:

$V_{\text{Total do Posto}}$: Volume total pesquisado no posto (volume entrevistado + estimativa do volume não entrevistado);

$V_{\text{Entrevistas no Período}}$: Volume entrevistado no período da pesquisa e;

$\%_{\text{Entrevistas no Período}}$: Percentual dos veículos que participaram das pesquisas de origem e destino, no período da pesquisa.

Exemplificando, em um determinado posto de pesquisa de origem e destino, no período de 4 horas de pesquisa, foram entrevistados 25 caminhões, totalizando um fluxo de 1.250 toneladas, de um certo produto. Entretanto, não foram contabilizados 75 veículos no posto do estudo, devido à falta de mão de obra suficiente para a realização desta atividade. Assim, o percentual de veículos entrevistados é de 25%. Realizando-se então a expansão para este caso, o fluxo total do posto do exemplo equivale à 5.000 toneladas. O cálculo é apresentado pela equação (I.32):

$$V_{\text{Total}} = \frac{1.250 * 100\%}{25\%} = 5.000 \quad (\text{I.32})$$

Após a realização do procedimento citado, dependendo do período de realização das pesquisas, deve ser realizada a expansão da matriz, contendo os dados coletados, para o ano do estudo. Normalmente, as pesquisas são efetuadas em alguns dias da semana e em determinados meses do ano, com o objetivo de reduzir o tempo de coleta.

Para tanto, deve ser utilizada a técnica de expansão da matriz de origem e destino, determinado também por BRASIL (2006). Dessa forma, seguindo a técnica sugerida e demonstrada nesta dissertação, devem ser calculados todos os fatores de expansão (diários, semanais e mensais/sazonais) para, em seguida, determinar a matriz de origem e destino amostral expandida para o ano de referência do estudo. Eles encontram-se determinados pelas equações (I.2), (I.4) e (I.6), e seus respectivos volumes, descritos pelas equações (I.3), (I.5) e (I.7), todos localizados no item 2.5, desta dissertação.

E12- Cálculo dos parâmetros do modelo gravitacional

Tendo em vista que nas pesquisas realizadas não foram contemplados alguns pares de origem e destino, por terem sido adotados o ALTP e o Nível de Abrangência, com o intuito de redução das amostras, deve ser utilizada a equação (I.9), localizada no item 2.6.1, referente ao modelo gravitacional, para estimação dos parâmetros da função gravitacional.

Para a sua utilização, existem algumas possibilidades já descritas nesta dissertação, tais como: o método por ajustamento direto, via regressão linear múltipla e; o método de Gonçalves (1992), pela calibração da matriz origem e destino amostral expandida.

Ambos os métodos podem ser utilizados para o conhecimento dos parâmetros autônomos da função do modelo gravitacional. O primeiro método é o mais simples e requer uma quantidade menor de dados de entrada para a realização dos cálculos. Entretanto, os resultados podem gerar fluxos inconsistentes, portanto não atingindo o objetivo. E, o método de Gonçalves (1992) apresenta um processo mais complexo e requer um número maior de dados de entrada para a sua operação. Em contrapartida, resulta em valores mais refinados e condizentes com a realidade de acordo com a matriz de geração meta.

Assim devem ser determinados os parâmetros: K , α_1 , α_2 , α_3 , ..., α_n , descritos pela equação (I.9).

Para tanto, utilizando-se o método por ajustamento direto é necessário conhecer os dados referentes às variáveis independentes da função do modelo gravitacional:

- Produção das origens (P_i);
- Consumo dos destinos (C_j) e;
- Distância, tempo ou custo de transporte entre os pares (d_{ij}).

E da variável dependente:

- Fluxo entre os pares (T_{ij}), obtidos pelas pesquisas de campo.

Todas estas variáveis são utilizadas para o conhecimento dos parâmetros autônomos da função. Ressalta-se que a teoria referente ao modelo gravitacional, utilizando o método de ajustamento direto, encontra-se determinada no referencial teórico, item 2.6.2.2, desta dissertação.

Caso seja definido o método descrito por Gonçalves (1992), deve-se obter, essencialmente, os seguintes dados de entrada:

- Matriz de origem e destino amostral expandida;
- Matriz de geração meta, onde se determina a restrição de capacidade das zonas de produção (P_i) e consumo (C_j) e;
- Matriz impedância.

Seguindo os passos descritos pelas figuras 3 e 4, localizados no item 2.6.2.1, é realizada a calibração da matriz, visando encontrar os parâmetros autônomos da função do modelo gravitacional. Entretanto, é essencial que a matriz impedância, para os fluxos não contemplados nas pesquisas, tenham valores infinitos, com o intuito de não registrá-los na calibração.

Após determinar o custo inicial da matriz de origem e destino amostral expandida; adotar o método de *Furness*, atribuindo-se o fator de balanceamento A_i , equivalente a 1; estabelecer o valor de β , pela equação (I.20) e; definir o percentual de convergência da matriz, é realizado o balanceamento dos fluxos da matriz, a partir da equação (I.17). Esta equação é definida pelo cálculo dos fatores de balanceamento B_j e, posteriormente dos A_i , demonstrados pelas equações (I.18) e (I.19).

Após as tentativas de se alcançar o grau de convergência estabelecido na 1ª iteração do processo de calibração, ao final, deve-se comparar os custos da matriz observada com a modelada. Caso atinja uma diferença inferior à 1%, a calibração é concluída, e, no contrário, inicia-se o processo novamente, com a realização da 2ª iteração, utilizando a equação (I.21), para o cálculo do novo β , até que seja alcançado o percentual desejado. Se for necessária a 3ª, ou mais iterações, deve-se utilizar a equação (I.22), para o cálculo dos novos β e, conseqüentemente, realizar o mesmo procedimento descrito, até atingir os valores de convergência pretendidos

Com a finalização da etapa de calibração, é definido o valor final de β , que deverá ser utilizado para a construção da matriz de origem e destino completa. Nesta etapa do modelo gravitacional, de posse da matriz geração meta; da matriz impedância, com todos os valores definidos e; do β calibrado, inicia-se o procedimento de convergência, até atingir o seu percentual, estabelecido anteriormente. Assim, como resultado, apresenta-se a matriz de origem e destino completa. Entretanto, antes, deve-se validar os resultados, a partir da etapa E13, referente ao MCMOD.

E13- Validação dos parâmetros do modelo gravitacional

Como mencionado na etapa anterior, devem ser analisados os dados provenientes das pesquisas (T_{ij}) (variável dependente), e relativos à produção (P_i), consumo (C_j) dos centroides e, à impedância (d_{ij}) entre eles (variáveis independentes). Após as análises, os fluxos pesquisados são validados ou não.

A garantia dos resultados pode ser determinada a partir do coeficiente de determinação (r^2), em que o percentual encontrado da variação de Y (variável dependente) é explicado pelas variâncias de X_1, X_2, X_n (variáveis independentes) e, a diferença, representa o percentual da variância que não é explicada. Ele é relacionado como critério para a avaliação dos fluxos e dos parâmetros do modelo gravitacional, possibilitando verificar a adequação destes resultados. Entretanto, eles não indicam que os dados coletados ofereceram resultados insatisfatórios, pois pode haver problemas na expansão dos dados coletados ou outros que possam vir à reduzir o índice de correlação entre as variáveis, mas não interferem na qualidade dos dados da matriz. Uma solução é realizar a estratificação dos dados coletados por faixas de distâncias entre os pares de origem e destino e aplicar novamente a regressão e verificar o r^2 , até que alcancem níveis satisfatórios.

E, visando comparar as matrizes expandida observada e modelada, esta, resultado da calibração realizada, existem as equações (I.28) e (I.29), denominadas, Índice de Dissimilaridade (ID) e, Estatística Phi Normalizada (PHI-N), respectivamente, onde se calculam indicadores estabelecendo a comparação dos fluxos do pares das matrizes de origem e destino expandida observada e modelada, para

posterior avaliação dos resultados do modelo. Os métodos descritos encontram-se discriminados no item 2.6.3.

E14- Determinação da matriz de origem e destino completa

Utilizando-se todos os passos de todas as etapas do método, tem-se a matriz de origem e destino completa, referente à área de estudo, para determinada mercadoria e/ou para passageiros, podendo atingir, dessa forma, o objetivo geral da dissertação. A partir dela é possível realizar o planejamento de transportes para diversos horizontes, em que são contemplados melhoramentos na rede viária, a partir dos investimentos previstos pelos governos Federal, Estadual ou Municipal.

Pode-se analisar os efeitos do aumento da produção e consumo de uma determinada região na infraestrutura e apontar a necessidade de aumento da capacidade da via, pela elevação da velocidade operacional da via, eliminação de curvas muito acentuadas, construção de anéis rodoviários, dentre outros.

5. APLICAÇÃO DO MCMOD – ESTUDO DE CASO

Neste item, encontra-se aplicado, de forma detalhada, o método de construção de uma matriz de origem e destino (MCMOD) descrito pelo fluxograma, visualizado pela figura 6. Foi elaborado um estudo de caso hipotético, a partir da movimentação interna de grãos, no estado do Mato Grosso (MT).

Para a visualização da área do estudo, utilizou-se um GIS e; para a alocação da matriz unitária e geração de relatórios dos caminhos mínimos, para o processamento de dados, utilizou-se um sistema de alocação de viagens. Dessa forma, visando o cumprimento de ambas as atividades descritas, foi utilizado o sistema SisLog. Ele é fruto de convênio entre a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e o Laboratório de Transportes (LabTrans), órgão vinculado à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

A seguir, demonstram-se todas as etapas do método, com todos os seus processos e resultados. Ressalta-se que, para este estudo de caso, foram excluídos os fluxos internos-externos, externos-internos, de passagem, intra-centroides e intra-zonais.

5.1. Delimitação da área de estudo

Para a aplicação do MCMOD, o estado do Mato Grosso (MT) foi definido como a área de estudo devido a dois fatores fundamentais:

- Representa uma região de expansão da fronteira agrícola brasileira e;
- Representatividade da quantidade produzida e exportada de grãos no país.

A área de expansão da fronteira agrícola brasileira representa uma grande opção para novos estudos, tendo em vista a possibilidade de atração de grandes investimentos na infraestrutura e nos portos.

Optou-se pelo estado do Mato Grosso (MT), pois ele é o maior produtor de grãos do Brasil e, nele situa-se o maior produtor de soja do Brasil, o município de Sorriso (MT). No ano de 2010, este município produziu aproximadamente 2 milhões de toneladas, equivalendo a cerca de 3,0% do total do país.

Outra justificativa para a escolha do estado do Mato Grosso (MT) está na falta de infraestrutura capaz de escoar toda a produção de grãos da região. Este fato tem como consequência a perda de competitividade com o mercado mundial. A realização do estudo de caso no estado do Mato Grosso (MT) pode oferecer um estímulo para que sejam realizados outros estudos e, tomadas as devidas ações estratégicas, visando melhorar as condições da rede de transportes da região.

Assim, pela grande necessidade de investimentos na rede viária da área de expansão agrícola brasileira e da potencial realização de novos estudos é definida e justificada a área do estudo de caso desta dissertação.

5.2. Definição das zonas de tráfego

As zonas de tráfego foram determinadas à partir das microrregiões geográficas do estado do Mato Grosso (MT). Ela é divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O estado do Mato Grosso (MT) é composto por 22 microrregiões, sendo estipulado que cada uma delas representa uma zona de tráfego. A seguir, apresenta-se a tabela 3, com a definição das 22 zonas de tráfego da área de estudo.

Tabela 3: Zonas de tráfego da área de estudo

Zonas de Tráfego	
ZT1- Aripuanã	ZT12- Alto Paraguai
ZT2- Alta Floresta	ZT13- Rosário Oeste
ZT3- Norte Araguaia	ZT14- Juru
ZT4- Arinos	ZT15- Alto Pantanal
ZT5- Colíder	ZT16- Alto Araguaia
ZT6- Canarana	ZT17- Cuiabá
ZT7- Sinop	ZT18- Paranatinga
ZT8- Parecis	ZT19- Primavera do Leste
ZT9- Alto Téles Pires	ZT20- Tesouro
ZT10- Alto Guaporé	ZT21- Rondonópolis
ZT11- Tangará da Serra	ZT22- Médio Araguaia

As zonas de tráfego encontram-se visualizadas pela figura 10.

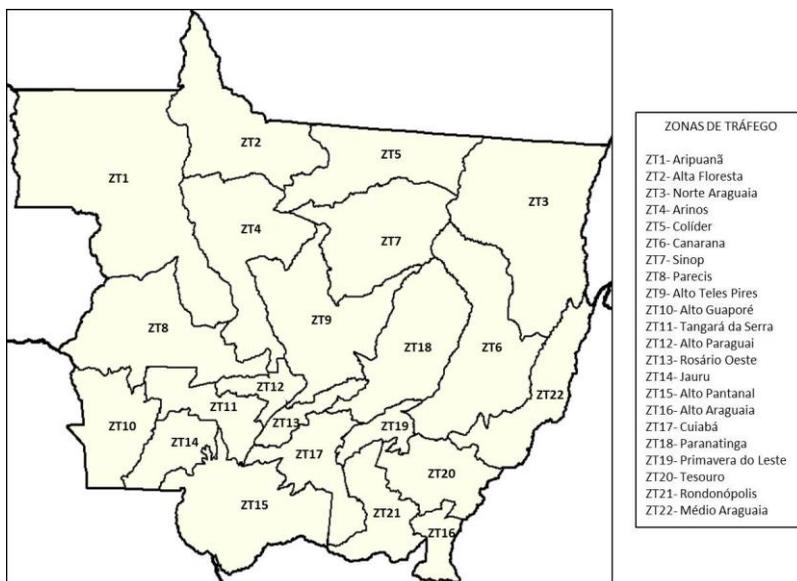


Figura 10: Localização das zonas de tráfego da área de estudo

5.3. Definição dos centroides

De acordo com a divisão política dos municípios que compõem a área de estudo, ou seja, do estado do Mato Grosso (MT), divulgado pelo IBGE foram determinados os centroides que irão compor a matriz de origem e destino unitária. Dentro das respectivas zonas de tráfego, os municípios que apresentaram o maior valor referente ao Produto Interno Bruto (PIB), no ano de 2009, foram determinados como centroides. E, cada microrregião, representando uma zona de tráfego, como já mencionado. O PIB estabelece o nível de riqueza das unidades territoriais e quanto maior, mais frequente é a relação de troca de mercadorias entre os centroides nas zonas de tráfego. Ressalta-se que para a escolha dos centroides pode-se recorrer à outros indicadores, como o nível de renda total, renda per capita, população, receita tributária arrecadada e etc.

O estado do Mato Grosso (MT) conta com 22 zonas de tráfego. Por esse motivo, a área de estudo da dissertação foi composta pela mesma quantidade de centroides.

A seguir apresenta-se a tabela 4, com a relação dos municípios com maior PIB de cada zona de tráfego.

Tabela 4: Determinação dos centroides pelo valor do PIB do ano de 2009 (R\$)

Zona de Tráfego	Município	PIB 2009 (R\$)
ZT1- Aripuanã	Juína (*)	450.454.857,00
	Brasnorte	399.421.902,00
	Aripuanã	342.075.704,00
	Colniza	299.267.510,00
	Cotriguaçu	135.221.489,00
	Castanheira	95.436.479,00
	Juruena	91.460.099,00
	Rondolândia	68.200.279,00
SUBTOTAL 1		1.881.538.319,00

ZT2- Alta Floresta	Alta Floresta (*)	579.852.165,00
	Nova Bandeirantes	192.547.831,00
	Nova Monte Verde	168.346.630,00
	Apiacás	148.853.841,00
	Paranaíta	139.865.970,00
	Carlinda	94.468.995,00
SUBTOTAL 2		1.323.935.432,00
ZT3- Araguaia Norte	Vila Rica (*)	273.845.757,00
	Confresa	249.418.969,00
	São Félix do Araguaia	166.486.006,00
	Ribeirão Cascalheira	102.114.315,00
	Bom Jesus do Araguaia	101.233.468,00
	São José do Xingu	95.578.597,00
	Porto Alegre do Norte	90.140.074,00
	Santa Terezinha	73.279.421,00
	Canabrava do Norte	61.282.005,00
	Alto Boa Vista	53.055.691,00
	Santa Cruz do Xingu	36.023.682,00
	Luciára	19.378.423,00
	Novo Santo Antônio	18.348.640,00
Serra Nova Dourada	15.962.533,00	
SUBTOTAL 3		1.356.147.581,00
ZT4- Arinos	Juara (*)	638.522.337,00
	São José do Rio Claro	270.494.741,00
	Nova Maringá	215.663.774,00
	Tabaporã	192.724.121,00
	Porto dos Gaúchos	134.702.202,00
Novo Horizonte do Norte	32.778.507,00	
SUBTOTAL 4		1.484.885.682,00

ZT5- Colíder	Colíder (*)	338.273.462,00
	Guarantã do Norte	260.428.749,00
	Matupá	249.672.726,00
	Peixoto de Azevedo	220.627.179,00
	Nova Canaã do Norte	194.756.064,00
	Terra Nova do Norte	134.435.464,00
	Novo Mundo	100.880.396,00
	Nova Santa Helena	49.004.000,00
	Nova Guarita	45.700.818,00
SUBTOTAL 5		1.593.778.858,00
ZT6- Canarana	Querência (*)	509.606.813,00
	Água Boa	367.902.131,00
	Canarana	327.445.521,00
	Santo Antonio do Leste	240.566.609,00
	Nova Xavantina	223.776.725,00
	Novo São Joaquim	223.176.068,00
	Campinápolis	113.937.070,00
	Nova Nazaré	27.923.304,00
SUBTOTAL 6		2.034.334.241,00
ZT7- Sinop	Sinop (*)	1.813.363.274,00
	Marcelândia	289.744.759,00
	Vera	234.282.150,00
	Santa Carmem	182.842.895,00
	Cláudia	168.539.039,00
	Feliz Natal	166.344.471,00
	Itaúba	95.909.219,00
	União do Sul	95.659.972,00
SUBTOTAL 7		3.046.685.779,00

ZT8- Parecis	Sapezal (*)	1.418.892.134,00
	Campo Novo do Parecis	1.389.985.242,00
	Diamantino	908.566.260,00
	Campos de Júlio	624.462.388,00
	Comodoro	232.122.133,00
SUBTOTAL 8		4.574.028.157,00
ZT9- Alto Téles Pires	Sorriso (*)	2.339.762.144,00
	Lucas do Rio Verde	1.809.788.155,00
	Nova Mutum	1.200.944.343,00
	Nova Ubiratã	440.926.964,00
	Ipiranga do Norte	343.376.012,00
	Tapurah	321.427.224,00
	Santa Rita do Trivelato	272.048.440,00
	Nobres	218.158.060,00
Itanhangá	129.650.537,00	
SUBTOTAL 9		7.076.081.879,00
ZT10- Alto Guaporé	Pontes e Lacerda (*)	523.958.281,00
	Vila Bela da Santíssima Trindade	193.655.101,00
	Nova Lacerda	73.640.675,00
	Conquista D'Oeste	38.263.384,00
	Vale de São Domingos	32.239.969,00
SUBTOTAL 10		861.757.410,00
ZT11- Tangará da Serra	Tangará da Serra (*)	1.315.683.194,00
	Barra do Bugres	417.087.206,00
	Nova Olímpia	231.758.861,00
	Denise	112.836.224,00
	Porto Estrela	40.506.878,00
SUBTOTAL 11		2.117.872.363,00

ZT12- Alto Paraguai	Arenápolis (*)	81.260.312,00
	Nortelândia	69.248.662,00
	Alto Paraguai	65.186.020,00
	Nova Marilândia	38.595.011,00
	Santo Afonso	37.953.694,00
SUBTOTAL 12		292.243.699,00
ZT13- Rosário Oeste	Rosário Oeste (*)	203.422.327,00
	Jangada	97.908.121,00
	Acorizal	51.665.796,00
SUBTOTAL 13		352.996.244,00
ZT14- Jauru	Mirassol D'Oeste (*)	301.727.314,00
	Araputanga	230.694.584,00
	São José dos Quatro Marcos	183.400.926,00
	Jauru	125.273.624,00
	Porto Esperidião	113.256.626,00
	Lambari D'Oeste	77.340.482,00
	Indiavaí	46.319.656,00
	Rio Branco	44.930.542,00
	Figueirópolis D'Oeste	42.954.469,00
	Salto do Céu	37.381.271,00
	Glória D'Oeste	35.419.913,00
	Reserva do Cabaçal	23.329.372,00
SUBTOTAL 14		1.262.028.779,00
ZT15- Alto Pantanal	Cáceres (*)	852.738.894,00
	Poconé	283.639.590,00
	Barão de Melgaço	59.532.466,00
	Curvelândia	37.341.526,00
SUBTOTAL 15		1.233.252.476,00
ZT16- Araguaia	Alto Araguaia (*)	753.334.448,00
	Alto Taquari	507.250.807,00
	Alto Garças	250.193.454,00
SUBTOTAL 16		1.510.778.709,00

ZT17- Cuiabá	Cuiabá (*)	9.816.818.566,00
	Várzea Grande	3.000.095.891,00
	Santo Antônio do Leverger	190.544.265,00
	Chapada dos Guimarães	161.839.517,00
	Nossa Senhora do Livramento	98.371.228,00
SUBTOTAL 17		13.267.669.467,00
ZT18- Paranatinga	Paranatinga (*)	381.964.612,00
	Gaúcha do Norte	132.122.646,00
	Nova Brasilândia	45.290.419,00
	Planalto da Serra	33.849.757,00
SUBTOTAL 18		593.227.434,00
ZT19- Primavera do Leste	Primavera do Leste (*)	1.969.609.057,00
	Campo Verde	1.152.314.870,00
SUBTOTAL 19		3.121.923.927,00
ZT20- Tesouro	Poxoréo (*)	287.976.773,00
	Guiratinga	197.953.290,00
	General Carneiro	98.700.056,00
	Tesouro	60.791.491,00
	Torixoréu	56.733.089,00
	Pontal do Araguaia	42.808.271,00
	Ribeirãozinho	32.890.052,00
	Ponte Branca	22.615.872,00
Araguainha	11.522.663,00	
SUBTOTAL 20		811.991.557,00

ZT21- Rondonópolis	Rondonópolis (*)	4.862.344.212,00
	Itiquira	566.956.387,00
	Jaciara	382.745.574,00
	Pedra Preta	370.495.648,00
	Dom Aquino	224.333.053,00
	Juscimeira	150.343.082,00
	São Pedro da Cipa	27.307.926,00
	São José do Povo	26.840.129,00
SUBTOTAL 21		6.611.366.011,00
ZT22- Médio Araguaia	Barra do Garças (*)	741.355.402,00
	Cocalinho	93.218.716,00
	Araguaiana	51.094.032,00
SUBTOTAL 22		885.668.150,00
TOTAL		57.294.192.154,00

Fonte: IBGE

Os municípios demarcados com (*) representaram os centroides relacionados para a área de estudo. A seguir, pela figura 11, encontram-se todos eles localizados.

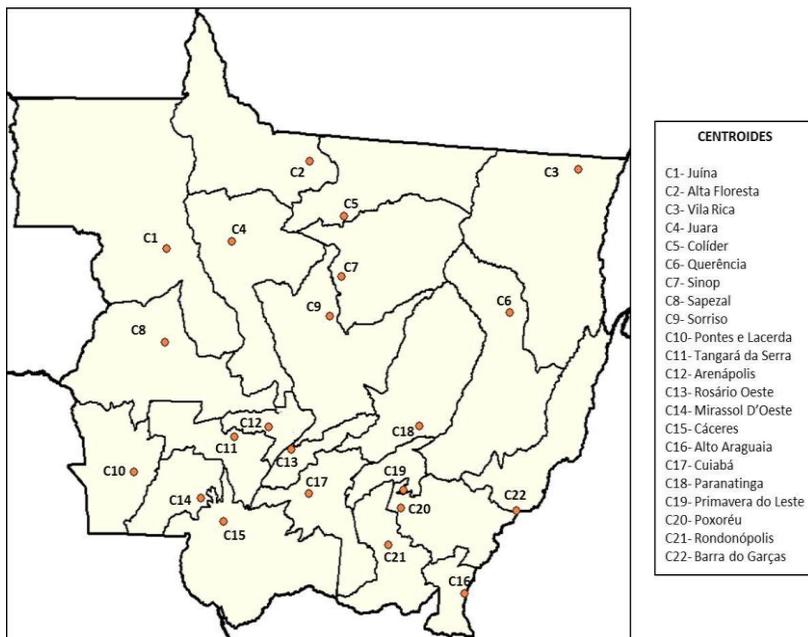


Figura 11: Localização dos centroides da área de estudo

Na tabela 5 encontra-se resumida a área de estudo com as 22 zonas de tráfego, contendo cada zona, o respectivo centroide.

Tabela 5: Zonas de tráfego e centroides

Zona de Tráfego	Centroide
ZT1- Aripuanã	C1- Juína
ZT2- Alta Floresta	C2- Alta Floresta
ZT3- Norte Araguaia	C3- Vila Rica
ZT4- Arinos	C4- Juara
ZT5- Colíder	C5- Colíder
ZT6- Canarana	C6- Querência
ZT7- Sinop	C7- Sinop
ZT8- Parecis	C8- Sapezal
ZT9- Alto Teles Pires	C9- Sorriso
ZT10- Alto Guaporé	C10- Pontes e Lacerda
ZT11- Tangará da Serra	C11- Tangará da Serra
ZT12- Alto Paraguai	C12- Arenópolis
ZT13- Rosário Oeste	C13- Rosário Oeste
ZT14- Jauru	C14- Mirassol D'Oeste
ZT15- Alto Pantanal	C15- Cáceres
ZT16- Alto Araguaia	C16- Alto Araguaia
ZT17- Cuiabá	C17- Cuiabá
ZT18- Paranatinga	C18- Paranatinga
ZT19- Primavera do Leste	C19- Primavera do Leste
ZT20- Tesouro	C20- Poxoréu
ZT21- Rondonópolis	C21- Rondonópolis
ZT22- Médio Araguaia	C22- Barra do Garças

Para determinar os caminhos mínimos entre cada centroide, deve ser ainda definida a rede de transporte, capaz de realizar a movimentação dos fluxos entre os pares de origem e destino.

5.4. Determinação da rede de transportes

Nesta etapa do método foi definida a malha viária utilizada para o estudo de caso, para que seja realizada a alocação da matriz de origem e destino unitária. Foi definida uma rede de transportes composta por rodovias.

Assim, na presente dissertação, foram utilizadas as rodovias municipais, estaduais e federais, de acordo com as respectivas jurisdições. E, no que tange a classificação das vias, apenas foram excluídas as rodovias planejadas da rede viária, ou seja, aquelas que ainda serão construídas, mas que foram relacionados no SisLog para a realização de simulações em longo prazo. Tendo em vista a grande quantidade de *links*, na tabela 6, encontram-se dispostos parte dos 1.335 links/trechos relativos à rede de transportes do estudo, com as suas respectivas caracterizações.

Tabela 6: Relação dos *links* da rede de transportes por ordem crescente

Ordem	Link	Sigla	Jurisd	Classif	Ext (Km)	Veloc. (Km/h)
1	6120	MT324	Estadual	Em obra de pav	16,10	54
2	6705	MT188	Estadual	Leito natural	17,40	23
3	6833	BR158	Federal	Pavimentada	28,90	54
100	14352	BR364	Federal	Implantada	36,90	23
200	14463	MT170	Estadual	Implantada	63,14	23
300	14570	MT325	Estadual	Leito natural	63,97	23
400	14676	BR174	Federal	Pavimentada	17,54	54
500	14781	MT160	Estadual	Em obra de pav	56,60	23
600	14891	BR163	Federal	Pavimentada	0,39	54
700	14999	BR163	Federal	Pavimentada	1,63	54
800	15111	MT326	Estadual	Implantada	3,04	23
900	15227	BR070	Federal	Pavimentada	0,52	54
1000	15333	MT458	Estadual	Leito natural	18,88	23
1100	15449	BR158	Federal	Pavimentada	0,38	54
1200	15552	MT471	Estadual	Implantada	14,99	23
1335	25586	BR174	Federal	Pavimentada	6,94	54

A Figura 12 mostra as rodovias, juntamente com os centroides de cada zona de tráfego, visualizadas utilizando o SisLog.

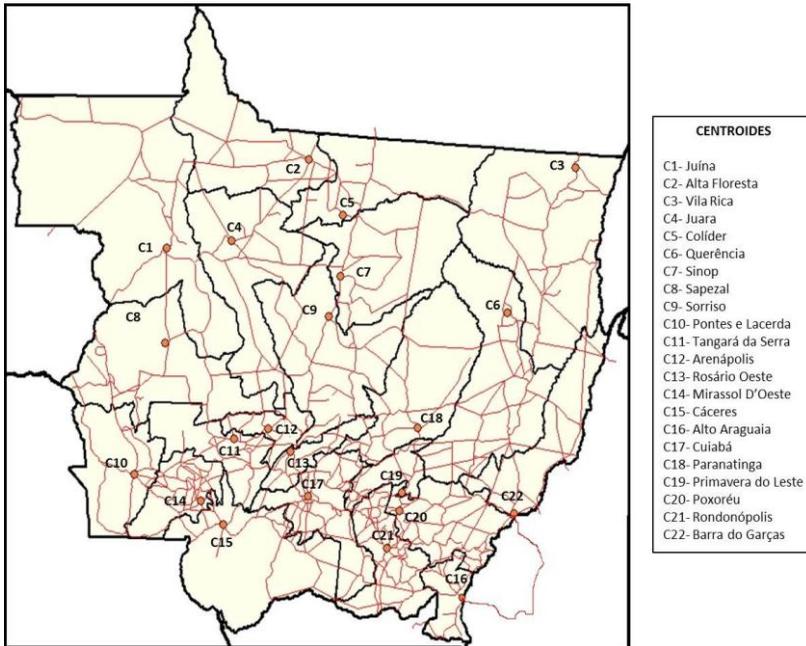


Figura 12: Rede de transporte da área de estudo

Onde:

ZT1- Aripuanã	ZT12- Alto Paraguai
ZT2- Alta Floresta	ZT13- Rosário Oeste
ZT3- Norte Araguaia	ZT14- Jauru
ZT4- Arinos	ZT15- Alto Pantanal
ZT5- Colíder	ZT16- Alto Araguaia
ZT6- Canarana	ZT17- Cuiabá
ZT7- Sinop	ZT18- Paranatinga
ZT8- Parecis	ZT19- Primavera do Leste
ZT9- Alto Téles Pires	ZT20- Tesouro
ZT10- Alto Guaporé	ZT21- Rondonópolis
ZT11- Tangará da Serra	ZT22- Médio Araguaia

5.6. Alocação da matriz de origem e destino unitária

Para a realização da alocação, inicialmente, determinou-se a impedância entre os pares de origem e destino. Entre as impedâncias possíveis, a distância apresenta o indicador mais fácil de obtenção. Já o custo de transporte, o mais complexo, pois necessita que sejam realizadas pesquisas nas transportadoras para a determinação do frete, transbordo, armazenagem, variáveis fundamentais para dimensionamento do custo de transporte. Para a alocação foi utilizado o tempo como impedância entre os pares, pois pode-se caracterizar as condições de operação da via, por intermédio da velocidade média operacional do trecho, já definida na estrutura da rede viária do sistema SisLog.

A partir da matriz unitária definida, foram realizadas as alocações utilizando o SisLog, adotando a técnica “tudo ou nada”, já conceituada no item anterior. Os resultados representaram os carregamentos realizados na rede de transportes entre os pares da matriz de origem e destino unitária. Eles foram organizados em um relatório, que foi utilizado como dado de entrada para o processamento do algoritmo.

Entre as várias combinações, foram determinados pelo sistema aqueles que totalizaram o menor tempo de viagem entre os pares de origem e destino. No relatório apresentaram-se informações sobre o itinerário utilizado entre os pares, identificando-se a localização dos pontos de origem e destino, juntamente com os dados detalhados dos trechos percorridos, como código de identificação, extensão, quilometragem inicial e final, tempo do trajeto, velocidade (km/h), condições da via, jurisdição e classificação.

Na figura 13 encontram-se visualizados todos os caminhos mínimos gerados entre os centroides que compõem o estudo de caso.

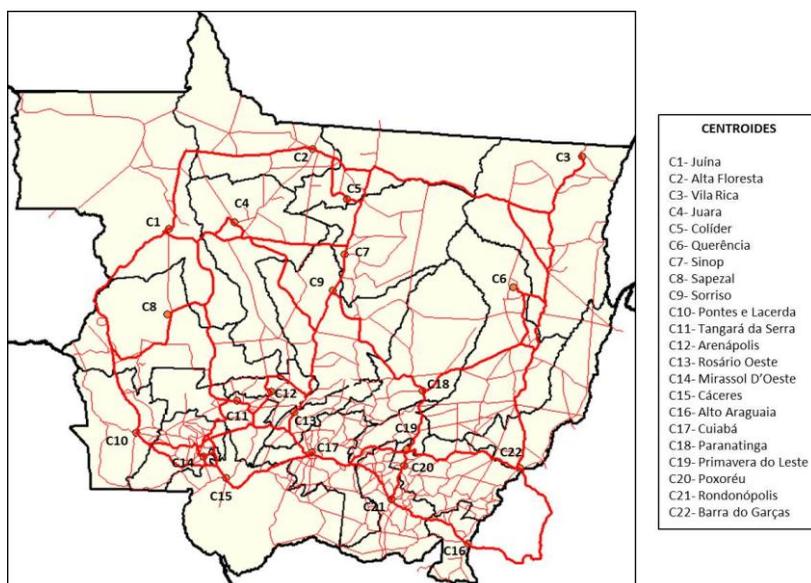


Figura 13: Resultados das alocações realizada

Os resultados constataram que foram utilizadas, em sua maioria, rodovias federais como itinerário, por apresentarem velocidade média superior às outras. Elas representam, atualmente, o corredor de transportes utilizado para o escoamento da produção da região centro-oeste do Brasil, tais como: BR-163; BR-070; BR-364; BR-174 e; BR-158.

Na tabela 8, encontra-se exemplificado apenas um caminho mínimo alocado, entre as zonas de tráfego: **ZT1- Aripuanã (MT)** e, **ZT2- Alta Floresta (MT)**. Os dados referentes à coluna “Link” são utilizados como codificação para a aplicação do algoritmo e conhecimento dos melhores trechos para a construção dos postos de origem e destino.

Tabela 8: Relatório do SisLog - Par: ZT1 - Aripuanã – ZT2- Alta Floresta

Origem	Destino	Link	Sigla	Classificação	Veloc. (km/h)	Distância (km)	Tempo (h)
Juína	Castanheira	14595	BR174 / MT170	Implantada	23	35,19	1h 31min
Castanheira	Castanheira	14465	BR174 / MT420	Leito natural	23	5,88	15min
Castanheira	Castanheira	14594	BR174 / MT170	Implantada	23	26,07	1h 7min
Castanheira	Juruena	14654	BR174 / MT170	Implantada	23	67,76	2h 57min
Juruena	Juruena	14412	MT170	Implantada	23	6,35	16min
Juruena	Cotriguaçu	14414	MT170	Leito natural	23	33,73	1h 28min
Cotriguaçu	Cotriguaçu	14411	MT208	Leito natural	23	22,8	59min
Cotriguaçu	Nova Bandeirantes	14673	MT208	Leito natural	23	28,52	1h 14min
Nova Bandeirantes	Nova Monte Verde	14568	MT208	Implantada	23	50,02	2h 10min
Nova Monte Verde	Nova Monte Verde	15165	MT288	Implantada	23	3,95	10min
Nova Monte Verde	Alta Floresta	15127	MT288	Implantada	23	66,36	2h 53min
Alta Floresta	Paranaíta	15166	MT288	Implantada	23	37,25	1h 37min
Paranaíta	Alta Floresta	15118	MT288	Implantada	23	48,27	2h 6min
Alta Floresta	Alta Floresta	15035	MT288	Implantada	23	4,39	11min
TOTAL						436,54	18h 58mi

Fonte: SisLog

Neste exemplo, o citado par percorre os *links* 14595, 14465, 14594, 14654, 14412, 14414, 14411, 14673, 14568, 14165, 15127, 15166, 15118 e 15035 até o seu destino final. Também merece destacar que nesse trajeto foram percorridos apenas rodovias implantadas e em leito natural, com velocidade média operacional de 23 Km/h. Por esse motivo, para a distância de 436 quilômetros são necessárias 18 horas e meia de viagem, valor muito alto para a distância entre os pontos. Caso existissem rodovias pavimentadas, o tempo de viagem entre os centroides seria consideravelmente menor.

De um total de 1.335 links/trechos, referentes à rede de transportes, definida para a área de estudo, foram registrados um total de 768 links/trechos, passíveis de receberem os postos para a realização das pesquisas, todos com pelo menos 2 pares de origem e destino que utilizam o respectivo link. Os *links/trechos* não relacionados, não foram utilizados por quaisquer dos pares da matriz de origem e destino, portanto a quantidade de pares de origem e destino é igual a zero.

Pela tabela 9, encontram-se relacionados alguns *links*, cada um com a respectiva quantidade de pares de origem e destino que o utilizam. Todos eles encontram-se dispostos em ordem crescente de numeração dos *links*.

Tabela 9: Relação dos *links* dos caminhos mínimos gerados com a quantidade de pares de origem e destino que o utilizam

Ordem	Link	Quantidade de Pares de Origem e Destino
1	6833	6
100	14407	58
200	14588	8
300	14769	36
400	14938	56
500	15134	8
600	15376	196
700	15539	56
768	25586	6

Diante da grande quantidade de *links*, é necessário aplicar o algoritmo para o conhecimento dos *links* mais carregados e conseqüente redução do tempo de processamento dos dados. Assim, no próximo tem, é realizada a aplicação do ALTP.

5.7. Aplicação do ALTP

Assim, foi dado prosseguimento ao MCMOD, aplicando-se o algoritmo para localização de trechos para as pesquisas (ALTP), no relatório emitido pelo SisLog. Após o processamento dos dados deste relatório, apresentou-se como retorno, o fornecimento da listagem, em ordem decrescente de quantidade de pares de origem e destino, que cada link cobriu. Na tabela 10 são visualizados os resultados.

Tabela 10: Resultados da aplicação do ALTP - Listagem

Ordem	Link Rodoviário	Sigla da Rodovia	Quantidade de Pares OD	%	% Acumulado
1	14359	BR070	206	44,59	44,59
2	15562	BR163	64	13,85	58,44
3	14367	BR070	34	7,36	65,80
4	14314	BR163	26	5,63	71,43
5	14350	BR364	20	4,33	75,76
6	14646	BR174	18	3,90	79,65
7	14406	BR158	14	3,03	82,68
8	14285	MT246	12	2,60	85,28
9	14611	BR174	10	2,16	87,45
10	14321	BR163	8	1,73	89,18
11	14369	BR364	6	1,30	90,48
12	15007	Nd.	6	1,30	91,77
13	14282	BR163	4	0,87	92,64
14	14286	BR174	4	0,87	93,51
15	14308	BR070	4	0,87	94,37
16	14388	BR070	4	0,87	95,24
17	15519	MT109	4	0,87	96,10
18	6833	BR158	2	0,43	96,54
19	14306	MT130	2	0,43	96,97
20	14342	BR070	2	0,43	97,40

21	14375	MT320	2	0,43	97,84
22	14411	MT208	2	0,43	98,27
23	14439	MT130	2	0,43	98,70
24	14477	BR163	2	0,43	99,13
25	14495	MT170	2	0,43	99,57
26	14689	MT246	2	0,43	100,00
TOTAL			462	100,00	-

A seguir apresenta-se a figura 14 com a localização dos 26 links/trechos, encontrando-se destacados em amarelo e circulados. Visando à despoluição da figura foram omitidas as zonas de tráfego e a rede de transportes, ficando somente determinados os caminhos mínimos entre os centroides, juntamente com os *links*/trechos determinados pelo algoritmo.

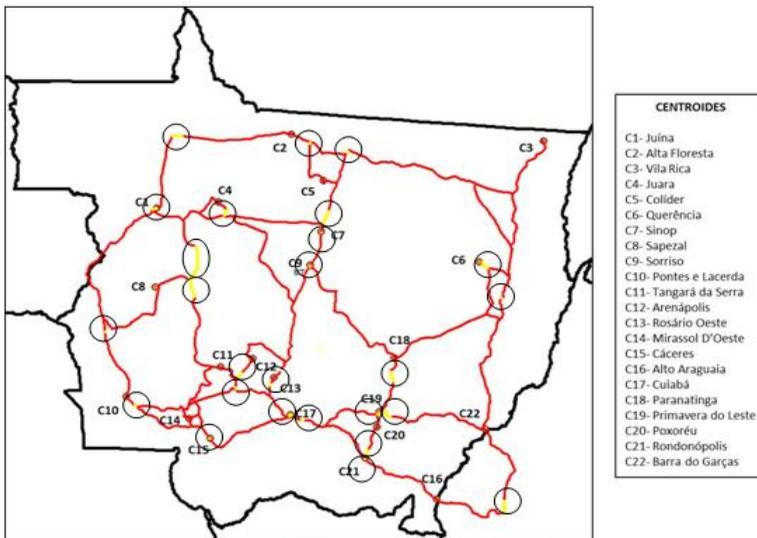


Figura 14: Resultado da aplicação do ALTP

5.8. Definição do nível de abrangência visando à seleção dos melhores *links*

Para a melhor eficiência e qualidade das pesquisas de campo, evitando-se assim, trechos pouco representativos e; a redução do número de trechos a serem pesquisados, com o intuito de diminuir o tempo de realização das pesquisas, foi determinado o nível de abrangência dos pares de origem e destino.

Assim, de acordo com a curva ABC já citada, foi definido que, de um total de 26 *links* e 462 pares de origem e destino, conforme descrito na tabela 10, em cerca de 27% do total de *links* (7 *links*), são cobertos por aproximadamente 83% dos pares de origem e destino (382 pares) e, por volta de 73% dos *links* (19 *links*), são compostos por quase 17% dos pares (80 pares).

Estes 80 pares de origem e destino representam os fluxos que não foram contemplados pelas pesquisas, devendo ser estimados. A curva ABC, referente ao estudo de caso, é apresentada na figura 15.

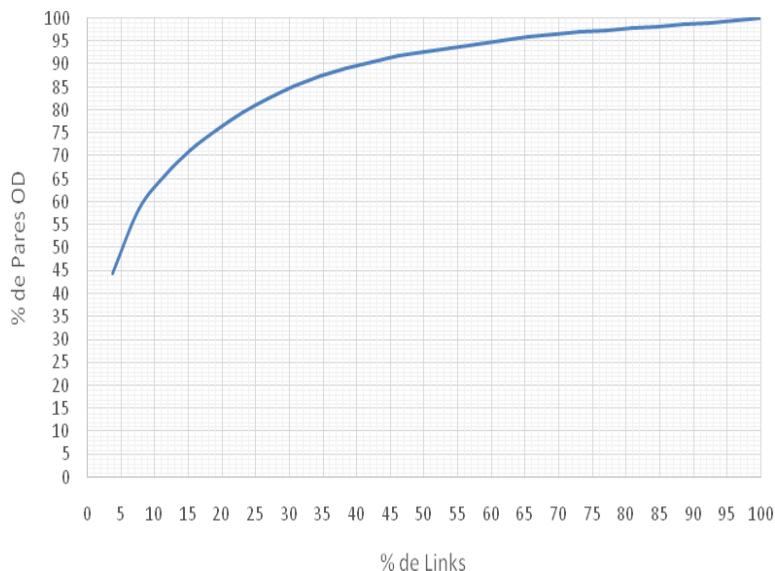


Figura 15: Curva ABC – Estudo de caso

Diante disso, foi definido o nível de abrangência dos pares de origem e destino de 82,68%, visando uma melhor eficiência e representatividade das pesquisas.

5.9. Aplicação do nível de abrangência

Utilizando a listagem demonstrada pela tabela 10 e aplicando o percentual definido, foram identificados e visualizados os *links*/trechos em que deverão ser implementados os postos de pesquisa de origem e destino. O resultado encontra-se exposto na tabela 11, a seguir.

Tabela 11: Trechos selecionados pelo nível de abrangência

Ordem	Link Rodoviário	Sigla da Rodovia	Quantidade de Pares OD	%	% Acumulado
1	14359	BR070	206	44,59	44,59
2	15562	BR163	64	13,85	58,44
3	14367	BR070	34	7,36	65,80
4	14314	BR163	26	5,63	71,43
5	14350	BR364	20	4,33	75,76
6	14646	BR174	18	3,90	79,65
7	14406	BR158	14	3,03	82,68
TOTAL			382	82,68	-

Assim, com a aplicação do nível de abrangência informado, foram determinados 7 links/trechos, para que sejam construídos os postos para a realização das pesquisas de origem e destino. A tabela 12 demonstra a caracterização física de todos os *links*/trechos definidos.

Tabela 12: Descrição dos *links* selecionados para as pesquisas

Ordem	Trecho	Extensão (km)	Velocidade Média (km/h)	Jurisdição	Classificação	Municípios	
						Início do Nó	Final do Nó
L1	14359	9,73	68	Federal	Duplicada	Cuiabá	Cuiabá
L2	15562	1,36	54	Federal	Pavimentada	Sorriso	Sorriso
L3	14367	10,50	54	Federal	Pavimentada	Primavera do Leste	Primavera do Leste
L4	14314	29,66	54	Federal	Pavimentada	Sinop	Cláudia
L5	14350	43,13	54	Federal	Pavimentada	Brasnorte	Brasnorte
L6	14646	4,71	54	Federal	Pavimentada	Pontes e Lacerda	Pontes e Lacerda
L7	14406	0,05	54	Federal	Pavimentada	Ribeirão Cascalheira	Ribeirão Cascalheira

Fonte: SisLog

Os dados indicam que os melhores trechos localizados se referem à rodovias classificadas como pavimentadas e duplicadas, de jurisdição federal. Assim, na figura 16, encontram-se visualizados todos os sete trechos. Da mesma forma que na figura 14, foram omitidas as zonas de tráfego e a rede de transportes, visando à sua despoluição. Encontram-se determinados nesta figura todos os caminhos mínimos gerados entre os centroides; os melhores *links*/trechos para a implementação do posto de pesquisa e; as descrições da rodovia a que pertence o trecho e, da quantidade de pares de origem e destino que foram contemplados.

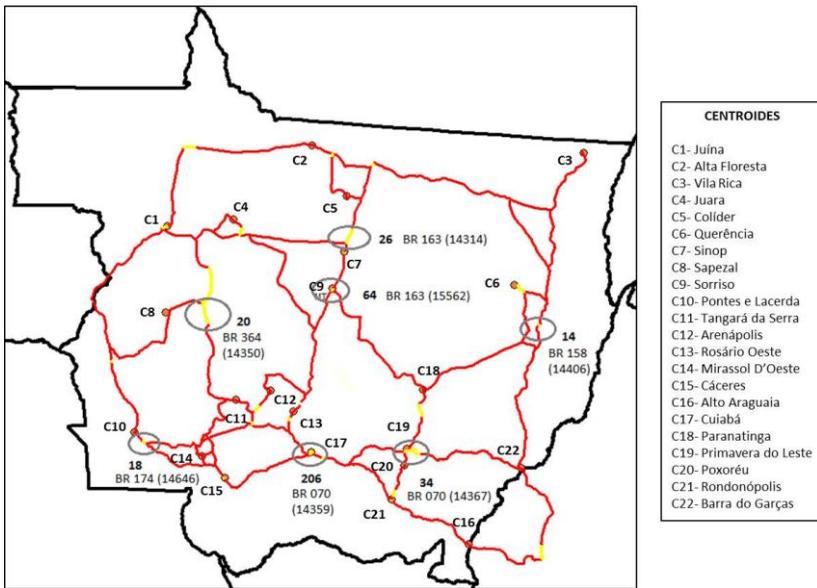


Figura 16: Localização dos *links*/trechos para as pesquisas – Nível de abrangência

Pelos resultados apresentados, em cada trecho deve ser construído o posto para as pesquisas de origem e destino.

A seguir, na tabela 13, utilizando-se a matriz de origem e destino, apresenta-se a localização dos 7 trechos, por par de origem e destino.

As células em branco referem-se aos pares de origem não contemplados nas pesquisas de campo e, posteriormente serão estimados via modelo gravitacional.

5.10. Realização das pesquisas de origem e destino

Após a localização dos melhores trechos para a realização das pesquisas de origem e destino é necessário que sejam escolhidos os locais exatos para a construção dos postos. Para a escolha, devem ser evitados o início e o fim de curvas dos respectivos trechos e localizá-los em pontos de fácil visualização pelos motoristas, de acordo com o BRASIL (2006).

Devido à dificuldade de obtenção dos dados para o preenchimento da matriz de origem e destino amostral, nesta etapa foi dado ênfase apenas ao método, deixando em segundo plano os dados a serem inseridos na matriz. Entretanto, a composição da matriz de origem e destino amostral foi realizada respeitando as potencialidades de produção e consumo de cada centroide e zona de tráfego.

Para facilitar os cálculos, as pesquisas foram supostamente realizadas em apenas um dia da semana (quarta-feira), pois representa um dia padrão médio de movimentação de caminhões para o transporte de grãos. Dessa forma foram realizadas as pesquisas, no dia 03 de abril de 2013, das 8:00 horas às 20:00 horas, perfazendo 12 horas de pesquisas, nos 7 (sete) trechos determinados pelo ALTP e pelo nível de abrangência.

Hipoteticamente, os dados coletados referiram-se à grãos, devido à sua representatividade no cenário estadual, nacional e mundial. A matriz foi composta somente por movimentações internas, excluindo-se os fluxos internos-externos, externos-internos, de passagem e dentro da própria zona de tráfego e centroide.

Dessa forma, pela tabela 14, encontra-se disposta a matriz de origem e destino amostral, com os respectivos fluxos entre os pares, supostamente pesquisados.

Tabela 14: Matriz de origem e destino amostral – Pesquisa realizada em 03/04/2013 (das 8:00 às 20:00) (Ton.)

	DESTINO														TOTAL									
	ZT1	ZT2	ZT3	ZT4	ZT5	ZT6	ZT7	ZT8	ZT9	ZT10	ZT11	ZT12	ZT13	ZT14	ZT15	ZT16	ZT17	ZT18	ZT19	ZT20	ZT21	ZT22	ORIGEM	
ZT1	129,0	488,4	216,5	119,4	349,3	0,0	0,0	0,0	0,0	216,4	274,7	265,3	266,8	388,7	399,7	3.083,1	4.938,1	0,0	0,0	0,0	3.048,9	220,2	13.745,5	
ZT2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,6	
ZT3	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	
ZT4	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	48,3
ZT5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,3
ZT6	34,1	0,0	33,0	0,0	23,2	0,0	0,0	0,0	0,0	38,5	39,2	38,5	39,6	40,0	40,8	401,9	306,2	0,0	0,0	0,0	566,0	60,0	2.157,8	
ZT7	0,0	23,2	16,1	0,0	46,7	0,0	0,0	0,0	15,7	16,9	17,3	18,1	16,1	16,5	122,1	339,9	0,0	0,0	0,0	0,0	183,0	13,7	813,6	
ZT8	0,0	46,7	36,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	58,9	54,2	52,7	56,9	54,2	59,7	56,9	384,2	1.030,6	0,0	0,0	0,0	524,6	63,6	2.474,2	
ZT9	0,0	80,1	54,9	0,0	80,1	0,0	0,0	0,0	58,9	64,4	65,5	67,5	60,8	62,0	68,4	1.235,5	0,0	0,0	0,0	0,0	718,4	52,2	3.082,7	
ZT10	0,0	4,3	4,1	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	4,8	4,4	4,5	4,2	33,3	35,7	0,0	0,0	0,0	20,4	4,6	110,0	
ZT11	5,5	4,7	5,1	5,1	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,1	102,0	0,0	0,0	0,0	58,5	4,3	233,1	
ZT12	4,0	4,0	0,0	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	4,7	0,0	0,0	0,0	4,3	4,0	37,3	
ZT13	4,0	4,2	4,3	4,5	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6	23,2	0,0	0,0	0,0	13,3	4,3	70,9	
ZT14	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	25,1	0,0	0,0	0,0	14,5	4,3	79,7	
ZT15	4,3	4,7	4,3	4,4	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,1	
ZT16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	4,7	4,3	4,7	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
ZT17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
ZT18	16,5	16,5	19,6	15,3	16,5	0,0	0,0	0,0	0,0	18,8	18,8	18,4	19,2	19,2	19,6	177,0	400,2	0,0	0,0	0,0	274,3	0,0	1.080,3	
ZT19	34,1	34,1	37,3	33,0	34,1	0,0	0,0	0,0	0,0	39,9	39,2	38,5	39,6	40,4	41,2	397,8	830,9	0,0	0,0	0,0	590,1	0,0	2.177,5	
ZT20	13,0	13,0	14,1	12,2	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,9	14,9	15,3	15,3	15,7	15,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,9	173,1	
ZT21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
ZT22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
TOTAL DESTINO	129,0	488,4	216,5	119,4	349,3	0,0	0,0	0,0	0,0	216,4	274,7	265,3	266,8	388,7	399,7	3.083,1	4.938,1	0,0	0,0	0,0	3.048,9	220,2	13.745,5	

Pela matriz, em um período de 12 horas, foram hipoteticamente pesquisados um montante de 12,7 mil toneladas de grãos, nos 7 (sete) postos construídos nos trechos localizados pelo nível de abrangência. A partir dos resultados pesquisados, a matriz deve ser expandida.

5.11. Expansão das pesquisas de origem e destino

Seguindo o MCMOD, inicialmente, deve-se explicitar que nos postos pesquisados houve caminhões que não foram entrevistados, devido à falta de tempo e, à falta de mão de obra suficiente para pesquisar todos eles que passam pelos postos, e, conseqüentemente, o conhecimento dos seus respectivos fluxos. Supostamente, em paralelo às pesquisas de origem e destino, foi realizada a contagem de caminhões em 12 horas, visando conhecer o percentual de veículos entrevistados.

Inicialmente, utilizou-se a tabela 15, visando a localização dos *links* entre os pares de origem e destino da matriz, sendo que cada link, foi representado por um posto. Dessa forma, replicou-se esta condição para todos os pares de origem e destino que o compõem. Assim, pela tabela 15, encontram-se dispostos os percentuais referentes aos 7 postos de pesquisas de origem e destino.

Tabela 15: Percentual de veículos entrevistados por posto de pesquisa

Posto	Percentual (%)	Fator de Expansão
P1	20,00	5,00
P2	18,00	5,56
P3	22,00	4,55
P4	28,00	3,57
P5	19,00	5,26
P6	23,00	4,35
P7	30,00	3,33

Para todos os fluxos referentes aos 7 (sete) postos de pesquisas, foi realizada a expansão, utilizando a equação (I.36), descrita no item 4.2.2.

Em seguida, a partir dos percentuais de fluxo diário, semanal e mensal/sazonal, pertencentes às contagens de tráfego realizadas em postos com características similares de fluxo, foram calculados os fatores de expansão. Para os cálculos utilizou-se as equações (I.2), (I.4) e (I.6), apresentadas no item 2.5 desta dissertação, que representam os coeficientes de expansão diário, semanal e mensal/sazonal, respectivamente.

Entretanto, os valores foram arbitrados, devido à falta de dados reais para a realização da expansão. A seguir apresenta-se a tabela 16, com os respectivos fatores.

Tabela 16: Fatores de expansão arbitrados para os 7 postos de pesquisa

Posto	Fator de Expansão			
	Diário	7 Dias	Semanal	Mensal
P1 (*)	1,25	3,33	3,50	7,35
P2	1,40	2,86	3,30	7,40
P3	1,65	5,00	3,00	7,00
P4	1,15	6,67	3,10	7,15
P5	1,20	1,42	3,40	7,50
P6	1,30	2,00	3,20	7,20
P7	1,50	8,33	3,60	7,60

A seguir, pelas tabelas 17, 18, 19 e 20, apresenta-se o exemplo dos cálculos realizados para o posto 1 (P1), demarcado com (*), na tabela 16.

Para os cálculos foi atribuído um posto B, com características similares às do P1, para que sejam realizados os cálculos dos fatores de expansão diário, semanal e mensal/sazonal. Dessa forma, para cada posto de pesquisa, necessita-se de um outro posto que tenha realizado as pesquisas durante todos os dias de um determinado ano. Ressalta-se que cada posto tem características distintas entre si, portanto, os fatores são diferenciados.

Tabela 17: Exemplo de cálculo do fator de expansão diário (%)

Fluxo Diário de Caminhões - Posto B (%)			
Faixa Horária	Fluxo	%	Caminhões entrevistados (%)
0-4	70	3,20	
4-8	250	11,42	
8-12 (*)	600	27,40	79,91
12-16 (*)	700	31,96	
16-20 (*)	450	20,55	
20-0	120	5,48	
TOTAL	2.190	100,00	-

Assim, utilizando-se a equação (I.2), demonstrada no item 2.5, encontra-se o fator de expansão diário.

$$f_{Pd} = \frac{100,00}{79,91} = 1,25 \quad (I.33)$$

Em seguida, foi estabelecida a representatividade da quarta-feira em relação aos outros dias da primeira semana do mês de abril de 2013. Os cálculos encontram-se dispostos pela tabela 18.

Tabela 18: Exemplo de cálculo dos fluxos da quarta-feira em relação aos da semana (%)

Posto B							
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo	Total
5,0	15,0	30,0 (*)	20,0	18,0	10,0	2,0	100,0

Para o posto B, o percentual da quarta-feira em relação à primeira semana do mês de abril de 2013 foi de 30%. Assim, o fator de expansão para os 7 dias da semana foi de 3,33. Os fluxos referentes ao P1 devem ser multiplicados pelo fator citado.

$$f_{7dias} = \frac{100,00}{30,00} = 3,33 \quad (I.34)$$

Tabela 19: Exemplo de cálculo do fator de expansão semanal (%)

Fluxo Semanal de Caminhões - Posto B (%)	
1ª Semana (*)	28,57
2ª Semana	25,00
3ª Semana	27,00
4ª Semana	19,43
TOTAL	100,00

Agora, utilizando-se a equação (I.4), demonstrada também pelo item 2.5, calculou-se o fator de expansão semanal.

$$f_{Ps} = \frac{100,00}{28,57} = 3,50 \quad (\text{I.35})$$

E, por fim, apresenta-se a tabela 20, com a exemplificação do cálculo realizado, relativo ao coeficiente de expansão mensal/sazonal.

Tabela 20: Exemplo do cálculo do fator de expansão mensal/sazonal (%)

Fluxo Sazonal de Caminhões - Posto B (%)	
Janeiro	0,99
Fevereiro	6,18
Março	18,66
Abril (*)	13,61
Maió	23,75
Junho	12,90
Julho	11,76
Agosto	4,73
Setembro	4,28
Outubro	1,33
Novembro	0,54
Dezembro	1,27
TOTAL	100,00

Por último, utilizando-se a equação (I.6), foi realizado o cálculo do fator de expansão mensal/sazonal.

$$f_a = \frac{100,00}{13,61} = 7,35 \quad (\text{I.36})$$

Os cálculos realizados devem ser replicados para os demais postos de pesquisa de origem e destino, contemplando cada posto, uma relação de pares de origem e destino contendo os fluxos pesquisados.

Com a aplicação dos fatores de expansão em todos os fluxos dos pares de origem e destino da matriz amostral, os resultados da matriz de origem e destino amostral expandida encontram-se visualizados na tabela 21.

Tabela 21: Matriz de origem e destino amostral expandida – Ano 2013 (Ton.)

	DESTINO																						TOTAL ORIGEM	
	ZT1	ZT2	ZT3	ZT4	ZT5	ZT6	ZT7	ZT8	ZT9	ZT10	ZT11	ZT12	ZT13	ZT14	ZT15	ZT16	ZT17	ZT18	ZT19	ZT20	ZT21	ZT22		
ZT1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11,587.3	
ZT2	2,324.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,302.2	2,516.4	0.0	0.0	0.0	2,302.2	0.0	7,120.8	
ZT3	0.0	2,610.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,462.8	2,141.6	2,141.6	2,141.6	2,141.6	2,141.6	2,141.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15,762.9	4,117.7	74,903.7
ZT4	2,438.8	0.0	2,438.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	914.8	914.8	914.8	914.8	914.8	914.8	2,462.8	3,572.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2,141.6	2,141.6	20,349.1
ZT5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,141.6	2,302.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2,141.6	0.0	6,885.4
ZT6	18,281.6	0.0	20,183.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20,931.1	21,013.3	20,593.1	21,223.5	21,433.6	21,853.9	384,857.0	690,659.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	445,883.2	57,903.1	1,703,664.6
ZT7	14,060.5	9,709.9	0.0	0.0	14,060.5	0.0	0.0	0.0	8,517.9	9,075.5	9,300.7	9,807.1	11,394.3	65,351.5	175,041.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100,653.9	7,354.7	466,866.6
ZT8	25,370.5	19,542.4	0.0	0.0	25,370.5	0.0	0.0	0.0	0.0	14,500.7	13,463.6	12,386.6	15,537.7	14,822.2	205,701.5	451,810.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	317,301.4	29,324.8	1,239,191.2
ZT9	48,616.0	33,863.9	0.0	0.0	48,616.0	0.0	0.0	0.0	31,979.7	34,964.4	35,694.0	36,670.0	80,881.0	82,446.4	246,486.4	661,499.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	380,341.4	27,947.7	1,749,416.6
ZT10	2,333.8	2,195.1	0.0	0.0	2,553.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1,763.2	1,280.2	1,146.0	1,172.0	1,093.9	7,144.5	19,121.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10,926.9	2,463.8	52,678.8
ZT11	1,286.6	2,558.4	2,786.5	1,166.8	2,558.4	0.0	0.0	0.0	1,333.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20,382.9	54,634.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31,939.9	2,311.5	120,238.6
ZT12	914.8	2,172.8	0.0	914.8	2,172.8	0.0	0.0	0.0	1,041.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,302.2	2,516.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2,302.2	2,141.6	0.0	16,484.7
ZT13	914.8	2,201.5	2,302.2	0.0	2,444.4	0.0	0.0	0.0	1,172.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4,623.9	12,397.9	0.0	0.0	0.0	0.0	7,144.5	2,302.2	0.0	35,882.5
ZT14	1,041.8	2,172.8	2,141.6	914.8	2,172.8	0.0	0.0	0.0	1,041.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,141.6	4,831.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2,731.7	2,141.6	0.0	21,332.7
ZT15	1,199.4	2,553.1	2,302.2	1,066.3	2,390.1	2,944.7	0.0	0.0	1,093.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5,903.2	13,483.5	0.0	0.0	0.0	0.0	7,774.9	2,302.2	0.0	39,034.4
ZT16	2,671.0	2,671.0	6,954.4	2,891.2	2,944.7	0.0	0.0	0.0	2,311.5	2,521.6	2,311.5	2,521.6	2,521.6	2,521.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32,394.6
ZT17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZT18	8,824.6	8,954.3	22,362.3	8,195.2	8,954.3	0.0	0.0	0.0	10,086.4	10,086.4	9,976.3	10,296.5	10,296.5	10,506.7	139,393.5	315,250.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	216,944.4	0.0	780,136.4
ZT19	18,281.6	18,281.6	42,935.6	17,020.8	18,281.6	0.0	0.0	0.0	20,893.2	21,013.3	20,593.1	21,223.5	21,643.7	22,094.0	289,604.6	654,314.8	0.0	0.0	0.0	0.0	448,160.8	0.0	0.0	1,634,322.3
ZT20	6,934.4	6,934.4	11,126.8	6,514.1	6,934.4	0.0	0.0	0.0	7,983.1	7,983.1	7,983.1	8,195.2	8,195.2	8,405.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13,200.3
ZT21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZT22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL DESTINO	62,989.5	141,397.5	159,697.8	61,253.3	141,882.5	0.0	0.0	0.0	110,423.1	115,625.0	113,366.2	125,665.1	186,078.5	188,686.4	1,837,483.3	5,175,306.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,992,728.7	149,341.8	8,137,866.0

Estimou-se que, em um ano, foram movimentados um total de 8,14 milhões de toneladas de grãos, na área de estudo.

5.12. Cálculo dos parâmetros do modelo gravitacional

Em virtude do desconhecimento dos fluxos referentes aos pares não contemplados nas pesquisas de origem e destino, visualizados pela tabela 21, deve-se utilizar o modelo gravitacional para estimá-los. Para tanto, foi necessário calcular os parâmetros autônomos da função deste modelo.

Assim, dentro das possibilidades descritas nesta dissertação, foi escolhido o método de Gonçalves (1992), pois os resultados alcançam o objetivo e com um maior grau de confiança. Para tanto, é necessário que sejam disponibilizados, para a realização dos cálculos, os dados de entrada exibidos na etapa E12, do MCMOD, sendo repetidos novamente a seguir.

- Matriz de origem e destino amostral expandida (tabela 21);
- Matriz de geração meta, onde se determina a restrição de capacidade das zonas de produção (P_i) e consumo (C_j) (tabela 22) e;
- Matriz impedância (tabela 23).

O primeiro item relacionado encontra-se definido pela tabela 21.

Para o conhecimento dos dados relativos à matriz geração meta, onde se definem os valores de P_i e C_j , foram estabelecidas algumas premissas. Tendo em vista que a produção de grãos do estado de Mato Grosso (MT), em 2012 foi de aproximadamente 31,5 milhões de toneladas, replicando-se esse valor para 2013; estimando-se que as exportações equivalem à 57% e; arbitrando-se uma movimentação de 13% de grãos, com destino à outros estados, encontra-se um montante de 9,5 milhões de toneladas de grãos dentro da área de estudo.

A seguir apresenta-se a tabela 22, com os dados relativos à, P_i e C_j , para cada zona de tráfego da área de estudo, levando-se em conta a potencialidade de produção e consumo de cada um. Ressalta-se que P_i e C_j , referem-se somente aos fluxos internos, excluindo-se os internos-externos, externos-internos, de passagem, intra-centroides e intra-zonais.

Tabela 22: Dados hipotéticos referentes à produção (P_i) e consumo (C_j) internos das zonas de tráfego – Ano 2013 (Ton.)

Zona de Tráfego	Produção (P_i)	Consumo (C_j)
ZT01	13.435,7	73.216,7
ZT02	8.278,2	164.378,6
ZT03	87.077,7	185.653,2
ZT04	23.656,4	71.208,7
ZT05	7.655,8	164.942,4
ZT06	1.980.558,4	0,0
ZT07	542.303,9	0,0
ZT08	1.440.594,9	0,0
ZT09	2.033.746,4	0,0
ZT10	61.240,6	128.375,7
ZT11	139.780,8	146.042,6
ZT12	19.163,9	143.346,9
ZT13	41.365,7	146.089,2
ZT14	24.801,0	216.321,6
ZT15	45.378,6	219.353,3
ZT16	37.659,7	1.619.969,1
ZT17	0,0	3.691.384,1
ZT18	917.393,5	0,0
ZT19	1.899.829,8	0,0
ZT20	116.817,0	0,0
ZT21	0,0	2.316.603,6
ZT22	19.762,1	173.614,1
TOTAL	9.460.500,0	9.460.500,0

Por fim, demonstra-se a matriz impedância, com as variáveis tempo de viagem entre os pares de origem e destino da matriz.

Tabela 23: Matriz impedância – Tempo (horas)

	DESTINO																						
	ZT01	ZT02	ZT03	ZT04	ZT05	ZT06	ZT07	ZT08	ZT09	ZT10	ZT11	ZT12	ZT13	ZT14	ZT15	ZT16	ZT17	ZT18	ZT19	ZT20	ZT21	ZT22	
ORIGEM	ZT01	0,00	18,98	44,53	8,43	20,06	39,40	17,91	13,20	19,40	15,30	14,85	16,92	18,49	18,44	19,42	26,92	19,29	26,16	23,56	23,93	23,20	28,69
	ZT02	18,98	0,00	28,65	16,71	2,99	29,70	5,89	24,11	7,39	22,79	16,41	15,15	12,78	19,85	18,50	22,72	15,09	21,74	19,36	19,73	18,99	24,49
	ZT03	44,53	28,65	0,00	38,19	25,80	15,67	27,37	41,23	28,87	37,40	33,53	33,64	31,40	34,46	33,11	27,61	29,09	24,88	24,82	25,58	27,02	19,90
	ZT04	8,43	16,71	38,19	0,00	13,71	39,23	11,56	14,44	13,06	22,82	16,09	18,15	18,27	22,62	22,91	28,15	20,52	27,39	24,79	25,16	24,43	29,93
	ZT05	20,06	2,99	25,80	13,71	0,00	26,85	2,90	21,12	4,39	19,80	13,42	12,16	9,78	16,86	15,51	19,72	12,09	18,75	16,36	16,73	16,00	21,49
	ZT06	39,40	29,70	15,67	39,23	26,85	0,00	28,42	32,25	27,81	28,42	24,55	24,66	22,42	25,48	24,13	18,63	20,11	15,64	15,84	16,60	18,04	10,92
	ZT07	17,91	5,89	27,37	11,56	2,90	28,42	0,00	18,22	1,49	16,90	10,52	9,26	6,88	13,96	12,61	16,82	9,20	15,85	13,46	13,83	13,10	18,60
	ZT08	13,20	24,11	41,23	14,44	21,12	32,25	18,22	0,00	16,73	8,38	7,70	9,76	11,34	11,52	12,50	19,77	12,14	19,00	16,41	16,78	16,04	21,54
	ZT09	19,40	7,39	28,87	13,06	4,39	27,81	1,49	16,73	0,00	15,41	9,02	7,77	5,39	12,46	11,11	15,33	7,70	14,36	11,97	12,34	11,61	17,10
	ZT10	15,30	22,79	37,40	22,82	19,80	28,42	16,90	8,38	15,41	0,00	9,93	10,15	10,02	3,31	4,29	15,94	8,31	15,17	12,58	12,95	12,21	17,71
	ZT11	14,85	16,41	33,53	16,09	13,42	24,55	10,52	7,70	9,02	9,93	0,00	2,06	3,63	7,04	7,33	12,07	4,44	11,30	8,71	9,08	8,34	13,84
	ZT12	16,92	15,15	33,64	18,15	12,16	24,66	9,26	9,76	7,71	10,15	2,06	0,00	3,75	7,15	7,45	12,18	4,55	11,41	8,82	9,19	8,46	13,95
	ZT13	18,49	12,78	31,40	18,27	9,78	22,42	6,88	11,34	5,39	10,02	3,63	3,75	0,00	7,07	5,73	9,94	2,31	9,18	6,58	6,95	6,22	11,71
	ZT14	18,44	19,85	34,46	22,62	16,86	25,48	13,96	11,52	12,46	3,31	7,04	7,15	7,07	0,00	1,35	13,00	5,37	12,23	9,63	10,00	9,27	14,77
	ZT15	19,42	18,50	33,11	22,91	15,51	24,13	12,61	12,50	11,11	4,29	7,33	7,45	5,73	1,35	0,00	11,65	4,02	10,88	8,29	8,66	7,92	13,42
	ZT16	26,92	22,72	27,61	28,15	19,72	18,63	16,82	19,77	15,33	15,94	12,07	12,18	9,94	13,00	11,65	0,00	7,63	8,64	6,04	5,28	3,84	7,71
	ZT17	19,29	15,09	29,09	20,52	12,09	20,11	9,20	12,14	7,70	8,31	4,44	4,55	2,31	5,37	4,02	7,63	0,00	6,86	4,27	4,64	3,91	9,40
	ZT18	16,16	21,74	24,88	27,39	18,75	15,64	15,85	19,00	14,36	15,17	11,30	11,41	9,18	12,23	10,88	8,64	6,86	0,00	2,60	3,36	4,80	7,73
	ZT19	23,56	19,36	24,82	24,79	16,36	15,84	13,46	16,41	11,97	12,58	8,71	8,82	6,58	9,63	8,29	6,04	4,27	2,60	0,00	0,76	2,20	5,13
	ZT20	23,93	19,73	25,58	25,16	16,73	16,60	13,63	16,78	12,34	12,95	9,08	9,19	6,95	10,00	8,66	5,28	4,64	3,36	0,76	0,00	1,44	5,89
	ZT21	23,20	18,99	27,02	24,43	16,00	18,04	13,10	16,04	11,61	12,21	8,34	8,46	6,22	9,27	7,92	3,84	3,91	4,80	2,20	1,44	0,00	7,33
	ZT22	28,69	24,49	19,90	29,93	21,49	10,92	18,60	21,54	17,10	17,71	13,84	13,95	11,71	14,77	13,42	7,71	9,40	7,73	5,13	5,89	7,33	0,00

O resultado da calibração do modelo determinou todos os parâmetros autônomos da função do modelo gravitacional, referentes aos pares de origem e destino da matriz, sendo visualizados na tabela 24. O percentual referente à diferença de custo das matrizes de origem e destino observada e modelada foi de 0,46, abaixo do percentual de 1%, pré-determinado.

Tabela 24: Parâmetros calculados pelo método de Gonçalves

	Parâmetros	
	Ai's	Bj's
ZT1	1,3902	0,000000221
ZT2	1,2360	0,000000188
ZT3	1,7704	0,000000236
ZT4	1,4361	0,000000211
ZT5	1,1238	0,000000171
ZT6	1,2987	0,000000298
ZT7	1,0058	0,000000175
ZT8	1,1131	0,000000243
ZT9	0,9664	0,000000222
ZT10	1,0100	0,000000176
ZT11	0,9000	0,000000157
ZT12	0,9024	0,000000155
ZT13	0,8458	0,000000148
ZT14	0,9338	0,000000166
ZT15	0,8985	0,000000162
ZT16	1,0936	0,000000165
ZT17	1,3472	0,000000146
ZT18	0,8901	0,000000171
ZT19	0,8198	0,000000185
ZT20	0,8166	0,000000148
ZT21	1,0877	0,000000149
ZT22	0,9592	0,000000156
β	0,032281791	

Visando exemplificar um resultado de fluxo do modelo, a partir dos valores definidos pelas tabelas 22, 23 e 24, foi utilizado como exemplo o par de origem e destino entre ZT9 (Alto Téles Pires) e ZT17 (Cuiabá). A demonstração do resultado da aplicação do modelo gravitacional, para encontrar o respectivo fluxo, encontra-se apresentada pelas equações (I.37) e (I.38).

$$T_{ZT9,ZT17} = A_{ZT9} * P_{ZT9} * B_{ZT17} * C_{ZT17} * e^{-\beta * d_{ZT9,ZT17}} \quad (I.37)$$

Onde:

$T_{ZT9,ZT17}$: Fluxo entre os pares de origem e destino ZT9 e ZT17;

A_{ZT9} : Fator de balanceamento do par de origem e destino ZT9;

P_{ZT9} : Produção do par de origem e destino ZT9;

B_{ZT17} : Fator de balanceamento do par de origem e destino ZT17;

C_{ZT17} : Consumo do par de origem e destino ZT17;

β : Parâmetro de impedância e;

$d_{ZT9,ZT17}$: Impedância (tempo) entre os pares de origem e destino ZT9 e ZT17.

Substituindo os itens da equação (I.38), pelos respectivos valores tem-se:

$$T_{ij} = 0,9664 * 2.033.746,4 * 0,000000146 * 3.691.384,1 * e^{-0,032281791 * 57,7} = 824.322,0 \quad (I.38)$$

Assim, o fluxo, devidamente calibrado, entre os pares ZT9 e ZT17 foi estimado em 824.322,0 toneladas. Replicou-se o procedimento para todos os fluxos entre os pares de origem e destino da matriz. Entretanto, foram validados os dados, utilizando a etapa E13, do MCMOD.

5.13. Validação dos parâmetros do modelo gravitacional

Para analisar a correlação da variável dependente (fluxos entre os pares de origem e destino) com as variáveis independentes (produção, consumo e tempo de viagem) e, a explicação da variância dos fluxos em relação às variáveis independentes foi utilizada a ferramenta de análise de dados, de um software disponível no mercado. A partir do coeficiente de correlação (r^2), pode-se avaliar se os dados têm validade estatística.

Os resultados desta análise encontram-se apresentados pela tabela 25.

Tabela 25: Resultado da análise dos dados das variáveis independentes (P_i , C_j e d_{ij}) e dependente (T_{ij}) observada na pesquisa de origem e destino hipotética

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,8447
R-Quadrado	0,7136
R-quadrado ajustado	0,7113
Erro padrão	2,5033
Observações	382

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	3	5.900,5971	1.966,8657	313,8618	3,1767E-102
Resíduo	378	2.368,7983	6,2667		
Total	381	8.269,3954			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-4,0714	0,6474	-6,2886	8,8548E-10	-5,3444	-2,7984	-5,3444	-2,7984
B	0,5559	0,0338	16,4400	3,3496E-46	0,4894	0,6224	0,4894	0,6224
C	0,5433	0,0216	25,1882	6,9877E-83	0,5009	0,5857	0,5009	0,5857
D	-0,6724	0,2095	-3,2094	0,0014	-1,0843	-0,2604	-1,0843	-0,2604

Fonte: Ferramenta de análise de dados da Microsoft.

Com relação ao coeficiente de correlação (r), o resultado indicou a existência de uma forte correlação entre as variáveis, portanto, pode-se afirmar que 84,47% das variações obtidas nos fluxos

entre os pares tiveram vinculação com as variações da produção, consumo e pelo tempo de viagem entre os pares e, o percentual restante de 15,53%, forneceu o seu grau de erro. Portanto, os resultados foram satisfatórios.

O resultado encontrado relativo ao coeficiente de determinação geral (r^2) indica que 71,13% das variações dos fluxos foram explicadas pelas variáveis: produção, consumo e tempo de viagem entre os pares e, 28,87%, não foram explicadas. Assim, concluiu-se que os resultados atingiram o objetivo de forma moderada.

Entretanto, ambos os indicadores não possibilitam concluir com certeza se os resultados da regressão linear múltipla encontram-se insatisfatórios. Caso eles estejam abaixo do esperado deve-se recorrer à estratificação dos fluxos em faixas de distância, visando atingir coeficientes melhores. Outra forma de ajuste dos resultados é verificar os valores referentes à expansão da matriz de origem e destino amostral. É possível que os dados encontrados pelo posto “B” não estejam contemplando as variações sazonais das movimentações realizadas na área de estudo, contaminando as amostras e refletindo negativamente na expansão da matriz de origem e destino amostral.

Para analisar a proximidade dos fluxos de cada par de origem e destino das matrizes observada e modelada, estes, frutos da realização da calibração da matriz observada e expandida, utilizou-se as equações (I.28) e (I.29), descritas no item 1.2.2, relativo à etapa E13. A seguir, pela tabela 26, apresentam-se os resultados dos cálculos realizados, referentes ao Índice de Dissimilaridade (ID) e Estatística Phi Normalizada (PHI-N).

Tabela 26: Resultados da validação das variáveis autônomas do modelo gravitacional

Indicadores	Resultados
Índice de Dissimilaridade (ID)	4,97
Estatística Phi – Normalizada (PHI-N)	0,11

Assim, para avaliar a calibração da matriz de origem e destino amostral expandida, concluiu-se que os resultados encontraram-se satisfatórios. Com relação ao primeiro indicador (ID), tendo em vista que os valores mais próximos de 100 representam os piores resultados, o valor de 4,97 indicou que existe uma paridade entre as matrizes de origem e destino, observada e modelada. E, com relação

ao PHI-N, valores mais próximos de zero, também determinaram que o modelo atingiu valores condizentes com o observado pelas pesquisas de origem e destino. Assim, o resultado de 0,11, também indicou a conformidade entre as matrizes. Por esses motivos, os dados observados nas pesquisas de campo e, a calibração realizada utilizando o método de Gonçalves (1992), encontraram-se aptos para a determinação da matriz de origem e destino completa.

5.14. Determinação da matriz de origem e destino completa

A última etapa do método é a obtenção da matriz de origem e destino completa, com as estimativas dos pares de origem e destino não contemplados pelas pesquisas de campo. Para tanto, utilizou-se a função do modelo gravitacional, contando com os parâmetros autônomos da função validados e, os dados referentes à P_i , C_j e d_{ij} , dos pares onde supostamente não foram realizadas as pesquisas de origem e destino.

O resultado final encontra-se visualizado pela tabela

27.

Tabela 27: Matriz de origem e destino completa – Ano: 2013 (Ton.)

	DESTINO																					TOTAL ORIGEM	
	ZT1	ZT2	ZT3	ZT4	ZT5	ZT6	ZT7	ZT8	ZT9	ZT10	ZT11	ZT12	ZT13	ZT14	ZT15	ZT16	ZT17	ZT18	ZT19	ZT20	ZT21		ZT22
ZT1	897	592,5	418,8	72,9	241,8	164,1	83,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZT2	173,1	1.892,6	675,9	1.892,1	1.892,1	1.044,1	1.983,3	1.596,7	1.299,7	1.820,8	1.880,6	16.892,2	32.413,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22.311,4	2.197,2
ZT3	313,3	194,7	214,0	275,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	258,2	266,4	240,4	222,4	370,0	354,5	2.092,9	5.389,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3.044,5	206,5
ZT4	418,8	613,2	613,2	616,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	368,4	463,7	420,3	407,3	588,0	576,0	3.683,3	9.419,8	0,0	0,0	0,0	0,0	5.321,7	350,3
ZT5	72,9	241,8	164,1	83,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	102,8	128,0	129,1	133,7	179,4	185,2	1.216,2	3.313,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1.769,2	116,5
ZT6	11.667,1	30.526,3	68.660,4	10.965,4	30.518,9	0,0	0,0	0,0	0,0	21.280,1	26.719,2	25.790,3	26.973,0	40.973,3	41.930,9	376.641,7	722.716,7	0,0	0,0	0,0	0,0	495.214,2	48.989,9
ZT7	4.951,2	13.962,1	9.893,0	5.649,8	14.021,9	0,0	0,0	0,0	0,0	7.160,7	8.912,2	8.991,3	9.446,3	12.887,3	12.897,5	84.677,5	217.965,7	0,0	0,0	0,0	0,0	115.179,6	8.107,7
ZT8	16.944,7	21.792,8	18.591,0	15.133,7	22.890,6	0,0	0,0	0,0	0,0	27.713,7	28.693,3	26.007,8	24.044,9	39.716,1	38.043,5	226.307,6	582.719,0	0,0	0,0	0,0	0,0	329.313,6	21.675,5
ZT9	17.002,1	47.929,1	33.960,7	19.394,7	48.150,1	0,0	0,0	0,0	0,0	27.022,3	35.705,0	33.993,3	35.713,3	47.225,6	48.777,0	320.137,7	824.322,0	0,0	0,0	0,0	0,0	465.701,0	30.662,5
ZT10	610,8	917,5	811,5	445,4	921,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1.030,0	990,7	967,9	1.996,9	1.931,1	8.878,3	25.458,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14.374,7	946,1
ZT11	1.360,5	2.202,0	1.870,2	1.123,8	2.102,8	0,0	0,0	0,0	0,0	2.068,3	2.616,4	2.419,7	3.000,9	3.527,4	21.766,2	58.420,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33.128,5	2.180,5
ZT12	162,1	328,3	256,2	144,8	329,7	0,0	0,0	0,0	0,0	282,3	371,3	331,3	493,2	483,0	3.118,2	8.029,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4.536,0	298,7
ZT13	311,7	716,9	577,3	291,8	720,2	0,0	0,0	0,0	0,0	573,5	714,0	688,9	1.000,4	1.032,9	6.781,6	17.462,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9.865,1	649,5
ZT14	206,6	377,7	394,1	167,8	379,3	0,0	0,0	0,0	0,0	471,4	423,4	408,6	393,6	707,6	4.096,8	10.471,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5.917,9	389,5
ZT15	352,5	644,6	614,4	292,8	697,6	0,0	0,0	0,0	0,0	894,2	738,4	712,5	733,8	1.402,3	747,9	19.257,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10.833,2	716,3
ZT16	279,5	612,3	741,2	249,7	615,1	0,0	0,0	0,0	0,0	557,7	640,1	617,8	646,1	972,5	1.004,4	17.312,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12.540,7	870,0
ZT17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZT18	5.079,9	12.590,1	16.049,3	5.073,6	12.583,8	0,0	0,0	0,0	0,0	11.335,2	13.009,8	12.937,4	13.129,1	19.967,1	20.416,4	165.703,9	351.895,2	0,0	0,0	0,0	0,0	241.088,2	17.239,0
ZT19	11.780,7	25.899,1	30.672,4	10.572,0	25.928,1	0,0	0,0	0,0	0,0	23.506,7	26.979,4	26.941,3	27.235,6	41.065,7	42.339,1	342.429,9	729.752,7	0,0	0,0	0,0	0,0	500.062,6	35.761,5
ZT20	712,9	1.561,0	1.833,0	636,9	1.560,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1.422,6	1.621,7	1.576,0	1.648,2	2.481,6	2.562,3	21.929,9	44.162,9	0,0	0,0	0,0	0,0	31.386,9	2.137,1
ZT21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZT22	121,5	266,2	417,5	108,5	267,4	0,0	0,0	0,0	0,0	242,4	278,2	268,6	280,9	422,7	456,6	3.948,7	7.525,8	0,0	0,0	0,0	0,0	5.157,0	19.762,1
TOTAL DESTINO	73.216,7	164.376,0	185.653,2	71.206,7	164.942,4	0,0	0,0	0,0	0,0	128.375,7	146.042,6	143.346,9	146.089,2	216.321,6	219.353,3	1.619.989,1	3.691.384,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1.231.616,0	173.614,1
TOTAL ORIGEM	13.455,7	13.455,7	13.455,7	13.455,7	13.455,7	0,0	0,0	0,0	0,0	13.455,7	13.455,7	13.455,7	13.455,7	13.455,7	13.455,7	13.455,7	13.455,7	0,0	0,0	0,0	0,0	13.455,7	13.455,7

Assim, concluiu-se a descrição do MCMOD apresentado nesta dissertação. A matriz, definida pela tabela 27, estimou que na área de estudo, existiu uma movimentação interna de aproximadamente 9,5 milhões de toneladas de grãos, sendo pouco mais de 450 mil toneladas foram estimados, utilizando o modelo gravitacional.

Pela tabela 27, conclui-se também que existiu intensa movimentação entre as zonas de tráfego de origem, ZT06 (Canarana), ZT07 (Sinop), ZT08 (Parecis), ZT09 (Alto Téles Pires), ZT18 (Paranatinga) e ZT19 (Primavera do Leste), e de destino ZT16 (Alto Araguaia), ZT17 (Cuiabá) e ZT21 (Rondonópolis). As zonas de tráfego de origem relacionadas referem-se a grandes centros de produção de grãos e; as de destino, relacionados com consumo, distribuição, armazenamento e com indústrias de beneficiamento.

Como representa uma ferramenta importante ao planejamento de transporte, ela pode ser utilizada para a tomada de decisões. Podem ser realizadas simulações a partir da criação de cenários, para diversos horizontes, onde são apropriados investimentos para a melhoria da rede de transportes com as estimativas do aumento da produção e do consumo, nos centroides da área de estudo. A partir de alterações na impedância entre os pares de origem e destino é possível analisar, como os fluxos entre eles reagem com os melhoramentos realizados na rede viária. Assim, são encontrados os efeitos e as possíveis consequências da realização dos investimentos na rede viária da área de estudo.

6. CONCLUSÕES

A partir da aplicação do ALTP foi possível determinar e localizar os melhores trechos para a realização das pesquisas de origem e destino. Entretanto, não foi contemplada no estudo, a localização exata dos postos, pois seria necessário que cada trecho fosse percorrido fisicamente para, posteriormente, ser tomada a decisão do melhor local.

Merece destaque que, de um total de 1.335 *links*/trechos passíveis de receberem as pesquisas, com a alocação da matriz de origem e destino unitária, a quantidade de *links* se reduz para 768. E, com a aplicação do ALTP, o número cai para apenas 26 *links*/trechos. E, por fim, com a aplicação do nível de abrangência, restam apenas 7 *links*/trechos para a construção dos postos de pesquisas. Esta grande redução da quantidade de *links* representa a diminuição do tempo de realização das pesquisas e dos gastos com a construção dos postos para a obtenção da matriz de origem e destino completa.

Em decorrência de limitações financeiras e da escassez de tempo, não foi possível a realização das pesquisas de campo, nos trechos determinados nesta dissertação. Caso as pesquisas fossem efetivadas, seria necessário o aporte de recursos financeiros e humanos para a construção dos postos de pesquisas visando à obtenção da matriz de origem e destino amostral. Consequentemente, adotando-se todas as etapas do MCMOD, proposto nesta dissertação, pode-se obter a matriz de origem e destino completa.

Entretanto, pela falta de tempo e indisponibilidade de orçamento para a realização das pesquisas, foram criados dados hipotéticos para a construção da matriz de origem e destino amostral. Contudo, buscou-se condicioná-la, respeitando as potencialidades de produção e consumo das zonas de tráfego pertencentes à área de estudo.

Para a expansão da matriz amostral, deve-se levar em consideração que, pode não representar, fielmente, a sazonalidade da área de estudo, gerando possíveis inconsistências em seus resultados. Contudo, é a técnica que vem sendo utilizada pelos pesquisadores da área, com o objetivo de redução dos gastos e ganho de tempo.

Com relação às estimativas dos fluxos entre os pares de origem e destino, que não foram contemplados nas pesquisas hipotéticas, o modelo gravitacional cumpriu o objetivo da etapa. Poderia ser adotado o método por ajustamento direto, pela simplicidade dos cálculos. Entretanto, devido ao risco elevado dos valores tornarem-se

inconsistentes, foi utilizado o modelo descrito por Gonçalves (1992). O somatório de todos os fluxos, via regressão linear múltipla, atingiu valores abaixo do valor referente à matriz geração meta, descrita no subitem 5.12, onde foram estipuladas as restrições para a produção (P_i) e consumo (C_j). Contudo, é possível implementar na equação gravitacional obtida utilizando o método de ajustamento direto, funções que contemplam as restrições na produção e no consumo, denominados equações de injunção.

Mesmo com a elevada complexidade na realização dos cálculos, a utilização do método de Gonçalves (1992), foi determinante para que atingissem bons resultados, a partir das restrições de capacidade de fluxo entre as zonas de tráfego, no que tange a produção e o consumo. Esse método proporcionou um refinamento de detalhes e facilita a simulação da melhoria da infraestrutura de determinada região, e possibilita a realização de projeção da oferta e demanda, para horizontes em curto, médio e longo prazos.

Tendo em vista todas as etapas do método, descritas pela presente dissertação, o *Geographic Information System* (GIS), denominado SisLog, foi escolhido e utilizado, possibilitando que fossem gerados, o relatório dos caminhos mínimos, resultado da alocação da matriz de origem e destino unitária, entre os pares de origem e destino e; visualizada a área de estudo, com as respectivas zonas de tráfego, centroides e rede de transportes. Contudo, poderia ser utilizado qualquer outro GIS para a efetivação do método.

Uma das grandes dificuldades encontradas na aplicação do MCMOD foi a montagem da matriz de origem e destino amostral, sem a realização das pesquisas de campo. Buscou-se em todo o momento, dar coerência aos fluxos entre os pares de origem e destino, sendo necessário algum tempo para encontrar os melhores dados, visando tornar o estudo de caso, o mais próximo da realidade.

Contudo, amenizando este fato, a obtenção dos dados não representa o foco principal da dissertação. O ponto fundamental é o desenvolvimento do MCMOD, capaz de orientar o planejador a atingir o objetivo geral do estudo, ou seja, a construção da matriz de origem e destino completa, a partir de pesquisas de origem e destino, utilizando-se uma pequena amostragem de dados.

Assim, o MCMOD, com a utilização do ALTP, possibilitou a sistematização do procedimento para a construção de matrizes de origem e destino, com reduzidos esforços. É claro que os dados podem não representar a realidade. Entretanto, a dúvida, é inerente a qualquer planejamento, devendo ser absorvido de alguma

forma. O interessante é que seja realizado o planejamento visando ao melhoramento da infraestrutura. Este planejamento deve ser realizado, a partir de simulações que contemplem o crescente aumento da produção e do consumo das regiões brasileiras, juntamente com o possível melhoramento da rede viária.

7 RECOMENDAÇÕES

Deve-se levar em consideração que, foram utilizadas, na determinação dos trechos para a realização da pesquisa de campo, a partir da rede de transportes definida no estudo, apenas uma, das quatro regras descritas por Yang e Zhou (1998):

- Regra de cobertura dos pares de origem e destino da matriz.

Este item, busca a menor quantidade de trechos da rede de transportes, visando observar o maior número de pares de origem e destino. Entretanto, não são considerados os fluxos entre eles.

Para outro momento, poderia ser desenvolvido um estudo que possibilitasse alcançar as outras três regras:

- Regra de fração máxima de fluxos entre os pares de origem e destino;
- Regra máxima de interceptação dos fluxos e;
- Regra de *links* independentes.

A primeira regra relaciona em conjunto as máximas quantidades de pares de origem e destino e de fluxos entre eles, ao mesmo tempo. Ressaltando-se que, a maior quantidade de pares, pode não representar a maior quantidade de fluxos entre os trechos da rede de transportes, na área de estudo. Com relação ao segundo item, ele determina apenas a maior quantidade de fluxo entre os centroides. E, o último, recomenda que os postos sejam distribuídos em todas as partes da área de estudo, podendo captar todas as possíveis movimentações de mercadorias.

Finalizando, este estudo foi direcionado para a movimentação de cargas. Entretanto, é possível realizar estudos relacionados com o fluxo de passageiros, devendo ser providenciadas possíveis e, supostamente necessárias, adaptações na concepção e estruturação do trabalho, que venha a ser realizado, como por exemplo a forma de realização do levantamento de dados: de pesquisas nas rodovias, como definido nesta dissertação; para, pesquisas domiciliares, com o intuito de se conhecer a origem e o destino das viagens realizadas pela população, juntamente com o motivo da viagem, o modo de

transporte utilizado, dentre outras informações pertinentes ao estudo da matriz de origem e destino completa relativo ao transporte de passageiros.

Também merece consideração, que o MCMOD pode ser utilizado para simulações que contemplam a intermodalidade entre os modais rodoviário, ferroviário, hidroviário e até mesmo dutoviário, proporcionando uma variedade de situações, visando a melhoria do transporte em regiões com problemas de fluidez no transporte de cargas, causados pelos congestionamentos em corredores estratégicos de escoamento da produção.

REFERÊNCIAS

ABRAHAMSSON, T. Estimation of Origin-Destination Matrices Using Traffic Counts – A Literature Survey. International Institute for Applied Systems Analysis, 1998.

AZEVEDO, A. F. Z.; PORTUGAL, M. S.; NETO, P. C. F. de B.. Impactos Comerciais da Área de Livre Comércio das Américas: Uma Aplicação do Modelo Gravitacional. Revista Economia Contemporânea, Rio de Janeiro. Vol 10, Nº 2, P. 237-267 – Maio/Agosto, 2006.

BERA, S.; RAO, K. U. K. Estimation of Origin-Destination Matrix From Traffic Counts: The State of the Art. European Transport, N. 49, 3-23, 2011.

BERMAN, O.; KRASS, D. and XU, C.W. Locating Discretionary Service Facilities Base on Probabilistic Customer Flows. Transportation Science 29, 276-290, 1995.

BEZ, E. T. Um Estudo sobre os Procedimentos de Calibração de Alguns Modelos de Distribuição de Viagens. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

BIANCO, L.; COFESSORE, G. And REVERBERI, P. A Network Based Model for Traffic Sensor Location with Implications on OD Matrix Estimates. Transportation Science, Vol. 35, no 01, 50-60, 2001.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Plano de Outorgas – Projeto da Rede Nacional de Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros – ProPass Brasil – Serviços Operados com Ônibus do Tipo Rodoviário – Licitação de Serviço de Transporte Rodoviário Interestadual de Passageiros, 2012.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Sistema de Logística – SisLog. Convênio entre ANTT e Laboratório de Transportes vinculado à Universidade Federal de Santa Catarina – LabTrans/UFSC, 2011.

BRASIL. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Corredor Bioceânico Ferroviário – Pesquisas e Estudos Técnicos Destinados a Avaliação Técnica, Econômico-Financeira e Jurídico-Regulatória de Soluções Destinadas a Viabilizar o Sistema Logístico Ferroviário de Carga entre os Portos no Sul/Sudeste do Brasil e os Portos do Chile, 2011.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Estudo de Tráfego. Diretoria de Planejamento e Pesquisa – Coordenação-Geral de Estudos e Pesquisas – Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 384 p., Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Sistema SIDRA. Consulta realizada no site: www.sidra.ibge.gov.br.

CALIPER. TransCAD Transportation GIS Software. User's Guide. Version 4.5. Caliper Corporation, Newton, USA, 1996.

CALIXTO, I. C. A. C. Proposta de um Método de Estimação de OD Baseado em Programação Linear Fuzzy para Redes Viárias Brasileiras Congestionadas. Dissertação (Mestrado em Computação) – Programa de Pós-Graduação do Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

CAMPOS, V. B. G. Planejamento de Transporte: Conceitos e Modelos de Análise, 2007. Em: <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/vania/apostilas/Plan2007.pdf>

CARVALHO, H. M. Introdução à Teoria do Planejamento. São Paulo: Brasiliense, 1976.

CASCETTA, E. Estimation of Trip Matrices From Traffic Counts And Survey Data: A Generalized Least Squares Estimator. Institute of Transportation. Naples University. Transport Res. – B Vol. 18B, N. 415, pp. 259-299, Italy, 1989.

CHEN, A.; PRAVINVONGVUTH, S.; CHOOTINAN, P.; LEE, M.; RECKER, W. Strategies for Selecting Additional Traffic Counts for Improving O-D Trip Table Estimation. Transportmetrica, Vol. 3, 191-211, 2007.

CHIAVENATO, I. Teoria Geral da Administração. vol I. 5ª Ed. Atual. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

CHOOTINAN, P.; Yang, C. and CHEN, A. Traffic Counting Location Planning Using Genetic Algorithms. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 5, 2003.

EDARA, P.; ASCE, B. S. M.; GUO, J.; BABICEANU, S. And MACGHEE, Catherine. Methodology to Identify Optimal Placement of Point Detectors for Travel Time Estimation. *Journal of Transportation Engineering*, 137, 155-177, 2011.

EHLERT, A., BELL, M. and GROSSO, S. The Optimization of Traffic Count Location em Road Network. *Transp. Res. Part B (Methodological)* 40, 460-479, 2006.

FERRARI, M. e CECHINEL, C. *Introdução a Algoritmos e Programação*. São Paulo, 2010.

FERREIRA, M. L. A modelagem matemática como ferramenta no ensino e aprendizagem dos conceitos matemáticos destinados à formação técnica/tecnológica. *Dissertação (Mestrado em Gestão e desenvolvimento da formação tecnológica)*. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2009.

FERRUZZI, E. C.; GONÇALVES, M. B.; HRUSCHKA, J.; ALMEIDA, L. M. W de. *Modelagem Matemática como Estratégia de Ensino e Aprendizagem nos Cursos Superiores de Tecnologia*. World Congress on Engineering and Technology Education. WCETE, São Paulo, 2004.

GERMANI, E.; NETO, F. M.; SCATENA, J. C.; KAYAL, M.; BELDA, R.; SANTOS, S. *Apostila de Orientação no Curso PTR-526*, 1985.

GOLDNER, L. G. *Engenharia de Táfego – Módulo 1*. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2011.

GONÇALVES, L. V. *Um Estudo sobre os Processos de Decisão de Markov Parcialmente Observáveis Aplicados à Trocas Sociais em Sistemas Multiagentes Baseados em Personalidades*. *Dissertação (Mestrado em Informática) – Programa de Pós-Graduação em Informática*, Universidade Católica de Pelotas, 2007.

GONÇALVES, M. B. *Desenvolvimento e Teste de um Novo Modelo Gravitacional – de Oportunidades para Distribuição de Viagens*. *Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção*, UFSC, Florianópolis, 1992.

GUERRA, H. O. Análise para o Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Banco de Dados Geográficos de Infraestrutura de Transportes. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UNB, Brasília, 2007.

HILLIER, A. Manual for Working with ArcGIS 10. University of Pennsylvania, 2011.

HODGSON, M. J. A Flow-Capturing Location-Allocation Model. *Geographical Analysis* 22, 271-279, 1990.

HUTCHINSON, B. G. Princípios de Planejamento dos Sistemas de Transporte Urbano. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1979.

JORGE, C. de A. e CASTILHO, M. Impacto da Integração Regional sobre os Fluxos Mundiais de Investimento Direto Estrangeiro. *Economia e Sociedade*, Campinas. Vol. 20, N° 2, P. 365-395 – Agosto, 2011.

LAM, W. H. K. and LO, H. P. Accuracy of OD Estimates from Traffic Counting Stations. *Traffic Engineering and Control*, Vol. 31, 358-367, 1990.

LEUSIN JR, S.; AZEVEDO, A. F. Z. O Efeito Fronteira das Regiões Brasileiras: Uma Aplicação do Modelo Gravitacional. *Revista Economia Contemporânea*, Rio de Janeiro. Vol. 13, N° 2, P. 229-258 – Maio/Agosto, 2009.

LOUREIRO, C. F. G.; MATO, A. R. P.; BERTONCINI, B. V. Abordagem Bayesiana na Estimção de Matrizes de Origem e Destino Sintéticas em Redes de Transportes. XXV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. ANPET, Belo Horizonte, 2011.

MATA, D.; FREITAS, R. E. Produtos Agropecuários: Para quem Exportar? *RER*, Piracicaba. Vol. 46, N° 2, P. 257-290 – Abril/Junho, 2008.

MATUS, C. Política, Planejamento e Governo. Brasília: IPEA, 1993.

MAXIMIANO, A. C. A. Introdução à Administração. 6ª Ed. rev. ampl. São Paulo: Atlas, 2004.

MCNALLY, M. G. The Four Step Model. Department of Civil and Environmental Engineering and Institute of Transportation Studies. University of California, Irvine, 2007.

- MELO, J. C. Planejamento de transportes. São Paulo: Mcgraw-Hill do Brasil, 1975.
- MUNEM, M. A.; FOULIS, D. J. Cálculo, Rio de Janeiro. Vol 1, 1982.
- NOVAES, A. G. Modelos em Planejamento Urbano, Regional e de Transportes. São Paulo: Edgard Blücher, 1982.
- ORTÚZAR, J. de D. e WILLUMSEN, L. G. Modelling Transport. 2^a Ed. New York: John Wiley e Sons Ltd., 1990.
- PACHECO, M. A. C. Algoritmos Genéticos: Princípios e Aplicações. Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada – ICA. Departamento de Engenharia Elétrica/Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1999.
- PINTO, A. B.; CYBIS, H. C. B.; ARAÚJO, D. R. C. de; LINDAU, L. A. Utilização de um SIG como Plataforma para Aplicação do Modelo Saturn. Anais do XII Congresso da Associação Nacional de Pesquisas e Ensino em Transporte – ANPET. Brasília, 1998.
- POISTER, T. H. The Future of Strategic Planning in the Public Sector: Linking Strategic Management and Performance. Georgia State University. Public Administration Review – Special Issue. December, 2010.
- REIS, I. A. O Estado da Arte da Integração ente Sistemas de Informações Geográficas e Modelos Inferenciais Bayesianos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos, 2005.
- SALLES, T. T.; SILVA, M. L.; SOARES, N. S.; MORAES, Â. C. de. Exportação Brasileira de Papel e Celulose: Sua Dinâmica pela Equação Gravitacional. Revista Árvore, Viçosa. Vol. 35, P. 573-580, 2011.
- SANTOS, G. E. de O. Modelo Gravitacional do Turismo – Proposta Teórica e Estudo Empírico dos Fluxos Turísticos no Brasil. Dissertação (Mestrado em Ciência da Comunicação). Programa de Mestrado da Escola de Comunicação e Artes da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- SENGEL, P. M. A Quinta Disciplina – Arte e Prática da Organização de Aprendizagem. 12^a Ed. rev. e ampl. São Paulo: Nova Cultura, Best Seler, 2002.

SOUZA, D. D. de M. R. Estimação Sintética de Matrizes Origem/Destino a partir de Contagens Volumétricas em Áreas com Controle do Tráfego em Tempo Real com o Auxílio do Queensod. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

SOUZA, M. J. P. de; BURNQUIST, H. L. Facilitação de Comércio e Impactos sobre o Comércio Bilateral. Estudos Econômicos, São Paulo. Vol. 41, Nº 1, P. 91-118 – Janeiro/Março, 2011.

TAMIN, O. Z.; SUYUTI, R. The Impact of Location and Number of Traffic Counts in the Accuracy of O-D Matrices Estimated from Traffic Counts Under Equilibrium Condition: A Case Study in Bandung – Indonésia. Journal of the Eastern Ásia Society for Transportation Studies. Vol. 5, 2003.

TEDESCO, G. M. I. Metodologia para Elaboração do Diagnóstico de um Sistema de Transportes. Dissertação (Mestrado em Transportes). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2008

VALENTE, A. M.. Contribuição à Resolução Numérica do Problema de Distribuição de Viagem. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1983.

WIGMANN, F.; EVERETT, J. Minimum Travel Demand Model Calibration and Validation – Guidelines for State of Tennessee. The University of Tennessee – Center for Transportation Research. Knoxville, Tennessee, 2004.

WILLUMSEN, L. G. Estimation of an O-D Matrix From Traffic Counts – A Review. Institute of Transport Studies. Working Paper 99. University of Leeds, England, 1978.

WILLUMSEN, L. G; TAMIN, O. Z.. Transport Demand Model Estimation From Traffic Counts. Transportation 16, 3-26, 1989.

YANG, H. and ZHOU, J. Optimal Traffic Counting Locations for Origin-Destination Matrix Estimation. Transporting Research Part B, Vol. 32, No 2, 109,126, 1998.

YANG, H.; IIDA, Y. and SASAKI, T. An Analysis of the Reliability of an Origin-Destination Trip Matrix Estimated from Traffic Counting Station. *Transportation Research Part B*, Vol. 25, n° 5, 351-363, 1991.

YANG, H., YANG, C.; GAN, L. Model and Algorithms for the Screen Line-Based Traffic-Counting Location Problems. *Computer e Operations Research* 33, 836-858, 2006.

ZHANG, D. A Genetic Algorithm for the Sensor Location Problem. Thesis (Doctorated in Engineerin Industrial). Faculty of the University of Louisville – Department of Industrial Engineering – Kentucky – USA, 2011.