

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

**PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

**VOLUME HORÁRIO DE PROJETO PARA AS RODOVIAS  
ESTADUAIS DO CEARÁ: ANÁLISE E CONTRIBUIÇÃO**

**Marcos José Timbó Lima Gomes**

**Dissertação submetida ao Programa de  
Mestrado em Engenharia de Transportes  
da Universidade Federal do Ceará, como  
parte dos requisitos para a obtenção do  
título de Mestre em Ciências (M. Sc.) em  
Engenharia de Transportes**

**ORIENTADORA: Prof<sup>a</sup> . Dr<sup>a</sup> . Maria Elisabeth Pinheiro Moreira**

**Fortaleza**

**2004**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**GOMES, MARCOS JOSÉ TIMBÓ LIMA**

Volume Horário de Projeto para as Rodovias Estaduais do Ceará: Análise e Contribuição, 2004.

148 fl., Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

- |                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| 1. Transportes – Dissertação | 2. Volume Horário de Projeto |
| 3. Volume da trigésima hora  | 4. Custos de transporte      |

CDD 388

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

GOMES, M. J. T. L. (2004). Volume Horário de Projeto para as Rodovias Estaduais do Ceará: Análise e Contribuição. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia do Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 148 fl.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Marcos José Timbó Lima Gomes

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Volume Horário de Projeto para as Rodovias Estaduais do Ceará: Análise e Contribuição  
Fortaleza - Mestre / 2004

É concedida à Universidade Federal do Ceará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Marcos José Timbó Lima Gomes  
Rua Marechal Deodoro, 1301  
60021-061 – Fortaleza/CE – Brasil

VOLUME HORÁRIO DE PROJETO PARA AS RODOVIAS ESTADUAIS DO  
CEARÁ : ANÁLISE E CONTRIBUIÇÃO

Marcos José Timbó Lima Gomes

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE  
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES DA UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À  
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE  
TRANSPORTES.

Aprovada por:

---

Profª. Maria Elisabeth Pinheiro Moreira, D. Sc.  
(Orientadora)

---

Prof. Carlos Felipe Grangeiro Loureiro, Ph.D.  
(Examinador Interno)

---

Prof. Sergio Henrique Demarchi, D. Sc.  
(Examinador Externo)

FORTALEZA, CE – BRASIL

DEZEMBRO DE 2004

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e irmãos por sempre depositarem confiança nos meus projetos.

Sinceros agradecimentos a minha Professora Orientadora, Maria Elisabeth, por sua orientação, sabedoria, amizade, empenho e apoio dado no desenvolvimento e conclusão desta pesquisa.

Ao Professor Felipe Loureiro, pela atenção, paciência e a inestimável contribuição com sugestões/críticas que enriqueceram meu trabalho, além da confiança depositada em mim como profissional.

Ao Professor Sérgio Demarchi por ter aceitado o convite para compor a banca examinadora e contribuído com valiosas considerações para a finalização desta pesquisa.

Ao amigo e companheiro Marcus Vinícius Teixeira pelos conselhos e palavras de incentivos nos momentos de angústia e preocupação.

A minha namorada Fabiana Marques pelo carinho, amizade e apoio constante.

Ao Professor Mário Ângelo e ao amigo Manoel Mendonça pela ajuda na obtenção do material bibliográfico deste trabalho.

Ao Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes pela concessão dos dados e informações necessários à pesquisa.

Agradeço a Deus por ter colocado em meu caminho todos às pessoas que deram atenção e auxílio para a conclusão do curso, em especial meus colegas de mestrado, funcionários e professores do DET/PETTRAN, colegas de trabalho do CTAFOR e do DERT.

Resumo da Dissertação submetida ao PETRAN/UFC como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências (M.Sc.) em Engenharia de Transportes.

VOLUME HORÁRIO DE PROJETO PARA AS RODOVIAS ESTADUAIS DO  
CEARÁ : ANÁLISE E CONTRIBUIÇÃO

MARCOS JOSÉ TIMBÓ LIMA GOMES

Dezembro/2004

Orientadora: Maria Elisabeth Pinheiro Moreira

Os elevados custos das obras rodoviárias, a escassez de recursos, bem como a preocupação fiscal das finanças públicas, justificam a necessidade de estudos criteriosos de planejamento, operação e controle. Entre os diversos fatores de importância fundamental nos estudos rodoviários está a determinação do Volume Horário de Projeto (VHP). Esse parâmetro é tradicionalmente obtido pelas curvas da enésima hora e, apesar de fundamentado em suposições pouco consistentes, continua sendo a base para o dimensionamento de novas rodovias ou de melhorias de rodovias já existentes. Este trabalho apresenta uma metodologia sistematizada como alternativa ao tradicional volume da trigésima hora para a escolha do VHP nas rodovias estaduais do Ceará, em que são utilizados dados de tráfego coletados de 12 postos de contagem contínua. O método proposto enfatiza a necessidade de considerações econômicas e orientadas ao usuário. Nesse caso, tem-se, como critério de decisão para projetar, o percentual de veículos que durante a vida útil da rodovia não sofrerão congestionamento e que terão um nível de serviço melhor ou igual ao projetado. Portanto, a decisão para a construção ou a para a realização de melhorias de uma rodovia deve ser justificada quando os custos do percentual de veículos que sofrem congestionamento for considerado inaceitavelmente grande para o órgão rodoviário. Embora a análise realizada possua limitações, o trabalho apresenta uma contribuição ao desenvolvimento de uma metodologia para a determinação do VHP que pode substituir conceitos tradicionais, como também criar uma base sólida para pesquisas adicionais da variação do volume de tráfego nas rodovias estaduais do Ceará.

Abstract of Thesis submitted to PETRAN/UFC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.) in Transportation Engineering

DESIGN HOURLY VOLUME FOR THE STATE ROADWAYS OF CEARÁ:  
ANALYSIS AND CONTRIBUTION

MARCOS JOSÉ TIMBÓ LIMA GOMES

December/2004

Advisor: Maria Elisabeth Pinheiro Moreira

High costs associated with roadway construction have justified the necessity of conducting high-quality studies of transportation planning, operation, and control. Among the most important factors involved in roadway studies is the Design Hourly Volume (DHV). This parameter is usually obtained from curves hourly and although it is based on not much consistent assumptions, it has been used for dimensioning new roadways as well as for improving existing facilities. This research presents an alternative methodology to the traditional 30th-hour volume method used to obtain the DHV in State Roadways of Ceará by using data collected from 12 permanent traffic count stations. The proposed methodology emphasizes the necessity of considering economic factors oriented to the users. In this case, the decision criterion used is the percent of vehicles that, during the roadway life, will not face congestion and will encounter a level of service (LOS) better or equal to the LOS specified in the project. Therefore, the decision of constructing or improving a roadway will be justified when the costs related to the vehicles facing congestion are higher than the acceptable by the decision makers. Although the conducted analysis has limitations, this work is believed to contribute to the development of a new methodology to determine DHV that might substitute traditional concepts and methods, as well as support future research on traffic volume variation in State roadways in Ceará.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA .....</b>	<b>4</b>
1.2.1. Objetivo Geral.....	4
1.2.2. Objetivos Específicos .....	4
<b>1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO .....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>7</b>
<b>PADRÕES DE VARIAÇÃO DO VOLUME DE TRÁFEGO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. VOLUME DE TRÁFEGO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. PADRÕES DE VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO VOLUME DE TRÁFEGO .....</b>	<b>9</b>
2.2.1. Variação Sazonal.....	10
2.2.2. Variação Diária .....	11
2.2.3. Variação Horária .....	11
2.2.4. Variação do Tráfego dentro da Hora.....	13
2.2.5. Padrão de Variação Espacial.....	14
<b>2.3. VOLUME HORÁRIO DE PROJETO.....</b>	<b>15</b>
2.3.1. Método Tradicional da “Curva da Enésima Hora” .....	16
2.3.2. Tendências de Crescimento do Fator K .....	21
<b>2.4. LIMITAÇÕES AO CRITÉRIO DA 30ª HORA .....</b>	<b>23</b>
<b>2.5. DIMENSIONAMENTO DE RODOVIA.....</b>	<b>26</b>
<b>2.6. ADOÇÃO DO VHP NO BRASIL .....</b>	<b>29</b>
<b>2.7. MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA DETERMINAÇÃO DO VHP.....</b>	<b>31</b>
2.7.1. Custo Efetivo.....	31
2.7.2. VHP na Perspectiva do Usuário .....	33
<b>2.8. PROGRAMAS DE MONITORAMENTO DE TRÁFEGO .....</b>	<b>37</b>
2.8.1. Programa de Monitoramento do Volume de Tráfego .....	38
2.8.2. Qualidade de Dados de um Programa de Monitoramento de Tráfego.....	39

2.8.3. Edição de Dados de Volume de Tráfego.....	41
2.8.4. Dados de Tráfego Perdidos .....	42
<b>2.9. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>47</b>
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>49</b>
<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....</b>	<b>49</b>
<b>3.2. SISTEMATIZAÇÃO DA MÉTODOLOGIA PROPOSTA DE SELEÇÃO DO VHP.....</b>	<b>50</b>
<b>3.3. DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE SERVIÇO.....</b>	<b>53</b>
<b>3.4. CUSTOS RODOVIÁRIOS .....</b>	<b>57</b>
<b>3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>59</b>
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>61</b>
<b>CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO NAS RODOVIAS ESTADUAIS DO CEARÁ .....</b>	<b>61</b>
<b>4.1. SISTEMA RODOVIÁRIO DO CEARÁ .....</b>	<b>61</b>
<b>4.2. PROGRAMA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DO VOLUME DE TRÁFEGO NAS RODOVIAS ESTADUAIS DO CEARÁ .....</b>	<b>64</b>
<b>4.3. TRATAMENTO DOS DADOS DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DE TRÁFEGO DAS RODOVIAS ESTADUAIS DO CEARÁ .....</b>	<b>67</b>
<b>4.4. AVALIAÇÃO DOS DADOS DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DE TRÁFEGO DAS RODOVIAS ESTADUAIS DO CEARÁ .....</b>	<b>72</b>
<b>4.5. CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO NOS POSTOS PERMANENTES .....</b>	<b>77</b>
4.5.1. Crescimento do Tráfego Anual .....	77
4.5.2. Variação do Volume de Tráfego entre os Meses do Ano .....	78
4.5.3. Variação do Volume de Tráfego entre os Dias da Semana .....	83
4.5.4. Volumes Horários .....	85
4.5.5. Volumes Horários de Pico.....	88
4.5.6. Composição do Tráfego .....	89
4.5.7. Fatores de Expansão.....	91
<b>4.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>94</b>

<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>96</b>
<b>EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SISTEMATIZADA.....</b>	<b>96</b>
<b>5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....</b>	<b>96</b>
<b>5.2. EXEMPLO DE APLICAÇÃO.....</b>	<b>97</b>
5.2.1. Estimação do Volume de Tráfego.....	97
5.2.2. Volume de Serviço e Percentual do Tráfego Atendido.....	99
<b>5.3. DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS RODOVIÁRIOS .....</b>	<b>100</b>
5.3.1. Custos do Tempo de Viagem.....	101
5.3.2. Custo Operacional dos Veículos .....	104
5.3.2. Custo do Órgão Rodoviário.....	105
<b>5.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>106</b>
5.4.1. Análise de Sensibilidade do Valor do Tempo de Viagem .....	107
5.4.2. Análise de Sensibilidade do Custo Operacional .....	109
<b>5.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>111</b>
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>113</b>
<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>113</b>
<b>6.1. CONCLUSÕES .....</b>	<b>113</b>
<b>6.2. RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>115</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>122</b>
<b>QUALIDADE DOS DADOS DE CONTAGEM DE TRÁFEGO .....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO II .....</b>	<b>141</b>
<b>FATORES DE EXPANSÃO.....</b>	<b>141</b>
<b>ANEXO III .....</b>	<b>147</b>
<b>CUSTOS RODOVIÁRIOS .....</b>	<b>147</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Variação Mensal do Volume de Tráfego (TRB, 2000) .....	10
Figura 2.2: Variação Diária do Volume de Tráfego (WRIGHT, 1996) .....	11
Figura 2.3: Variação Horária do Volume de Tráfego (FHWA, 2001).....	12
Figura 2.4: Relação entre Volume da Hora de Pico e VMDA nas Rodovias Rurais Americanas (AASHTO, 2001) .....	17
Figura 2.5: Ordenamento dos Maiores Volumes Horários do Ano por Tipo de Rodovia (TRB, 2000) .....	20
Figura 2.6: Variação da Curva da Enésima Hora com o Tempo (WOHL e MARTIN, 1967) .....	21
Figura 2.7: Curva dos 5500 Maiores Volumes Horários de 4 Contadores Permanentes de Alberta, Canadá (WERNER e WILLIS, 1979).....	23
Figura 2.8: Curvas Horárias Construídas com os 100, 1000 e 8760 Volumes Horários (CRABTREE e DEACON, 1982).....	25
Figura 2.9: Fluxograma da Seleção do VHP (Adaptação de CAMERON, 1975) .....	27
Figura 2.10: Custos do Órgão Rodoviário e Custos do Usuário x Volume de Tráfego (WERNER E WILLIS, 1979) .....	32
Figura 2.11: Custo Total de Transportes (WERNER e WILLIS, 1979).....	33
Figura 2.12: Variação do Percentual de Congestionamento em Função do Tipo de Rodovia (SHARMA, 1986) .....	36
Figura 3.1: Sistematização do Método Baseado no Percentual do Tráfego Atendido para Seleção do VHP .....	50
Figura 3.2: Distribuição dos Volumes Horários do Ano .....	52
Figura 4.1: Mapa de Localização dos Postos de Contagem Permanentes nas Rodovias Estaduais do Ceará.....	64
Figura 4.2: Postos de Contagem Permanentes Protegidos por Abrigos de Concreto .....	65

Figura 4.3: Conjunto de Laços Indutivos, Instalados no Pavimento que Realizam Contagens Contínuas. ....	65
Figura 4.4: Arquivo Texto com Dados de Contagem de Tráfego de um Posto Permanente.....	67
Figura 4.5: Interface Criada para a Importação e a Identificação de Dados Suspeitos na Base de Dados de Contagem de Tráfego .....	69
Figura 4.6: Mensagem de Advertência de Identificação do um Dado Suspeito.....	70
Figura 4.7: Avaliação do Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltosos para o Posto P002 nos anos de 1996 a 2002. ....	73
Figura 4.8: Avaliação do Percentual Médio de Dados Válidos, Inválidos e Faltosos de todos os Postos Permanentes Durante os anos de 1996 a 2002. ....	73
Figura 4.9: Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos para Todos os Postos Permanentes Durante os anos de 1996 a 2002. ....	74
Figura 4.10: Distribuição dos Dados Perdidos Para Cada Postos Permanente no Ano de 1999.....	75
Figura 4.11: Padrão de Variação do Volume de Tráfego entre os Meses do Ano para os Postos Permanentes.....	82
Figura 4.12: Padrão de Variação do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana para os Postos P001, P005, P006, P007 e P010.....	84
Figura 4.13: Padrão de Variação do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana para os Postos P002, P003, P004, P008, P009, P011 e P012.....	85
Figura 4.14: Distribuição dos Volumes Horários Totais e Direcionais para os Postos P001, P003, P005, P009 e P011. ....	86
Figura 4.15: Distribuição dos Volumes Horários Totais e Direcionais para os Postos P002, P004, P006, P007, P008, P010 e P012. ....	87
Figura 4.16: Variação dos Duzentos Maiores Volumes Horários do Ano para os Postos Permanentes .....	89
Figura 5.1: Distribuição dos Volumes Horários do Ano de Projeto Para o Posto P005 .....	100

Figura 5.2: Determinação da Velocidade Média de Viagem Para os Volumes Horários do Ano de Projeto .....	102
Figura I.1: Distribuição de Freqüências Observadas e Esperadas (Normal) para a Variável Volume Diário.....	122
Figura I.2: Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P001 nos Anos de 1996 a 2002.....	122
Figura I.3: Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P002 nos Anos de 1996 a 2002.....	123
Figura I.4: Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P003 nos Anos de 1996 a 2002.....	123
Figura I.5: Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P004 nos Anos de 1996 a 2002.....	124
Figura I.6: Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P005 nos Anos de 1996 a 2002.....	124
Figura I.7: Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P006 nos Anos de 1996 a 2002.....	125
Figura I.8: Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P007 nos Anos de 1996 a 2002.....	125
Figura I.9: Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P008 nos Anos de 1996 a 2002.....	126
Figura I.10: Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P009 nos Anos de 1996 a 2002.....	126
Figura I.11: Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P010 nos Anos de 1996 a 2002.....	127
Figura I.12: Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P011 nos Anos de 1996 a 2002.....	127
Figura I.13: Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P012 nos Anos de 1996 a 2002.....	128

Figura I.14: Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P001 Durante os Anos de 1996 a 2002.....	128
Figura I.15: Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P002 Durante os Anos de 1996 a 2002.....	129
Figura I.16: Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P003 Durante os Anos de 1996 a 2002.....	129
Figura I.17: Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P004 Durante os Anos de 1996 a 2002.....	130
Figura I.18: Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P005 Durante os Anos de 1996 a 2002.....	130
Figura I.19: Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P006 Durante os Anos de 1996 a 2002.....	131
Figura I.20: Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P007 Durante os Anos de 1996 a 2002.....	131
Figura I.21: Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P008 Durante os Anos de 1996 a 2002.....	132
Figura I.22: Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P009 Durante os Anos de 1996 a 2002.....	132
Figura I.23: Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P010 Durante os Anos de 1996 a 2002.....	133
Figura I.24: Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P011 Durante os Anos de 1996 a 2002.....	133
Figura I.25: Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P012 Durante os Anos de 1996 a 2002.....	134
Figura I.26: Distribuição dos Dados Perdidos Para Cada Posto Permanente no Ano de 1997.....	134
Figura I.27: Distribuição dos Dados Perdidos Para Cada Posto Permanente no Ano de 1998.....	135

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Fatores K nas Rodovias Rurais do DNER.....	30
Tabela 2.2: Cálculo da Probabilidade de Congestionamento do Usuário.....	35
Tabela 3.2: Níveis de Serviço para Rodovias de Pista Simples – Classe I.....	55
Tabela 4.1: Situação Física da Malha Rodoviária do Ceará por Jurisdição.....	62
Tabela 4.2: Descrição e Localização dos Postos Permanentes .....	63
Tabela 4.3: Estrutura do Novo Banco de Dados de Contagem de Tráfego para os Postos Permanentes .....	68
Tabela 4.4: Tipo de Erro Identificado pelo Novo Banco de Dados de Contagem de Tráfego.....	68
Tabela 4.5: Valores do Volume Horário Máximo por Sentido de Tráfego Permitido para os Postos Permanentes .....	72
Tabela 4.6: Anos com os Maiores Percentuais de Horas Válidas Para Cada Postos Permanente.....	76
Tabela 4.7: Crescimento do VMD dos Postos Permanentes.....	78
Tabela 4.8: Volume Médio Diário, Amplitude e Coeficiente de Variação dos Volumes Diários para os Postos Permanentes .....	79
Tabela 4.9: Coeficiente de Variação do Volume Diário por Dia da Semana .....	80
Tabela 4.10: Fatores Anuais dos Meses Típicos do Ano .....	82
Tabela 4.11: Resultados dos Testes de Igualdade de Médias .....	83
Tabela 4.12: Distribuição Direcional do Tráfego, Volume Horário Médio, Percentual do VMD na Hora de Pico e Horário de Pico dos Postos Permanentes .....	88
Tabela 4.13: Classificação do Tráfego por Tipo de Veículos .....	91
Tabela 4.14: Fatores de Expansão Anuais Para os Postos Permanentes do DERT .....	93
Tabela 5.1: Maiores Volumes Horários Estimados Durante a Vida Útil do Projeto .....	98
Tabela 5.2: Volume de Serviço nas Unidades de Veíc/h e Ucp/h .....	99

Tabela 5.3: Valor do Tempo de Viagem, Taxa de Ocupação e Proporções de Veículos na Corrente de Tráfego .....	103
Tabela 5.4: Custo do Tempo de Viagem Presente Para os Anos de Projeto .....	103
Tabela 5.5: Custo do Operacional dos Veículos em Valores Presente Para os Anos de Projeto.....	105
Tabela 5.6: Benefícios Gerados Devido a Duplicação do Trecho Estudado .....	107
Tabela 5.7: Simulação dos Custos Totais de Viagem, de acordo com Custos do Tempo de Viagem.....	108
Tabela 5.8: Custo Operacional por Tipo de Veículo e Atuais Proporções de Veículos na Corrente de Tráfego .....	109
Tabela 5.9: Simulação dos Custos Operacionais dos Veículos que Sofrerão Congestionamento Durante a Vida Útil do Projeto .....	110
Tabela 5.10: Benefícios Gerados pelos Cenários mais Pessimista .....	110
Tabela 5.11: Custo de Acidente .....	111
Tabela I.1: Teste de Aderência (Qui-Quadrado) para a Variável Volume Diário do Posto P002 .....	136
Tabela I.2: Teste ANOVA para os Meses Típicos do Ano, Considerando Todos os Postos Analisados .....	136
Tabela I.3: Teste ANOVA para os Meses Típicos do Ano, Retirando o Posto P001...	136
Tabela I.4: ANOVA Para o P001 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana ...	137
Tabela I.5: ANOVA Para o P002 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana ...	137
Tabela I.6: ANOVA Para o P003 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana ...	137
Tabela I.7: ANOVA Para o P004 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana ...	138
Tabela I.8: ANOVA Para o P005 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana ...	138
Tabela I.9: ANOVA Para o P006 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana ...	138
Tabela I.10: ANOVA Para o P007 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana .	138
Tabela I.11: ANOVA Para o P008 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana .	139

Tabela I.12: ANOVA Para o P009 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana .	139
Tabela I.13: ANOVA Para o P010 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana .	139
Tabela I.14: ANOVA Para o P011 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana .	139
Tabela I.15: ANOVA Para o P012 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana .	140
Tabela II.1: Fatores de Expansão Mensal Para os Postos Permanentes .....	141
Tabela III.1: Custo Operacionais (Dezembro/1996).....	147
Tabela III.2: Custo Econômico (Dezembro/1996).....	148
Tabela III.3: Custo de Conservação (Dezembro/1996) .....	148

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O sistema de transportes desempenha um importante papel dentro do processo de desenvolvimento das cidades, uma vez que atende a crescente necessidade de deslocamentos de bens e de pessoas, contribuindo, assim, com incontestáveis benefícios econômicos e sociais à sociedade. Particularmente, o modal rodoviário assumiu expressiva importância em relação aos demais, sendo responsável, segundo GEIPOT (2001), por mais de 60% do escoamento da produção brasileira e por mais de 95% do transporte de passageiros.

Para criar uma base de desenvolvimento econômico no País, intensos e contínuos recursos, provindos dos três níveis de governo, são destinados à construção e à manutenção da infra-estrutura viária. Para se ter idéia do montante investido em obras rodoviárias, o Governo Estadual do Ceará gastou, somente através do Programa Rodoviário Ceará II, no período de 1997 a 2003, aproximadamente R\$ 216 milhões, e pretende empregar mais R\$ 13 milhões em obras na malha rodoviária até dezembro de 2004 (CSL, 2004).

Assim, os elevados custos das obras rodoviárias, a escassez de recursos, bem como a preocupação fiscal das finanças públicas, justificam a necessidade de estudos de planejamento, operação e controle criteriosos, possibilitando ao órgão rodoviário a aplicação racional dos recursos financeiros disponíveis. Devido a essas restrições, é necessário um reexame dos fatores de maior influência que são considerados nos estudos rodoviários.

Entre os diversos fatores de importância fundamental nos estudos rodoviários está a determinação do Volume Horário de Projeto (VHP), que, segundo KHISTY e LALL (1998), corresponde a um volume de tráfego para o período de uma hora usado como condição operacional aceitável para os propósitos de projeto. Desse parâmetro

dependerá a determinação do número de faixas e das características geométricas que a rodovia deverá ter para atender com eficiência a demanda estimada para o ano de projeto. Conseqüentemente, esse valor tem grande impacto nos custos da rodovia.

A escolha de um período de uma hora para a avaliação e o desempenho de projetos rodoviários surgiu devido aos péssimos resultados obtidos, na década de 30, para os estudos sobre capacidade de vias, visto que até então era comum o uso de volumes médios diários (LIMA NETO, 1975). Os valores médios diários não são satisfatórios porque ocultam flutuações do tráfego dentro do dia e, por essa razão, os projetistas começaram a pensar em períodos menores de tempo, tipicamente uma hora.

Sendo assim, qual seria o volume horário apropriado para ser usado em projetos rodoviários? Naturalmente, tal volume de projeto não poderia ser definido como uma média ou um volume horário mediano do ano porque aquele volume seria significativamente excedido durante muitas horas de pico durante o ano, provocando excessivos congestionamentos (HEMPSEY e TEPLY, 1999).

Vários estudos americanos discorreram sobre a escolha do volume horário adequado para os projetos rodoviários, mas somente com a publicação do Highway Capacity Manual – HCM, no ano de 1965, em que foram realizadas pesquisas de contagem contínua de tráfego em 171 postos, espalhados nas rodovias de 48 Estados dos EUA, fortaleceu-se o uso do trigésimo maior volume horário do ano como VHP para rodovias rurais, tornando-o universalmente aceito.

Obtido por meio de curvas horárias, no qual origina-se do ordenamento decrescente dos maiores volumes horários ocorridos durante o ano, duas suposições do critério da trigésima hora fortaleceram bastante sua difusão entre os engenheiros rodoviários:

- O uso do volume da trigésima hora é recomendado para ser usado como VHP para rodovias rurais, pois nesse tipo de rodovia a taxa dos benefícios gerados pelos custos de construção, é máxima (WERNER e WILLIS, 1979).

- O volume da trigésima hora deve ser também usado como VHP por causa da relação constante, ao longo dos anos, com o Volume Médio Diário Anual – VMDA de uma rodovia (TTI, 1996). Esse fato permite prever mais facilmente os volumes futuros de tráfego no ano de projeto da rodovia.

Apesar de fundamentado em algumas suposições inconsistentes, mas devido à fácil compreensão e ao efeito inovador do método para a época, a definição do VHP como o volume da 30ª hora tornou-se tão difundida que foi adotada praticamente como padrão por órgãos rodoviários de vários países, inclusive no Brasil, onde editaram manuais recomendando aos técnicos e aos projetistas a adoção de tal critério.

O *Federal Highway Administration* (FHWA), órgão que avalia e aprova todos os projetos de rodovias que utilizam recursos federais nos Estados Unidos, em geral, orienta que sejam seguidos os procedimentos e as políticas da *American Association of State Transportation Officials* – AASHTO (2001) que, na última versão do seu manual de tráfego, ainda recomenda a utilização do volume da 30ª hora como VHP. Porém, o FHWA enfatiza que se os procedimentos consistentes de planejamento e de projeto forem desenvolvidos pelo órgão rodoviário estadual, utilizando-se de dados locais, então esses novos procedimentos serão precedentes em relação aos anteriores (TTI, 1996).

Posteriormente, estudos demonstraram as limitações do método e surgiram outras metodologias alternativas ou outros procedimentos adicionais para a seleção adequada da hora de projeto. O próprio HCM (TRB, 2000) acrescentou que o uso da 30ª hora não é um critério rígido, indicando a necessidade de dados locais para a melhor determinação desse valor. A seleção apropriada para a hora de projeto é um compromisso entre conseguir um nível adequado para atender o tráfego, durante o ano, e a boa eficiência econômica (relação benefício/custo).

No Estado do Ceará, o Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes – DERT, após a instalação de postos de coleta automática do volume de tráfego, no início da década de 90, gerando uma série histórica de dados das rodovias estaduais cearenses, ainda recomenda a utilização das curvas horárias americanas para a determinação do

valor do VHP no dimensionamento dos projetos rodoviários, sem um estudo abrangente, levando em consideração os dados locais.

Vale lembrar que, com a menor capacidade de financiamento do poder público e os longos períodos de vida útil adotados nos projetos das obras rodoviárias locais, tornam-se necessários estudos precisos e econômicos. Portanto, este trabalho pretende prestar uma contribuição na investigação da utilização de um apropriado volume horário de projeto para as rodovias estaduais do Ceará, usando uma série histórica de dados, permitindo assim, ao órgão gestor, desenvolver projetos rodoviários mais econômicos e de acordo com a realidade local.

## **1.2. OBJETIVOS DA PESQUISA**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

Este trabalho teve como objetivo geral estudar e sistematizar uma metodologia alternativa ao tradicional volume da trigésima hora para a determinação do Volume Horário de Projeto, com a finalidade de indicar um valor mais apropriado desse parâmetro a ser usado em estudo de projetos e planejamento das rodovias estaduais do Ceará, utilizando-se, para isso, da série histórica (1996-2002) de dados coletados por 12 postos de contagem contínua de tráfego.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

Com vistas a atingir o objetivo geral estabelecido, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Revisão bibliográfica das metodologias de determinação do Volume Horário de Projeto.
- b) Criação de um banco de dados contendo a série histórica das contagens volumétricas para os 12 postos de contagem contínua, e avaliar a qualidade desses dados de tráfego.

- c) Caracterização dos postos para a escolha de trechos representativos da malha rodoviária estadual para o estudo do VHP.
- d) Aplicação da metodologia sistematizada proposta a um exemplo prático para a determinação do VHP.

### **1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO**

O presente trabalho de dissertação é apresentado em seis capítulos.

Partindo de uma apresentação introdutória realizada no presente capítulo, esta dissertação contém, no Capítulo 2, uma revisão bibliográfica sobre os padrões de variação do volume de tráfego ao longo do tempo e do espaço. Em seguida, procura-se realizar uma revisão histórica sobre o tradicional conceito do volume da trigésima hora como volume horário de projeto, abordando os diversos estudos realizados ao longo dos anos que enfatizaram sua importância, sua aplicação e suas limitações aos estudos rodoviários. São discutidos também outras metodologias e outros procedimentos de melhoramentos surgidos como alternativas ao critério tradicional do VHP. O capítulo é encerrado com a apresentação dos objetivos de um programa de monitoramento de tráfego e com a abordagem do tema sobre qualidade de dados de tráfego.

No Capítulo 3, apresenta-se de maneira detalhada a metodologia sistematizada para a determinação do VHP, que é o objeto final do presente estudo, fazendo constar inclusive de um fluxograma resumo.

No Capítulo 4, faz-se um diagnóstico do atual programa de monitoramento contínuo do volume de tráfego das rodovias estaduais do Ceará, e, em seguida, constrói-se um novo banco de dados de contagens dos postos de contagem contínua e sua análise de consistência. Após a construção da base de dados, é realizada uma caracterização geral do tráfego no Estado do Ceará de acordo com a série histórica dos dados dos 12 postos permanentes, avaliando o crescimento e a variabilidade do volume de tráfego nas diversas escalas de tempo e espaço. Algumas dessas informações alimentarão o exemplo de aplicação da metodologia proposta, outras ajudarão no melhor conhecimento do tráfego nas rodovias estaduais do Ceará. Ao final, trata-se dos

mecanismos de conversão das contagens de curta duração em estimativas anuais para o volume de tráfego.

No Capítulo 5, aborda-se um exemplo prático para analisar o valor do VHP em um projeto de duplicação de um trecho rodoviário, utilizando a metodologia proposta. Finalmente, no Capítulo 6, relatam-se as conclusões e as recomendações de estudos adicionais a que foram possíveis chegar em decorrência deste trabalho de dissertação.

## **CAPÍTULO 2**

### **PADRÕES DE VARIAÇÃO DO VOLUME DE TRÁFEGO**

Neste capítulo, faz-se, inicialmente, uma revisão dos diversos padrões de variação do volume de tráfego, visto que uma compreensão completa dessas flutuações é uma exigência básica de qualquer estudo rodoviário. No capítulo, é também realizado um histórico da criação e da utilização do método do volume da trigésima hora como VHP, destacando a justificativa de tal critério, estudos que demonstram suas limitações e procedimentos alternativos ao método tradicional.

Por fim, discutem-se a importância e os objetivos de um programa de monitoramento de tráfego, mais especificamente abordando o tema relativo à qualidade de dados, investigando os principais tipos de erros encontrados em uma base de dados de tráfego e destacando alguns métodos de estimação para dados faltosos.

#### **2.1. VOLUME DE TRÁFEGO**

Dados de tráfego são coletados por muitos órgãos rodoviários para subsidiar os estudos da área de planejamento e operação de transportes, por meio de programas de monitoramento de tráfego. A importância desses dados se dá em virtude do processo de tomada de decisão que envolve frequentemente a alocação de recursos financeiros para a execução de melhorias na infra-estrutura das rodovias (AASHTO, 1992).

Uma das mais importantes e utilizadas variáveis coletadas pelos programas de monitoramento é o volume de tráfego. A falta dessa informação ou a incerteza quanto à representatividade do dado que porventura exista geram distorções nos estudos rodoviários, pois esse volume constitui-se de elemento básico à elaboração de planos diretores rodoviários, estudos de viabilidade técnico-econômica, projetos geométricos, projetos de pavimentos, programas de conservação, análise de segurança de tráfego, capacidade das vias, e outros.

O volume de tráfego é definido como o número de veículos que passa por uma seção de uma via em um determinado intervalo de tempo. Para os estudos de

planejamento de rodovias e estudos de tendências de crescimento do tráfego, o intervalo de tempo dos volumes de tráfego normalmente é o dia (veículos/dia) e os mais frequentemente usados são: Volume Médio Diário Anual (VMDA) e Volume Médio Diário (VMD).

O VMDA representa o valor médio de todos os volumes diários registrados durante um ano em uma dada seção de uma via. A determinação do verdadeiro valor desse parâmetro somente é possível por meio de contagens contínuas ou permanentes, efetuadas por equipamentos eletrônicos que, por intermédio de um sensor indutivo, instalado na pista da rodovia, determina a presença ou não de um veículo. Esses equipamentos são conhecidos como ATR (*Automatic Traffic Recorders*) e os dados de volume armazenados por eles são normalmente registrados em períodos de uma hora e por faixa de tráfego.

Já o VMD corresponde à média diária do volume de tráfego de uma determinada seção para um período menor que um ano. Enquanto o VMDA utiliza-se de todos os volumes diários durante um ano, o VMD pode ser medido para um período de seis meses, um mês, uma semana, ou menor período, como, por exemplo, um ou dois dias. Normalmente, esse parâmetro é determinado por pesquisadores utilizando-se de contadores manuais, que registram os dados coletados em formulário de campo.

Outra unidade de volume bastante utilizada e que considera um intervalo de tempo diferente do dia é o volume horário (veículo/hora). Como os volumes variam consideravelmente durante as 24 horas do dia, normalmente os maiores volumes horários ocorrem durante o início da manhã e o final da tarde. Conforme MCSHANE e ROESS (1990), a hora do dia que tem o maior volume horário denomina-se de hora de pico e a distribuição do volume dentro dessa hora é de grande interesse aos responsáveis por estudos de projetos e análise operacional de rodovia.

Mas, além de determinar os padrões de variação temporal e espacial do volume, o engenheiro de tráfego deve compreendê-los perfeitamente para melhor entender a demanda de tráfego. Essa variabilidade nos volumes reflete o comportamento das atividades sócio-econômicas da área servida pela via e apresenta uma conformação cíclica em qualquer dos tipos de variação considerada, embora a magnitude dos valores difira em escala. Além disso, essa variabilidade dificulta os esforços de coleta de dados,

principalmente quando se deseja calcular as estimativas dos volumes médios anuais. Se não houvesse tais variabilidades, os programas de monitoramento seriam simplificados, visto que não haveria necessidade de coleta em vários locais e nem durante longos períodos.

Segundo a última versão do manual de contagem do tráfego, *Traffic Monitoring Guide* (FHWA, 2001), deve-se considerar também variações na composição do tráfego. Pesquisas mostram que o volume de veículos pesados varia no tempo e no espaço, diferentemente do volume de veículos leves (HALLENBECK et al., 1997). Então, é importante que o órgão rodoviário desenvolva mecanismos para que os programas de monitoramento de tráfego sejam capazes de medir essas variações, de forma que elas possam ser consideradas no processo de análise dos dados.

Na seção seguinte, discutem-se brevemente as variações do volume de tráfego nas várias escalas de tempo (mensal ou sazonal, diária, horária e dentro da hora), além da variação espacial ou geográfica.

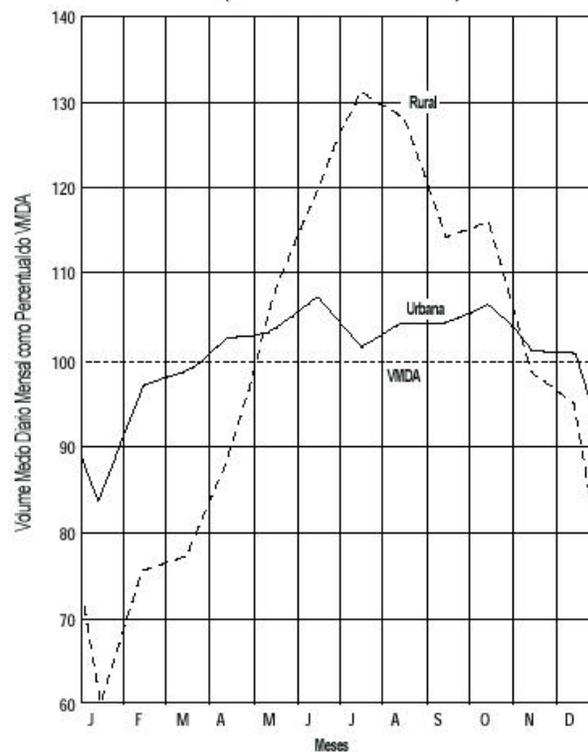
## **2.2. PADRÕES DE VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DO VOLUME DE TRÁFEGO**

O volume de tráfego varia ao longo do tempo, sendo classificado nas seguintes escalas de variações cíclicas temporais: a variação sazonal que se processa mensalmente ao longo do ano; a variação diária que ocorre através da semana; a variação horária ao longo do dia, e a variação dentro de uma hora. Além das variações temporais, existe uma tendência de crescimento dos volumes de tráfego a longo prazo. Essa tendência tem sido positiva, no sentido de ser um acréscimo progressivo o qual reflete o próprio crescimento da economia ou o crescimento populacional.

### 2.2.1. Variação Sazonal

As mudanças contínuas dos valores dos volumes de tráfego ao longo dos meses de um ano (variação mensal ou sazonal) é, primeiramente, função do tipo de rodovia (rural, urbana ou turística) e do tipo de atividades sócio-econômicas da área servida pela via (TRB, 2000). Na Figura 2.1 registra-se a variação do tráfego por mês de uma via urbana e de uma rodovia rural, e várias características significativamente importantes são visualizadas:

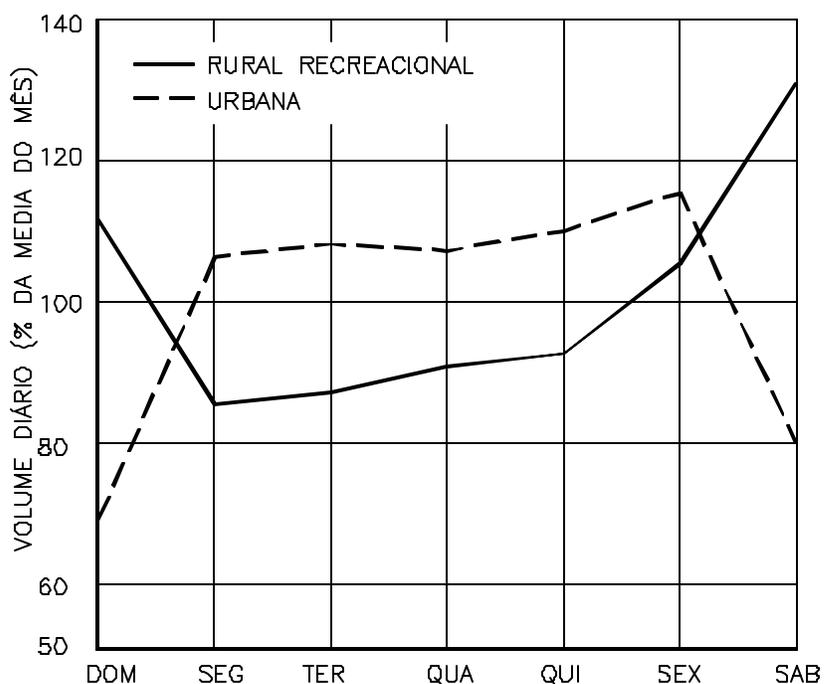
- De maneira geral, a variação mensal é mais intensa nas rodovias rurais do que nas vias urbanas, sendo que nessas últimas as alterações dos volumes são mais significativas durante os períodos de férias escolares (meses de julho, dezembro e janeiro).
- No caso de rodovias rurais, as variações decorrem de influências de safras agrícolas, de épocas de comercializações, etc. Quanto às rodovias turísticas, existem as influências de estações do ano e de férias escolares, criando variação volumétrica mais severa ao longo do ano.



**Figura 2.1:** Variação Mensal do Volume de Tráfego (TRB, 2000)

### 2.2.2. Variação Diária

As variações diárias do volume também estão relacionadas com o tipo de rodovia. Pela Figura 2.2 percebe-se que no padrão urbano os volumes são aproximadamente constantes, durante os dias da semana, e que existe um leve declínio nos fins de semana e feriados, sendo o volume do domingo mais baixo que o do sábado. Esse comportamento pode existir em muitas rodovias rurais. O outro padrão de variação de volume é normalmente encontrado em áreas rurais com grande quantidade de viagens turísticas, onde se observa um volume constante durante a semana, seguido de um aumento do tráfego nos fins de semana. (FHWA, 2001).



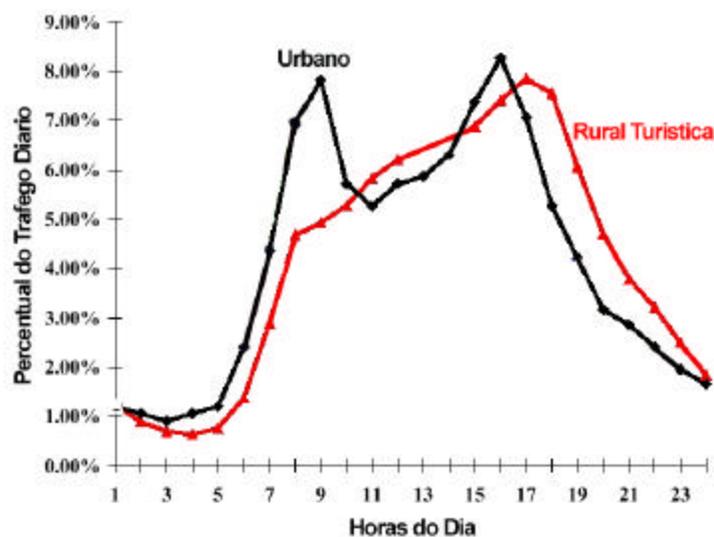
**Figura 2.2:** Variação Diária do Volume de Tráfego (WRIGHT, 1996)

### 2.2.3. Variação Horária

Desde muito tempo são conhecidas as mudanças que ocorrem no uso de uma via ao longo das horas do dia (variação horária), sendo que na maioria dos locais o volume de tráfego aumenta durante o dia e diminui à noite, refletindo a variação que ocorre nas atividades e nos deslocamentos de pessoas e mercadorias. MCSHANE e ROESS (1990)

afirmam que entre as variações temporais do volume de tráfego a mais complexa variação é a horária, sendo o padrão de variação mais crítico de ser entendido.

O volume da hora de pico varia de local para local, mas geralmente segue um padrão fixo. Assim, o volume da hora de pico ocorre aproximadamente no mesmo tempo em cada dia em um determinado local, embora a magnitude do mesmo possa mudar. Pela Figura 2.3 vêem-se os padrões de variação horária típica, onde são relacionados com o tipo de rodovia. O padrão urbano, nos dias de semana, tende a seguir um perfil de curva com dois picos, ocorrendo na manhã e na tarde, sendo esse último pico geralmente um pouco mais intenso que o matutino. Nos fins de semana, essas vias possuem picos menos intensos e mais suaves, ocorrendo em horário mais cedo.



**Figura 2.3:** Variação Horária do Volume de Tráfego (FHWA, 2001)

As rodovias turísticas têm também um padrão de variação horária, em único pico diário. Picos nos sábados em tais rodovias tendem a acontecer no período matutino ou no começo da tarde - quando os viajantes dirigem-se ao destino recreativo - e nos fins da tarde ou no início da noite dos domingos - quando os viajantes voltam para casa - (TRB, 2000).

Muitas análises que envolvem projetos, operação, controle e análise operacional do tráfego rodoviário começam com considerações sobre o volume horário, uma vez

que, como observado no capítulo 1, a utilização dos volumes médios diários são inadequados para tais estudos.

Assim, se um volume horário é usado como dado de entrada para estudos rodoviários, é crítico compreender qual valor será utilizado, visto que representa o período mais severo na operação e requer maior capacidade de tráfego. Devido à importância desse volume, denominado Volume Horário de Projeto (VHP), essa variável será discutida mais detalhadamente no item 2.3 deste capítulo.

#### **2.2.4. Variação do Tráfego dentro da Hora**

Enquanto o volume horário é básico para muitos estudos de projeto e de análise de tráfego, a variação do tráfego dentro da hora também deve ser considerada, visto que a satisfatória acomodação do tráfego na via depende principalmente da magnitude das pequenas flutuações do tráfego dentro da hora de pico.

Um intervalo de tempo sugerido pelo HCM para ser considerado em análise operacional e de projeto é de 15 minutos, mas, como afirmam MCSHANE e ROESS (1990), esse intervalo não é padrão, sendo utilizado somente porque estudos mostram que as taxas de fluxo para períodos de tempo menores são estatisticamente instáveis.

Portanto, as flutuações do tráfego dentro da hora são importantes em termos operacionais porque a via pode ter uma capacidade adequada para servir ao horário de pico. Mas, se pequenos picos dentro desse horário exceder em capacidade, muitos transtornos ocorrerão, comprometendo freqüente mente por longo período a recuperação da fluidez do tráfego. Então, para muitos tipos de análise de tráfego, é necessário considerar uma taxa máxima de fluxo dentro de uma hora.

Analisando a intensidade do tráfego, durante a hora de pico, pode-se ter valores altos em algumas frações horárias, relativamente baixos em outras, ou ainda manter-se mais ou menos uniforme durante todo o período. Assim, esse comportamento é quantificado com a introdução de um Fator da Hora de Pico (FHP), o qual indica a flutuação do fluxo de tráfego dentro da hora. A Equação 2.1 demonstra como esse conceito é aplicado.

$$FHP = \frac{V_{HP}}{4 * V_{15}} \quad (2.1)$$

em que:

FHP : fator da hora de pico;

$V_{HP}$  : volume da hora de pico;

$V_{15}$  : volume dos 15 minutos consecutivos de maior tráfego da hora de pico.

Segundo MAY (1990), o FHP pode, teoricamente, variar de 0,25 (significando que todo o tráfego passaria durante um intervalo de 15 minutos) a 1,00 (significando que em cada intervalo de 15 minutos passaria a mesma quantidade de tráfego), mas que, na prática, esse valor normalmente varia entre 0,80 (assumindo a aleatoriedade do fluxo) e 0,98 (assumindo um fluxo aproximadamente uniforme).

### 2.2.5. Padrão de Variação Espacial

Além da variação temporal, o tráfego também varia espacialmente. A variação espacial ocorre com respeito à distribuição direcional do tráfego e à distribuição do volume por faixa, podendo também variar com relação à localização da rodovia.

A importância do conhecimento da distribuição direcional deve-se ao impacto que vários tipos de análise de tráfego e projeto sofrem devido a esse parâmetro, como, por exemplo, em análise de capacidade e de definição do nível de serviço para rodovias de pista simples, por causa da grande interação com o tráfego oposto.

A distribuição direcional é simplesmente a divisão do volume total de tráfego em duas direções opostas em um determinado período de tempo. É comumente expresso em termos percentuais do tráfego total, e, segundo SHARMA e SINGH (1992), esse percentual varia durante as horas do dia, nos dias da semana, nos meses do ano, de ano para ano, e a natureza e magnitude da variação direcional está sistematicamente

associada com o tipo de rodovia. Assim, durante determinadas horas, o volume do tráfego pode ser maior em uma direção do que na outra.

Tradicionalmente, as vias urbanas apresentam um forte movimento no tráfego, no período da manhã (ida) e no período da noite (retorno). Para rodovias rurais e em áreas recreacionais, os movimentos direcionais mudam o padrão, tanto durante os dias da semana como também durante as horas do dia (FHWA, 2001).

Já a distribuição do volume de tráfego por faixa depende da composição do tráfego, da velocidade, do volume, do número e localização dos pontos de acesso, da origem e destino das viagens, do meio ambiente, e do hábito de dirigir dos motoristas. Devido a todos esses fatores não existe uma distribuição padrão de veículos por faixas, sendo que os veículos pesados normalmente trafegam pelas faixas à direita da via, particularmente por causa da baixa velocidade, e devido às regras de circulação que os proíbem de trafegarem pelas faixas à esquerda (TRB, 2000).

### **2.3. VOLUME HORÁRIO DE PROJETO**

O principal objetivo de planejar ou projetar uma rodovia é acomodar o tráfego a um razoável nível de serviço no ano de projeto. O uso de volumes horários para representar esses níveis de tráfego no ano de projeto foi defendido, já que os volumes médios não foram adequados a atender com satisfação os estudos e propósitos operacionais de rodovia (TTI, 1996). A *American Association of State Transportation Officials - AASHTO* (2001) afirma, em seu “*Green Book*”, que os volumes de tráfego durante um período de tempo menor que 01 (um) dia refletem as condições de operação que deveriam ser usadas para projeto e, em quase todos os casos, é prático e adequado usar o período de tempo de 01 (uma hora).

Desse modo, como observado, o Volume Horário de Projeto (VHP) é o volume de tráfego durante uma hora, que é usado como condição operacional aceitável para estudos de planejamento, projeto, e de propósitos operacionais de rodovias. Representa uma medida diretamente relacionada com o número de faixas necessárias a uma rodovia e com outros fatores geométricos essenciais para atender adequadamente os usuários.

Então, a decisão principal do planejador ou projetista é a seleção do volume horário mais apropriado a ser usado como VHP. Seria altamente custoso ao projeto estabelecer o maior volume horário do ano; contudo, o uso de um volume horário baixo resultaria em um projeto inadequado. Assim, o VHP a ser usado não deve ser excedido freqüentemente e, por outro lado, não deve ser tão alto que nunca provoque congestionamentos na rodovia resultante.

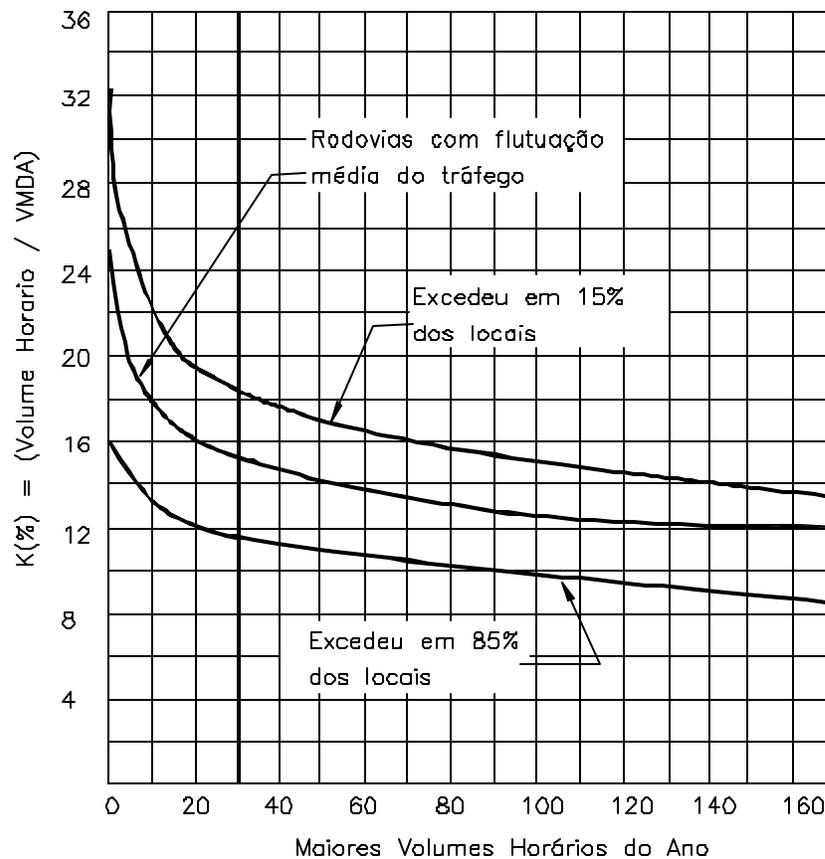
Assim, o dimensionamento de uma rodovia deve permitir um certo número de horas congestionadas e a decisão pelo número aceitável de horas é fundamental para a adoção do VHP. Uma das maneiras de determinação do VHP é a realização de um estudo do padrão de variação dos volumes horários de tráfego ao longo do ano.

Em 1940, uma investigação foi feita a respeito da relação entre volumes de tráfego durante as horas de pico e os volumes médios diários anuais em um número razoável de rodovias rurais americanas. Registros de contadores automáticos promoveram o material básico para essa investigação. Mesmo com uma série de falhas no sistema de coleta de dados, uma estreita correlação foi encontrada entre os volumes horários de pico e os volumes médios diários nessas rodovias rurais (LIMA NETO, 1975). Utilizando-se desses dados, foi desenvolvido o método de determinação do VHP tradicionalmente conhecido por “*knee-of-curve*” ou “curva da enésima hora”, sendo essa descoberta creditada aos pesquisadores Peabody e Normann e difundida universalmente pela primeira versão do HCM, de 1950 (BAILEY, 1981).

### **2.3.1. Método Tradicional da “Curva da Enésima Hora”**

O método proposto envolve o uso de uma curva que mostra os maiores volumes horários de tráfego de um ano, coletados de postos de contagem contínua, ordenados de forma decrescente, de acordo com a sua magnitude, e expressos como um percentual do VMDA. Uma das características dessa curva é a grande variação nos dados de volume de tráfego e o ponto no qual há uma mudança rápida na inclinação da curva. Esse ponto peculiar é o ponto de máxima curvatura (ponto de inflexão). A relação entre volume horário e VMDA é conhecida como fator K e será discutida mais detalhadamente no item 2.3.2.

Dados coletados em diversos postos de contagem contínua, localizados em rodovias rurais espalhadas em 48 estados americanos, forneceram o modelo de tráfego médio anual, bem como a faixa de variação dos maiores volumes horários do ano em que ocorreram nos diferentes locais de observação. Na Figura 2.4 é ilustrado esse modelo.



**Figura 2.4:** Relação entre Volume da Hora de Pico e VMDA nas Rodovias Rurais Americanas (AASHTO, 2001)

A curva central corresponde à média para todos os locais estudados e representa rodovias com flutuações médias de tráfego. O volume horário de pico nesse caso corresponde a cerca de 25% do volume médio diário anual. Em 15% desses locais pesquisados, todavia, o volume horário de pico, durante o ano, excedeu 32% do VMDA, enquanto que em outros 15% dos locais o volume horário de pico foi menor do que 16% do VMDA. Em todos os locais, contudo, poucas foram as horas durante o ano

em que o volume de tráfego excedeu em muito o volume que freqüentemente trafega pela rodovia. Tal fato torna-se-ia mais visível se no gráfico tivessem sido incluídos todos os volumes horários do ano. Assim, os estudos concluíram que, para as rodovias rurais, o volume da 30ª hora é de aproximadamente 15% do VMDA, e o maior volume horário é de aproximadamente 25% do VMDA. Além disso, em 70% de todos os locais, exceto nos locais onde existem altas ou baixas flutuações no volume de tráfego, a 30ª hora está entre 12% e 18% do VMDA (AASHTO, 2001).

Assim, a verificação da relação entre os maiores volumes horários do ano e o VMDA serve como guia para a seleção do VHP. Concentrando-se na análise da curva central (Figura 2.4), vê-se que o maior volume horário do ano exigiria uma rodovia que tivesse duas vezes a capacidade necessária, caso a rodovia fosse projetada para atender o volume da 130ª hora. Entretanto, se ao invés da 130ª hora for utilizada a 120ª hora, a economia em investimento representada pela variação do volume seria insignificante.

Verifica-se então que a partir de uma determinada hora, que no exemplo corresponde à 30ª hora, há uma grande variação, explicada da seguinte forma: considerando-se um projeto para a 20ª hora, o aumento de investimento necessário não corresponderá ao aumento de horas não congestionadas. Da mesma forma, em um projeto para a 40ª hora a redução do investimento será insignificante em relação ao aumento do congestionamento. Conseqüentemente, será em torno dessa hora próxima ao ponto de inflexão que a relação benefício/custo aproxima-se do máximo.

Segundo TTI (1996), a definição parece ser intuitiva e subjetiva, sendo que tal raciocínio continua a ser a base para o atual uso do volume da 30ª hora. Além disso, a utilização do volume da 30ª hora como VHP não deve ser interpretada como uma recomendação para a sua adoção rígida, mas, antes, como um exemplo das correlações típicas da hora de pico e de sua evolução. Essas mesmas correlações e evoluções são geralmente verdadeiras para outras horas de tráfego intenso, dentro do âmbito normal do projeto (DNER, 1999).

O fato de o ponto de inflexão da curva ser o local próximo ao máximo retorno em termos dos benefícios aos motoristas pode ser assim melhor explicado:

“Sabe-se que a escolha de um determinado volume horário de projeto acarretaria na utilização de uma classe específica de rodovia, que daria atendimento a este volume horário ao nível de serviço especificado. A esta classe de rodovia estaria vinculado um determinado custo do projeto. Caso o projetista desejasse acomodar um maior número de horas mantendo o mesmo nível de serviço, teria um volume horário de projeto maior o que poderia acarretar numa possível mudança de classe da rodovia e num conseqüentemente aumento do custo do projeto.” (LIMA NETO, 1975)

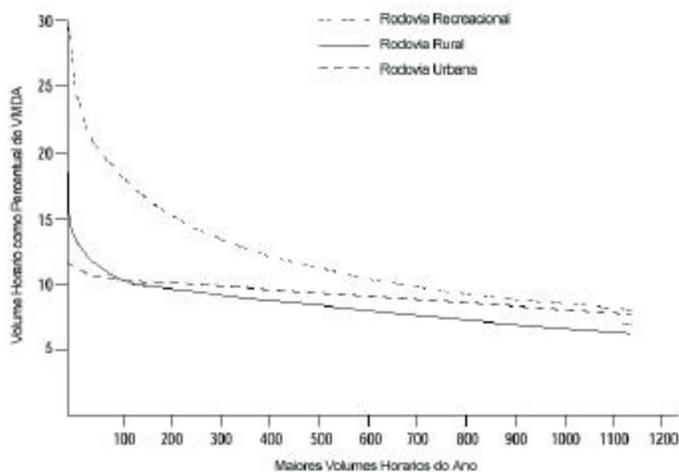
A análise dessas curvas conduz a uma conclusão de que o VHP usado em projeto deve ser o volume da trigésima maior hora do ano. A primeira versão do HCM comentava que essa conclusão era baseada na flutuação média do volume de tráfego para muitas rodovias rurais, e que os resultados não se aplicavam necessariamente a todos os locais. Entretanto, seguindo uma metodologia similar para locais de altas e baixas flutuações de tráfego, como representada pelas curvas superiores e inferiores da Figura 2.4, pode-se mostrar que nesses casos e, portanto, para a maioria dos casos, o volume da trigésima hora é geralmente um critério de uso razoável da capacidade necessária para a rodovia, o qual é muito praticado nos projetos rodoviários (AASHTO, 2001).

Segundo o TRB (2000), a prática habitual dos Estados Unidos determina, como base de projeto, um volume entre a 30ª e a 100ª hora. Nesse intervalo geralmente encontra-se o ponto de inflexão da curva, no qual a declividade muda bruscamente.

De acordo com as discussões anteriores e os critérios para projetos aplicados para a maioria das rodovias rurais, o volume da 30ª hora é também recomendado para ser usado como VHP em estudos de planejamento e projetos de rodovias urbanas. Essa recomendação se relaciona, mas não se baseia na seleção da 30ª hora próxima ao ponto de inflexão da curva, como se depreende pela Figura 2.4. Na realidade, a diferença entre o volume da 30ª e o da 200ª hora em rodovia urbanas é muito pequena, e o ponto de inflexão é de difícil identificação, como se percebe pela Figura 2.5.

Segundo TTI (1996), a recomendação do VHP para rodovias urbanas é, em geral, baseada na característica de uniformidade e previsibilidade do fluxo de tráfego desse tipo de rodovia. Conforme a AASHTO (2001), em áreas urbanas um apropriado

volume horário pode ser determinado por um estudo de tráfego durante os períodos de picos diários. Assim, a pouca diferença entre o volume da 30ª maior hora e o volume da 200ª maior hora resulta dos repetidos picos nos períodos da manhã e da tarde. Para uma condição urbana, o maior volume horário é encontrado durante o pico da tarde, em viagem do tipo trabalho-casa.



**Figura 2.5:** Ordenamento dos Maiores Volumes Horários do Ano por Tipo de Rodovia (TRB, 2000)

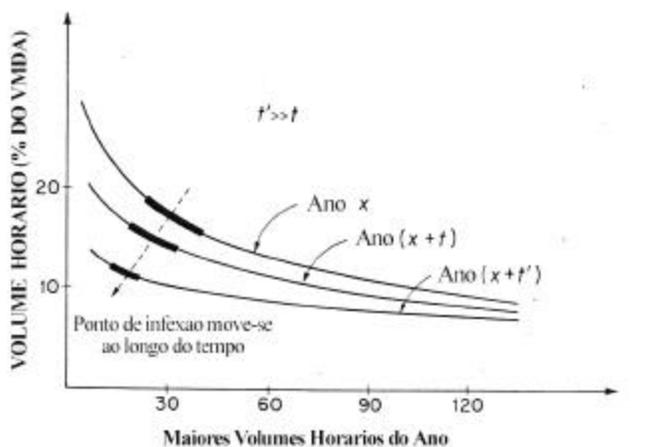
Um método para determinar um VHP adequado para rodovia urbana é selecionar os maiores picos no período da tarde de cada semana do ano e, então, calcular a média para as 52 semanas do ano. Se todos os volumes de pico da manhã forem menores que os da tarde, a média terá aproximadamente o mesmo valor do volume da 26ª maior hora do ano. Caso os picos matutinos sejam iguais aos vespertinos, a média terá aproximadamente o volume da 50ª hora. Os volumes representados pela 26ª e pela 50ª hora não são suficientemente diferentes do valor da 30ª hora, para efeito de projeto. Então, para o uso em projetos urbanos, o volume da 30ª hora pode ser aceito porque constitui uma representação razoável das horas de pico durante o ano (TTI, 1996).

Exceções podem ser necessárias em áreas ou locais onde se concentram viagens recreacionais, ou de outros tipos, durante alguns meses do ano, resultando em uma distribuição do volume de tráfego de tal natureza que, em um grande número de vezes, os volumes horários são maiores que o da 30ª hora; tal fato não pode ser tolerado nos projetos, sendo necessário considerar um valor maior.

### 2.3.2. Tendências de Crescimento do Fator K

Os estudos de projeto e planejamento necessitam da previsão do tráfego no futuro, mais especificamente do valor do VHP para o ano de projeto da rodovia. Isso é conseguido normalmente pela projeção do VMDA para o ano futuro, usando alguma das inúmeras técnicas de previsão e multiplicando esse valor pelo fator K (relação entre o volume da 30ª hora e o VMDA).

Na primeira versão do HCM de 1950, a relação do fator K - volume da 30ª hora com base no valor percentual do VMDA - mudava muito pouco de ano para ano. Foi, então, concluído que essa invariabilidade se devia ao fato de que ambos os parâmetros apresentavam taxas de crescimento semelhantes. Esse ponto foi assunto de várias pesquisas que contestavam tal afirmação e indicavam uma tendência de redução para o fator K, tanto ao longo dos anos quanto com o aumento do VMDA da rodovia. Por meio da Figura 2.6 percebe-se a variação da curva da enésima hora que, com o passar dos anos, tende a se tornar mais suave; conseqüentemente, o ponto de inflexão move-se para baixo e para a esquerda, reduzindo assim o fator K.



**Figura 2.6:** Variação da Curva da Enésima Hora com o Tempo (WOHL e MARTIN, 1967)

Visto que o fator K é variável ao longo do tempo, o conhecimento do real valor desse parâmetro no ano horizonte da rodovia passou a ser importante para uma correta estimativa do tráfego futuro. BELLIS e JONES (1963) realizaram, então, uma ampla pesquisa baseada em 69 postos de contagem contínua que operaram em New Jersey (EUA), durante 10 anos, e estudaram a tendência do fator K ao longo dos anos,

incluindo, ainda, na análise, variáveis como capacidade e população. Os resultados mais significativos desse estudo foram publicados na segunda versão do HCM e nas edições subsequentes. O estudo concluiu que:

- O valor de K da 30ª hora geralmente declina com o aumento do VMDA;
- A taxa de redução para valores altos de K da 30ª hora é muito maior do que para os valores de K baixos;
- Rodovias situadas em áreas de baixa densidade populacional, ou de pouco desenvolvimento, ou, ainda, aquelas sujeitas a flutuações sazonais acentuadas de tráfego, acusam quase sempre fatores elevados da 30ª hora. O desenvolvimento uniforme - ou o crescimento da área adjacente - tende, porém, a baixar aqueles fatores mais rapidamente de como ocorreria de outra forma;
- A capacidade de uma rodovia não tem grande influência sobre o valor K do projeto ou sobre sua taxa de mudança, pois é o aumento do volume médio diário que é o responsável pelo aumento dos volumes horários nas horas fora do período de pico, que tendem a reduzir o K do projeto.

Além disso, o estudo elaborou um curva de tendência que permitia ao projetista a determinação do valor real do fator K no ano de projeto, utilizando-se, para is so, da Equação 2.2.

$$K = 0,977^x [K_0 - 4,2] + 4,2 \quad (2.2)$$

em que,

K : valor do fator K no ano futuro;

x : número de anos do futuro; e

K<sub>0</sub> : valor do fator K inicial (ano base).

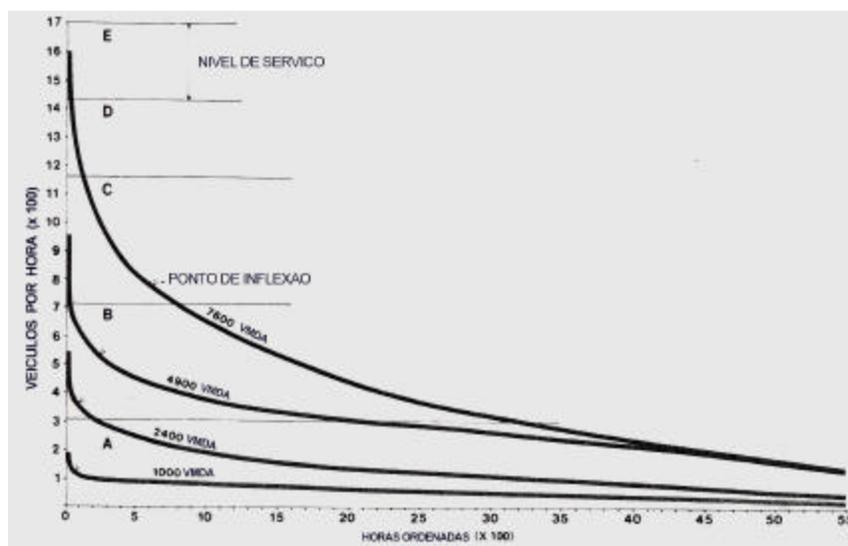
No entanto, observa-se que este modelo de determinação do fator K, limita-se na utilização de somente uma variável explicativa, sem considerar outras variáveis de influência como por exemplo a interferência no fator K devido a alteração do uso e ocupação do solo lindeiro da rodovia.

## 2.4. LIMITAÇÕES AO CRITÉRIO DA 30ª HORA

Como observado no item 2.3.1, é indicado o atual uso da 30ª hora como VHP em projetos de rodovias rurais e urbanas. Essa definição de VHP ficou tão difundida que foi adotada praticamente como um padrão por órgãos rodoviários do mundo inteiro, durante vários anos, e ainda resiste em parte devido a três fundamentais suposições (CRABTREE e DEACON, 1982):

- a distribuição ordenada dos volumes horários exibe um ponto de inflexão compreensível e ocorre na 30ª hora ou próximo desta;
- o ponto de inflexão define o ponto de dimensionamento mais econômico;
- o volume da 30ª hora, expresso como uma porcentagem do VMDA, fica constante ao longo do tempo.

A identificação do ponto de inflexão da distribuição dos volumes horários pode ser um assunto difícil e requer excessivo julgamento. Estudos realizados pelo HCM (TRB, 1985) identificaram que a posição do ponto de inflexão da curva varia de rodovia para rodovia e de local para local. Isso pode ser claramente verificado pela Figura 2.7, baseado em uma limitada amostra de contadores de Alberta, Canadá, na qual foram ordenados os 5500 maiores volumes horários de quatro locais pesquisados.



**Figura 2.7:** Curva dos 5500 Maiores Volumes Horários de 4 Contadores Permanentes de Alberta, Canadá (WERNER e WILLIS, 1979)

De acordo com esse estudo realizado por WERNER e WILLIS (1979), o ponto de inflexão da curva fica muito evidente para rodovias de baixo volume; porém, quando o VMDA aumenta, o ponto de inflexão desaparece do intervalo das 100 primeiras horas e muda para um outro ponto entre a 200ª e 600ª hora. Essa mudança resulta em diferentes valores do fator K (relação entre o volume da 30ª hora e o VMDA) quando o ponto de inflexão for a 30ª hora.

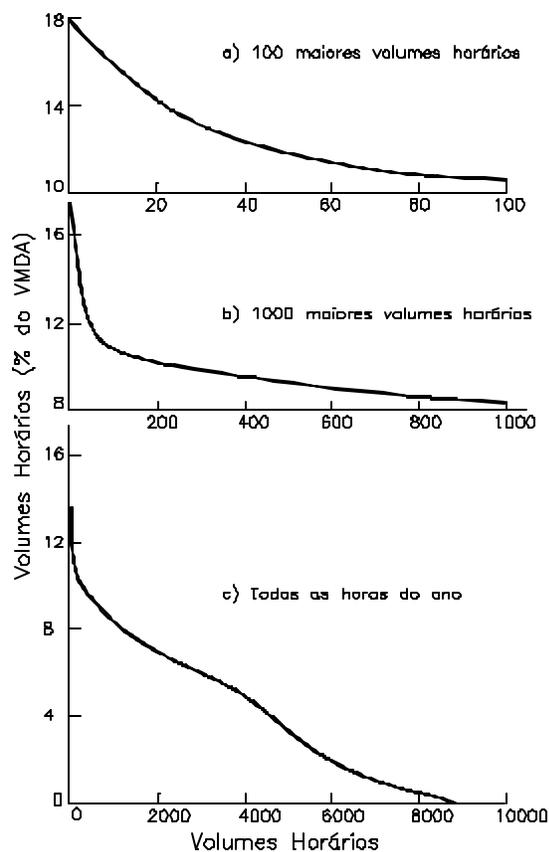
Até no mesmo local, o ponto de inflexão depende da quantidade de horas plotadas. No passado, os órgãos rodoviários ordenavam somente os primeiros 100 ou 250 maiores volumes horários durante o ano. O restante das horas era considerado de pouca importância porque o ponto de inflexão da curva normalmente ficava entre as 100 primeiras horas. Um dos motivos também desse reduzido número de horas era devido a plotagem dos dados ser realizada manualmente e sem os atuais meios computacionais. A inclusão de um excessivo número de horas tornava-se exaustiva, o que não é mais justificável no atual nível tecnológico, em que, de maneira fácil e rápida, pode-se construir gráficos com todas as 8760 horas do ano.

Em Kentucky, EUA, em 1977, foi realizado um estudo em que era solicitado, a observadores, o exame das curvas de volumes horários ordenados e a determinação do ponto de inflexão que porventura fosse percebido. O objetivo do experimento era estabelecer conclusivamente que o local do ponto de inflexão dessas curvas era influenciado drasticamente pelo número de horas dentro de subconjunto de dados.

Esse estudo demonstrou que há uma identificação do ponto de inflexão na maioria dos exemplos, e que a possibilidade de encontrar um ponto de inflexão aumenta com o aumento da quantidade de horas ordenadas. Porém, numa substancial percentagem de casos - aproximadamente 16% para o gráfico de 100 horas - não foi identificado o ponto de inflexão. Esses casos não podem ser considerados meras coincidências.

Além disso, o estudo demonstrou terem existido muitos casos em que os observadores discordaram em relação à existência do ponto de inflexão. Assumindo que esses observadores eram razoavelmente competentes, esse tipo de desacordo efetivamente demonstrou a natureza subjetiva e um pouco vaga do conceito do ponto de

inflexão. A Figura 2.8 exibe os três subconjuntos (100 horas, 1000 horas e 8760 horas) de dados nos quais cada posto foi dividido.



**Figura 2.8:** Curvas Horárias Construídas com os 100, 1000 e 8760 Volumes Horários (CRABTREE e DEACON, 1982)

Com relação à afirmação de que o ponto de inflexão da curva define o ponto de dimensionamento mais econômico, alguns estudos investigaram a evolução desse critério e os argumentos daqueles que acreditavam que o método tinha na verdade uma certa atração intuitiva. Segundo o estudo de CRABTREE e DEACON (1982) não foi possível demonstrar de maneira objetiva a suposição de que os volumes associados ao ponto de inflexão da curva na realidade eram os volumes mais econômicos a serem usados no projeto.

O HCM (TRB, 2000), referindo-se a esse problema, recomenda que a seleção da hora apropriada para propósitos de planejamento, projeto e operação, deve ser um compromisso entre fornecer um nível de serviço adequado para todas as horas do ano

(ou quase todas) e a eficiência econômica. Além disso, deve ser considerado o impacto dos altos volumes horários que não serão acomodados.

Segundo HEMPSEY e TEPLY (1999), o conceito da enésima hora é um pouco difícil para traduzir diretamente em custos de usuários anuais totais, necessários nas análises benefício/custo (B/C). A determinação dos custos do usuário requer a integração da área abaixo da curva ordenada com um segmento horizontal do nível de serviço, e uma distribuição de custos operacionais para o número de veículos de cada classe que usa a rodovia abaixo de cada condição de nível de serviço.

Por fim, novas rodovias - ou melhorias das existentes - normalmente não devem ser baseadas somente nos atuais volumes de tráfego, mas devem considerar o tráfego futuro esperado que usará a rodovia. A característica que contribuiu enormemente para uma rápida e difundida adoção do critério da 30ª hora foi a relação consistente ao longo dos anos com o VMDA. Essa característica foi discutida na seção 2.3.2.

## **2.5. DIMENSIONAMENTO DE RODOVIA**

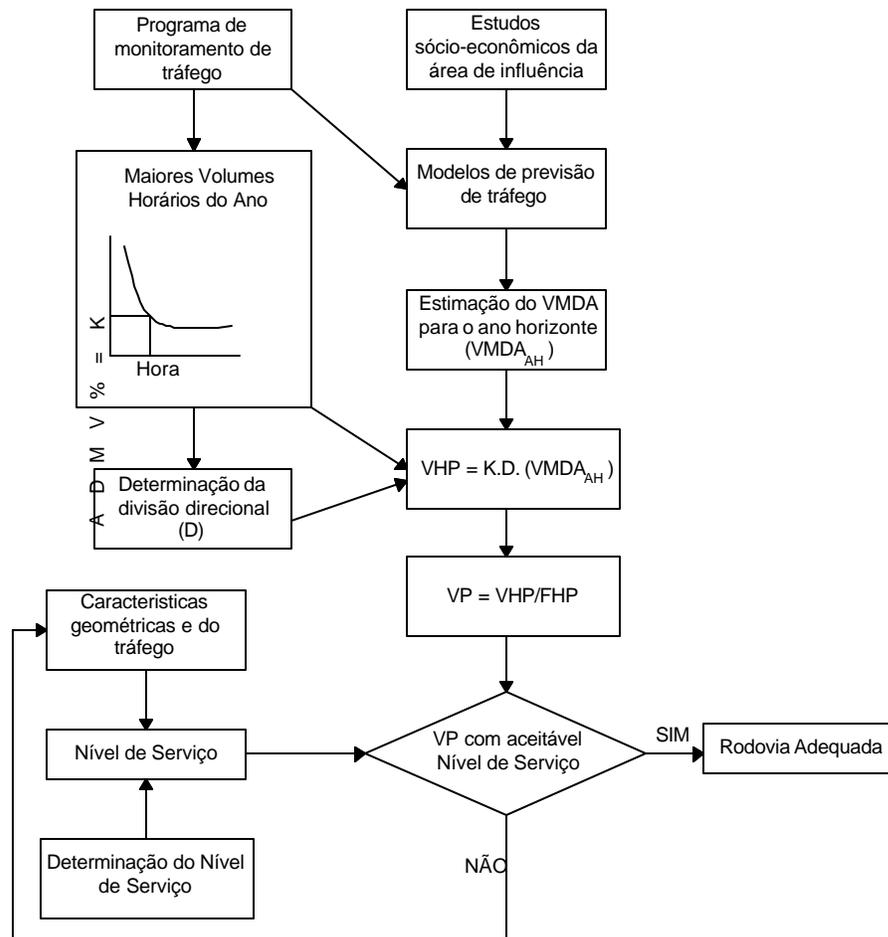
Antes de discutir os métodos alternativos de determinação do VHP, apresentase, nesta seção, o procedimento completo para a seleção do VHP pelo método tradicional e a especificação do número de faixas necessárias pela rodovia, consistindo de três passos básicos (CAMERON, 1975):

- Estimção do VMDA no ano de projeto;
- Determinação do percentual do VMDA durante a hora de projeto;
- Especificação da seção da rodovia pela fixação do nível de serviço.

Cada etapa do processo de seleção do VHP é observado na Figura 2.9 e especificado a seguir:

Passo 1: O sistema de monitoramento de tráfego fornece contagens horárias e direcionais, composição e taxas de crescimento do tráfego.

Passo 2: São coletados fatores sócio-econômicos para cada zona de tráfego, tais como população, emprego, etc., referente ao ano base e estimados para o ano horizonte do projeto.



**Figura 2.9:** Fluxograma da Seleção do VHP (Adaptação de CAMERON, 1975)

Passo 3: Os dados dos passos 1 e 2 são usados para alimentar um modelo de previsão de tráfego.

Passo 4: Os modelos de previsão de tráfego incorporam técnicas quantitativas e qualitativas para estimar os valores do VMDA para o link no ano horizonte do projeto ( $VMDA_{AH}$ ).

Passo 5: Do sistema de contagem de tráfego são extraídas informações dos maiores volumes horários expresso como percentual do VMDA.

Passo 6: Usando a curva da enésima hora, encontra-se o ponto de inflexão para identificar a hora de projeto (h). Determina-se a percentagem “K” do VMDA que corresponde a essa hora de projeto na curva.

Passo 7: O  $VMDA_{AH}$  é multiplicado pelo percentual K para a obtenção do VHP para o ano de projeto.

Passo 8: Com os dados do sistema de monitoramento de tráfego, determina-se o maior percentual da divisão direcional do tráfego (D) na hora de projeto (h).

Passo 9: Esse percentual direcional é combinado com o VHP para encontrar o volume para a direção crítica e em seguida o Volume de Projeto, como mostra as Equações 2.3 e 2.4.

$$VHP_{DireçãoCrítica} = (K).(D).(VMDA_{AH}) \quad (2.3)$$

$$VP = \frac{VHP_{DireçãoCrítica}}{FHP} \quad (2.4)$$

Passo 10: Características geométricas e do tráfego do link são usadas para determinar o nível de serviço.

Passo 11: Avaliar todos os fatores, incluindo o político, o social e o econômico. Uma análise subjetiva é realizada para identificar o nível de serviço do link. Determina-se o número de pistas necessárias na direção do pico, dividindo o Volume de Projeto pelo volume de serviço por pista para um dado nível de serviço, como mostra a Equação 2.5.

$$\text{Numero de Pistas} = \frac{VP}{\text{Volume de Serviço por Faixa}} \quad (2.5)$$

Passo 12: Para o trecho, os resultados dos passos 10 e 11 são comparados. Se o VP fornece um nível de serviço aceitável, a geometria da rodovia especificada é adequada. Se o nível de serviço não é adequado, a geometria da rodovia é modificada; o nível de serviço é determinado novamente e comparado outra vez com o VP para o ano horizonte.

## 2.6. ADOÇÃO DO VHP NO BRASIL

No Brasil, na década de 70, o Instituto de Pesquisas Rodoviárias do DNER, reconhecendo a importância do assunto, resolveu incentivar uma pesquisa com o intuito de acumular conhecimento na área, utilizando dados de contagem contínua coletados pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, em 36 postos espalhados pela Região Nordeste, no período de maio/72 a abril/73 (IPR, 1976).

Os dados serviram de base para o pesquisador LIMA NETO (1975), que desenvolveu um trabalho objetivando estudar e analisar o critério da enésima hora utilizado na determinação do Volume Horário de Projeto, como também aplicá-lo a dados de contagens de tráfego do Nordeste do Brasil. Dessa forma, pretendia-se obter valores que servissem de indicações que auxiliassem os engenheiros projetistas rodoviários na análise, no estudo ou no projeto de uma rodovia para a área estudada.

Os dados de tráfego, correspondentes aos maiores volumes horários consecutivos, até a 90ª hora, foram analisados em função da variação do horário do tráfego com as variáveis que caracterizavam o posto de contagem, tais como: localização (semi-urbana e rural), volume médio diário anual e tipos de rodovia.

Também foi realizada uma comparação do fator K obtido nas curvas americanas com valores locais, sendo os valores no Brasil, menores e menos dispersos. Uma das justificativas para essa diferença, segundo LIMA NETO (1975), seria o clima na região, que possibilita o tráfego normal durante todas as estações do ano e favorece a distribuição dos volumes horário mais uniformes. Outro motivo deve-se ao pequeno número de viagens recreativas relativamente ao total da população do Nordeste, devido ao baixo índice de motorização e à baixa renda local.

Outras conclusões obtidas pelo estudo foram:

- É válido fazer o estudo da estimativa do Volume Horário de Projeto, no Nordeste do Brasil, através da curva da enésima hora média obtida para os 36 postos.

- Não há razão para não se continuar adotando o valor da 30ª hora como estimativa da hora média mais adequada para o projeto, pois a hora média encontrada para as curvas estudadas foi a 33ª hora.

O estudo também comenta a importância entre VHP e nível de serviço, e recomenda que pesquisas futuras analisem a questão econômica, relacionando os custos de construção da rodovia com o custo dos volumes de tráfego que ficam acima do nível não atendido (1% no caso da 30ª hora), durante todo o período do projeto (IPR/1976).

Atualmente no Brasil, de acordo com o DNER (1999), os projetistas têm sido mais tolerantes na escolha do Volume Horário de Projeto, chegando-se a adotar o volume da 50ª hora nos locais em que se dispõe de contagens mecanizadas permanentes. O valor de 8,5% do VMDA tem sido adotado como representativo para rodovias rurais em que não se dispõe de informações mais precisas do comportamento do tráfego.

Objetivando obter valores precisos dos percentuais do VMDA representados pelos volumes da 30ª e pelos da 50ª hora em todo o País, os valores de K30 e K50 respectivamente, foram examinados de dados disponíveis de 219 postos de contagem permanente do DNER, chegando-se aos seguintes resultados:

**Tabela 2.1:** Fatores K nas Rodovias Rurais do DNER

REGIÃO	FATOR K		Nº DE POSTOS
	K30	K50	
Norte	8,2%	8,0%	3
Nordeste	9,0%	8,5%	42
Centro	9,0%	8,6%	29
Sudeste	9,3%	8,8%	73
Sul	9,6%	9,1%	55
Média Ponderada	9,3%	8,8%	202

FONTE: PNTC (1996), *apud* DNER (1999)

Não foram incluídos nos resultados dados de 17 postos, que se afastavam muito das médias de cada região, pois foram encontrados valores de K30 superiores a 12% ou que ficavam abaixo de 7%. Na Tabela 2.1 vêem-se os dados que mostram que as médias obtidas são compatíveis com o percentual de 8,5% do VMDA que vem sendo recomendado para rodovias em que não se dispõe de dados precisos.

Por fim, o DNER (1999) ressalta que a hora a ser escolhida como VHP dependerá de vários fatores e que deve ser determinada para cada estado, zona ou, se possível, para cada rodovia, visto que se trata de um problema de equilíbrio econômico entre benefícios previstos e custo de construção.

## **2.7. MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA DETERMINAÇÃO DO VHP**

Devido às várias limitações do método tradicional de determinação do VHP, como discutido anteriormente, a literatura apresenta dois métodos alternativos que foram desenvolvidos. Por causa da facilidade relativa de implantação ou porque superaram certas dificuldades do procedimento tradicional, eles serão descritos neste capítulo.

Os métodos alternativos de determinação do VHP discutidos aqui são o método do custo efetivo e a técnica da redistribuição dos volumes de tráfego dentro da perspectiva do usuário.

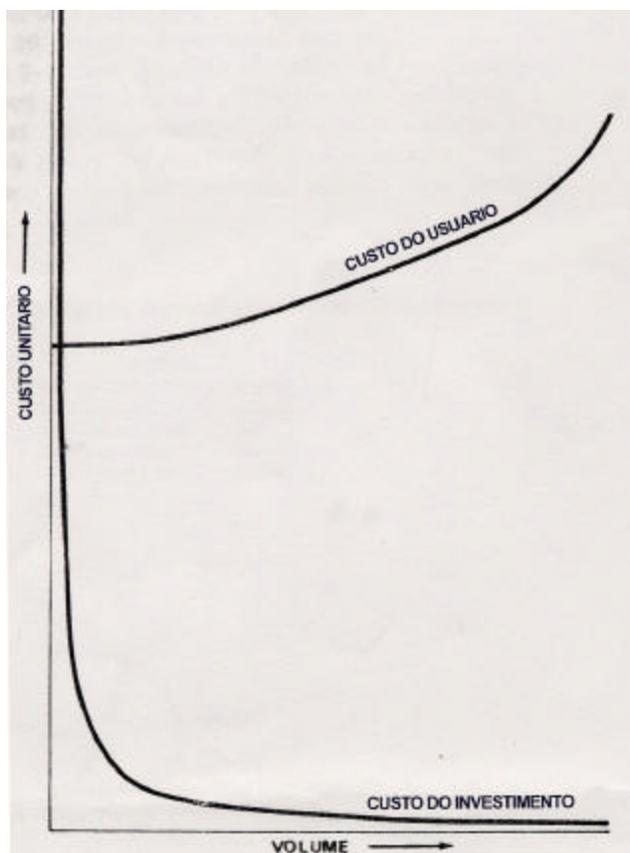
### **2.7.1. Custo Efetivo**

Com este método, tenta-se contabilizar os benefícios e os custos no dimensionamento de uma rodovia, levando em consideração a seleção do VHP. O método requer uma completa distribuição horária dos volumes para cada tipo de veículo durante a vida da rodovia e técnicas para estimar o custo do usuário em função do volume de tráfego (TTI, 1996).

O custo atribuído a um trecho de rodovia, denominado de custo total de transporte, é composto do custo de construção, do custo de conservação da rodovia e do custo de operação do tráfego.

O custo de construção para rodovias é alto, e o custo anual de conservação também é significativo. Se uma rodovia transporta um tráfego pequeno, o custo unitário da rodovia é muito alto; quando o volume aumenta, entretanto, o custo unitário diminui.

O custo de operação corresponde ao custo do usuário da rodovia (custo operacional dos veículos + custo do tempo de viagem); nele verifica-se que um baixo volume de tráfego normalmente fornece um pequeno custo unitário e, quando o volume aumenta, o custo do usuário aumenta devido ao congestionamento (SHARMA, *et al.*, 1985). Na Figura 2.10 visualiza-se a relação dos custos do órgão rodoviário e do usuário.

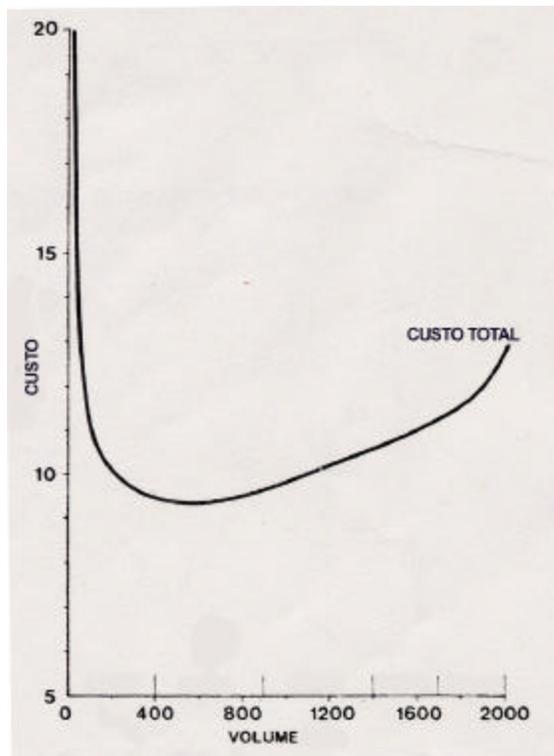


**Figura 2.10:** Custos do Órgão Rodoviário e Custos do Usuário x Volume de Tráfego (WERNER E WILLIS, 1979)

Se forem adicionadas a curva de custo da agência rodoviária (construção + manutenção) e a curva de custo do usuário, como é registrado na Figura 2.11, tem-se como resultado uma relação na qual um volume mínimo de tráfego gera um custo total mínimo de viagem, sendo esse valor o VHP de máximo retorno.

Mas, para calcular a relação custo total de transportes como função do volume de tráfego, é necessário relacionar todos os valores para uma base comum. Como os

custos da agência são função do volume e os custos do usuário função da velocidade de viagem, as relações velocidade-volume apresentadas pelo HCM devem ser usadas para determinar o custo do usuário como função do volume.



**Figura 2.11:** Custo Total de Transportes (WERNER e WILLIS, 1979)

### 2.7.2. VHP na Perspectiva do Usuário

Este método é relatado pelo *Institute of Traffic Engineers* (ITE, 1979) e sugere que no projeto uma rodovia o foco seja o usuário, e não a rodovia, como se evidencia no método tradicional das curvas da enésima hora. No caso, o foco torna-se a percentagem do tempo que o usuário típico experimenta condições de congestionamento, no lugar da percentagem de tempo que a rodovia experimenta tal condição. No método de determinação do VHP na perspectiva do usuário, a rodovia será dimensionada de tal forma que o usuário experimente congestionamentos de não mais que algum percentual aceitável do tempo.

A seleção da trigésima hora como o VHP aceita a possibilidade de que a rodovia possa experimentar não mais que 30 horas de operação com o nível de congestionamento mais elevado que o desejado, ou aproximadamente 0,34% do tempo. O método não considera a quantidade de usuários da rodovia que experimentam esse nível de congestionamento.

Segundo HEMPSEY e TEPLY (1999), às vezes cita-se como princípio básico que, com o uso da trigésima hora, aproximadamente 3% dos motoristas experimentam um nível de serviço menor que o desejado; mas essa afirmação é aparentemente derivada de um exemplo usado no HCM de 1950.

No entanto, o estudo nas rodovias do Nordeste do Brasil, na década de 70, foram encontrado valores diferentes. De acordo como os dados locais, ao projetar uma rodovia usando o volume da trigésima hora o projetista estaria em média atendendo a 99% do tráfego total anual; no projeto para a 60ª hora, estaria ele atendendo em média a 98% do tráfego total anual, e usando 90ª hora o projeto atenderia a 97% do tráfego total anual.

Um método que se utiliza da perspectiva do usuário para determinar o VHP de rodovias foi sugerido por SHARMA (1986). O pesquisador investigou o efeito do tipo de uso da rodovia ou a natureza da viagem ao longo da rodovia sobre o valor do VHP, no sistema de rodoviário da província de Alberta, Canadá. Um grande número de trechos rodoviários que possuíam postos de contagem contínua foram agrupados em diferentes categorias, de acordo com as seguintes variáveis: variação mensal, diária e horária do volume de tráfego, propósito de viagem e distribuição dos comprimentos de viagens.

Assim, semelhantemente ao método tradicional de seleção do volume da 30ª hora, o método proposto é baseado na distribuição dos volumes horários durante o ano. Mas a principal preocupação do método sugerido é o valor da probabilidade que o usuário experimentará um volume de tráfego que exceda o volume da enésima hora. Um valor tal de probabilidade pode ser calculada pela Equação 2.6:

$$P(\text{CON})_N = \frac{100}{365(\text{VMDA})} \sum_{i=1}^n V_i \quad (2.6)$$

em que,

- $P(\text{CON})_N$  : probabilidade que o usuário experimentará um volume de tráfego maior que o volume da  $n$ -ésima hora;  
 $V_{MDA}$  : volume médio diário anual;  
 $V_i$  : volume horário durante a  $i$ -ésima hora.

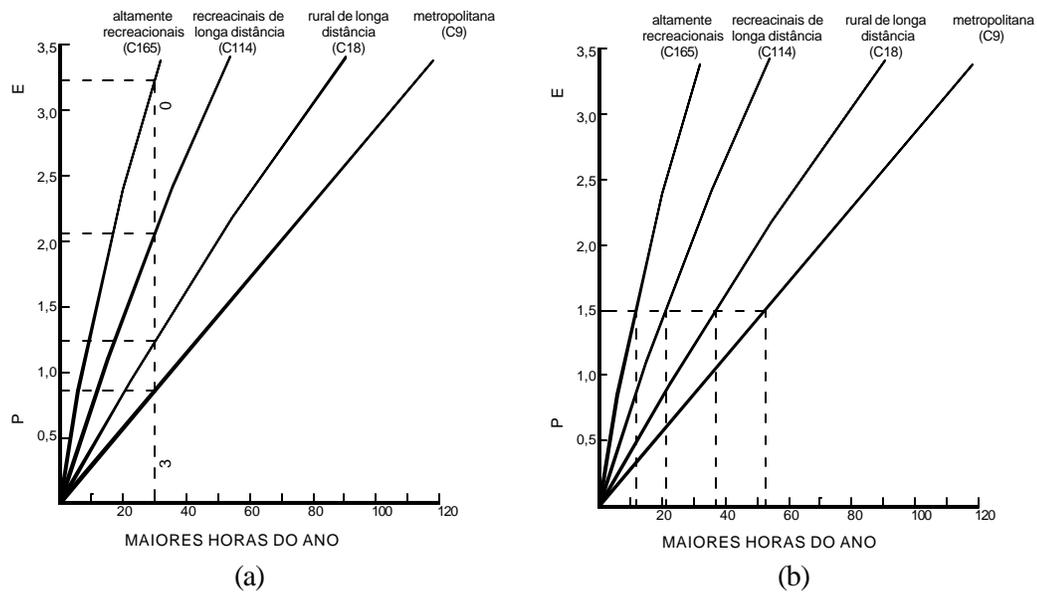
O valor da probabilidade calculado pela Equação 2.5 é também chamado de probabilidade de congestionamento do usuário e, na verdade, corresponde ao percentual de usuários que experimentarão um nível de serviço menor que o desejado, ou ao percentual de veículos não atendidos adequadamente. O processo de cálculo pode ser aplicado rapidamente, visto que todos os volumes horários são conhecidos e organizados decrescentemente, como se observa na Tabela 2.2.

**Tabela 2.2:** Cálculo da Probabilidade de Congestionamento do Usuário

ORDENAMENTO DA ENÉSIMA MAIOR HORA, $i$	VOLUME DA ENÉSIMA MAIOR HORA, $V_i$	% DE CONGESTIONAMENTO DO USUÁRIO
1	1.200	0,000
2	1.120	0,041
3	1.040	0,079
4	1.000	0,115
5	990	0,149
6	950	0,183
7	925	0,216
8	910	0,247
9	905	0,279
10	900	0,310
⋮	⋮	⋮
30	848	0,940
⋮	⋮	⋮
50	790	1,500

Fonte: (SHARMA e OH, 1989).

Se as probabilidades calculadas na Tabela 2.2 forem plotadas em um gráfico, como mostrado pela Figura 2.12a, fica claro que pelo método tradicional do volume da 30ª hora o número ou o percentual de usuários que sofrerão congestionamento variará significativamente com respeito ao tipo de rodovia sob consideração; de todos os motoristas que usam o local C9, somente 0,85% experimentaram congestionamento, comparados com 1,25% para o C18, 2,15% para o C114, e 3,35% para o C165 (SHARMA e OH, 1989)



**Figura 2.12:** Variação do Percentual de Congestionamento em Função do Tipo de Rodovia (SHARMA, 1986)

Usando o método na perspectiva do usuário para a definição do VHP, serão selecionadas diferentes horas de projeto para diferentes tipos de uso de rodovia. Por exemplo, pela Figura 12.2b detecta-se que, para fornecer um nível de serviço que permita a 1,5% dos usuários sofrerem congestionamento, o órgão rodoviária poderia selecionar um projeto correspondente aproximadamente à 50<sup>a</sup> hora para rotas metropolitanas, enquanto que para rotas rurais de longa distância, rotas recreacionais de longa distância e rotas altamente recreacionais poderiam ser projetadas com a 35<sup>a</sup>, 20<sup>a</sup> e 10<sup>a</sup> horas, respectivamente. A 10<sup>a</sup> hora para rotas altamente recreacionais pode parecer um superdimensionamento, mas o negócio do turismo pode ser tão importante em algumas locais que pode ter um peso maior do que outros fatores.

SHARMA (1986) alerta que o uso de 1,5% dos usuários que sofrerão congestionamento no exemplo anterior foi escolhido arbitrariamente e não deve ser mal interpretado como uma recomendação a ser adotada.

Após a discussão sobre o método tradicional de determinação do VHP, suas limitações e métodos alternativos, a seção seguinte concentra-se na qualidade de dados dos programas de monitoramento contínuo do volume de tráfego.

## 2.8. PROGRAMAS DE MONITORAMENTO DE TRÁFEGO

Para obter dados que representem a realidade das condições do tráfego e alcançar maior êxito nesses estudos, muitos órgãos rodoviários criaram programas de monitoramento de tráfego. O objetivo desses programas é suprir as necessidades de conhecimento da maior quantidade de trechos da malha, contribuindo para a redução dos elevados custos de coleta e processamento de dados (ASTEFL, 1994). RITCHIE (1986), observou que, além do baixo custo de coleta, esses programas devem satisfazer a necessidade dos usuários com respeito ao tipo, quantidade, forma e acurácia dos dados.

Os programas de monitoramento de tráfego são os mais diversos possíveis. Essa diversidade reflete as diferenças entre os departamentos rodoviários na aplicação de recursos financeiros para as rodovias e automatização das contagens de tráfego (FHWA, 2001), envolvendo a coleta de muitos tipos de dados como volume, composição, velocidade e pesagem de veículos (MOHAMAD *et al.*, 1998).

Apesar da diversidade, ALBRIGHT (1993) lembra que nenhum programa de monitoramento de tráfego deve ser desenvolvido separadamente, nos vários setores de um mesmo órgão. Isso porque os dados de tráfego são coletados para finalidades específicas, enquanto que, ocorrendo a integração desses dados em um banco comum, reduz-se a possibilidade de duplicação da coleta de dados em um mesmo local.

O FHWA (2001) acrescenta ainda que os programas de monitoramento devem tirar proveito da utilização de sofisticados equipamentos de coleta, que podem freqüentemente fornecer mais de um tipo de dado. Como exemplo, podem ser usados sensores adicionais em balanças eletrônicas instaladas permanentemente para realizar classificação de veículos e contagem volumétrica, quando não são coletados dados de peso. Assim, uma balança do tipo *WIN (Weigh-In-Motion)* pode servir a três propósitos, reduzindo a necessidade da operação de outro dispositivo de coleta para dados adicionais neste local. Dessa maneira, permite-se ao departamento rodoviário reduzir o número de equipamentos de coleta de dados operando continuamente e ao mesmo tempo aumentar a quantidade de dados disponíveis.

Além da integração dos dados coletados em campo, há uma preocupação com a qualidade dos dados. Um programa de monitoramento de tráfego deve garantir a qualidade dos dados assegurando que sejam válidos, permitir a edição ou remoção quando necessário de dados inválidos, armazená-los, e gerar informações estatisticamente confiáveis aos estudos rodoviários.

Após uma breve apresentação da importância de um bom programa de monitoramento, é fundamental conhecer os componentes do programa de monitoramento do volume de tráfego, devido a sua importância para os estudos e as análises de engenharia de tráfego.

### **2.8.1. Programa de Monitoramento do Volume de Tráfego**

Um programa de monitoramento do volume de tráfego concentra-se, principalmente, na estimação do Volume Médio Diário Anual (VMDA) para todos os segmentos da malha rodoviária. O método mais seguro para obter os dados do VMDA é a instalação de contadores que realizam contagens automáticas e contínuas ao longo do ano, denominados de *Automatic Traffic Recorders* – ATR, em todas as seções rodoviárias da malha. Porém, isso não é prático por causa do alto custo envolvido na compra e na instalação de tais equipamentos (MOHAMAD *et al.*, 1998). Por esse motivo, normalmente são adotados procedimentos para estimar esse parâmetro, baseados em amostras de contagem, consistindo na instalação de postos que realizam contagens contínuas e de curta duração em toda a malha rodoviária.

Os postos de contagem contínua ou permanentes são instalados em pontos onde se necessita de uma série contínua de dados para determinação de distribuição temporal e estimativas de tendências. A sua distribuição deve ser tal que os trechos onde estejam situados sejam representativos de cada tipo de rodovia do sistema, classificado de acordo com: função, situação geográfica, volume de tráfego. As contagens nesses postos são realizadas durante as 24 horas dos 365 dias do ano, por meio de contadores automáticos. Os contadores devem ser locados em número suficiente e de maneira a cobrir toda a região em estudo, de modo que possa refletir as características do tráfego (GUIMARÃES, 2001).

Segundo o FHWA (2001), o principal objetivo dos contadores contínuos é o desenvolvimento de mecanismos para converter contagens de curta duração em estimativas médias anuais utilizando-se dos fatores de ajustes. Visto que tais equipamentos normalmente registram (no mínimo) volumes horários por direção (e faixa) pode-se gerar informações adicionais de outras estatísticas úteis para o planejamento e operação de tráfego, tais como:

- conhecimento das variações e tendências sazonais, semanais e diárias do volume de tráfego;
- desenvolvimento de fatores de distribuição direcional do tráfego;
- determinação do volume horário de projeto.

Já nos postos de contagem de curta duração, normalmente são realizadas contagens manuais classificatórias com períodos que dependem do órgão rodoviário. O DNER (1976), ao adaptar tais procedimentos da metodologia desenvolvida nos EUA pelo *Bureau of Public Roads*, sugere as seguintes durações de pesquisas:

- a) **Postos Sazonais:** feitas em todos os meses do ano por um período de 7 dias consecutivos, durante as 24 horas do dia.
- b) **Postos de Cobertura:** as contagens ocorrem uma vez ao ano, durante um período de 24 horas ou 48 consecutivas, em dias úteis.

### **2.8.2. Qualidade de Dados de um Programa de Monitoramento de Tráfego**

Segundo TURNER (2004), a definição de qualidade de dados é um conceito relativo que pode ter significado diferente para diferentes usuários. Por exemplo, um dado considerado aceitável para um usuário pode ser inaceitável para outro usuário mais exigente. Nesse caso, é importante considerar e entender todos os usos dos dados antes de tentar medir ou determinar níveis de qualidade. Desse modo, os usuários de dados aqui tratados são tipicamente comprometidos em análises e planejamento a médio e longo prazo, e o uso de dados é principalmente de natureza histórica, diferentemente das

necessidades dos usuários de sistemas de monitoramento e controle de tráfego em tempo real.

Assim, depois da coleta e armazenamento dos dados de campo é fundamental o planejamento e a implementação de procedimentos ao programa de monitoramento de tráfego que assegure aos usuários a utilização estrita de dados válidos, sendo filtradas e eliminadas as inconsistências da base de dados. A preocupação na qualidade dos dados disponíveis deve-se ao fato que eles subsidiam a tomada de decisão que envolve frequentemente a alocação de recursos financeiros para construção ou melhorias na infra-estrutura de rodovias. A utilização de informações imprecisas ou errôneas pelos estudos de planejamento e de projetos (pavimentação, estudos de acidentes, etc.) pode gerar elevados custos ao órgão rodoviário.

O modo como os órgãos rodoviários identificam e controlam os erros dos dados de tráfego é um componente fundamental no programa de monitoramento de tráfego. Assim, esses programas devem manter registros de como os dados são manipulados e que cada manipulação tenha sido baseada em uma análise estatística. Não se deve excluir dados ou simplesmente substituí-los porque “eles parecem ser errados”. Ao invés disso, deve-se estabelecer procedimentos sistemáticos que permitam checar e identificar os dados inválidos, e, com isso, informar quando esses procedimentos de controle de qualidade são executados (FHWA, 2001).

Uma medida de qualidade frequentemente utilizada é a verificação da validade dos dados coletados, baseada em princípios de capacidade de tráfego, tendências típicas ou padrões de tráfego, ou simplesmente percepção e experiências locais. Logo, a validação de dados é uma medida de qualidade que usa dados históricos e regras para a aceitação das medidas de tráfego. Uma vez que algum registro viole tais regras, uma advertência deve informar ao usuário o “registro suspeito”, o qual deve ser verificado por um analista antes do armazenamento final no banco de dados.

Algumas experiências internacionais na validação de dados de tráfego, encontradas em países europeus (Holanda, Alemanha, França e Reino Unido) que utilizam sistemas ITS – *Intelligent Transportation Systems*, executam algum tipo de automação da validação dos dados, por comparações dos dados atuais com dados históricos, do mesmo local, durante um similar intervalo de tempo. Caso sejam

identificados registros suspeitos, estes são exibidos em gráficos para uma revisão e para a determinação da aceitabilidade dos valores (FHWA, 1997).

Apresentam-se, a seguir, algumas diretrizes para a edição dos dados coletados, capacitando o órgão rodoviário para identificar registros inadequados ou dados atípicos, os quais, se usados, podem resultar em ações e conclusões incorretas.

### **2.8.3. Edição de Dados de Volume de Tráfego**

A etapa após a coleta e o armazenamento dos dados é denominada pela AASHTO (1992) de “etapa de edição”, e tem como propósito principal assegurar que medidas de campo sejam válidas antes dos cálculos de estatísticas de tráfego. A edição para a validação dos dados é uma das etapas críticas em um programa de monitoramento de tráfego, podendo os procedimentos variar de acordo com o tipo e o uso do dado coletado, sendo importante que cada órgão rodoviário documente tais procedimentos.

Os programas de monitoramento preocupam-se com vários tipos de erros. Alguns desses erros dizem respeito aos valores registrados no banco de dados, englobando: os valores errôneos para a contagem de tráfego, e sucessivos valores idênticos (HU *et al.* 2002).

#### 1. Valores errôneos para a contagem de tráfego

Nessa categoria de erro enquadram-se aqueles erros com valores de máximos e de mínimos extremos. Um critério usado para determinar a validade de um dado é compará-lo em relação a medidas históricas de um mesmo local, isso porque alguns padrões de características de tráfego regularmente se repetem.

Assim, a identificação dos padrões dos dados dos contadores permanentes ajuda a identificar potenciais erros das atuais medidas de tráfego. Se o padrão de uma característica específica, tal como o volume diário, difere substancialmente de padrões anteriores durante um determinado mês ou mesmo dia da semana, podem existir erros, devendo ser considerado como dado suspeito.

É de responsabilidade do analista o questionamento da natureza dos dados, podendo aceitá-los ou rejeitá-los. Um novo padrão pode ser identificado e aceito. Se os dados forem rejeitados, o analista deve documentar o motivo para a rejeição.

## 2. Sucessivos valores idênticos

Um exemplo desse tipo de erro acontece quando o contador de tráfego registra consecutivamente o mesmo valor para um período longo de horas. Como as principais causas de inconsistências em uma base de dados de tráfego são ocasionadas por falhas, ou mau funcionamento dos equipamentos eletrônicos, tais erros podem provocar a repetição de valores sucessivamente.

SCHMOYER, *et al.* (2001) afirma que valores sucessivos iguais a zero são freqüentemente usados para denotar o mau funcionamento dos equipamentos, mas valores diferentes de zero podem ocorrer, principalmente durante o período da madrugada, para uma determinada rodovia. O autor acrescenta ainda que a possibilidade de valores repetidos diminui com o aumento do tráfego e do tempo considerado (por exemplo, 4 horas consecutivas com o mesmo valor).

Assim, a possibilidade de valores reais consecutivos ocorrerem dependem da localização e da hora do dia, enfatizando a importância do conhecimento do padrão de variação de tráfego dos locais monitorados por postos permanentes para serem usados em análises e edições preliminares.

Por fim, o tipo de erro mais comum encontrado em quaisquer programas de monitoramento de tráfego é a falta de dados existentes, ocasionados, entre outros motivos, por falta de energia, por problemas nos equipamentos e falhas de comunicação. Devido à freqüência desse tipo de erro, ele será discutido mais detalhadamente no item seguinte.

### **2.8.4. Dados de Tráfego Perdidos**

Desde os anos 30, há uma preocupação no tratamento e na análise de dados faltosos dos programas de monitoramento de tráfego (ALBRIGHT, 1991), visto que, quando há altos percentuais de dias perdidos nos postos permanentes, normalmente os

dados obtidos de tais postos não podem ser usados para o cálculo de estatísticas anuais de tráfego, como, por exemplo, do Volume Médio Diário Anual. Entretanto, alguns órgãos rodoviários comumente estimam os valores perdidos ou inválidos, substituindo-os muitas vezes por valores históricos, sendo essa técnica denominada *imputation*.

De acordo com a AASHTO (1992), a estimação de dados faltosos não é recomendada, pois pode introduzir erros que não são quantificáveis, e ao mesmo tempo estimular os órgãos rodoviários que se utilizam dessas técnicas a seguirem as seguintes diretrizes:

- qualquer banco de dados de um programa de monitoramento de tráfego deve indicar ao usuário a qualidade e a quantidade de dados que estão sendo usados nos cálculos das estatísticas de tráfego em um determinado local. Também deve informar os procedimentos de coleta e duração das contagens, a precisão e o erro das estimativas disponíveis;
- na base de dados devem ser identificados os valores perdidos que foram estimados. Isso assegura o Princípio Básico da Integridade dos Dados, o qual afirma que as medidas de tráfego devem ser armazenadas sem quaisquer modificações ou ajustes;
- os órgãos que se utilizam dessas técnicas devem claramente documentar os procedimentos usados para a estimação de dados perdidos e informar qual a magnitude da *imputation* no cálculo das estatísticas de tráfego obtidas;
- a estimação de valores perdidos é medida temporária que deve ser abandonada, visto que tais técnicas não são tão importantes quanto a utilização e o tratamento dos dados reais coletados.

Entretanto, SHARMA *et al.* (2003) afirmam que a *imputation* de dados não é proibitiva e que, para algumas análises avançadas, pode-se utilizar a técnica de estimação de dados faltosos. Uma das técnicas de *imputation* mais populares são os fatores de ajustes, desenvolvidos a partir de dados históricos coletados em postos de

contagem contínua. ZHONG *et al.* (2002) apresentam quatro modelos de estimação de dados faltosos para o volume horário de tráfego:

1. Média Histórica: neste modelo, o valor perdido é estimado a partir da média dos dados históricos para a mesma hora de anos existentes. É assumido que não existem mudanças no volume de tráfego de ano para ano. A substituição dos valores perdidos é calculada de acordo com a Equação 2.7.

$$\text{Valor Perdido} = \frac{\sum_{i=1}^N \text{Valor Histórico}_i}{N} \quad (2.7)$$

em que,

N é o número de anos existentes.

2. Média Histórica com Fator de Crescimento: este modelo acrescenta um Fator de Crescimento (FC) do tráfego da Equação 2.7. Os FC são usados como pesos no cálculo da média histórica, e é calculado usando a relação entre o VMDA do ano em que ocorreu a falha e o VMDA dos anos de dados existentes. A substituição dos valores perdidos é estimada pela Equação 2.8.

$$\text{Valor Perdido} = \frac{\sum_{i=1}^N (\text{Valor Histórico}_i * FC_i)}{N} \quad (2.8)$$

em que,

N é o número de anos existentes, e

$$FC_i = \text{VMDA}_{\text{Ano da Falha}} / \text{VMDA}_{\text{Ano de Dados Existentes}}^i$$

3. Modelo de Fatores Mensais: os fatores mensais dos anos existentes são usados para a estimação de dados perdidos. O fator mensal de um mês, antes e depois da falha, é usado no cálculo, como mostra a Equação 2.9.

$$\text{Valor Perdido} = \frac{mf_i / mf_{i-1} \times \text{Valor}_{i-1} + mf_i / mf_{i+1} \times \text{Valor}_{i+1}}{2} \quad (2.9)$$

em que,

$mf_i$  é a média dos fatores mensais no mês em que ocorreu a falha, calculados para os anos existentes;

$mf_{i-1}$  e  $mf_{i+1}$  são as médias dos fatores mensais para o mês antes e depois da falha respectivamente, em que são calculados para os anos existentes;

$\text{Valor}_{i-1}$  e  $\text{Valor}_{i+1}$  são os volumes horários da mesma hora do mês antes e depois da falha respectivamente, e

Os fatores mensais são obtidos de acordo com Equação 2.10.

$$\text{Fator Mensal} = \frac{\text{Volume Médio Mensal}}{\text{Volume Médio Diário Anual}} \quad (2.10)$$

4. Modelo de Fatores Mensais e Dias da Semana: o modelo anterior não incorpora o impacto do dia da semana. Neste modelo proposto é usado a mesma Equação 2.9, entretanto,  $\text{Valor}_{i-1}$  e  $\text{Valor}_{i+1}$  são volumes horários de uma mesma hora e dia da semana.

A virtude de tais métodos é a simplicidade, porém, ZHONG *et al.* (2002) acrescenta que os resultados obtidos por tais modelos normalmente são menos precisos que modelos mais sofisticados que se utilizam, por exemplo, de inteligência artificial (redes neurais, algoritmos genéticos, etc.).

Essa dedução foi obtida a partir de estudo em que se utilizaram dados de contadores permanentes localizados em rodovias de diferentes classificações funcionais na província de Alberta, Canadá. O estudo simulou perdas dos volumes horários na base de dados para o ano de 2000 e, usando uma série histórica de dados de 4 anos consecutivos (1996 a 1999) sem falhas, calculou por meio dos diversos modelos e técnicas de estimação os valores para os dados faltosos. Por fim, foram calculados os erros percentuais entre os volumes horários reais e os valores estimados para cada tipo

de modelo e técnica, bem como a avaliação das distribuições desses erros, considerando o erro médio e os 50°, 75° e 95° percentis.

Além dos padrões históricos, também pode-se utilizar os padrões espaciais para a estimação de dados faltosos. Esse caso é mais aplicável em ambientes urbanos que se utilizam de sistemas *ITS*, visto que em tais locais existem uma densa rede de detectores de tráfego. SMITH *et al.* (2003) usaram, entre outros modelos, uma média ponderada entre um detector localizado a jusante, e outro a montante do detector com falha; conhecendo o padrão de distribuição do volume de tráfego entre as pistas, estimou o valor do volume para o *link* em falha.

Mas, apesar dos bons resultados obtidos pelas técnicas e modelos mais complexos para a estimação de dados faltosos, e dependendo da variável que se deseja obter, é importante que o órgão rodoviário investigue a dispensabilidade de tais métodos. Em um estudo realizado por WRIGH *et al.* (1997), que utilizaram dados de postos permanentes das rodovias do estado da Flórida, EUA, simularam falhas em uma base de dados de tráfego e concluíram que a perda aleatória dos dados tem influências desprezíveis no cálculo do Volume Médio Diário Anual (VMDA).

Há também outros procedimentos que podem reduzir bastante o efeito dos dados faltosos nas estatísticas de tráfego, sem a necessidade de usar complexas técnicas de substituição de valores. Como resultado disso, a AASHTO (1992) adotou um método modificado, também recomendado pelo FHWA (2001), para calcular o VMDA diretamente com dados perdidos.

O método tradicional usa a média simples para determinar o VMDA e os dados perdidos podem influenciar no resultado, particularmente quando quantidades moderadas de dados foram perdidas em blocos, ou caso exista uma quantidade desigual de falhas para os dias da semana e finais de semana. No método da AASHTO, primeiramente calcula-se uma média para cada dia da semana, dentro de cada mês do ano. Com estes 84 valores (12 meses x 7 dias da semana) é calculada uma média anual para cada dia da semana. Por fim, com a média destes sete valores, é obtido o VMDA. Esse processo efetivamente remove a maioria dos erros devido aos dias perdidos, especialmente quando esses dados são distribuídos de forma desigual por meses ou dias

da semana, visto que essa prática assume que os dias do ano têm o mesmo peso no cálculo do VMDA.

Assim, antes de o órgão rodoviário adotar alguma técnica de *imputation*, deve ser realizada uma análise sobre a magnitude da perda dos dados e a influência dessas falhas nas estatísticas de tráfego desejadas. Vale lembrar, também, que um bom monitoramento das falhas e da manutenção dos contadores automático tão depressa quanto possível é mais importante que a preocupação com as técnicas referidas.

## 2.9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os problemas rotineiros que os engenheiros rodoviários enfrentam estão associados com a escolha de um volume de tráfego a ser usado como condição operacional aceitável em projetos de novas rodovias ou a predição desse volume para melhorias de rodovias já existentes. Tradicionalmente, utiliza-se o volume da trigésima maior hora do ano de projeto, obtida pela determinação do ponto de inflexão das curvas da enésima hora. O ponto de inflexão da curva, onde a declividade muda acentuadamente, freqüentemente corresponde ao volume horário de projeto. Baseados nesse modelo, tornaram-se conhecidos de todos que:

- a distribuição ordenada dos volumes horários exibe um ponto de inflexão compreensível e ocorre na 30ª hora ou próximo dela;
- o ponto de inflexão define o ponto de dimensionamento mais econômico;
- o volume da 30ª hora, expresso como uma porcentagem do VMDA, fica constante ao longo do tempo.

Essas premissas básicas, no qual o método tradicional é fundamentado, são inconsistentes e subjetivas, o que torna a utilização do procedimento inadequada para apoiar decisões de grandes investimentos em infra-estrutura, sem lembrar da advertência que tal critério não se aplica necessariamente a todos os locais.

No Capítulo 3 é apresentada a sistematização da metodologia proposta, que agrega melhorias das metodologias alternativas para uma correta escolha do Volume Horário de Projeto.

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGIA

#### 3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Mesmo com todas as falhas existentes do método tradicional, o procedimento inalterado continua sendo a base para estudos de projeto de novas rodovias ou melhoria de rodovias já existentes. Assim, a metodologia aqui proposta possibilita agregar um melhoramento aos procedimentos existentes, com o intuito de fornecer estudos técnicos racionais e menos subjetivos.

A metodologia sistematizada proposta para a escolha do VHP baseia-se no método da perspectiva do usuário, estudado na revisão bibliográfica, visto que não exige informações adicionais às que constam do programa de monitoramento contínuo do volume de tráfego existente nas rodovias estaduais do Ceará.

Outra vantagem do método é que ele focaliza o serviço de atendimento aos usuários durante a vida útil do projeto, ao invés de manter o equilíbrio na utilização da rodovia focando o volume de uma única hora. Como demonstrado anteriormente, esse fato permite escolher um valor de VHP de acordo com o uso e as características da rodovia. De modo prático, o método reconhece e enfatiza características peculiares de rotas recreacionais e de outras rotas com características diferentes.

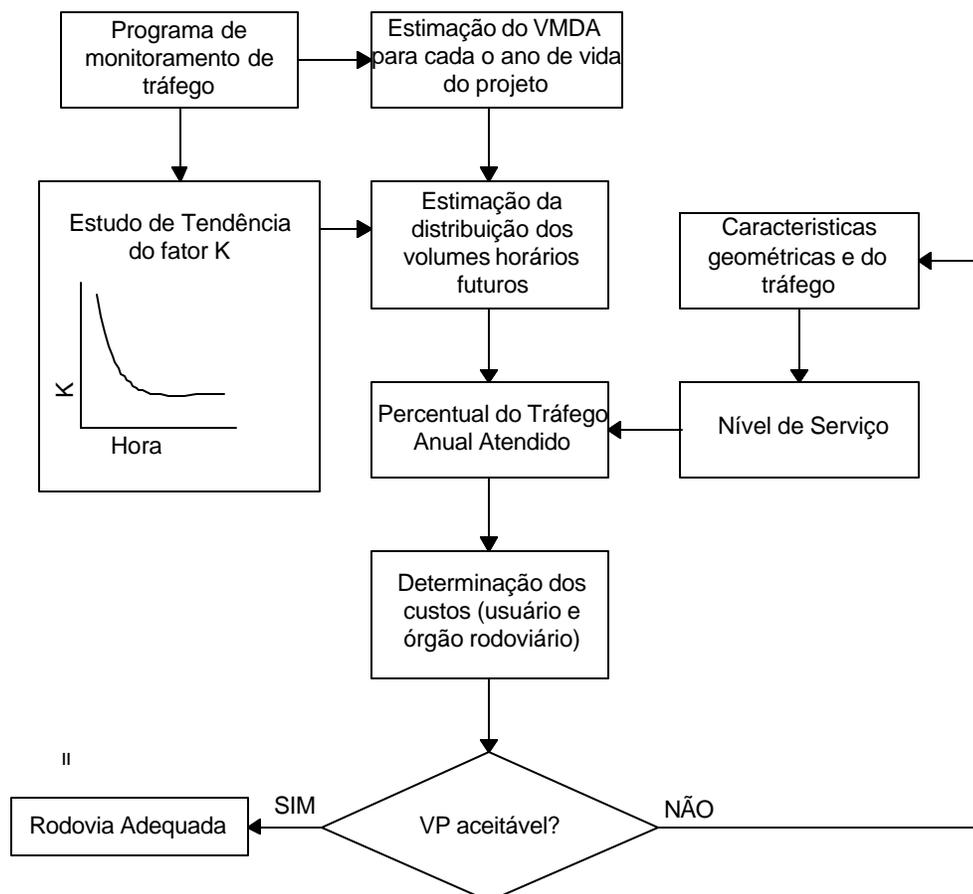
Pela revisão bibliográfica, verificou-se que os estudos baseados na perspectiva do usuário não definiram qual seria o percentual de congestionamento aceitável para cada tipo de rodovia. Para a metodologia proposta, a definição de tal variável foi obtida a partir da análise das distribuições de frequência dos volumes horários do ano de projeto e da quantificação do impacto econômico sofrido pelos usuários que não serão atendidos adequadamente.

Portanto, mesmo limitada aos custos relacionados ao usuário e à agência rodoviária, a metodologia proposta introduz uma análise econômica do investimento, o que a torna mais completa que o tradicional método da enésima hora.

### 3.2. SISTEMATIZAÇÃO DA MÉTODOLOGIA PROPOSTA DE SELEÇÃO DO VHP

A metodologia aqui sistematizada enfatiza a necessidade de considerações econômicas e orientadas ao usuário, para projetos e melhorias de rodovias. No caso, tem-se, como critério de decisão para projetar, o percentual de veículos que durante a vida útil da rodovia não sofrerão congestionamento e que terão um nível de serviço melhor ou igual ao projetado.

Com a finalidade de resumir esquematicamente as diversas etapas por que passará a escolha do VHP para o dimensionamento da rodovia, apresenta-se a seguir um fluxograma (Figura 3.1) que especifica todos os passos da metodologia proposta:



**Figura 3.1:** Sistematização do Método Baseado no Percentual do Tráfego Atendido para Seleção do VHP

### Passo 1: Programa de Monitoramento

A utilização da metodologia aqui desenvolvida tem como condicionante a existência de dados obtidos por um programa de monitoramento contínuo do volume de tráfego consistente e representativo da malha rodoviária. O sistema deve ser capaz de fornecer contagens direcionais dos volumes em intervalos de no mínimo 1 hora, sendo recomendados intervalos de 15 minutos, visto que se poderiam obter informações adicionais, como, por exemplo, o Fator da Hora de Pico.

A distribuição direcional, a composição e as taxas de crescimento do tráfego também devem ser obtidas desse sistema de monitoramento. Porém, antes da obtenção de tais informações, é fundamental que os volumes horários dos contadores contínuos passem por um processo de validação para avaliar a qualidade dos dados, excluindo os dados inválidos que possam provocar distorções no estudo.

### Passo 2: Estimação do Tráfego Futuro

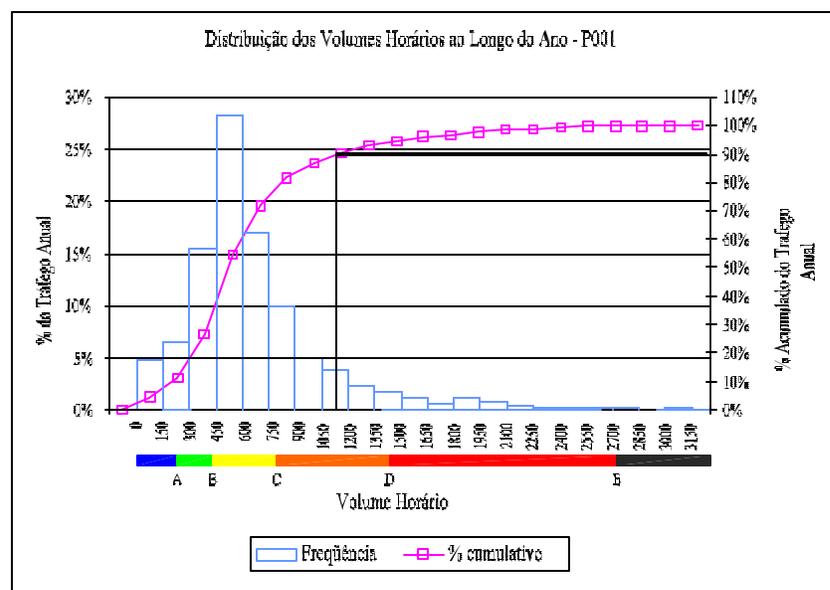
Visto que no projeto de uma rodovia deve-se ponderar a acomodação do tráfego existente no ano de projeto, é preciso estimar o tráfego futuro. Para essa metodologia, é necessária a estimação de todos os volumes horários durante a vida útil do projeto. Com as taxas de crescimento obtidas do programa de monitoramento, projeta-se o VMDA para cada ano durante a vida da rodovia e determinam-se as distribuições dos volumes horários a partir das proporções do fator K. Para obter os valores reais do fator K de cada ano, realiza-se um estudo de tendência dessa variável a partir da série histórica de dados de contagem existentes no programa de monitoramento do volume de tráfego.

### Passo 3: Características Geométricas e Nível de Serviço

O passo agora é determinar as características geométricas (largura das faixas, acostamentos, etc.) e usar as informações de tráfego, adquiridas pelo sistema de monitoramento para a determinação do volume de serviço, de acordo com a metodologia do HCM 2000 (detalhada no item 3.3).

#### Passo 4: Percentual do Tráfego Total Atendido:

A importância desse percentual deve-se à informação do número total de veículos que não sofrerão congestionamento. Para determinar a quantidade aceitável de usuários que seriam atendidos pela rodovia num nível de serviço melhor ou igual ao do projeto, utilizam-se gráficos de distribuição de freqüências de todos os volumes horários estimados pelo Passo 2 para o ano de projeto, juntamente com a escala do volume de serviço, determinado no Passo 3. Pela Figura 3.2 observa-se a distribuição dos volumes horários do tráfego futuro para o posto P001.



**Figura 3.2:** Distribuição dos Volumes Horários do Ano

Observa-se pela Figura 3.2 a distribuição de todos os veículos que trafegam no trecho para o ano de projeto, classificados pelo volume horário, sendo as colunas individuais o percentual do volume de tráfego anual e o eixo y, no lado direito, a distribuição acumulada do percentual do tráfego total anual. A escolha do percentual atendido definiu-se como o valor no qual a distribuição acumulada, no eixo direito da Figura 3.2, há uma redução da taxa de aumento dos volumes.

Visto que tal procedimento, assim como também a definição da trigésima hora como VHP pareceram um pouco arbitrários, deve-se atentar para o impacto do percentual dos usuários do tráfego total anual que sofrerão congestionamento. Isso será

possível quando existir uma estimativa do acréscimo do custo do tempo de viagem e do custo operacional pela redução de velocidade operacional desses veículos em função do congestionamento. Essa determinação é um passo importante no tratamento econômico que deve ser dado ao problema da escolha da hora mais adequada ao projeto.

#### Passo 5: Impacto Econômico nos Usuários que Sofrerão Congestionamento

Os resultados dos passos 3 e 4 são comparados. Assim, a decisão de modificar a geometria da rodovia deve ser justificada quando o percentual de veículos que sofrem congestionamento for considerado inaceitável, já que o custo econômico dos volumes de tráfego que ficam acima do nível atendido durante todo o período do projeto é maior que o custo do órgão rodoviário para promover melhorias na geometria da rodovia.

Para avaliar o impacto dos maiores volumes horários não acomodados, no item 3.4 serão detalhados os custos atribuídos ao usuário, como também os custos relativos ao órgão rodoviário. Antes, porém, no item 3.3, será apresentada a metodologia do HCM para rodovias de pista simples na determinação dos volumes e níveis de serviço.

### **3.3. DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE SERVIÇO**

Para entender o que é volume de serviço, é necessário conhecer a definição de nível de serviço. O nível de serviço é uma medida da qualidade das condições operacionais na rodovia, que procura refletir a percepção dos usuários em função de diversos fatores, tais como: velocidade e tempo de viagem, liberdade de manobras, interrupções do tráfego, segurança, conforto e conveniência. Um mesmo nível de serviço é mantido até que um volume máximo, denominado volume de serviço, seja atingido (DEMARCHI, 2000).

No cálculo dos volumes de serviço utilizou-se o software HCS2000 (*Highway Capacity Software*), versão executada em plataforma *Windows*, que implementa todos os novos procedimentos definidos pelo HCM 2000. O uso do HCS2000 deve-se ao fato de que nessa nova versão do HCM a determinação dos volumes de serviço só pode ser realizada de maneira iterativa por tentativa e erro, sendo tal atividade facilitada pela

utilização do *software*. Visto que todos os postos analisados localizavam-se em rodovias de pista simples, utilizou-se neste trabalho somente o módulo *HCS-TwoLane*.

Na metodologia de nível de serviço do HCM para rodovias de pista simples, dois parâmetros mensuráveis, também denominados medidas de desempenho, descrevem as expectativas dos usuários em relação à qualidade operacional:

- A Velocidade Média de Viagem: reflete a mobilidade da rodovia de pista simples. É o comprimento do trecho da rodovia dividido pelo tempo médio de viagem para todos os veículos cruzarem o segmento em ambas as direções durante um determinado intervalo.
- Percentual do Tempo Trafegando em Pelotão: representa a liberdade de manobra, conforto e comodidade da viagem. É uma média da porcentagem do tempo de viagem na qual os veículos se deslocam em pelotões atrás de veículos lentos, devido à impossibilidade de ultrapassagem.

Entretanto, a escolha do uso de uma das duas medidas de desempenho como critério para a classificação do nível de serviço depende das características da rodovia de pista simples, categorizadas em duas classes:

- Classe I – rodovias nas quais os motoristas esperam viajar a velocidades relativamente altas, incluindo vias intermunicipais principais, arteriais primárias e vias com viagens pendulares diárias.
- Classe II – neste tipo de rodovia os motoristas não esperam necessariamente viajar a velocidades altas, e inclui vias de acesso e recreacionais que não são arteriais.

Mas o principal determinante na classificação da rodovia é a análise operacional das expectativas dos motoristas, que poderia não concordar com a classificação funcional. Sendo assim, todas as rodovias estaduais do Ceará podem ser classificadas como do tipo Classe I, visto que nessas rodovias o que mais importa ao motorista é o deslocamento em altas velocidades. Pela Tabela 3.2 observam-se as medidas de

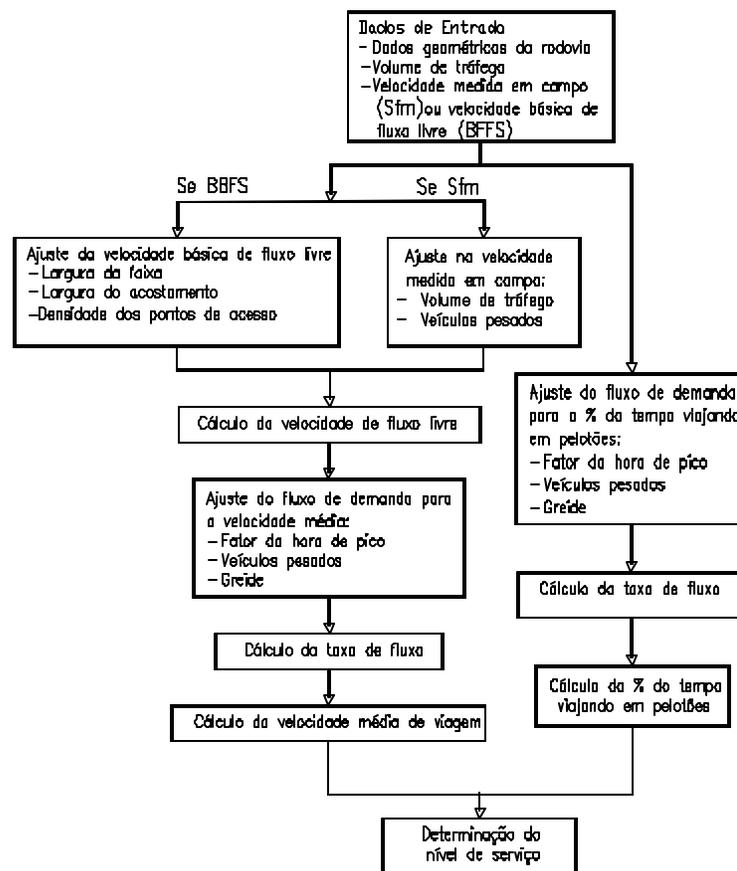
desempenho consideradas para as rodovias de Classe I, bem como os limites máximos das medidas de desempenho em cada nível de serviço.

**Tabela 3.2:** Níveis de Serviço para Rodovias de Pista Simples – Classe I

NÍVEL DE SERVIÇO	PORCENTAGEM DO TEMPO TRAFEGANDO EM PELOTÃO (%)	VELOCIDADE MÉDIA DE VIAGEM (KM/H)
A	< 35	> 90
B	> 35 – 50	> 80 – 90
C	> 50 – 65	> 70 – 80
D	> 65 – 80	> 60 – 70
E	> 80	< 60

Fonte: TRB (2000)

O método do HCM para a análise de nível de serviço de segmentos de rodovias de pista simples segue basicamente os procedimentos ilustrados na Figura 3.6, e requer os seguintes dados de entrada:



**Figura 3.6** Procedimento para Determinação do Nível de Serviço de Rodovias de Pista Simples (TRB, 2000)

- relevo do terreno em que se localiza o trecho da rodovia, classificado em plano ou ondulado;
- características geométricas da via (largura das faixas, largura dos acostamentos, percentual de zonas proibitivas de ultrapassagem e número de pontos de acesso);
- características do tráfego (volume horário, distribuição direcional, porcentagem de veículos pesados e fator de hora pico).

É necessário adotar valores padrões (condições ideais), pois seria praticamente impossível estabelecer diferentes relações entre fluxo e velocidade e porcentagem de tempo de tráfego em pelotão para cada cenário, caso fossem considerados diferentes fatores, tais como composições de tráfego, número de faixas, inclinações e comprimentos de greides, número de pontos de acesso, entre outros. Portanto, é mais razoável ajustar as condições reais para as condições ideais pela utilização de fatores de ajuste, que são tabelados para todas as condições observadas nas rodovias. As condições ideais para rodovias de pista simples são:

- largura mínima das faixas de tráfego de 3,6 m;
- largura mínima do acostamento (ou distância da borda externa da pista até um obstáculo lateral) de 1,8 m;
- inexistência de pontos de acesso na rodovia, tais como interseções em nível, pontos de entrada e de saída de veículos nas laterais da pista;
- inexistência de trechos de ultrapassagem proibida;
- tráfego composto apenas de automóveis, ou carros de passeio (cp);
- inexistência de impedimento ao movimento dos veículos, tais como elementos de controle de tráfego (semáforos, placas de sinalização) ou conversões, e
- relevo plano, sem rampas maiores que 2%.

De maneira simplificada, o método funciona nas seguintes etapas:

- calcula-se a velocidade de fluxo livre para o trecho da rodovia a partir de medições de campo ou estima-se esse valor indiretamente corrigindo por meio de fatores de ajustes que influenciam na velocidade (largura de faixa e de acostamento e número de postos de acesso).
- o volume de tráfego é convertido em volume equivalente de veículos de passeio, para os 15 minutos do período de pico, e considerando a presença de veículos pesados e o tipo de relevo existente no segmento.
- a partir desse volume ajustado, calculam-se as medidas de desempenho e determina-se o nível de serviço em que opera o trecho rodoviário.

### **3.4. CUSTOS RODOVIÁRIOS**

Na determinação dos custos atribuídos a um trecho rodoviário incluem-se: custos de desapropriação, de construção, de manutenção, custo operacional dos veículos, acidentes, tempo de viagem, custos ambientais, etc. Na análise deste trabalho foram examinados somente os custos de construção, de manutenção, de tempo de viagem e o custo operacional dos veículos, por serem consideravelmente superiores aos outros e por existirem metodologias de quantificação para eles.

#### a) Custos do Órgão Rodoviário:

Os custos do órgão rodoviário atribuídos a um trecho de rodovia são compostos de:

- Custo de Construção das Rodovias: gastos do poder público com a implantação da rodovia, incluindo os custos de terraplenagem, de pavimentação, de drenagem, de obras de arte correntes, de sinalização, de pontes, de túneis, etc., necessários para a implantação de novas rodovias e de melhorias em vias existentes (duplicações, terceira faixa, etc.).

- Custo de Manutenção/Conservação/Restauração das Rodovias: ocorrem ao longo da vida útil da rodovia. Correspondem aos custos relacionados com os serviços de conservação rotineira - preventiva, tapa-buracos, selagens, recapeamentos e restaurações - tanto dos pavimentos quanto das pontes, dos túneis, dos taludes, e de outros.

### b) Custos do Tempo de Viagem

Para quantificar o custo do tempo de viagem para um dado volume de tráfego, conhecidas as características geométricas da rodovia, utilizam-se as curvas volume-velocidade, construídas a partir da metodologia apresentada pelo HCM.

De posse das velocidades médias de viagem, o custo do tempo de viagem é gerado a partir da redução da velocidade devido ao aumento do volume de tráfego. Assim, caso não houvesse congestionamento, o motorista viajaria na rodovia a uma velocidade desejada de  $V$ , mas devido ao aumento do tráfego seu deslocamento será em uma velocidade menor  $v$ . Conseqüentemente, o tempo de viagem será maior. Esse tempo adicional para percorrer o mesmo trecho rodoviário considera-se custo. Então, obteve-se o custo do tempo de viagem para um dado volume de tráfego de acordo com a Equação 3.3.

$$CTV = Vol. \cdot [(P_{cp} \cdot T_{cp} + P_{on} \cdot T_{on} + P_{cm} \cdot T_{cm})] \left[ \left( \frac{S}{v} \right) - \left( \frac{S}{V} \right) \right] \quad (3.3)$$

em que,

CTV	: custo do tempo da viagem (R\$);
Vol	: volume horário de tráfego;
$P_{cp}, P_{on}, P_{cm}$	: percentual de carro de passeio, ônibus e caminhão, respectivamente na corrente de tráfego;
$T_{cp}, T_{on}, T_{cm}$	: valor do tempo em R\$/h do carro de passeio, ônibus e caminhão, respectivamente na corrente de tráfego;
S	: comprimento do trecho rodoviário (km);

- v : velocidade de viagem para um dado volume de viagem (km/h);
- V : velocidade média desejada da rodovia (km/h);

### c) Custo do Operacional dos Veículos

No cálculo dos custos operacionais dos veículos incluem-se dados sobre o Volume Médio Diário, os congestionamentos, as condições da rodovia, a velocidade e o tipo de veículo e da carga. As informações utilizadas são: a) o preço de aquisição do veículo e de seus acessórios; b) a mão-de-obra para a sua manutenção; c) o gasto com combustível e lubrificantes; d) o peso bruto, o número de eixos, o fator de equivalência, o número de pneus e o de passageiros dos veículos; e) o tempo médio de horas e o número médio de quilômetros dirigidos por ano, e f) a vida útil e a depreciação do veículo, e a taxa de juros. De posse dessas informações, calculam-se os consumos físicos da frota que utiliza a via, obtendo os custos unitários de operação a partir da análise desses consumos.

Os custos operacionais aqui tratados referem-se exclusivamente a consumo devido à redução da velocidade dos veículos que utilizam a rodovia por causa do aumento do volume de tráfego, isto é, a consumo dos veículos que estão sofrendo congestionamento, não sendo considerados nos custos o tipo e o estado da pista de rolamento.

## 3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia sistematizada aqui faz apreciações econômicas e é orientada ao usuário, ao invés de ser focalizada na rodovia. O critério de decisão é, pois, o percentual de veículos durante a vida útil do projeto que não vão sofrer congestionamento e que terão um nível de serviço melhor ou igual ao projetado.

Considerações econômicas são recomendadas na avaliação de quaisquer projetos que envolvam distribuição de recursos. Assim, a decisão para o dimensionamento da

rodovia deve ser justificada quando os custos do percentual de veículos que sofrem congestionamento for considerado economicamente inaceitável ao órgão rodoviário.

O método tradicional de dimensionamento de rodovias leva em conta somente o equilíbrio do VHP (demanda) com o nível de serviço (oferta); repousa no foco de uma única hora de projeto e a orientação é na rodovia, ao invés de no usuário. Assim, considerações de outros fatores citados pela metodologia aqui sistematizada contribuem bastante na decisão de investimento e de dimensionamento de rodovias.

## **CAPÍTULO 4**

# **CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO NAS RODOVIAS ESTADUAIS DO CEARÁ**

É fundamental que o órgão gestor rodoviário possua um programa de monitoramento de tráfego com informações confiáveis e consistentes, traduzindo as reais necessidades de seus usuários. Neste capítulo é realizada uma análise de consistência dos dados do atual programa de monitoramento contínuo do volume de tráfego das rodovias estaduais com intuito de utilizá-los na metodologia proposta de escolha do VHP. A qualidade dos dados é feita por meio do desenvolvimento de rotinas e de procedimentos que identificam erros nos dados de contagem

Após a consolidação da base de dados, este capítulo faz uma caracterização geral dos dados, visando a uma melhor compreensão do tráfego nas rodovias estaduais do Ceará e objetivando escolher trechos representativos da malha para aplicação do exemplo prático, com respeito a metodologia sistematizada

Essa caracterização inicia-se com a apresentação da atual malha rodoviária do Estado do Ceará, destacando as principais rodovias estaduais e localizando os postos permanentes. Nas seções seguintes, são estudados os dados dos postos com relação ao crescimento anual, à variação do volume mensal, à diária, à horária, à distribuição direcional e à composição do tráfego. Por fim, aborda-se o tema relativo ao cálculo de fatores de expansão e apresentam-se as considerações finais.

### **4.1. SISTEMA RODOVIÁRIO DO CEARÁ**

O sistema rodoviário do Estado do Ceará é composto em 5% de rodovias federais, em 22% de rodovias estaduais e em 73% de rodovias municipais (DERT, 2001). Com relação à malha rodoviária estadual, ela é composta de 112 rodovias, 14 das quais providas de trechos superpostos às diretrizes da malha federal.

Na Tabela 4.1 apresenta-se a situação física da malha rodoviária do Estado por jurisdição. Pode-se observar que entre as rodovias pavimentadas no Estado, 66%

pertencem à rede estadual, 29% à federal, e apenas 5% à municipal. Assim, observa-se a importância da rede estadual no contexto do transporte do Estado, que compreende a maior parte da malha rodoviária pavimentada, além de complementar as ligações com a rede federal.

**Tabela 4.1:** Situação Física da Malha Rodoviária do Ceará por Jurisdição

JURISDIÇÃO	PAVIMENTADAS (KM)	NÃO PAVIMENTADAS (KM)
Federal	2.143	245
Estadual	4.988	5.731
Municipal	373	38.180
Total	7.504	44.156

Fonte: DERT (2001)

As principais rodovias estaduais são:

- CE-040 – Via litorânea a leste do Estado, rodovia vital para o setor turístico, por ligar Fortaleza a Aracati e pela conexão com a BR-304, que leva a Mossoró, no Rio Grande do Norte. Por intermédio de transversais municipais, permite o acesso a diversos núcleos pesqueiros e turísticos, destacando-se Canoa Quebrada e o município de Icapuí.
- CE-060 – Rodovia também denominada de Estrada do Algodão, corta o Estado do Ceará de norte a sul e, historicamente, tornou-se uma importante via para o escoamento da produção de algodão. Hoje, é também responsável pelo escoamento da produção agrícola dos inúmeros municípios que atravessa, até mesmo os perímetros irrigados do Vale do Jaguaribe / Centro-Sul.
- CE-065 – Além da importância de seu segmento que interliga o Anel Viário de Fortaleza ao importante Centro Industrial de Maranguape, a rodovia possibilita ainda uma alternativa de ligação entre Fortaleza e o Pólo Turístico da Serra de Baturité. A via se sobressai também por possibilitar o escoamento de produtos hortifrutigranjeiros.
- CE-085 – Interliga as sedes municipais de São Gonçalo do Amarante, Trairi e Granja, entre outros, e dá acesso às praias do litoral Oeste do Estado, tais como Paracuru e Pecém. Constitui parte da via estruturante

do Programa de Desenvolvimento do Turismo – PRODETUR/CE e se destaca por possibilitar o escoamento da pesca e da produção de sal.

- CE-187 - Via que atua como vetor de integração estadual; seu traçado posiciona-se de forma paralela ao Estado do Piauí e interliga Viçosa do Ceará (na Serra da Ibiapaba) à cidade de Crateús, seguindo até o extremo sul do Estado.
- CE-292/293 – Corta transversalmente a Região Sul do Estado, fazendo a interligação da BR-116 com a BR-230, constituindo importante ligação interestadual.
- CE-362/456/265 – Constitui o anel central, cruzando o Estado, e liga os importantes troncos radiais rodoviários: BR-116, CE-060, BR-020, BR-222 e CE-085.

Para gerenciar essa malha, o DERT atualmente mantém um programa de monitoramento do volume de tráfego que conta com 12 postos de contagem contínua, 95 postos sazonais e 157 de cobertura. Como somente os postos permanentes possuem dados que permitem o conhecimento dos diversos padrões de variação temporal do volume e a identificação de outras características de tráfego, esses pontos representam um retrato da demanda que circula nas rodovias estaduais.

**Tabela 4.2:** Descrição e Localização dos Postos Permanentes

POSTO	RODOVIA	LOCALIZAÇÃO	
		INÍCIO	FIM
P001	CE-040	Entr.CE-453	Pindoretama
P002	CE-187	Entr.BR-222(Tianguá)	Ubajara
P003	CE-060	Entr.BR-122(B)/CE-368	Entr.CE-166/266(Quixeramobim)
P004	CE-060	Entr.CE-284(Umarizeiras)	Entr.BR-230(A)(Várzea Alegre)
P005	CE-065	Entr.CE-251(Jaçanaú)	Entr.CE-350(Maranguape)
P006	CE-371	Entr.CE-138/265(Morada Nova)	Entr.CE-266(Roldão)
P007	CE-363	Entr.CE-060(B)(Mombaça)	Morada Nova
P008	CE-364	Entr.CE-313(Campanário)	Entr.CE-232(Moraújo)
P009	CE-176	Entr.CE-265(Morro Redondo)	Entr.CE-266(Tamboril)
P010	CE-293	Entr.CE-393(B)	Entr.CE-153(Missão Velha)
P011	CE-354	Entr.CE-243(Varjota)	Entr.BR-222(A)(Umirim)
P012	CE-292	Araripe	Entr.CE-187/373(Campos Sales)

Assim, nas próximas seções serão discutidos e analisados os dados coletados pelos postos de contagem contínua, mas antes será analisada a situação do atual

programa de monitoramento do volume de tráfego do DERT. Na Tabela 4.2, juntamente com a Figura 4.1, visualiza-se a localização dos postos permanentes.



**Figura 4.1:** Mapa de Localização dos Postos de Contagem Permanentes nas Rodovias Estaduais do Ceará

#### **4.2. PROGRAMA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DO VOLUME DE TRÁFEGO NAS RODOVIAS ESTADUAIS DO CEARÁ**

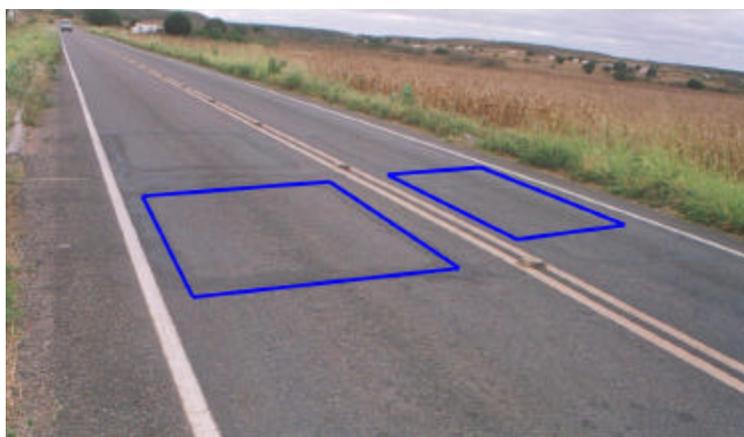
A implantação do Sistema de Contagem de Tráfego nas Rodovias Estaduais do DERT, teve início com a execução de um Plano de Contagem do Tráfego no ano de 1994, resultante de um convênio firmado através da Associação Técnico-Científica Eng. Paulo de Frontin - ASTEF / Universidade Federal do Ceará. Segundo ASTEF (1994), a finalidade do programa desenvolvido era fornecer procedimentos eficientes para a obtenção de estimativas precisas do VMDA nos vários trechos rodoviários, baseados nas amostras de contagem.

O programa de contagem de tráfego atualmente conta com 12 postos permanentes. A coleta dos dados de tráfego dos postos permanentes é realizada através de equipamento eletrônico (modelo AVC100) fabricado pela *Pat Traffic Control Corp.* Estes equipamentos foram alocados de modo que o local pesquisado fosse representativo do trecho rodoviário e estão as margens da rodovia em abrigos de concreto, protegidos de intempéries e vandalismo, como mostrado na Figura 4.2.



**Figura 4.2:** Postos de Contagem Permanentes Protegidos por Abrigos de Concreto

O processo de contagem desses postos é feito por um sensor tipo laço indutivo instalado no pavimento, em ambas as direções, o qual registra a passagem do veículo, enviando um impulso elétrico a um registrador acumulativo, como é mostrado na Figura 4.3. Os valores registrados são armazenados em uma memória em intervalos de uma hora (podendo ser em intervalo menor), desde que sejam configurados os parâmetros no *software* do equipamento. A capacidade de armazenamento dos dados no equipamento é de 20 dias.



**Figura 4.3:** Conjunto de Laços Indutivos, Instalados no Pavimento que Realizam Contagens Contínuas.

Esse modelo de contador, do tipo *Automatic Vehicle Classifier (AVC)*, além de fazer a contagem volumétrica, pode também realizar a classificação automática de veículos - registrando até 7 tipos de categorias diferentes -, e medir a velocidade de passagem dos veículos sobre o laço. Segundo STAMATIADIS e ALLEN (1997), esse tipo de equipamento produz novos dados que são requeridos numa variedade de estudos rodoviários; também ajuda os órgãos rodoviários a compreender de maneira mais eficiente os padrões de variações do tráfego, além de fornecer, de maneira mais precisa, as estimativas do VMDA por tipo de veículo.

Mas, devido a problemas técnicos-operacionais não foi possível a calibração dos parâmetros no *software* dos contadores do DERT, e o conhecimento da composição do tráfego nos postos permanentes realizam-se por meio de pesquisas manuais a cada trimestre do ano.

O equipamento também possui capacidade de transmitir os dados coletados, por meio remoto, mas não existem linhas de transmissão nos postos. Por isso, a coleta é realizada por um técnico diretamente em cada posto, utilizando-se para essa tarefa um *software* do próprio equipamento. Caso o período da coleta ultrapasse o período de armazenamento do equipamento (20 dias), os primeiros dados registrados nesse último período são perdidos (ASTEFA, 2001a). Devido a essas limitações, faz-se necessário montar um perfeito cronograma de viagens com base no tempo de armazenamento dos aparelhos, para evitar a perda de dados, o que infelizmente nem sempre ocorre.

Os dados coletados em cada posto permanente são transportados por um *notebook*, o qual processa e grava os dados numa memória no formato hexadecimal, para posteriormente serem transferidos para o banco de dados computacional do *Sistema de Controle de Tráfego (CTF)*. O sistema gera com rapidez insumos básicos de informações na elaboração de diversos estudos rodoviários.

Após a coleta de campo, os dados são convertidos do formato hexadecimal para um formato texto ASCII, separado por espaço, contendo 48 registros, e estruturado como se vê na Figura 4.4. A primeira coluna identifica o código do posto, seguido da data da coleta, da hora inicial, da hora final, e do sentido e volume de tráfego. Em seguida, os arquivos textos são inseridos no sistema de banco de dados (CTF), desenvolvido originalmente em linguagem CLIPPER 5.01. Com o passar do tempo, o

sistema tornou-se ineficiente e foi abandonado, pois não era robusto o bastante para trabalhar com uma grande quantidade de dados armazenados.

Station ID	Date	Time	Count
P002	01/02/99	0000 0100	1 9
P002	01/02/99	0000 0100	2 18
P002	01/02/99	0100 0200	1 4
P002	01/02/99	0100 0200	2 4
P002	01/02/99	0200 0300	1 20
P002	01/02/99	0200 0300	2 6
P002	01/02/99	0300 0400	1 26
P002	01/02/99	0300 0400	2 7
P002	01/02/99	0400 0500	1 35
P002	01/02/99	0400 0500	2 12
P002	01/02/99	0500 0600	1 23
P002	01/02/99	0500 0600	2 16
P002	01/02/99	0600 0700	1 42
P002	01/02/99	0600 0700	2 54
P002	01/02/99	0700 0800	1 45
P002	01/02/99	0700 0800	2 71
P002	01/02/99	0800 0900	1 87
P002	01/02/99	0800 0900	2 72
P002	01/02/99	0900 1000	1 101
P002	01/02/99	0900 1000	2 90
P002	01/02/99	1000 1100	1 111
P002	01/02/99	1000 1100	2 89
P002	01/02/99	1100 1200	1 96

**Figura 4.4:** Arquivo Texto com Dados de Contagem de Tráfego de um Posto Permanente

Além disso, o CTF possuía somente rotinas para a geração dos fatores de expansão de cada posto e para a emissão de relatórios sobre o volume de tráfego, sem ter qualquer ferramenta ou procedimento que pudesse verificar e analisar a qualidade dos dados coletados em campo, de modo que a base de dados possuía uma grande quantidade de dados errôneos e inconsistentes.

#### 4.3. TRATAMENTO DOS DADOS DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DE TRÁFEGO DAS RODOVIAS ESTADUAIS DO CEARÁ

Como observado anteriormente, o Sistema de Controle de Tráfego do DERT tornou-se ineficiente e foi abandonado. Dessa forma, não foi possível reutilizar os dados desse antigo sistema de contagem de tráfego nesta pesquisa. Um novo banco de dados foi desenvolvido usando o *Microsoft Access*, que foi alimentado com os dados brutos (formato hexadecimal convertido no formato ASCII) dos 12 postos permanentes, obtidos durante os anos de 1996 a 2002. Pela Tabela 4.3 detecta-se a descrição dos campos do novo banco de dados.

**Tabela 4.3:** Estrutura do Novo Banco de Dados de Contagem de Tráfego para os Postos Permanentes

CAMPO	DESCRIÇÃO
TRF_CODPOS	Número do Posto Permanente
TRF_DATA	Data de contagem
TRF_HORAINI	Horário inicial
TRF_HORAFIN	Horário final
TRF_SENTID	Sentido de tráfego da contagem
TRF_SEMANA	Dia da semana
TRF_OBSERV	Identificação de feriados ou dias de influências
TRF_VOL	Volume horário
TRF_ERRO	Tipo de erro identificado
TRF_CONDICAO	Dar a condição de validade ou não do valor

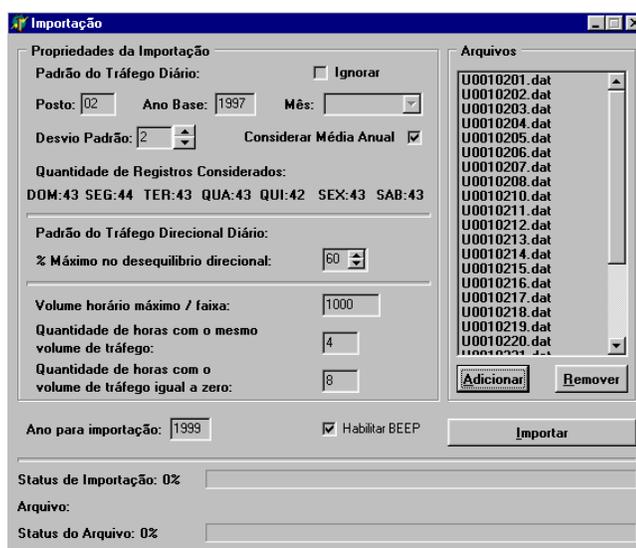
No novo banco de dados, a principal preocupação foi com a qualidade dos dados dos contadores automáticos, sendo criados procedimentos que visavam a identificação, o controle e a filtragem de possíveis inconsistências. Para isso, foram incluídos os campos TRF\_ERRO e TRF\_CONDICAO, que registram os tipos de erros encontrados e informam a validade, ou não, do valor para o cálculo de estatísticas de tráfego.

Foi então criada uma rotina que realizava a importação dos arquivos ASCII, comparando com padrões históricos do mesmo posto, ou valores limites máximos, sendo checado eletronicamente a existência de valores extremos, nulos ou repetidos. Se fosse identificado um valor suspeito, uma advertência era recebida pelo operador, pedindo a aceitação ou a rejeição do dado. No campo TRF\_ERRO os vários tipos de erros eram identificados, de acordo com a Tabela 4.4, e no campo TRF\_CONDICAO era informada a condição de validade ou não do valor suspeito, sendo “0” no caso de erro aceitável, ou “1” no caso de erro inaceitável.

**Tabela 4.4:** Tipo de Erro Identificado pelo Novo Banco de Dados de Contagem de Tráfego

TIPO DE ERRO	DESCRIÇÃO DOS ERROS
0	Arquivo sem problema
1	Arquivo com menos de 48 registros
2	Soma total do volume de tráfego diário igual a zero
3	Soma do volume de tráfego diário de um dos sentidos igual a zero
4	Volume de tráfego diário fora do intervalo aceitável
5	Ultrapassa porcentagem máxima de desequilíbrio direcional
6	Ultrapassa o volume horário máximo por faixa
7	Ultrapassa a quantidade de horas com o mesmo volume de tráfego
8	Ultrapassa a quantidade de horas com o volume de tráfego igual a zero

Um tipo de erro que não é listado na Tabela 4.4 refere-se à ocorrência de data errônea do arquivo importado; caso fosse identificado tal erro, uma mensagem de advertência era emitida, informando que os registros não poderiam ser inseridos no banco de dados. Assim, para evitar a duplicação de dados, algo bastante comum no antigo sistema do DERT, os campos TR\_CODPOS, TRF\_DATA, TRF\_HORAINI, TRF\_HORAFIN e TRF\_SENTID, listados na Tabela 4.3, foram definidos como campos identificadores ou chave primária, o que garante que cada registro seja único. Na Figura 4.5 vê-se a interface criada na linguagem *Delphi 6* para a importação dos dados.



**Figura 4.5:** Interface Criada para a Importação e a Identificação de Dados Suspeitos na Base de Dados de Contagem de Tráfego

Alguns erros, como os do tipo 1, 2 e 3 (Tabela 4.4), por exemplo, ao serem detectados, recebiam diretamente a condição de dados inaceitáveis ou inválidos. Mas em outros erros, como por exemplo o do tipo 7, que identifica o registro dos mesmos valores do volume de tráfego para períodos sucessivos, após a mensagem de advertência era necessário uma inspeção dos dados suspeitos, visto que para os postos de baixos volumes de tráfego, em períodos da madrugada, a repetição do mesmo volume horário não era rara.

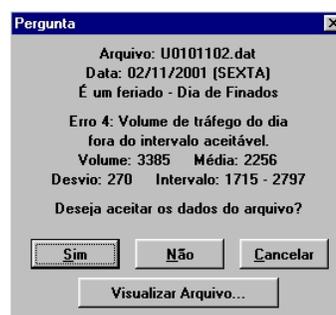
A parte inicial do aplicativo, denominada de “Padrão do Tráfego Diário”, foi utilizada para a identificação de valores extremos do volume diário. Assim, ao ser

executada a importação dos dados de determinado posto permanente, verificava-se se o volume de um determinado dia estava em um intervalo de  $\pm 2$  desvios padrões em relação ao volume médio anual do ano anterior (Ano Base) para o mesmo dia da semana e o mesmo local. A utilização de  $\pm 2$  desvios padrões deve-se ao fato de que o tamanho da amostra permite afirmar que a variável volume diário aproxima-se de uma distribuição normal e que, no caso, 95,5% dos valores estariam nesse intervalo considerado.

A confirmação que a variável volume diário obedece a distribuição normal, pode ser verificada pelo teste de aderência realizado para o posto P002, apresentado no Anexo I (Figura I.1 e Tabela I.1)

Especificamente para o posto P001, utilizou-se um intervalo de  $\pm 1$  desvio padrão, pois trata-se de uma rodovia turística e apresenta uma variação de tráfego maior. Caso fossem utilizados também  $\pm 2$  desvios padrões, o intervalo considerado seria muito grande, sendo impossível a identificação de valores extremos.

Contudo, caso o volume do dia importado estivesse fora do intervalo considerado, não seria necessariamente um valor inválido. Na verdade, essa condição é uma advertência que identifica um valor suspeito, devendo-se inspecionar os dados, verificando a magnitude do volume diário, o intervalo, o desvio padrão considerado, e se não corresponde a um feriado ou a uma data de influência (data próxima a feriados). Pela Figura 4.6 detecta-se um exemplo de mensagem de advertência de dado suspeito.



**Figura 4.6:** Mensagem de Advertência de Identificação de um Dado Suspeito

A segunda parte do aplicativo, denominada de “Padrão de Tráfego Direcional Diário”, foi usada para tentar examinar problemas de mau funcionamento dos laços

detectores dos contadores que pudessem provocar um desequilíbrio no tráfego direcional, visto que na maioria das rodovias bidirecionais os picos da manhã e da noite ocorrem em direções opostas. Além do mau funcionamento dos equipamentos, um desequilíbrio direcional poderia ser provocado por limitações das condições típicas de operação da rodovia, como, por exemplo, o fechamento de uma pista de tráfego.

Existe, porém, um limite do uso da distribuição direcional como um indicativo de mau funcionamento dos contadores. Em algumas rodovias, particularmente em áreas turísticas, o tráfego da sexta-feira estará desequilibrado em uma direção e o tráfego do domingo em outra. Se isso é observado, deve ser considerado típico. Esses padrões de tráfego deveriam ser registrados de forma que dados futuros pudessem ser melhor editados, contra informação do tráfego atual. No aplicativo, foi usada uma média de oito contagens manuais realizadas nos dois sentidos dos 12 postos permanentes, para definir um valor percentual de desequilíbrio direcional. O valor obtido aceitável correspondeu a um percentual de 60%. Se o valor fosse superado, uma mensagem de advertência seria emitida para a aceitação ou não dos dados.

A terceira e última parte do aplicativo buscou os valores limites máximos como indicativos de erros, como, por exemplo, um volume horário máximo, ou uma quantidade máxima de valores sucessivos idênticos. Para a definição dos limites para os volumes horários máximos por sentido de tráfego permitido, verificou-se a magnitude do VMD das contagens manuais dos postos permanentes e foram adotados os valores mostrados na Tabela 4.5.

A utilização do VMD como variável de definição do máximo volume horário tem por objetivo localizar valores anormais para o volume horário. Exemplificando, como indicado na Tabela 4.5, o volume de veículos do Posto 008 que passam durante todo o dia é de 200 veículos; assim, seria muito difícil passarem 200 veículos em um intervalo de uma hora, embora a hipótese não seja impossível. Mas o parâmetro não pode ser sempre igual ao VMD, como ocorre para o posto P001, visto haver também um limite de capacidade do trecho rodoviário.

Já na localização de valores sucessivos maiores que zero, foi considerado que o mesmo volume não deveria ocorrer por mais de 4 horas consecutivas, por sentido de tráfego. O critério foi usado como adequado para a maioria dos postos, com exceção dos

postos P007, P008 e P009, que possuem baixo volume de tráfego. Assim, utilizaram-se 5 horas consecutivas, visto que em alguns períodos a repetição do mesmo volume horário não era rara e a quantidade de dados suspeitos era grande. Para valores sucessivos iguais a zero foi considerado, para todos os postos, que não poderia haver um volume igual a zero por 8 horas consecutivas.

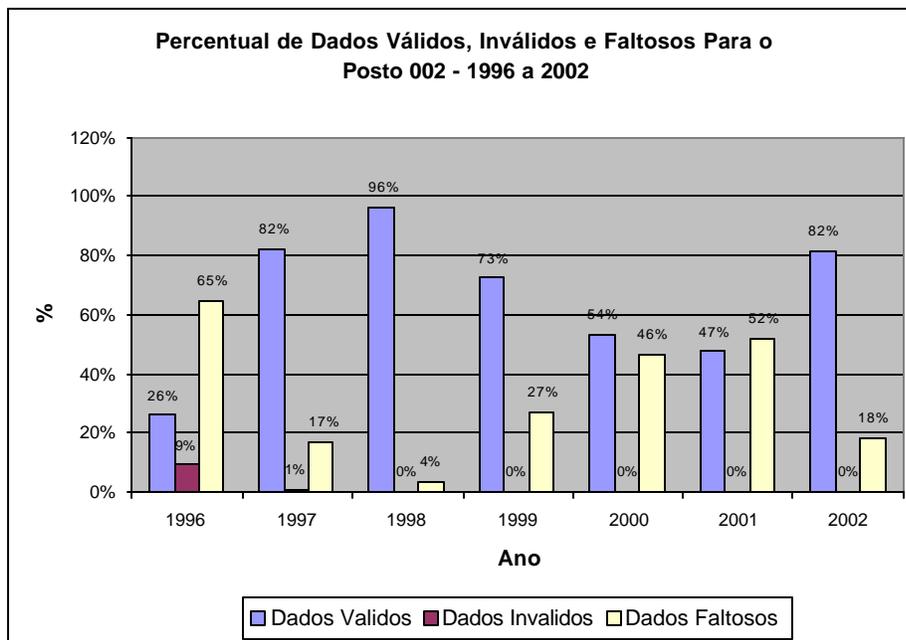
**Tabela 4.5:** Valores do Volume Horário Máximo por Sentido de Tráfego Permitido para os Postos Permanentes

POSTO	MAGNITUDE DO VMD (VEÍCULOS/DIA)	VOLUME HORÁRIO MÁXIMO POR SENTIDO DE TRÁFEGO PERMITIDO
001	4200	1300
002	1900	500
003	1200	500
004	500	300
005	5000	1300
006	400	300
007	200	200
008	200	200
009	300	200
010	2000	500
011	1500	500
012	350	200

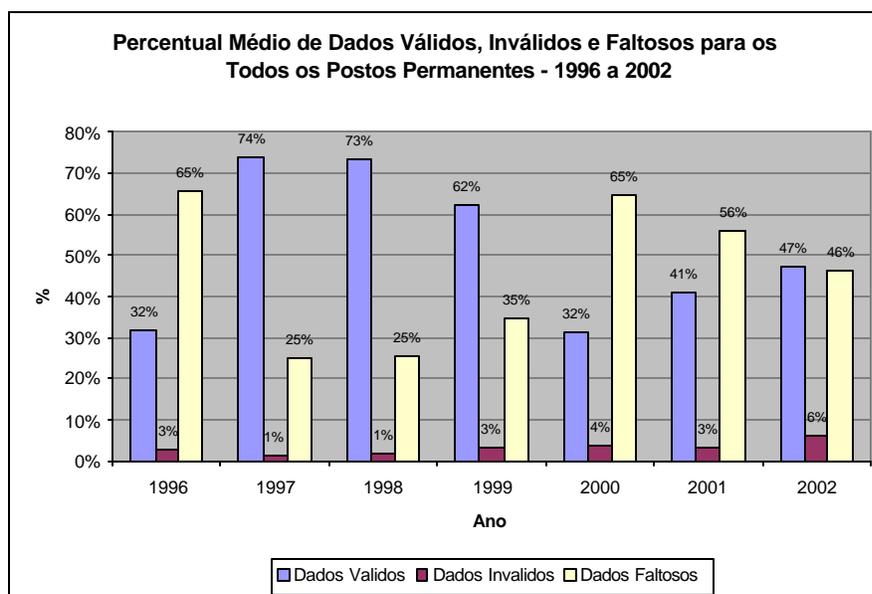
#### 4.4. AVALIAÇÃO DOS DADOS DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DE TRÁFEGO DAS RODOVIAS ESTADUAIS DO CEARÁ

Após a importação dos dados, realizaram-se consultas e construíram-se gráficos para melhor avaliar a qualidade e a quantidade dos dados de cada contador contínuo. Pela Figura 4.7 observa-se o percentual de dados válidos, inválidos e faltosos para os postos permanentes P002, durante os anos de 1996 a 2002. Os gráficos de avaliação da qualidade dos dados dos demais postos encontram-se no Anexo I (Figuras I.2 a I.13) deste trabalho.

Vê-se claramente pela Figura 4.7 que a quantidade de dados faltosos é muito grande, e o percentual médio de todos os anos para os dados inválidos do P002 é da ordem de 1%. Nesse posto, todos os dados inválidos correspondem ao “Erro do Tipo 2” (soma total do volume de tráfego diário igual a zero), tendo ocorrido no ano de 1996, quando o equipamento ainda estava no início de operação.



**Figura 4.7:** Avaliação do Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P002 nos anos de 1996 a 2002.

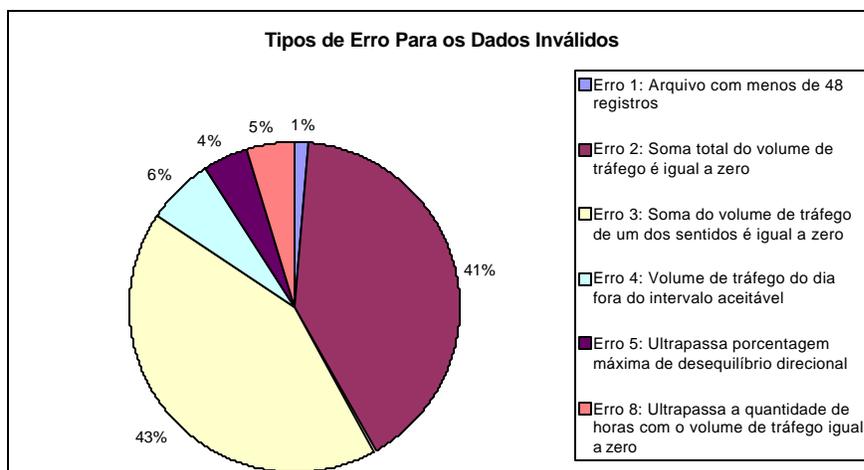


**Figura 4.8:** Avaliação do Percentual Médio de Dados Válidos, Inválidos e Faltos de todos os Postos Permanentes Durante os anos de 1996 a 2002.

Para se ter uma visão geral da qualidade dos dados de todos os postos permanentes, foi construído um gráfico com os percentuais médios de dados válidos, inválidos e faltos de todos os postos permanentes, durante os anos de 1996 a 2002,

visualizado pela Figura 4.8. Assim, considerando os sete anos da série histórica e todos os postos permanentes, o percentual médio de dados válidos é de 52%, o de dados inválidos é de 3%, e o de dados perdidos é de 45%.

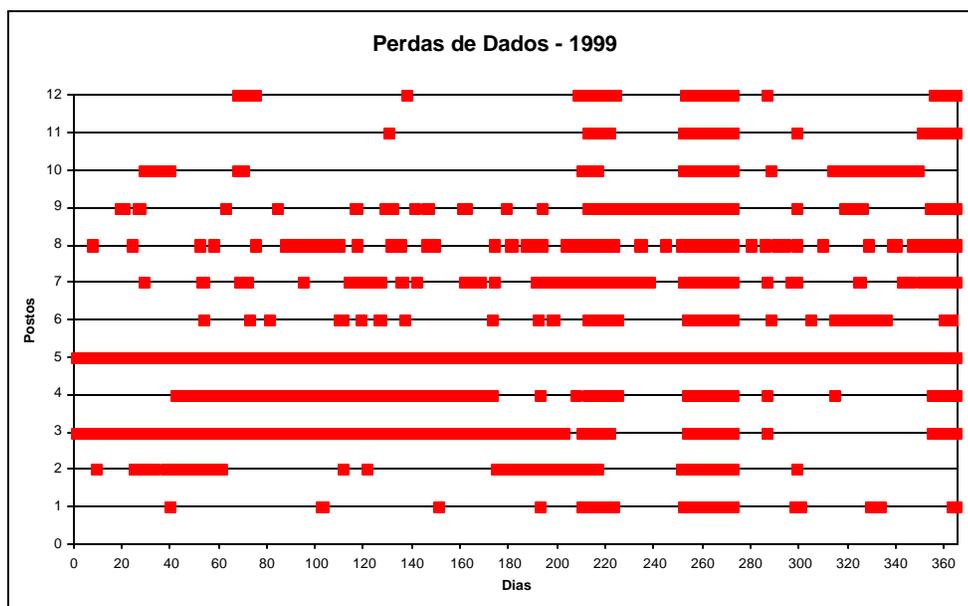
Na Figura 4.9 registram-se os percentuais dos tipos de erros para os 3% dos dados considerados inválidos durante os anos de 1996 a 2002. Pode-se perceber que 84% dos dados inválidos correspondem aos Erros do Tipo 2 e 3, erros que dão indicativos de que há problema em algum dos laços detectores do equipamento. A constatação mostra a importância de uma manutenção preventiva minuciosa, a fim de evitar a perda de informação, já que os laços detectores constituem a parte do equipamento que mais sofre desgaste ao longo do tempo. No Anexo I (Figuras I.14 a I.25) são mostrados os gráficos dos tipos de erros para os dados inválidos de todos os postos permanentes.



**Figura 4.9:** Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos para Todos os Postos Permanentes Durante os anos de 1996 a 2002.

Com relação ao alto percentual de dados perdidos apresentados na Figura 4.8, fica mais evidente a partir do ano de 2000, resultando principalmente da falta de planejamento de um cronograma de coleta dos dados armazenados nos contadores, aliado ao elevado custo de deslocamento de um técnico para a realização de tal atividade e à ausência de um serviço de manutenção dos equipamentos eletrônicos pelo DERT.

Os contadores que apresentaram maiores percentuais de dados perdidos durante os sete anos da série histórica pesquisada são os postos P004 e P005, com valores de 58% e 67% respectivamente, devido a questões de manutenção dos equipamentos e ao desvio de tráfego ocasionado por construção do trecho rodoviário. Para alguns anos, como, por exemplo, 1999 e 2000, não há um único dia registrado no posto P005. Pela Figura 4.10 percebe-se a distribuição dos dados perdidos de cada posto para o ano de 1999. Cada ponto vermelho corresponde a uma falha na base de dados do posto permanente.



**Figura 4.10:** Distribuição dos Dados Perdidos Para Cada Postos Permanente no Ano de 1999

Percebe-se também que, além da grande quantidade de dados faltosos, a distribuição das falhas não ocorre em dias isolados, mas tende a prolongar-se por vários dias consecutivos. Um dos principais motivos para isso é que não há qualquer monitoramento sobre as falhas existentes nos postos permanentes; também há um grande intervalo de tempo entre as vistorias de manutenção/prevenção dos equipamentos. No Anexo I (Figuras I.26 e I.27) encontram-se os gráficos da distribuição dos dados perdidos para os anos de 1997 e 1998.

Para alcançar o objetivo desta pesquisa, tornaram-se necessárias as distribuições de todos os volumes horários ao longo de um ano, para todos os postos permanentes.

Porém, devido ao alto percentual de dados perdidos, escolheu-se para cada posto permanente o ano que possuía a maior quantidade de dados válidos. Na Tabela 4.6 verificam-se a numeração do posto, o ano considerado, e o percentual de horas válidas desse ano.

Vale lembrar que atualmente o único motivo da existência dos contadores permanentes nas rodovias estaduais do Ceará é a obtenção de fatores de expansão para converter contagens realizadas nos postos sazonais e de cobertura, em estimativas anuais de tráfego. O cálculo de tais fatores dos postos permanentes, com a grande quantidade de dados faltosos, pode ter influência direta na veracidade das estimativas anuais das contagens de curta duração, gerando informações errôneas nos estudos rodoviários.

**Tabela 4.6:** Anos com os Maiores Percentuais de Horas Válidas Para Cada Postos Permanente

POSTO	ANO	% DE HORAS VÁLIDAS
P001	1998	92
P002	1998	96
P003	1998	90
P004	1998	65
P005	1997	82
P006	1998	93
P007	1997	79
P008	1998	78
P009	1998	95
P010	1997	82
P011	1998	96
P012	1998	89

Devido à grande quantidade de dados faltosos e ao alto custo de coleta, o DERT, a partir do ano 2003, interrompeu as coletas dos contadores contínuos, e os fatores de expansão passaram a ser obtidos de anos anteriores ou dos equipamentos que realizam o controle de velocidade nas rodovias estaduais do Ceará. Em tais equipamentos, denominados de lombadas eletrônicas, além da função do controle de velocidade, também é possível a obtenção de volumes horários por sentido de tráfego, igualmente como nos postos permanentes, permitindo inclusive o cálculo dos fatores de expansão.

O problema é que as lombadas eletrônicas, em que foram calculados os fatores de expansão, podem não ser representativas de toda a malha rodoviária como são

atualmente os postos permanentes. Essas lombadas estão localizadas próximas a áreas urbanas, principalmente na região metropolitana de Fortaleza e na região do Cariri, e foram alocadas em rodovias de grande movimentação, com critérios e objetivos diferentes dos adotados nos postos permanentes; deveriam agregar-se ao programa de monitoramento do volume de tráfego existente, gerando informações adicionais, e não substituí-lo.

#### **4.5. CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO NOS POSTOS PERMANENTES**

##### **4.5.1. Crescimento do Tráfego Anual**

Novas rodovias ou melhorias da infra-estrutura das rodovias já existentes não são baseadas somente nos atuais volumes de tráfego, devendo ser considerado o tráfego futuro que será acomodado na rodovia. Para a determinação desse tráfego futuro é importante o conhecimento de informações sobre as tendências de crescimento, a fim de que o projetista possa estimar com mais precisão o tráfego do ano-horizonte da rodovia.

Atualmente essas projeções baseiam-se em taxas de crescimento das atividades econômicas e em aumento populacional; em alguns estudos, leva-se em conta também o crescimento do número de veículos registrados no DETRAN para a área de influência. Visto que existe uma série histórica de dados coletados pelos postos permanentes, o crescimento anual do tráfego dos postos permanentes que compõem a área de influência em que está inserido o projeto rodoviário também deveria ser ponderado; facilitaria sobretudo a obtenção dos dados, sendo uma taxa que pode explicar tão bem quanto outras variáveis atualmente utilizadas para a projeção do tráfego futuro. Na Tabela 4.7 registram-se o VMDA de todos os postos permanentes durante o período de 1997 a 2002 e as taxas de crescimento anual da variável.

Analisando a Tabela 4.7, verifica-se que as taxas de crescimento anual entre os postos variam entre valores bem extremos como -9,5% (para o posto P007) a 13,3% (para o posto P001). A grande redução do tráfego para o P007 é atribuída ao fato de que o posto localiza-se no Km 62 da rodovia CE-363, e o trecho a montante, entre as localidades de São Gonçalo do Umari e a cidade de Tauá - correspondente a 65

quilômetros -, não possui há algum tempo revestimento asfáltico; está, pois, em péssimas condições físicas, afugentando o tráfego para rotas alternativas.

**Tabela 4.7:** Crescimento do VMD dos Postos Permanentes

POSTO	1997	1998	1999	2000	2001	2002	TAXA MÉDIA DE CRECIMENTO ANUAL
P001	4222	4613	5061	4380	5190	7407	13,3%
P002	1895	2103	2047	1947	1883	1904	0,2%
P003	1176	1220	1185	1327	1358	1396	3,6%
P004	489	502	554	560	588	699	7,6%
P005	5639	-	-	-	-	7758	-
P006	398	444	453	455	-	-	4,6%
P007	210	217	130	124	128	116	-9,5%
P008	189	214	194	163	259	257	9,3%
P009	324	340	371	399	381	421	5,5%
P010	1961	1846	2033	-	1962	1907	0,5%
P011	1486	1498	1602	1879	1567	1973	6,9%
P012	339	373	398	376	399	426	4,8%

Já o posto P001, localizado no quilômetro 28 da CE-040, via litorânea a leste do Estado, tem experimentado um grande crescimento no tráfego, decorrente principalmente dos grandes investimentos de infra-estrutura do Governo Estadual para o desenvolvimento e a exploração do setor turístico da região. Essa afirmação é comprovada pelo grande aumento do VMD a partir do ano de 2002, quando se deu a conclusão das obras de duplicação do trecho entre Aquiraz e Eusébio (Região Metropolitana de Fortaleza).

Nos demais postos, as taxas de crescimento indicam uma tendência positiva no crescimento do tráfego para as rodovias estaduais do Ceará; porém, os postos P002 e P010, especificamente, possuem taxas muito baixas, indicando quase uma estagnação do tráfego na região. Verifica-se uma taxa média de crescimento anual para todos os postos em torno de 4,3%.

#### **4.5.2. Variação do Volume de Tráfego entre os Meses do Ano**

Para estudar a variação do volume de tráfego dos postos permanentes entre os meses do ano e compará-la entre si, é necessário utilizar uma variável comum, visto que os postos possuem magnitudes de volume muito diferentes.

Os dados da Tabela 4.8 indicam volumes médios diários variando entre 214 veíc/dia para o P008 e 5636 veíc/dia para o P005. Com relação aos valores máximos e mínimos desses volumes diários, o P001 e o P011 são os postos que possuem as maiores amplitudes percentuais em relação ao valor médio, suportando, em alguns dias do ano, volumes diários que podem ser até três vezes maior que o VMD. Em contraste com os volumes desses postos estão o P002 e o P005, que experimentam, em alguns dias do ano, volumes diários 30% maiores que o VMD. Não é por acaso que esses postos possuem, entre todos, os menores coeficientes de variação, indicando valores de volume diários bastante semelhantes durante o ano.

**Tabela 4.8:** Volume Médio Diário, Amplitude e Coeficiente de Variação dos Volumes Diários para os Postos Permanentes

POSTO	VMD	AMPLITUDE DO VMD		COEF. DE VARIAÇÃO
		MÍNIMO	MÁXIMO	
P001	4613	2543	14667	36%
P002	2103	1485	2808	10%
P003	1220	677	2297	16%
P004	502	276	785	18%
P005	5639	4458	7166	10%
P006	444	287	976	18%
P007	217	102	352	24%
P008	214	142	424	18%
P009	340	174	543	18%
P010	1961	1055	3460	15%
P011	1498	910	4516	20%
P012	373	167	695	22%

A variável utilizada para a identificação dos padrões de variação do volume entre os meses do ano foi uma medida relativa, denominada Fator Mensal, que é obtida pela Equação 4.1:

$$FM = \frac{VMD_{m_{\text{Dias Úteis}}}}{VMD_a} \quad (4.1)$$

em que,

- FM : fator mensal  
 VMD<sub>m<sub>Dias Úteis</sub></sub> : corresponde ao volume médio diário do mês, utilizando somente os dias úteis  
 VMD<sub>a</sub> : corresponde ao volume médio diário de todos os dias disponíveis do ano.

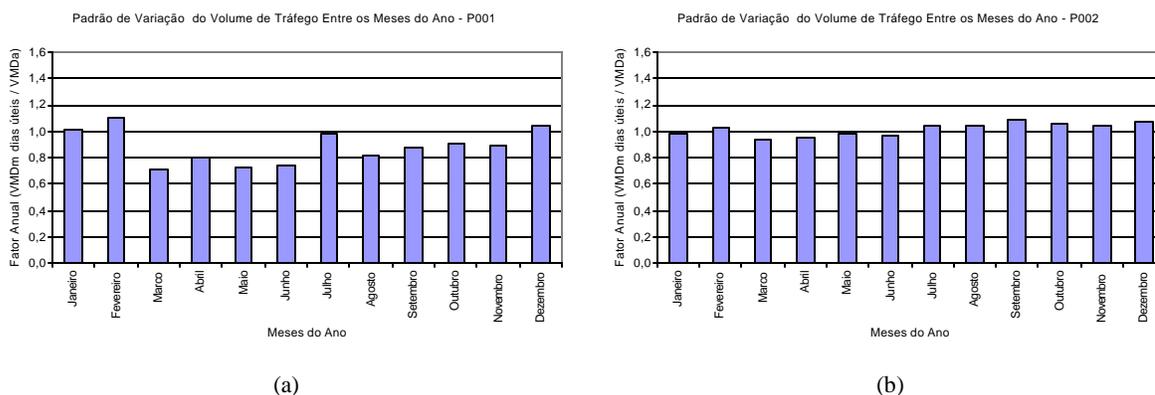
O numerador da Equação 4.1 considera somente os dias úteis, visto que os sábados, os domingos e os feriados possuem variações de volume maiores que os dias úteis durante o mês. A afirmação pode ser verificada pelos dados da Tabela 4.9, em que é registrado o coeficiente de variação dos volumes médios por dias da semana para três postos de contagem para o ano de 1998.

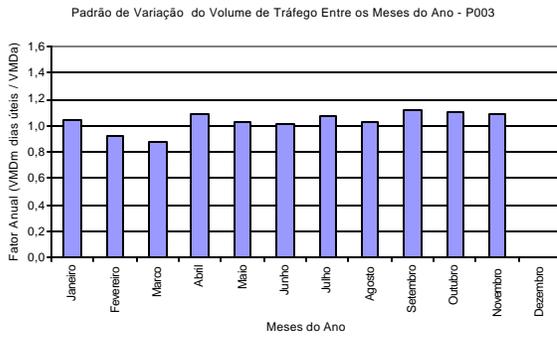
**Tabela 4.9:** Coeficiente de Variação do Volume Diário por Dia da Semana

DIA DA SEMANA	P002	P003	P006
Domingo	11%	25%	24%
Segunda	6%	11%	14%
Terça	8%	13%	16%
Quarta	10%	11%	14%
Quinta	8%	15%	14%
Sexta	8%	12%	14%
Sábado	9%	13%	18%
Domingos e Feriados	11%	24%	23%
Segunda a Sábado	9%	14%	17%

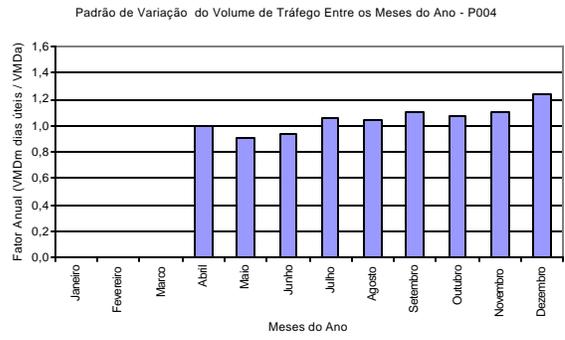
Pelos dados da Tabela 4.9 verifica-se claramente que o domingo possui os maiores valores de coeficiente de variação, seguido pela classe domingos e feriados, indicando grandes variações no volume diário entre esses dias do ano. Com relação aos sábados, os coeficientes de variação são menores que os do domingo e, no caso dos postos P002 e P003, os sábados apresentam homogeneidade semelhante aos dias da semana.

Calculado o fator mensal para todos os meses do ano de cada posto, foram elaborados gráficos da variável para identificação de padrões semelhantes entre postos. A Figura 4.11 mostra o padrão de variação do volume de tráfego entre os meses do ano para os 12 postos permanentes.

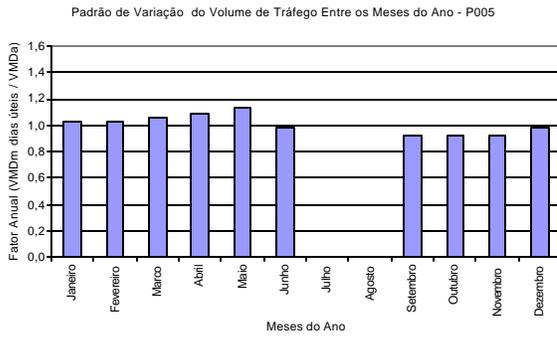




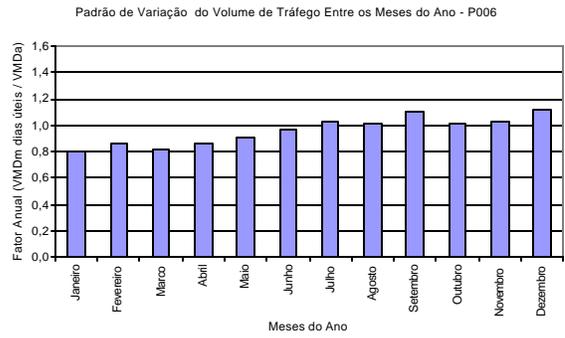
(c)



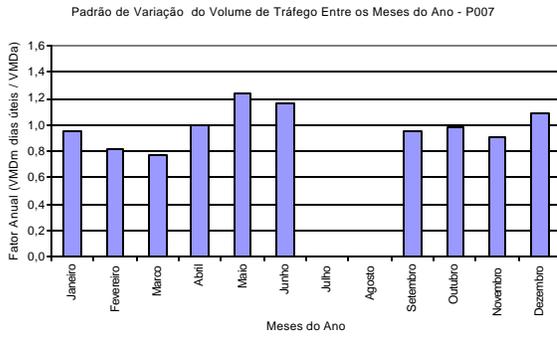
(d)



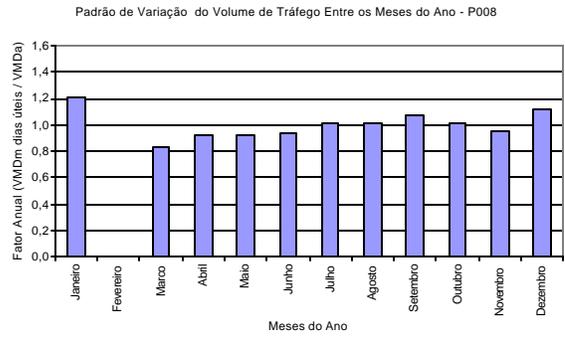
(e)



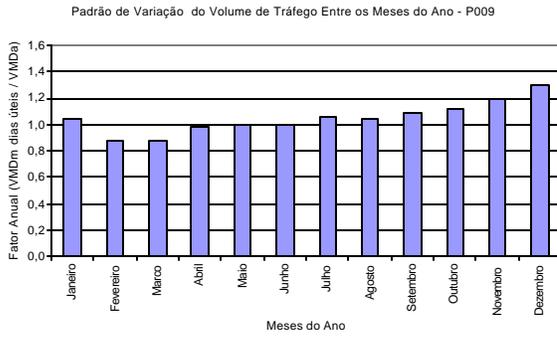
(f)



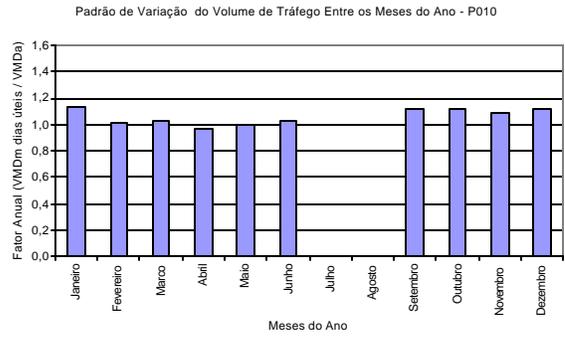
(g)



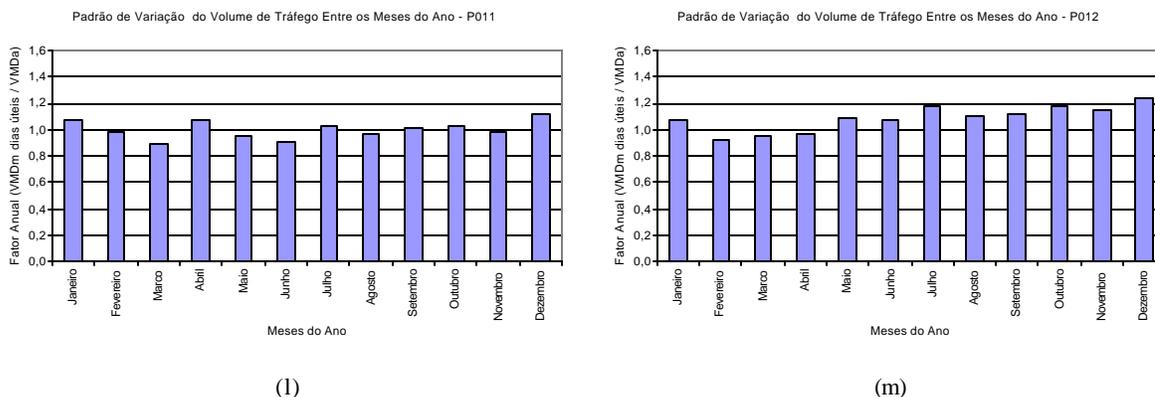
(h)



(i)



(j)



**Figura 4.11:** Padrão de Variação do Volume de Tráfego entre os Meses do Ano para os Postos Permanentes.

A identificação de padrões semelhantes é dificultada, em parte, pela ausência de dados de alguns meses, mais especificamente dos meses de julho e agosto para os postos P005, P007 e P010, nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril para o P004, mês de dezembro para o P003 e de fevereiro para o posto P008. Devido a isto, para o período típico foram considerados somente os postos que possuíam dados dos meses de março, abril, maio, junho, setembro, outubro, novembro. Na Tabela 4.10 visualizam-se os postos e os respectivos fatores mensais.

**Tabela 4.10:** Fatores Anuais dos Meses Típicos do Ano

MÊS	P001	P002	P003	P005	P006	P007	P008	P009	P010	P011	P012
Jan	1,009	0,989	1,037	1,028	0,807	0,958	1,214	1,043	1,133	1,069	1,073
Fev	1,100	1,034	0,924	1,033	0,856	0,811	-	0,876	1,018	0,988	0,922
Mar	0,713	0,941	0,874	1,058	0,812	0,767	0,827	0,875	1,029	0,887	0,957
Abr	0,801	0,959	1,081	1,085	0,861	0,994	0,925	0,976	0,975	1,071	0,970
Mai	0,732	0,979	1,025	1,130	0,908	1,243	0,920	1,000	0,993	0,950	1,083
Jun	0,748	0,968	1,009	0,986	0,965	1,170	0,940	1,004	1,024	0,910	1,075
Jul	0,986	1,046	1,073	-	1,033	-	1,019	1,062	-	1,021	1,178
Ago	0,818	1,036	1,027	-	1,017	-	1,018	1,049	-	0,963	1,108
Set	0,872	1,094	1,125	0,916	1,098	0,952	1,067	1,095	1,113	1,007	1,115
Out	0,902	1,050	1,098	0,923	1,019	0,981	1,015	1,117	1,116	1,024	1,184
Nov	0,888	1,036	1,092	0,929	1,023	0,909	0,957	1,198	1,088	0,983	1,146
Dez	1,047	1,075	-	0,981	1,114	1,091	1,114	1,295	1,120	1,111	1,237

Para identificar os postos que possuem o mesmo padrão de variação mensal do volume de tráfego, utilizou-se a análise de variância, que testa a hipótese de igualdade de média de duas ou mais populações, supondo que as variâncias de tais amostras

fossem iguais. Foi usada a tabela ANOVA ao nível de significância de 5% para verificar as seguintes hipóteses:

$H_0$ : as médias dos fatores anuais dos postos são iguais

$H_1$ : há, pelo menos, uma média diferente.

Como a intenção é encontrar um grupo de postos com a mesma variação do volume mensal de tráfego ao longo do ano, retiraram-se os postos suspeitos de provocarem a rejeição da hipótese nula, até que se pudessem encontrar grupos de postos de padrões semelhantes entre si. As tabelas dos testes da ANOVA encontram-se no Anexo I (Tabelas I.2 e I.3). Pela Tabela 4.11 verifica-se um resumo dos testes realizados.

**Tabela 4.11:** Resultados dos Testes de Igualdade de Médias

GRUPO DE POSTOS	VALOR-P	HIPÓTESE NULA ACEITA
P001, P002, P003, P005, P006, P007, P008, P009, P011, P012	0,00	Não
P002, P003, P005, P006, P007, P008, P009, P011, P012	0,20	Sim

Na Tabela 4.11 são ilustrados os grupos de postos formados com respeito à variação do volume mensal para os meses típicos, bem como ao valor-P e à aceitação ou rejeição dos testes de igualdade das médias. Observa-se que há dois grupos: um formado pelos postos P002, P003, P005, P006, P007, P008, P009, P011, P012, e outro formado exclusivamente pelo posto P001. O isolamento do posto P001 é justificado pelo fato de ele localizar-se na rodovia CE-040, pertencente a uma rota turística, e por ele possuir um considerável aumento do volume de tráfego nos períodos de férias escolares.

#### 4.5.3. Variação do Volume de Tráfego entre os Dias da Semana

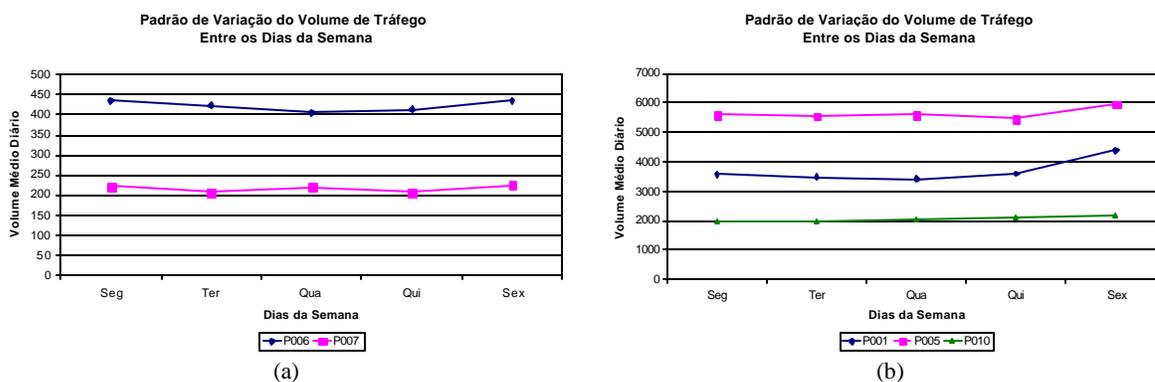
Outro padrão de variação do volume de tráfego importante a ser conhecido é o que ocorre entre os dias da semana. Na análise, foi inicialmente testada a igualdade das médias dos dias úteis da semana para os meses típicos e, em seguida, os postos foram distribuídos em grupos de configuração semelhante de variação do volume de tráfego durante os dias da semana.

De forma semelhante à do item 4.3.2, admitiram-se amostras de variâncias iguais; usando a tabela da ANOVA, ao nível de significância de 5%, verificaram-se as seguintes hipóteses:

$H_0$ : para os meses típicos, os volumes médios diários das Segundas-feiras = aos das Terças-feiras = das Quartas-feiras = das Quintas-feiras = das Sextas-feiras.

$H_1$ : há, pelo menos, um volume médio diário diferente.

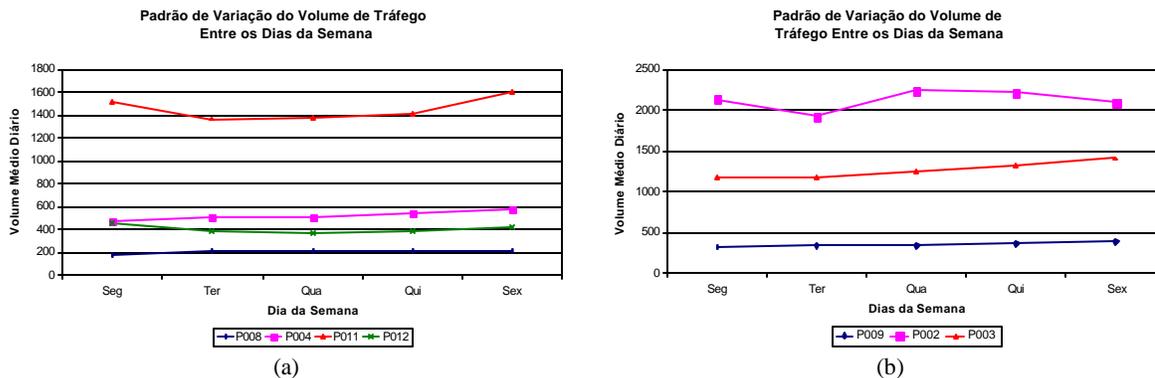
Caso o teste rejeitasse a hipótese nula, a Sexta-feira era retirada e era efetuado um novo teste considerando somente os quatro dias restantes. Se mais uma vez o teste indicasse diferença entre as médias, excluía-se da amostra a Segunda-feira, restando somente os dias típicos da semana para a verificação de igualdade das médias. A tabela da ANOVA encontra-se no Anexo I (Tabela I.4 a I.15).



**Figura 4.12:** Padrão de Variação do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana para os Postos P001, P005, P006, P007 e P010

Pela Figura 4.12a é identificado o padrão em que não há diferença significativa nos valores dos volumes diários durante os dias úteis da semana para os meses típicos, pertencendo a esse grupo os postos P006 e P007. Na Figura 4.12b é mostrado o perfil de variação entre os dias da semana para os postos P001, P005 e P010, que apresentaram uma pequena diferença, porém significativa, entre o volume médio diário dos quatro primeiros dias úteis da semana e o da sexta-feira. No teste de igualdade de médias do posto P010 foi encontrado um valor-P de 0,08, portanto muito próximo da rejeição da hipótese nula.

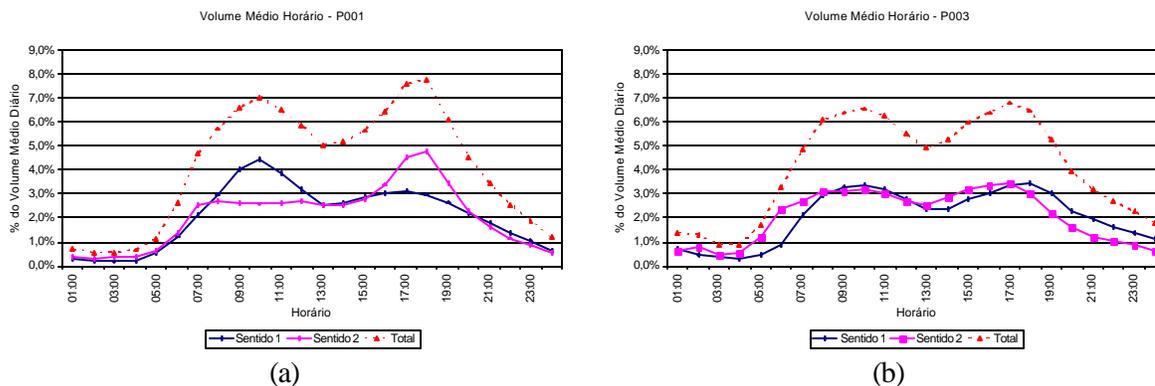
Na Figura 4.13a visualizam-se os postos cuja igualdade de volumes da semana correspondem aos dias tradicionalmente considerados típicos, ou seja, Terça, Quarta e Quinta-Feira, enquanto na Figura 4.13b é representado o grupo de postos que exibiram diferenças significativas entre esses dias típicos da semana.

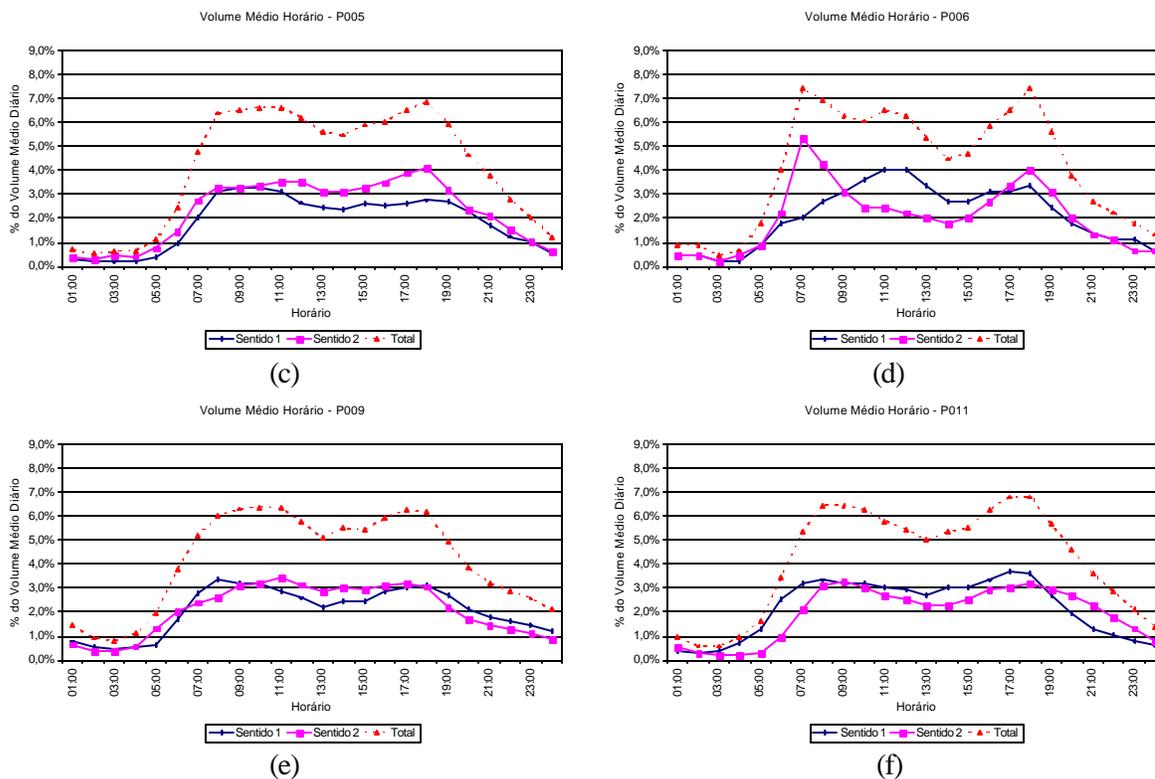


**Figura 4.13:** Padrão de Variação do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana para os Postos P002, P003, P004, P008, P009, P011 e P012

#### 4.5.4. Volumes Horários

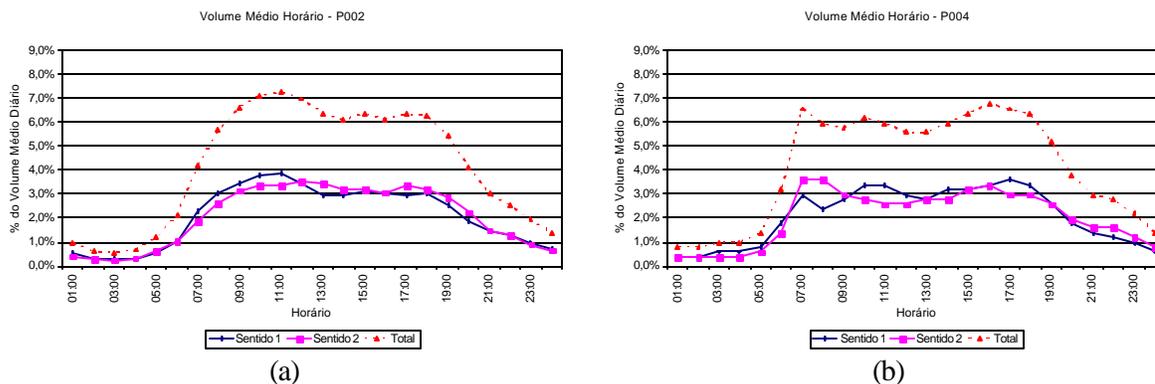
Outro importante padrão estudado na caracterização do tráfego das rodovias estaduais do Ceará foi a variação do volume durante as 24 horas do dia para todos os postos de contagem contínua. Pela Figura 4.14 e pela Figura 4.15 detectam-se dois padrões de volume horário médio, expressos como um percentual do Volume Médio Diário.

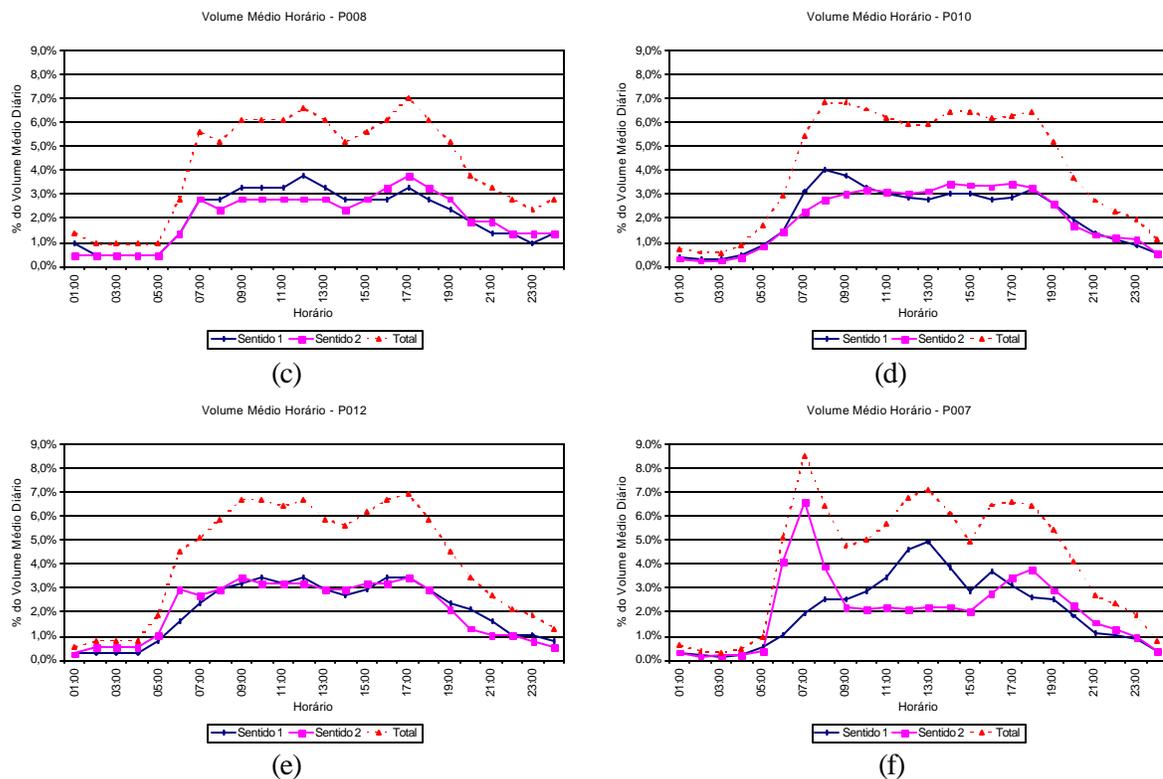




**Figura 4.14:** Distribuição dos Volumes Horários Totais e Direcionais para os Postos P001, P003, P005, P009 e P011.

Na Figura 4.15 é mostrado o primeiro grupo de postos que apresentam um perfil de curva com dois picos e um vale bem definidos, ocorrendo um no período matutino e o outro à tarde, sendo esse último o maior em todos os casos, com exceção do posto P009 que possui o horário de pico de 09:00 às 10:00 da manhã. Os postos P001, P005, P006, P011 possuem horários de pico entre 17:00 e 18:00, enquanto que no P003 o maior volume horário ocorre de 16:00 às 17:00.





**Figura 4.15:** Distribuição dos Volumes Horários Totais e Direcionais para os Postos P002, P004, P006, P007, P008, P010 e P012.

Para o segundo grupo de postos, ilustrados na Figura 4.15, a maioria das estações de contagem apresentam somente um pico bem definido, podendo ter outro pico menos intenso. Nesse grupo os postos P002 e P010 possuem horários de pico de 10:00 h às 11:00 h e de 07:00 h às 08:00 h respectivamente, enquanto que os postos P004, P008 e P012 têm picos no período da tarde, ocorrendo mais cedo em relação ao primeiro grupo. O posto P007 é o único que apresenta o horário de pico no início da manhã (07:00 h às 08:00 h) e apresenta um pequeno pico às 13:00 horas.

Além dos horários de pico, também foi calculada a distribuição direcional do tráfego ao longo do dia, o volume horário médio, e o percentual do VMD na hora de pico, como mostrado pela Tabela 4.12.

Pelos dados da Tabela 4.12, a maioria dos postos possui um equilíbrio na distribuição do volume para os dois sentidos do tráfego. O posto P001 apresenta em certos períodos do dia um desequilíbrio direcional (Figura 4.14a) mas, ao final do dia o tráfego total nos dois sentidos se equilibra. O P007 também apresenta comportamento

semelhante ao do P001, e os demais postos possuem um tráfego bem equilibrado durante praticamente todas as horas do dia (Figuras 4.14 e 4.15), exceto o P005, que possui um fluxo maior no sentido Maranguape – Fortaleza, de 11:00 h até 20:00 h, o que gera um desequilíbrio total ao final do dia de 45/55.

**Tabela 4.12:** Distribuição Direcional do Tráfego, Volume Horário Médio, Percentual do VMD na Hora de Pico e Horário de Pico dos Postos Permanentes

POSTO	DISTRIBUIÇÃO DIRECIONAL	VOLUME HORÁRIO MÉDIO	% DO VMD NA HORA DE PICO	HORÁRIO DE PICO
P001	50/50	192	7,8%	17:00 – 18:00
P002	50/50	88	7,3%	10:00 – 11:00
P003	50/50	51	6,8%	16:00 – 17:00
P004	50/50	21	6,8%	15:00 – 16:00
P005	45/55	235	6,8%	17:00 – 18:00
P006	51/49	19	7,4%	17:00 – 18:00
P007	49/51	9	7,4%	06:00 – 07:00
P008	51/49	9	7,0%	16:00 – 17:00
P009	50/50	14	6,4%	09:00 – 10:00
P010	50/50	82	6,8%	07:00 – 08:00
P011	52/48	63	6,8%	17:00 – 18:00
P012	50/50	16	7,0%	16:00 – 17:00

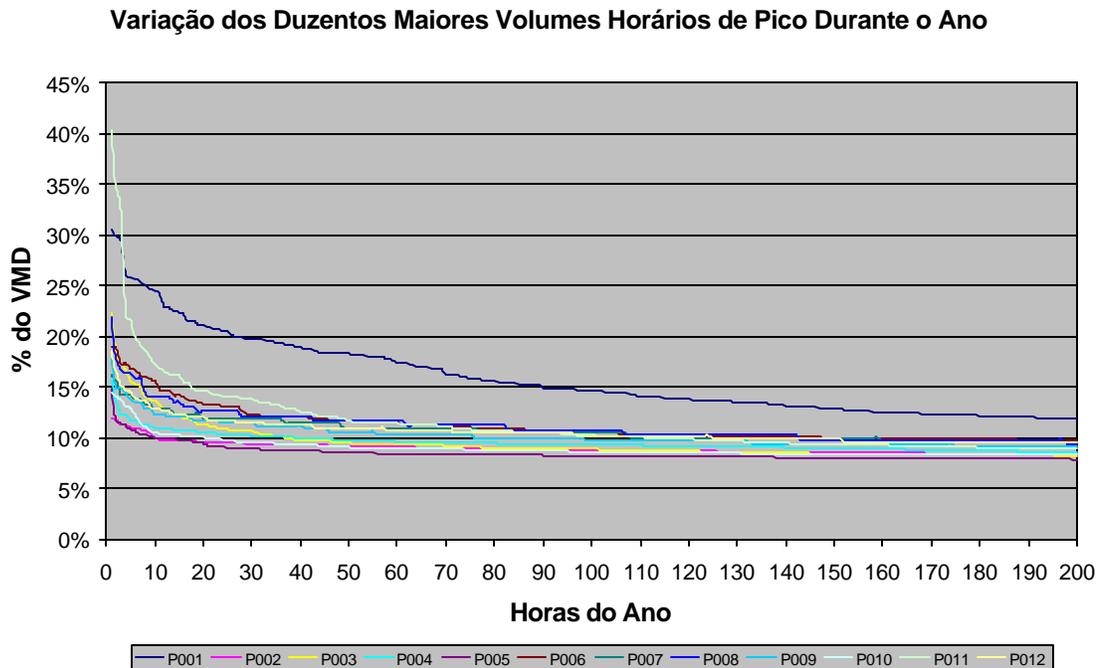
Na Tabela 4.12 também é visualizado o volume horário médio dos postos, bem como o percentual do VMD na hora de pico. O maior volume horário médio é encontrado no P005, com 235 veículos por hora. Já o maior percentual do VMD na hora de pico é de 7,8%, para o P001, e o menor é de 6,4%, encontrado no P009, sendo o valor médio para todos os postos de 7%.

#### 4.5.5. Volumes Horários de Pico

Ordenando decrescentemente todos os volumes horários do ano, disponíveis para cada posto permanente, e expressando tais valores como um percentual do VMDA, pode-se conhecer a distribuição anual dos volumes horários de tráfego.

Na Figura 4.16 vê-se a relação entre alguns volumes horários do ano e o VMD. Os dados indicam que em uma hora do ano os postos P001 e P011 suportaram volumes da ordem de 31% e 40% do VMD. Acredita-se que o alto percentual seja influenciado principalmente pelo tráfego recreacional, visto que ambos os casos ocorreram em feriados: o primeiro em época carnavalesca e o segundo em período de Páscoa. Já para

os demais postos esse valor varia de 12% a 22%, e a média do percentual do VMD do maior volume horário do ano é de aproximadamente 17%.



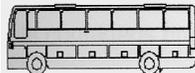
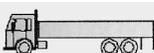
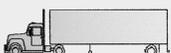
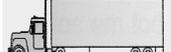
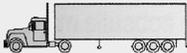
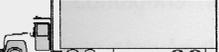
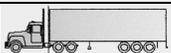
**Figura 4.16:** Variação dos Duzentos Maiores Volumes Horários do Ano para os Postos Permanentes

Considerando todos os postos, em média, o volume da 30ª hora é de 11,8% do VMD, valor aproximadamente igual ao resultado encontrado por LIMA NETO (1975), que calculou um valor médio para a razão do volume da 30ª hora / VMD de 11,4%.

#### 4.5.6. Composição do Tráfego

A variabilidade também ocorre no percentual de diferentes tipos de veículos que compõem a corrente de tráfego, diferindo-se quanto ao tamanho, ao peso e à velocidade. O conhecimento de tais percentuais é de grande importância pelo fato de que altas proporções de veículos pesados têm significativos efeitos nas velocidades e em outras características operacionais das rodovias.

Para a determinação da composição do tráfego nos postos de contagem contínua, o DERT utiliza-se de contagens manuais classificatórias de 24 horas em um período de 7 dias consecutivos a cada trimestre do ano, identificando 10 classes de veículos, como mostrado na Figura 4.17. Caso fosse utilizada a classificação automática que é permitida pelos atuais contadores contínuos, além da redução nos custos de coleta, o órgão rodoviário geraria informações mais consistentes, como, por exemplo, fatores de expansão por tipo de veículo.

SÍMBOLO	CONFIGURAÇÃO	DESCRIÇÃO	DEFINIÇÃO
		Carro de passeio	Veículo de dois eixos e quatro rodas, destinado ao transporte de passageiros.
2C		Ônibus	Veículos de dois ou mais eixos, com um mínimo de seis rodas, destinado ao transporte coletivo de passageiros.
2C		Caminhão simples	Veículo destinado ao transporte de carga, com dois eixos e seis rodas, isto é, o eixo traseiro com quatro rodas um.
3C		Caminhão duplo	Veículo destinado ao transporte de carga com três eixos e seis rodas, isto é, o eixo traseiro com quatro rodas em cada.
2S1		Semi Reboques	Veículos de carga constituída por mais de uma unidade, do tipo reboque e semi-reboque.
2S2			
2S3			
3S2			
3S3			

**Figura 4.17:** Classificação dos Tipos de Veículos

Com relação aos tipos de veículos pesquisados, vale lembrar que, mesmo após as recomendações do estudo realizado por ASTEF (2000b) para a retirada do tipo de veículo Semi-Reboque-2S1 e a inclusão de outras classes (tornando assim os veículos considerados nos formulários de contagens em compatibilidade com os dos formulários de pesagem), o DERT atualmente continua a realizar contagens dos mesmos tipos de veículos definidos no programa de monitoramento de tráfego iniciado em 1994. Sem esta compatibilidade, algumas classes de veículos pesados que atualmente circulam no Estado e possuem dados de excesso de carga não dispõem de valores de VMD.

A Tabela 4.13 mostra os percentuais correspondentes a uma média de seis contagens classificatórias realizadas nos postos permanentes, nos anos de 1999 e 2000. Pode-se verificar a predominância de veículos leves, principalmente para os postos P001, P011, P002 e P005, sendo o último posto o que possui o maior percentual de veículos do tipo ônibus. Já os postos P008, P006 e P004 apresentam os maiores percentuais de veículos pesados, sendo que no P006 predomina quantidade de caminhões. Também é observada em todos os postos a pouca (ou nenhuma) ocorrência nas classes de semi-reboques.

**Tabela 4.13:** Classificação do Tráfego por Tipo de Veículos

CLASSES DE VEÍCULOS	P001	P002	P003	P004	P005	P006	P007	P008	P009	P010	P011	P012
Veículo leve	79%	75%	68%	66%	75%	64%	73%	60%	70%	74%	78%	71%
Ônibus	4%	3%	6%	6%	9%	3%	5%	8%	6%	5%	5%	7%
Caminhão Simples	8%	17%	12%	13%	12%	23%	18%	14%	11%	7%	9%	11%
Caminhão Duplo	9%	5%	11%	11%	3%	9%	4%	12%	10%	9%	7%	8%
Semi-Reb-2S1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Semi-Reb-2S2	0%	0%	1%	1%	0%	0%	0%	1%	0%	1%	0%	0%
Semi-Reb-2S3	0%	0%	3%	3%	1%	1%	0%	5%	3%	4%	1%	3%
Semi-Reb-3S2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Semi-Reb-3S3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

#### 4.5.7. Fatores de Expansão

Contagens de curta duração normalmente não representam adequadamente condições médias do tráfego. Infelizmente, os dados necessários para converter contagens de curta duração em estimativas médias com precisão requer um contador contínuo. Há insuficiência de contadores contínuos para descrever o comportamento do tráfego em todos os locais. Entretanto, assumindo que aquelas características temporais afetam todas as rodovias, e desde que uma série temporal contínua exista em vários pontos (locais monitorados continuamente) para descrever a variação temporal, é possível transferir esse conhecimento, desenvolvendo mecanismos de fatores de expansão (FHWA, 2001).

Como observado anteriormente, atualmente a única utilização dos dados obtidos dos 12 postos permanentes do DERT é para a obtenção de fatores de expansão para

converter contagens realizadas nos postos sazonais e de cobertura, em estimativas anuais de tráfego (VMDA), reduzindo assim, a influência temporal existente nas contagens de curta duração.

Por exemplo, considerando uma contagem de 24 horas, realizada no dia 10/08/2004, ou seja, em agosto, na segunda semana do mês e na terça-feira da semana, a obtenção dos fatores de expansão do posto permanente para essa data segue os seguintes procedimentos:

- Cálculo do Fator de Expansão Anual (FEA): obtido pela razão entre o VMDA do último ano de contagem do posto permanente e o  $VMD_{MÊS}$ , que corresponde ao Volume Médio Diário do mês de agosto do ano da contagem.
- Cálculo do Fator de Expansão Mensal (FEM): é a divisão de  $VMD_{MÊS}$  pelo  $VMD_{SEMANA}$ , que corresponde ao Volume Médio Diário da segunda semana do mês de agosto do ano da contagem.
- Cálculo Fator de Expansão Semanal (FES): é a razão entre o  $VMD_{SEMANA}$  e o  $VMD_t$ , que corresponde ao volume diário da terça-feira da segunda semana do mês de agosto do ano da contagem.

Portanto, aplicando-se esses fatores para a correção do volume da amostra colhida, o correto valor do VMDA é obtido de acordo com a Equação 4.3:

$$VMDA = VMD_d * FEA * FEM * FES \quad (4.3),$$

onde,

$VMD_d$  : volume pesquisado na contagem de curta duração (24 horas).

De acordo com a necessidade da contagem e das características especiais dos contadores, a Equação 4.3 pode ser reduzida ou aumentada de quantidade de fatores de ajuste empregados. Por exemplo, se nos postos permanentes ao invés de contar veículos forem contados eixos (sensores pneumáticos), haverá a necessidade de adicionar um fator de ajuste para converter número de eixos em veículos. Ao contrário, se a contagem

for realizada durante uma semana não haverá necessidade do fator de expansão semanal.

Vale lembrar, também, que os fatores de ajustes para o volume total devem ser estimados separadamente do volume por classe de veículos. A recomendação deriva de pesquisas que mostram que o padrão do volume de caminhões tende a ser consideravelmente diferente do padrão de volume das viagens de automóveis, em todas as variáveis temporais: variação diária, semanal, mensal e anual (WRIGHT *et al* 1997).

Os FEAs para os anos de 1997/1998 são ilustrados na Tabela 4.14 e no Anexo II são mostrados os FEM para as semanas típicas do ano de todos os postos permanentes.

**Tabela 4.14:** Fatores de Expansão Anuais Para os Postos Permanentes do DERT

POSTO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
P001	0,84	0,79	1,28	1,11	1,16	1,23	0,94	1,10	0,99	0,95	0,99	0,87
P002	1,02	0,99	1,11	1,06	1,04	1,05	0,97	0,99	0,92	0,96	0,96	0,94
P003	1,01	1,03	1,11	0,98	1,05	1,06	0,98	1,02	0,92	0,93	0,96	-
P004	-	-	-	1,00	1,18	1,13	1,00	1,01	0,96	0,96	0,98	0,87
P005	0,98	0,97	0,98	0,93	0,89	1,01	-	-	1,07	1,09	1,08	1,04
P006	1,08	1,12	1,21	1,12	1,10	1,03	0,92	0,94	0,88	0,91	0,96	0,90
P007	1,01	1,23	1,35	1,00	0,81	0,80	-	-	1,04	1,01	1,08	0,88
P008	0,86	-	1,22	1,10	1,13	1,09	0,99	1,00	0,92	0,93	1,04	0,90
P009	1,01	1,20	1,20	1,08	1,07	1,02	0,96	1,00	0,93	0,92	0,91	0,82
P010	0,93	1,04	1,07	1,10	1,08	1,03	-	-	0,95	0,95	0,95	0,95
P011	0,93	1,03	1,15	0,92	1,03	1,11	0,99	1,03	0,98	0,94	1,04	0,92
P012	1,02	1,17	1,16	1,17	1,14	1,01	0,91	0,97	0,97	0,91	0,96	0,88

Alguns cuidados devem ser tomados ao se utilizar tais fatores, visto que algumas suposições estão envolvidas no processo de conversão de contagens de curta duração. O uso dos fatores sem critérios definidos pode ser fonte de erros na estimação precisa do VMDA nos demais trechos da malha.

A principal dúvida na aplicação de tais fatores de expansão consiste na escolha do posto de onde serão retirados os fatores de expansão para a correção de um determinado posto de cobertura. Uma forma bastante simples é a proximidade geográfica do trecho a um contador permanente. O processo atribui os fatores de um único contador contínuo para todos os segmentos rodoviários dentro da área de influência daquele contador. O limite da zona de influência é definido em uma

interseção que cause mudança significativa na natureza do volume de tráfego (FHWA, 2001).

Para o método da proximidade geográfica, a associação do fator a uma determinada contagem é muito fácil. A contagem de curta duração em questão deve ser realizada próxima ao contador permanente; os fatores retirados do contador contínuo são aplicados, então, àquela contagem. A possibilidade de que a variação de tráfego do contador contínuo seja semelhante ao da contagem de curta duração é alta. As dificuldades na aplicação dessa técnica ocorrem somente quando as contagens de curta duração não estão próximas dos contadores permanentes. Em tal caso, os padrões de tráfego da contagem local podem ser diferentes dos encontrados no contador permanente. Logo, o método requer uma densa rede de contadores contínuos, que não é o caso da atual situação das rodovias estaduais do Ceará.

A retirada dos fatores de um único posto também oferece um inconveniente: caso ocorra um evento que provoque um tráfego atípico no posto permanente, tal efeito será transmitido a todos os trechos da área de influência, inclusive àqueles que não foram afetados pelo evento. Outro problema é que se um posto permanente experimentar um período de longa parada o cálculo dos fatores fica prejudicado.

Essas dificuldades podem ser superadas caso sejam usados fatores médios, retirados de um grupo de postos que possuam características de variação semelhantes do tráfego. Assim, a disponibilidade de múltiplos contadores pode balancear a variabilidade do tráfego de um único local; caso algum contador entre em falha, os fatores podem ser calculados utilizando os dados dos demais postos do grupo.

#### **4.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Vários são os programas de monitoramento de tráfego utilizados pelos órgãos rodoviários, resultantes da diversidade da aplicação de recursos financeiros e da automatização das contagens de tráfego. Assim, além da integração dos programas de monitoramento, que pode reduzir bastante os custos de coleta de dados, deve haver uma preocupação com a qualidade desses dados.

A edição para a validação dos dados de tráfego é uma etapa crítica de qualquer programa de monitoramento, variando os procedimentos de acordo com o tipo e com o uso desses dados. Um novo banco de dados foi desenvolvido, em que utilizaram-se rotinas com a finalidade de identificar, controlar e filtrar possíveis inconsistências na base de dados. Por meio dessas rotinas foi possível avaliar a qualidade dos dados dos contadores permanentes das rodovias estaduais, pela magnitude dos dados válidos, dos inválidos e dos faltosos para os anos da série histórica.

Verificando a qualidade dos dados, conclui-se que é impossível estimar valores perdidos para a variável volume de tráfego. O alto percentual de dados faltosos na série histórica não permite avaliar e quantificar os erros que estariam sendo cometidos na estimação de tais valores, nem permite definir o modelo ou a técnica mais adequada para a realização de tal tarefa. Também devido a estas falhas não foi possível estudar a tendência do fator K ao longo dos anos para a determinação das distribuições dos volumes horários.

Para que o órgão rodoviário, então, continue a obter informações precisas aos estudos rodoviários, alguns procedimentos poderiam ajudar na melhoria da qualidade dos dados, tais como: um bom monitoramento das falhas (falta de energia ou defeitos no equipamento); a redução dos tempos de manutenção preventiva/corretiva dos contadores automáticos, e principalmente um estudo para a implantação de transferência de dados por meio remoto.

Por fim, a integração das lombadas eletrônicas aos 12 postos permanentes dos trechos rodoviários, tornaria o programa de monitoramento do volume de tráfego mais abrangente, melhorando a determinação de fatores de expansão e reduzindo custos na coleta de dados.

## **CAPÍTULO 5**

### **EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SISTEMATIZADA**

No presente capítulo é ilustrado um exemplo de aplicação da metodologia sistematizada, anteriormente discutida no Capítulo 03, tendo como o objetivo principal analisar a necessidade de duplicação de um trecho rodoviário, visto que tal decisão tem sido adotada nos principais pontos de acessos da Região Metropolitana.

Foram utilizados, para isso, dados do volume horário disponíveis no contador contínuo de tráfego, características do trecho rodoviário, e informações sobre custos de construção, do tempo de viagem e custo operacional.

#### **5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

O trecho rodoviário aqui utilizado para a exemplificação da metodologia sistematizada é um segmento da CE-065, de 12,45 km de extensão, importante e representativo trecho da Região Metropolitana de Fortaleza, compreendido do Anel Viário - Cágado – Maranguape. A rodovia classificada espacialmente como radial, desenvolve-se desde Fortaleza (Av. Perimetral) até o entroncamento com a CE-257, no município de Capistrano, zona central do Estado.

Além da importância econômica, a escolha do trecho estudado deve-se também à disponibilidade de dados dos volumes horários e às informações sobre os custos de construção, os custos operacionais e o tempo de viagem, visto que o trecho foi duplicado a partir do ano de 1998. Quanto aos volumes de tráfego, esses foram retirados do posto permanente P005, localizado exatamente no trecho em questão, com base no ano de 1997, quando ainda era de pista simples.

Vale salientar que o exemplo não tem por finalidade questionar a viabilidade da duplicação realizada para o trecho, mas, sim, utilizar dados os mais reais possíveis para a aplicação da metodologia proposta na seleção do VHP.

## 5.2. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

O método sistematizado para a seleção do VHP apresentado no Capítulo 3 consta de várias etapas, as quais serão estabelecidas a seguir.

### 5.2.1. Estimação do Volume de Tráfego

Para o estudo, os dados utilizados do posto P005, implantado na CE-065, correspondem ao ano de 1997; como descrito na metodologia sistematizada, primeiramente é necessário o conhecimento dos volumes horários durante toda a vida útil da rodovia. Devido as limitações dos dados, assumiu-se a atual distribuição dos volumes horários do posto e considerou-se uma taxa de crescimento anual do tráfego, a fim de se determinar os volumes horários no futuro.

A taxa de crescimento adotada poderia ser obtida exclusivamente da série histórica do posto P005, mas, em função ao alto índice de falhas desse contador, adotou-se a taxa de crescimento anual média de todos os postos permanentes, que é de 4%, como observado no Capítulo 4. Assim, a distribuição dos volumes horários para cada ano do projeto foi determinada de acordo com Equação 5.1:

$$V_j = V_i \cdot (1 + t)^n \quad (5.1)$$

em que,

- $V_j$  : volume horário de tráfego para o ano  $n$ ;
- $V_i$  : volume horário de tráfego para o ano base (1997);
- $t$  : taxa anual de crescimento do tráfego (4%);
- $n$  : ano que se deseja determinar o volume horário.

O valor de  $n$  pode variar de 1 (correspondendo ao ano de abertura da rodovia) a 20 (correspondendo ao ano de projeto). A vida útil do trecho foi determinada para 20 anos, tendo em vista que atualmente os projetos de implantação e de melhorias de rodovias do DERT consideram esse longo período de anos. Pela Tabela 5.1 visualizam-se os 49 maiores volumes horários do ano de 1997 e os valores estimados para os dois primeiros e os dois últimos anos de vida útil do trecho.

**Tabela 5.1:** Maiores Volumes Horários Estimados Durante a Vida Útil do Projeto

ORDEM	ANO 0	ANO 1	ANO 2	ANO 19	ANO 20
1	840	874	909	1770	1841
2	662	688	716	1395	1451
3	644	670	697	1357	1411
4	633	658	685	1334	1387
5	611	635	661	1287	1339
6	602	626	651	1268	1319
7	583	606	631	1228	1277
8	581	604	628	1224	1273
9	576	599	623	1214	1262
10	564	587	610	1188	1236
11	562	584	608	1184	1231
12	562	584	608	1184	1231
13	561	583	607	1182	1229
14	556	578	601	1171	1218
15	552	574	597	1163	1209
16	550	572	595	1159	1205
17	550	572	595	1159	1205
18	540	562	584	1138	1183
19	534	555	578	1125	1170
20	533	554	576	1123	1168
21	520	541	562	1096	1139
22	519	540	561	1093	1137
23	516	537	558	1087	1131
24	513	534	555	1081	1124
25	508	528	549	1070	1113
26	507	527	548	1068	1111
27	503	523	544	1060	1102
28	502	522	543	1058	1100
29	501	521	542	1056	1098
30	500	520	541	1053	1096
31	499	519	540	1051	1093
32	498	518	539	1049	1091
33	497	517	538	1047	1089
34	496	516	536	1045	1087
35	495	515	535	1043	1085
36	495	515	535	1043	1085
37	494	514	534	1041	1082
38	493	513	533	1039	1080
39	493	513	533	1039	1080
40	492	512	532	1037	1078
41	492	512	532	1037	1078
42	490	510	530	1032	1074
43	489	509	529	1030	1071
44	489	509	529	1030	1071
45	485	504	525	1022	1063
46	484	503	523	1020	1061
47	483	502	522	1018	1058
48	483	502	522	1018	1058
49	483	502	522	1018	1058

Usando os volumes horários do vigésimo ano, calculou-se o percentual de veículos atendidos, correspondente ao VHP. Os volumes horários dos demais anos serão utilizados para a quantificação dos custos, que serão calculados no item 5.2.4. Antes, porém, serão determinados os volumes de serviço e o percentual do tráfego total atendido do trecho estudado.

### 5.2.2. Volume de Serviço e Percentual do Tráfego Atendido

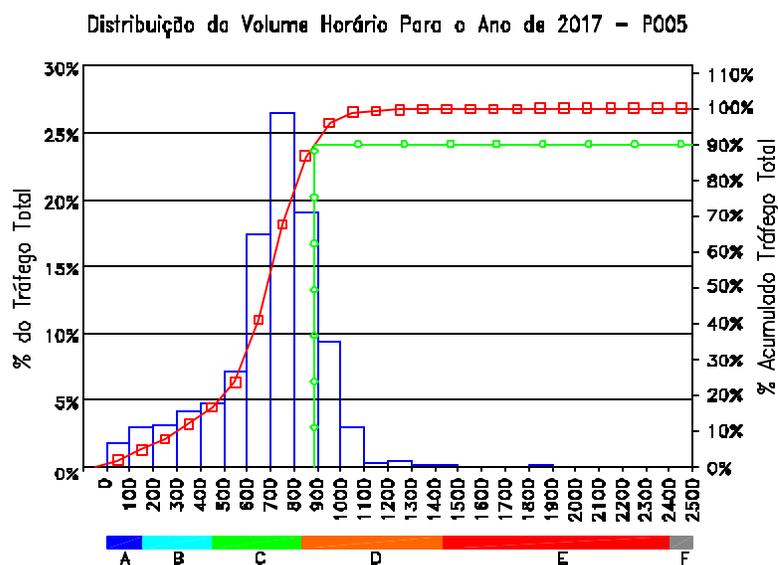
A determinação do volume de serviço foi realizada de acordo com a metodologia do HCM 2000 para rodovias de pista simples e está ilustrada na Tabela 5.2. O trecho estudado tem as seguintes características:

- Largura das faixas de tráfego igual a 3,0 m;
- Largura do acostamento igual a 1,0 m;
- Distribuição direcional na hora de pico 60/40;
- Fator da hora de pico igual a 0,87;
- Percentual de veículos pesados igual a 25%;
- Percentual de zonas de ultrapassagem proibidas de 25%;
- Velocidade de fluxo livre igual a 100 km/h;
- O relevo é plano.

**Tabela 5.2:** Volume de Serviço nas Unidades de Veíc/h e Ucp/h

NÍVEL DE SERVIÇO	VOLUME DE SERVIÇO (veíc/h)	VOLUME DE SERVIÇO (ucp/h)
A	157	212
B	452	546
C	838	1011
D	1434	1689
E	2404	2832

Após o cálculo do volume de serviço, foram usados os volumes horários estimados para o ano de projeto, e construiu-se o gráfico de distribuição de frequências relativas e acumuladas do tráfego total anual, para a definição do percentual total do tráfego atendido, como é ilustrado na Figura 5.1.



**Figura 5.1:** Distribuição dos Volumes Horários do Ano de Projeto Para o Posto P005

Verificando a distribuição acumulada no lado direito da Figura 5.1, a curva sugere que em torno do 90° percentil há uma redução da taxa de aumento dos volumes, correspondendo a um valor da ordem de 900 vph. Assim, o valor do VHP de 900 veíc/h para o trecho atenderia 90% de todos os usuários durante o ano de projeto, num nível de serviço melhor ou igual a D.

Com esse nível de serviço, o número de faixas por sentido necessárias para o atendimento do tráfego no ano de projeto, de acordo com a Equação 2.5, é de 0,9 faixas, não sendo, portanto, necessária a duplicação do trecho rodoviário. No entanto, é conveniente, também, avaliar os custos econômicos dos volumes de tráfego que ficam acima do nível atendido durante todo o período de projeto. Na seção 5.3 é determinado o custo dos 10% do tráfego total não atendido.

### 5.3. DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS RODOVIÁRIOS

Antes do cálculo dos custos envolvidos convém definir alguns conceitos. Quando custos financeiros são investidos comercialmente, taxas de juros compostos são adicionadas ao capital investido. Essas taxas referem-se aos riscos, aos custos de

oportunidade, etc. Portanto, o dinheiro usado nos investimentos, como no caso de uma duplicação de rodovia, poderia ser investido em outro setor, provocando um dividendo. Utilizando recursos de capital em um projeto, o dividendo pode ser estimado.

Assim, todos os custos futuros devem ser analisados no mesmo ponto de tempo; aqui no caso será o presente, pois a decisão de duplicar ou não a rodovia será tomada hoje. Assim, pode-se descontar um valor futuro (VF) de custos de forma a ser convertido num valor presente (VP) por meio da Equação 5.2.

$$VP = \frac{VF}{(1+i)^n} \quad (5.2)$$

em que,

- VP : valor presente;
- VF : valor futuro;
- i : taxa de desconto (expressa como fração);
- n : ano de análise.

A taxa de desconto adotada foi de 12% ao ano, durante um período de análise de 20 anos, de acordo com a atual prática dos estudos de viabilidade técnico-econômica adotada pelo DERT. Após essas considerações, serão quantificados os principais custos envolvidos no projeto nas seções seguintes.

### **5.3.1. Custos do Tempo de Viagem**

A primeira parcela do custo do usuário calculada foi a relativa à redução do tempo de viagem, provocada pelo aumento do volume de tráfego. Para isso, foi usada a metodologia do HCM 2000 na determinação da velocidade média de viagem de cada volume horário maior que 900 vph, correspondendo aos volumes de tráfego que sofrerão congestionamento durante todo o período do projeto.

Para calcular a velocidade média de viagem de cada volume horário de tráfego superior ao VHP, utilizou-se o método do HCM e empregou-se planilha Excel automatizada, tendo sido os dados sobre as características geométricas e de tráfego os

mesmos utilizados na determinação do volume de serviço. Na Figura 5.2 percebe-se a planilha com os volumes horários, com os diversos fatores de correção e com a velocidade média de viagem.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Volume	Fg	Et	Er	Fhv	vp	Fls	Fa	FFS	fnp	ATS
2	1841	1	1,1	1	0,976	2168	5,9	0	94,1	0,85	66,2
3	1451	1	1,1	1	0,976	1709	5,9	0	94,1	0,93	71,8
4	1411	1	1,1	1	0,976	1662	5,9	0	94,1	0,96	72,4
5	1387	1	1,1	1	0,976	1633	5,9	0	94,1	0,98	72,7
6	1339	1	1,1	1	0,976	1577	5,9	0	94,1	1	73,4
7	1319	1	1,1	1	0,976	1553	5,9	0	94,1	1,01	73,7
8	1277	1	1,1	1	0,976	1504	5,9	0	94,1	1,01	74,3
9	1273	1	1,1	1	0,976	1499	5,9	0	94,1	1,01	74,4
10	1262	1	1,1	1	0,976	1486	5,9	0	94,1	1,01	74,5
11	1236	1	1,1	1	0,976	1456	5,9	0	94,1	1,02	74,9
12	1231	1	1,1	1	0,976	1450	5,9	0	94,1	1,02	75,0
13	1231	1	1,1	1	0,976	1450	5,9	0	94,1	1,02	75,0
14	1229	1	1,1	1	0,976	1447	5,9	0	94,1	1,02	75,0
15	1218	1	1,1	1	0,976	1434	5,9	0	94,1	1,02	75,2
16	1209	1	1,1	1	0,976	1424	5,9	0	94,1	1,02	75,3
17	1205	1	1,1	1	0,976	1419	5,9	0	94,1	1,02	75,3
18	1205	1	1,1	1	0,976	1419	5,9	0	94,1	1,02	75,3
19	1183	1	1,1	1	0,976	1393	5,9	0	94,1	1,04	75,6
20	1170	1	1,1	1	0,976	1378	5,9	0	94,1	1,07	75,8
21	1168	1	1,1	1	0,976	1376	5,9	0	94,1	1,08	75,8
22	1139	1	1,1	1	0,976	1341	5,9	0	94,1	1,16	76,2
23	1137	1	1,1	1	0,976	1339	5,9	0	94,1	1,16	76,2

**Figura 5.2:** Determinação da Velocidade Média de Viagem Para os Volumes Horários do Ano de Projeto

De posse das velocidades, aplicou-se a Equação 3.3 para calcular o custo do tempo de viagem, em que foram utilizados valores de tempo de viagem e de proporções do tipo de veículos da Tabela 5.3. Os valores do tempo de viagem do usuário e as taxa de ocupação dos veículos foram retirados de uma média de estudos de viabilidade técnico-econômica de seis trechos do PRODETUR/CE (CSL, 1997), pois não foi possível obter tais valores para o segmento estudado. Mesmo nesses estudos do

PRODETUR/CE, não há informação sobre o tempo de viagem para os caminhões, sendo assumidos os mesmos valores de tempo para os automóveis.

**Tabela 5.3:** Valor do Tempo de Viagem, Taxa de Ocupação e Proporções de Veículos na Corrente de Tráfego

TIPO DE VEÍCULO	TEMPO DE VIAGEM (R\$/H)	TAXA DE OCUPAÇÃO	PROPORÇÕES DO TIPO DE VEÍCULO NA CORRENTE DE TRÁFEGO
Automóvel	2,78	2,5	75%
Ônibus	6,76	18	9%
Caminhão	-	-	16%

FONTE: PRODETUR/CE (CSL, 1997)

Além dos valores da Tabela 5.3, a Equação 3.3 necessita de uma velocidade média desejada; no caso foi adotada a velocidade máxima permitida no trecho, que é de 80 km/h. Assim, foi possível quantificar o custo da redução da velocidade para todos os anos de projeto e convertê-lo em valores presentes, de acordo com a Equação 5.2.

**Tabela 5.4:** Custo do Tempo de Viagem Presente Para os Anos de Projeto

ANO	CUSTO ANUAL DO TEMPO DE VIAGEM (R\$)
0	0,00
1	0,00
2	6,00
3	7,00
4	9,00
5	9,00
6	10,00
7	11,00
8	15,00
9	22,00
10	27,00
11	32,00
12	47,00
13	62,00
14	75,00
15	95,00
16	136,00
17	216,00
18	339,00
19	505,00
20	707,00
<b>CUSTO TOTAL</b>	<b>2.330,00</b>

Na Tabela 5.4 verificam-se o custo do tempo de viagem para cada ano de análise do projeto e o custo total, com valores arredondados para reais. Os valores são

praticamente insignificantes, o que implica nenhum impacto econômico aos motoristas que sofrerão congestionamento ao longo da vida útil do projeto.

### 5.3.2. Custo Operacional dos Veículos

No custo operacional aqui discutido, leva-se em conta que não há desgaste do pavimento ao longo dos anos; portanto, os custos dos veículos estarão relacionados somente quanto à variação da velocidade de viagem. Assim, para essa quantificação, é necessário determinar para cada velocidade média de viagem o custo operacional unitário por tipo de veículo.

Como não foi possível obter tais informações, foram utilizados os custos operacionais dos estudos de viabilidade técnico-econômica do Programa Ceará II, obtidos para este trecho antes da duplicação, e ilustrado no Anexo III. Sabe-se que o uso de tais valores implicará uma superestimação dos custos, visto que, no caso, o órgão leva em consideração tanto o efeito do congestionamento quanto o estado e a deterioração do pavimento. Assim, o custo operacional total dos veículos foi obtido de acordo com a Equação 5.3.

$$COTV = Vol. \left[ (P_{cp} \cdot CO_{cp} + P_{cn} \cdot CO_{on} + P_{cm} \cdot CO_{cm}) \right] S \quad (5.3)$$

em que,

COTV	: custo operacional total dos veículos (R\$);
Vol	: volume de tráfego (veículos);
$P_{cp}, P_{on}, P_{cm}$	: percentual de carro de passeio, ônibus e caminhão, respectivamente na corrente de tráfego;
$CO_{cp}, CO_{on}, CO_{cm}$	: custo operacional em R\$/veículo.km do carro de passeio, ônibus e caminhão, respectivamente na corrente de tráfego;
S	: comprimento do trecho rodoviário.

Utilizando a Equação 5.3 pode-se determinar o custo operacional dos usuários que sofrerão com congestionamentos. Os percentuais de veículos na corrente de tráfego são idênticos aos utilizados no cálculo do custo do tempo de viagem, e a extensão do trecho é de 12,45 km. Pela Tabela 5.5 detectam-se os valores presentes do custo para cada ano de análise do projeto e do custo total.

**Tabela 5.5:** Custo do Operacional dos Veículos em Valores Presente Para os Anos de Projeto

ANO	CUSTO OPERACIONAL ANUAL (R\$)
0	0,00
1	0,00
2	4.100,00
3	3.806,00
4	3.535,00
5	3.281,00
6	3.047,00
7	2.828,00
8	4.698,00
9	8.072,00
10	9.140,00
11	9.995,00
12	17.252,00
13	21.999,00
14	24.689,00
15	31.433,00
16	49.476,00
17	87.362,00
18	141.260,00
19	211.121,00
20	288.483,00
TOTAL	925.577,00

Os dados da Tabela 5.5 revelam baixos valores do custo operacional, nos primeiros anos de vida útil do projeto, aumentado progressivamente, sendo que os valores a partir do 17º ano correspondem a mais de 78% do custo operacional total.

### 5.3.2. Custo do Órgão Rodoviário

Os quantitativos dos serviços de construção da rodovia foram extraídos dos projetos de engenharia e multiplicados pelos respectivos custos unitários a preços

econômicos, criando, finalmente, a planilha de orçamento a preços econômicos. Os preços econômicos correspondem aos valores dos serviços para a construção da obra, deduzindo-se os valores referentes aos impostos incidentes, ao custo social da mão-de-obra, aos subsídios e ao custo social da moeda estrangeira. O custo econômico da obra foi obtido da tabela de orçamento econômico das obras viárias dos trechos pertencentes ao Programa Ceará II, ilustrada no Anexo III (Tabela III.1), correspondendo a um valor aproximado de R\$ 8.966. 900,00.

Além da construção da obra, tem-se também o custo de conservação da rodovia, que, de acordo com a metodologia do Programa Ceará II, incluem os seguintes serviços: a) conservação rotineira convencional (reparos, limpezas, etc.) sempre que necessário; b) realização de operação tapa-buraco sempre que for necessário; c) aplicação de lama asfáltica na superfície do revestimento toda vez que a área danificada atingir 40% do total da área, e e) recapeamento com concreto asfáltico toda vez que o Quociente de Irregularidade atingir o valor igual a 60 contagens/quilômetro. Os custos de manutenção encontram-se ilustrado no Anexo III (Tabela III.2), somando para o ano de projeto o valor de R\$ 14.000,00.

Assim, o custo total do órgão rodoviário corresponde ao custo de construção somado ao custo de conservação, totaliza um valor aproximado de R\$ 8.980.900,00.

#### **5.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Os custos operacionais dos veículos e os de tempo de viagem aqui calculados correspondem a uma situação em que é considera-se o trecho como rodovia de pista simples. Para que a duplicação seja economicamente viável, contudo, é necessário comparar os benefícios e os custos gerados a partir dessa nova via.

Os benefícios podem ser obtidos pela redução dos tempos de viagem; os custos envolvidos correspondem ao valor atribuído à construção e à manutenção das 4 faixas de tráfego, como também ao aumento do custo operacional dos veículos, ocasionado sobretudo pelo aumento da velocidade.

De maneira bem simplificada, caso os 10% dos usuários deixassem de sofrer congestionamentos graças à duplicação e os benefícios gerados pela nova rodovia fossem superestimados (iguais aos custos do tempo de viagem e ao custo operacional na atual situação), poder-se-ia verificar um alto investimento financeiro do órgão rodoviário para o atendimento de um percentual pequeno do tráfego total.

**Tabela 5.6:** Benefícios Gerados Devido a Duplicação do Trecho Estudado

	BENEFÍCIOS (R\$)	CUSTOS (R\$)
Tempo de Viagem	2.330,00	-
Custo Operacional dos Veículos	925.577,00	-
Custo de Construção e Manutenção	-	8.980.900,00

Observando os valores da Tabela 5.6, tem-se uma relação benefício/custo da ordem de 0,10, indicando a inviabilidade da construção de tal obra, visto que os custos para o atendimento de somente 10% dos usuários são bastante elevados.

Entretanto, é feita uma análise dos resultados através da sensibilidade, que permite apurar a avaliação dos custos com maior rigor. Por meio de simulações utilizando as variáveis valor do tempo de viagem e do custo operacional, existe a possibilidade de se detectar o comportamento e o grau de influência que cada uma das variáveis exerce sobre o resultado da rentabilidade do projeto.

#### **5.4.1. Análise de Sensibilidade do Valor do Tempo de Viagem**

Pela Tabela 5.3 verifica-se que o custo do tempo de viagem para cada usuário do automóvel é de R\$ 1,11, e de R\$ 0,38 para o transporte coletivo. Observa-se que o valor do tempo atribuído aos usuários de menor poder aquisitivo é de 34% do valor do tempo para os usuários do transporte particular.

Para identificar, então, o efeito do valor do tempo de viagem no processo de avaliação econômica, simulou-se aumentos da ordem de 10%, 30%, 50%, 80% e 100% para os usuários de automóveis, ônibus e caminhão. Pela Tabela 5.7 visualizam-se os custos totais dos veículos que sofrerão congestionamento durante a vida útil do projeto, de acordo com os custos do tempo de viagem.

**Tabela 5.7:** Simulação dos Custos Totais de Viagem, de acordo com Custos do Tempo de Viagem

ANO	CUSTO TEMPO +10%	CUSTO TEMPO +30%	CUSTO TEMPO +50%	CUSTO TEMPO +80%	CUSTO TEMPO +100%
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	7,00	8,00	9,00	11,00	12,00
3	8,00	10,00	11,00	13,00	15,00
4	10,00	11,00	13,00	16,00	18,00
5	10,00	11,00	13,00	16,00	18,00
6	11,00	13,00	15,00	18,00	20,00
7	12,00	14,00	16,00	20,00	22,00
8	16,00	19,00	22,00	27,00	30,00
9	24,00	28,00	33,00	39,00	44,00
10	30,00	35,00	41,00	49,00	54,00
11	36,00	42,00	49,00	58,00	65,00
12	52,00	62,00	71,00	85,00	95,00
13	69,00	81,00	93,00	112,00	125,00
14	83,00	98,00	113,00	136,00	151,00
15	105,00	124,00	143,00	171,00	190,00
16	149,00	177,00	204,00	245,00	272,00
17	238,00	281,00	324,00	389,00	432,00
18	372,00	440,00	508,00	609,00	677,00
19	556,00	657,00	758,00	909,00	1.010,00
20	777,00	919,00	1.060,00	1.272,00	1.413,00
TOTAL	2.565,00	3.030,00	3.496,00	4.195,00	4.663,00

Vale lembrar que foi considerada a mesma proporção do tipo de veículo na corrente de tráfego ilustrada na Tabela 5.3. Devido a limitações de dados, foram assumidos novamente os mesmos valores do tempo de viagem para os caminhões e para o automóvel. Os dados da Tabela 5.7 demonstram a pouca influência do custo do tempo de viagem

A quantificação do custo de tempo de viagem apresenta algum grau de dificuldade, principalmente pela precariedade de dados sobre a renda dos passageiros dos veículos. VASCONCELOS (2000) comenta que na atribuição dos valores monetários ao tempo, aparecem problemas teóricos e práticos. Inicialmente, apenas o tempo envolvido em viagens produtivas (relacionadas ao trabalho ou a negócios) deveriam ser consideradas, sendo, portanto, os salários horários reduzidos para aproximadamente um terço do valor padrão.

Além disso, os valores atribuídos ao tempo pelas pessoas mostram características e variações interessantes. O valor do tempo de viagem varia de acordo com as características individuais e da viagem, principalmente com a renda da pessoa e com o motivo do deslocamento.

Assim, motoristas de longas distâncias dão mais importância à quantidade de tempo economizada e seu valor em unidade monetária que motoristas de pequenas distâncias. Conforto e conveniência também são considerados importantes para viagens de longas distâncias (SHARMA, *et al.*, 1985). Também os valores aumentam à medida que a renda aumenta e são geralmente maiores para viagens de negócios e de trabalho, quando comparadas às viagens para compras e lazer.

#### 5.4.2. Análise de Sensibilidade do Custo Operacional

Para a avaliação dos custos operacionais dos veículos que sofrerão congestionamento, simularam-se modificações nas proporções dos tipos de veículos na corrente de tráfego, representando uma composição de veículos que varia inicialmente de 75% a 60% de veículos de passeio, de 9% a 20% de ônibus, e de 16% a 20% de caminhões (Tabela 5.8). Além disso, foram simulados aumentos em 10%, 30%, 50%, 80% e 100% do valor do custo operacional dos diversos tipos de veículos, de acordo com a Tabela 5.9.

**Tabela 5.8:** Custo Operacional por Tipo de Veículo e Atuais Proporções de Veículos na Corrente de Tráfego

TIPO DE VEÍCULO	CUSTO (R\$/KM)	PERCENTUAIS
Automóvel	0,306	0,75
Ônibus	0,841	0,09
Caminhão	0,930	0,16

FONTE: CSL (1997)

Pela Tabela 5.9 depreendem-se os dados simulados, considerando os aumentos percentuais nos custos operacionais unitários para as proporções de 60%, 20% e 20% para automóveis, ônibus e caminhão, respectivamente. Os valores simulados geraram um aumento da ordem de 18% dos custos, caso fossem mantidas as mesmas proporções

de veículos na corrente de tráfego e fossem alterados somente os custos unitários operacionais.

**Tabela 5.9:** Simulação dos Custos Operacionais dos Veículos que Sofrerão Congestionamento Durante a Vida Útil do Projeto

ANO	ACRÉSCIMO DE 10%	ACRÉSCIMO DE 30%	ACRÉSCIMO DE 50%	ACRÉSCIMO DE 80%	ACRÉSCIMO DE 100%
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	5.343,00	6.315,00	7.286,00	8.743,00	9.715,00
3	4.960,00	5.861,00	6.763,00	8.116,00	9.017,00
4	4.606,00	5.444,00	6.281,00	7.538,00	8.375,00
5	4.276,00	5.053,00	5.831,00	6.997,00	7.774,00
6	3.971,00	4.693,00	5.415,00	6.498,00	7.220,00
7	3.686,00	4.356,00	5.026,00	6.031,00	6.701,00
8	6.123,00	7.236,00	8.349,00	10.019,00	11.132,00
9	10.519,00	12.431,00	14.344,00	17.212,00	19.125,00
10	11.911,00	14.076,00	16.242,00	19.490,00	21.656,00
11	13.025,00	15.394,00	17.762,00	21.314,00	23.683,00
12	22.482,00	26.569,00	30.657,00	36.788,00	40.876,00
13	28.667,00	33.880,00	39.092,00	46.910,00	52.122,00
14	32.174,00	38.024,00	43.874,00	52.648,00	58.498,00
15	40.962,00	48.410,00	55.858,00	67.029,00	74.477,00
16	64.474,00	76.196,00	87.919,00	105.503,00	117.225,00
17	113.845,00	134.545,00	155.244,00	186.293,00	206.992,00
18	184.082,00	217.552,00	251.021,00	301.226,00	334.695,00
19	275.122,00	325.144,00	375.166,00	450.199,00	500.221,00
20	375.935,00	444.287,00	512.639,00	615.166,00	683.518,00
TOTAL	1.206.162,00	1.425.465,00	1.644.767,00	1.973.721,00	2.193.023,00

Analisando os resultados da Tabela 5.9, observa-se que mesmo considerando os cenários mais pessimistas no cálculo dos custos de tempo de viagem e dos custos operacionais, como mostrado na Tabela 5.10, a relação benefício/custo corresponde a somente 0,24, sendo, portanto, a duplicação considerada inviável economicamente.

**Tabela 5.10:** Benefícios Gerados pelos Cenários mais Pessimista

	BENEFÍCIOS (R\$)	CUSTOS (R\$)
Tempo de Viagem	4.663,00	-
Custo Operacional dos Veículos	2.193.023,00	-
Custo de Construção e Manutenção	-	8.980.900,00

É bom salientar que na análise não foi considerado o custo dos acidentes, que constitui um dos passos mais críticos no processo de avaliação de melhoramento de trechos rodoviários. Esses custos podem ser estimados, ano a ano, para o período de

análise, levando-se em consideração a evolução esperada do tráfego e da estimativa de redução de acidentes, efetuada para cada segmento após a intervenção. Os benefícios são obtidos, ano a ano, por meio da multiplicação do número de acidentes evitados (em cada nível de gravidade) pelos respectivos custos médios referentes ao ano (CSL, 1997).

O processo para a determinação de valores econômicos dos acidentes envolve complexas composições ou apropriações de custos de acidentes, baseadas em diversas variáveis com valores individuais, muitas vezes de difícil mensuração (DE MENESES, 2001). Devido a essas dificuldades, foram adotados os benefícios dos acidentes calculados pelo relatório de viabilidade técnico-econômica para o trecho, ilustrado na Tabela 5.11.

**Tabela 5.11: Custo de Acidente**

RODOVIA	TRECHO	CUSTO ACIDENTE SITUAÇÃO ATUAL	CUSTO ACIDENTE SITUAÇÃO FUTURA	BENEFÍCIO
CE-065	Anel Viário – Cágado – Maranguape	36.371.902,20	16.877.271,20	9.403.183.13

Fonte: CSL (1997)

Verificando os dados da Tabela 5.11, observa-se que os benefícios gerados pela redução do número de acidentes ou de gravidade, têm maior peso que os custos do tempo de viagem e os custos operacionais dos veículos, o que torna a obra economicamente viável.

## 5.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No capítulo tratou-se de um exemplo de aplicação da metodologia sistematizada para a análise da escolha do VHP, objetivando analisar a necessidade de duplicação de um importante acesso à Região Metropolitana de Fortaleza. A escolha do trecho deveu-se à disponibilidade de dados sobre o volume de tráfego e os custos.

Utilizando os dados de volume horário para o ano de 1997 e considerando uma taxa de crescimento de 4% ao ano, obteve-se a distribuição horária durante a vida útil do projeto. Na etapa seguinte, determinaram-se os volumes de serviço de acordo com o método do HCM e o percentual do tráfego atendido.

A metodologia sistematizada identificou um VHP igual a 900 veíc/h para o trecho estudado como sendo o volume que atenderá a 90% do tráfego total anual num nível de serviço melhor ou igual ao D, o que corresponde ao volume horário da 503ª maior hora do ano de projeto. Na análise dos dados, observou-se que uma rodovia de pista simples pode atender perfeitamente o tráfego durante a vida útil do projeto, sem a necessidade de duplicação do trecho.

Entretanto, foi também realizada a quantificação dos custos dos 10% do tráfego não atendido e que sofrerão congestionamento ao longo da vida útil do projeto, para uma correta e conveniente avaliação sobre a necessidade de duplicação do trecho em questão.

Verificou-se também que a viabilidade de tal trecho deveu-se exclusivamente à redução dos custos relacionados aos acidentes de trânsito, visto que tanto os custos de tempo de viagem quanto os custos operacionais dos veículos dos usuários que estarão sofrendo congestionamento são muito baixos.

Vale lembrar que, segundo EWING (1993), a escolha do VHP, na verdade, é uma questão política - ao invés de um assunto estritamente técnico -, visto que envolve o equilíbrio de recursos financeiros, no desejo de fornecer um baixo serviço no atendimento ao tráfego em relação ao desejo que sejam evitados congestionamentos.

## CAPÍTULO 6

# CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo principal estudar e sistematizar uma metodologia alternativa ao volume da 30ª hora para a escolha do VHP, utilizando dados coletados pelos postos permanentes, localizados nas rodovias estaduais do Ceará. Ressalte-se que, embora o método tradicional tenha sido bastante utilizado no passado, melhorias são passíveis de ser feitas, que conduzirão a mais informações e facilitarão também a tomada de decisão nos estudos e nos projetos rodoviários.

A metodologia sistematizada para estimar o VHP neste trabalho está focada no usuário ao invés de na rodovia, sendo que o critério utilizado é o percentual de veículos (durante a vida útil do projeto) que sofrem com congestionamento. A decisão para a construção ou para melhorias na rodovia deve ser justificada quando o custo do percentual dos veículos que sofrem congestionamento for considerado inaceitavelmente grande para o órgão rodoviário.

Com relação às limitações, a metodologia proposta necessita da distribuição dos volumes horários durante a vida útil da rodovia; conseqüentemente, requer estimativas do Volume Médio Diário Anual para cada ano do projeto, bem como o conhecimento da tendência ao longo dos anos da relação entre volume horário e VMDA, obtidos de uma série histórica de dados consolidados, originados dos postos de contagem contínua.

Com relação aos objetivos específicos estabelecidos no início do trabalho, pode-se concluir que:

- a) O trabalho realizou uma revisão dos métodos de determinação do VHP, iniciando com uma crítica à “curva da enésima hora”, questionando a validade das premissas básicas do método tradicional. As curvas horárias tendem a suavizar-se em lugar de permanecerem estáticas quando as áreas tornam-se desenvolvidas; o ponto de inflexão torna-se móvel ou desaparece

completamente. Até mesmo se as curvas horárias tiverem pontos visíveis, o ponto pode não tem significação econômica; um projeto otimizado de uma rodovia pode ser determinado somente por uma comparação de custos de projetos alternativos com benefícios aos motoristas.

- b) O banco de dados desenvolvido possuía rotinas com a finalidade de identificar, controlar e filtrar possíveis inconsistências na base de dados. Por meio dessas rotinas e pela magnitude dos dados válidos, dos inválidos e dos faltosos para os anos da série histórica foi possível avaliar a qualidade dos dados dos contadores permanentes das rodovias estaduais. Verificando a qualidade dos dados, observou-se a existência de um alto percentual de dados faltosos, em torno de 45% da série histórica, o que compromete enormemente a precisão dos estudos rodoviários.

É inapropriado exigir 100% de qualidade para os dados coletados pelos detectores dos postos permanentes, mas alguns procedimentos influenciam muito na melhoria da qualidade dos dados, tais como: manutenção dos equipamentos de detecção, sistema de monitoramento de falhas, e principalmente disponibilidade de um sistema de comunicação para a transferência de dados por meio remoto.

- c) A caracterização dos dados dos postos objetivou a obtenção de uma melhor compreensão do tráfego existente nas rodovias estaduais do Ceará para escolha dos trechos a serem estudados com respeito ao VHP. Na caracterização foi estudado o crescimento anual, a variação do volume mensal, diário, horário, a distribuição direcional, e a composição do tráfego. Abordou-se também o tema relativo ao cálculo de fatores de expansão.

Com relação aos fatores de expansão verificaram-se algumas dificuldades para a utilização do mecanismo de conversão de contagens de curta duração em estimativas precisas do tráfego, devido ao grande percentual de falhas na base de dados dos postos permanentes. Recomenda-se ao DERT a configuração dos equipamentos dos postos permanentes para a realização da classificação dos veículos, permitindo que se obtenham tendências de crescimento do tráfego e fatores de expansão por diferentes tipos de veículos.

- d) Um exemplo de aplicação da metodologia sistematizada foi proposto, objetivando analisar a necessidade de duplicação de um trecho rodoviário. As análises dos resultados demonstraram, com base nos dados disponíveis, que a rodovia de pista simples poderia atender perfeitamente a 90% dos usuários durante a vida útil do projeto, num nível de serviço melhor ou igual a D, não sendo, portanto, necessária a obra de duplicação. Uma análise do impacto dos custos para os 10% restantes do tráfego total anual ajudou a tomada de decisão sobre o processo de melhoria da rodovia.

O método tradicional, para determinar a necessidade de melhorias de rodovias, baseia-se no equilíbrio do volume horário de projeto contra o volume de serviço para uma alternativa de rodovia; repousa no foco de uma única hora de projeto como também valoriza a facilidade ao invés de priorizar usuário. Assim, não considera claramente o motivo para melhorias, especialmente os benefícios que dispõem do tempo para os usuários.

Embora a análise tenha sido realizada de modo limitado devido à falta de dados, o trabalho apresenta uma contribuição ao desenvolvimento de uma metodologia para a determinação do VHP, pode substituir conceitos tradicionais, como também cria uma base sólida para pesquisas adicionais da variação do volume de tráfego nas rodovias estaduais do Ceará.

## **6.2. RECOMENDAÇÕES**

Como recomendação para futuros trabalhos a serem realizados, sugere-se o seguinte:

- a) Quando o órgão rodoviário dispuser de uma série histórica de dados com menor quantidade de dados faltosos, é importante estudar o problema da tendência dos valores do fator K para as rodovias estaduais do Ceará, possibilitando a previsão do tráfego futuro com mais precisão.
- b) Estudar uma metodologia para a escolha do VHP com base em contagens de curta duração.

- c) Um estudo para a verificação do efeito da perda de dados na precisão do VMDA dos postos de curta duração, obtida por meio dos fatores de expansão.
- d) Para os estudos de planejamento e de projeto do DERT, a expansão do programa de monitoramento contínuo do volume de tráfego por meio da inserção imediata dos equipamentos destinados ao controle de velocidade das rodovias estaduais, visto que tais instrumentos agregam também informações sobre o volume horário de tráfego ao longo do ano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1992) *Guidelines for Traffic Data Programs*. America Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- AASHTO (2001) *A Policy on Geometric Design of Highway and Streets*. America Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- ALBRIGHT, D. (1991) History of Estimating and Evaluating Annual Traffic Volume Statistics. *Transportation Research Record 1305*, Transportation Research Board, Washington, D.C, pp. 103-107.
- ALBRIGHT, D. (1993) Standards, Innovation, and the Future of Traffic Monitoring. *Institute of Transportation Engineers Journal*, Vol. 63, Nº 1, pp. 31-36.
- ASTEF (1994) *Plano de Contagem de Tráfego - Relatório Final*. Associação Técnico-Científico Eng. Paulo de Froton, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará.
- ASTEF (2001a) *Reestruturação do Sistema de Contagem de Tráfego para as Rodovias Estaduais – Proposta Técnica e Comercial*. Associação Técnico-Científico Eng. Paulo de Froton, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará.
- ASTEF (2001b) *Pesagem de Veículos de Carga no Estado do Ceará – Relatório Final*. Associação Técnico-Científico Eng. Paulo de Froton, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará.
- BAILEY, M. J (1981) Estimation of Design Hour Volume. *Institute of Transportation Engineers Journal*, Vol. 51, Nº 8, pp. 50-56.
- BELLIS, W.R e J. E. JONE (1963) 30<sup>th</sup> Peak Hour Factor Trend. *Highway Research Record Nº 27*, Transportation Research Board, Washington, D.C, pp. 1-13.
- CAMERON, N. (1975) Determination of Design Hourly Volume. *M.Sc. Dissertation*. University of Calgary, Alberta, Canada.
- CRABTREE, J. D e J. A. DEACON (1982) Highway Sizing. *Transportation Research Record 869*, Transportation Research Board, Washington, D.C, pp. 6-14.
- CSL (1997) *Programa de Desenvolvimento do Turismo no Nordeste – PRODETUR / CE – Estudo de Viabilidade Técnica-Econômica*. Consultoria de Engenharia e Economia S/C Ltda, Fortaleza, Ceará.
- CSL (2004) *Programa Rodoviário do Estado do Ceará – CEARÁ II – Relatório Mensal Nº 76*. Consultoria de Engenharia e Economia S/C Ltda, Fortaleza, Ceará.

- IPR (1976) *Pesquisa de Capacidade de Rodovias; Estudo Sobre Volume Horário de Projeto na Região Nordeste do Brasil*. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, RJ.
- DEMARCHI, S. H. (2000) Influência dos Veículos Pesados na Capacidade e Nível de Serviço de Rodovias de Pista Dupla. *Tese de Doutorado*. Universidade São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo.
- DE MENESES, F. A. B (2001) Análise e Tratamento de Trechos Rodoviários Críticos em Ambientes de Grandes Centros Urbanos. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro
- DERT (2001) *Informativo Gerencial 2001/2002*. Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes do Estado do Ceará, Fortaleza, Ce.
- DNER (1976) *Metodologia de Contagens de Tráfego do Nordeste*. Divisão de Planos e Programas da Diretoria de Planejamento do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasília, DF.
- DNER (1999) *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Rio de Janeiro.
- EWING, R. (1992) Roadway Levels of Service in an Era of Growth Management. *Transportation Research Record 1364*, Transportation Research Board, Washington, D.C, pp. 63-70.
- FHWA (1997) *FHWA Study Tour for European Traffic Monitoring Programs and Technologies*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., August 1997.
- FHWA (2001) *Traffic Monitoring Guide*. Federal Highway Administration (2001), U.S. Department of Transportation, Washington, D.C., May 2001.
- GEIPOT (2001) *Anuário Estatístico dos Transportes 2001*. Empresa Brasileira de Planejamento dos Transportes, Brasília, DF.
- GUIMARÃES, A. C. T. (2001) Diagnóstico Preliminar da Base de Dados de Tráfego da Malha Rodoviária Estadual da Paraíba. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal da Paraíba, Paraíba.
- HALLENBECK, M.; M. RICE; B. SMITH, C. CORNELL-MARTINEZ e J. WILKINSON (1997) *Vehicle Volume Distributions by Classification - Final Report*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- HEMPSEY, L. J e S. TEPLY (1999) Redesigning the Design Hour for Alberta Highways. *Institute of Transportation Engineers Journal*, Vol. 69, Nº 5, pp. 43-48.

- HU, P.S.; R.T. GOELTZ e R.L. SCHMOYER JÚNIOR (2002) Cost and Benefits of Using ITS as an Alternative Data Source: A Case Study. *Transportation Research Board*, The 81<sup>th</sup> Annual Meeting, Washington, D.C., USA.
- ITE, Technical Council Committee 6F-2 (1979) Reexamination of Design Hour Volume Concepts. *Institute of Transportation Engineers Journal*, Vol. 49, Nº 9, pp. 45-49.
- LIMA NETO, O. C. C. (1975) Estudo Sobre o Volume Horário de Projeto na Região Nordeste do Brasil. *Dissertação de Mestrado*. Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, RJ.
- KHISTY, C. J. e B. K. LALL (1998) *Transportation Engineering: an Introduction*. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- MAY, A. D. (1990) *Traffic Flow Fundamentals*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- MCSHANE, W.R e ROESS R. P. (1990) *Traffic Engineering*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- MOHAMAD, D.; K. C. SINHA; T. KUCZEK e C. F. SCHOLER (1998) Annual Average Daily Traffic Prediction Model for County Roads. *Transportation Research Board*, The 77<sup>th</sup> Annual Meeting, Washington, D.C., USA.
- RITCHIE, S. G. (1986) A Statistical Approach to Statewide Traffic Counting. *Transportation Research Record 1090*, Transportation Research Board, Washington, D.C, pp. 14-21.
- SCHMOYER, R.; P. HU e R. GOELTZ (2001) Statistical Data Filtering and Aggregation to Hour Totals of ITS Thirty-Second and Five-Minute Vehicle Counts. *Transportation Research Board*, The 80<sup>th</sup> Annual Meeting, Washington, D.C., USA.
- SHARMA, S.C; A. TAYEBALI e A. WERNER (1985) Cost-Effective and User-Oriented Sizing of Rural Roads. *Transportation Research Record 1009*, Transportation Research Board, Washington, D.C, pp. 15-23.
- SHARMA, S.C (1986) Design Hourly Volume From Road Users' Perspective. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 112, Nº 4, pp. 435-440.
- SHARMA, S.C e J. Y. OH (1989) Prediction of Design Hourly Volume From Road Users' Perspective. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 115, Nº 6, pp. 646-660.
- SHARMA, S.C e A. K. SINGH (1992) Reexamination of Directional Distribution of Highway Traffic. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 118, Nº 2, pp. 323-337.

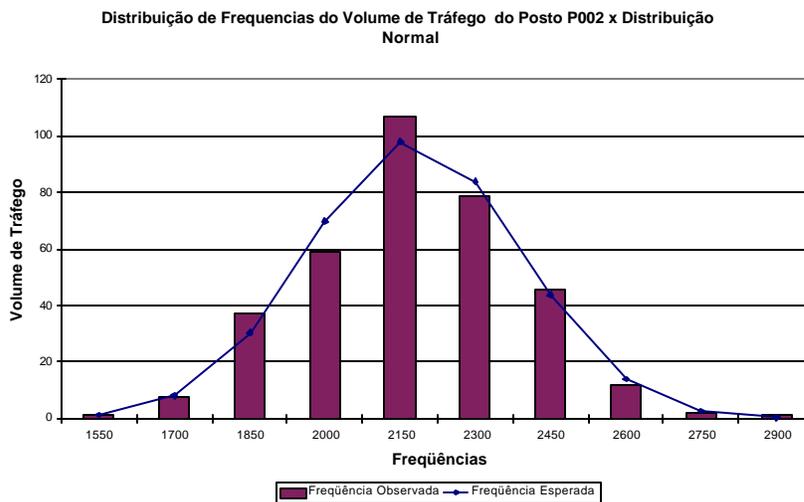
- SHARMA, S. C.; P. LINGRAS e M. ZHONG (2003) Effect of Missing Value Imputations on Traffic Parameters Estimations from Permanent Traffic Counts. *Transportation Research Board*, The 82<sup>th</sup> Annual Meeting, Washington, D.C., USA.
- SMITH, B. L.; W. T. SCHERER e J. H. CONKLIN (2003) Exploring Imputation Techniques for Missing Data in Transportation Management Systems. *Transportation Research Board*, The 82<sup>th</sup> Annual Meeting, Washington, D.C., USA.
- STAMATIADIS, N. e D. L. ALLEN (1997) Seasonal Factors Using Vehicle Classification Data. *Transportation Research Record 1593*, Transportation Research Board, Washington, D.C, pp. 23-28.
- TRB (2000) Highway Capacity Manual – Special Report 209, *Transportation Research Board / National Research Council*, Washington, D.C.
- TTI (1996) *Planning for Optimal Roadway Operations in the Design Year - Final Report*. Texas Transportation Institute, The Texas A&M University System College Station, Texas, U.S.A.
- TURNER, P. E. S. (2004) Defining and Measuring Traffic Data Quality. *Transportation Research Board*, The 83<sup>th</sup> Annual Meeting, Washington, D.C., USA.
- VASCONCELOS, E. A (2000) Transporte Urbano nos Países em Desenvolvimento: Reflexões e Propostas. 3<sup>a</sup> Ed. São Paulo, Ennablume.
- WERNER, A. e T. WILLIS (1979) Cost-Effective Level of Service and Design Criteria. *Transportation Research Record 699*, Transportation Research Board, Washington, D.C, pp. 1-7.
- WOHL, M. e B. V. MARTIN (1965) Traffic System Analysis: for Engineers and Planners. McGraw-Hill, USA.
- WRIGHT, P. H (1996) Highway Engineering. John Wiley & Sons, Inc, USA.
- WRIGHT, T.; P. HU; J. YOUNG e A. LU (1997). Variability in Traffic Monitoring Data, Final Summary Report. *Oak Ridge National Laboratory for the US Department of Energy*.
- ZHONG, M.; P. LINGRAS; e S.C. SHARMA (2002) Updating Missing Values of Traffic Counts: Factor Approaches, Time Series Analysis versus Genetically Designed Regression and Neural Network Models. *Transportation Research Part C*, United Kingdom, 2002.

**ANEXOS**

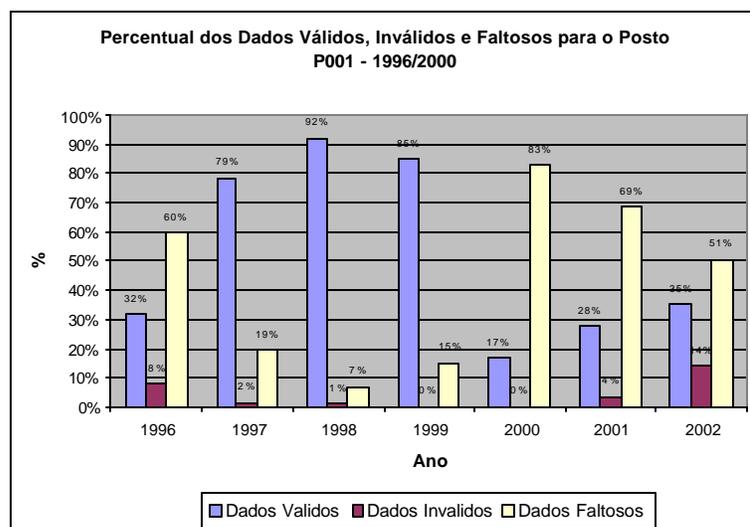
## ANEXO I

### QUALIDADE DOS DADOS DE CONTAGEM DE TRÁFEGO

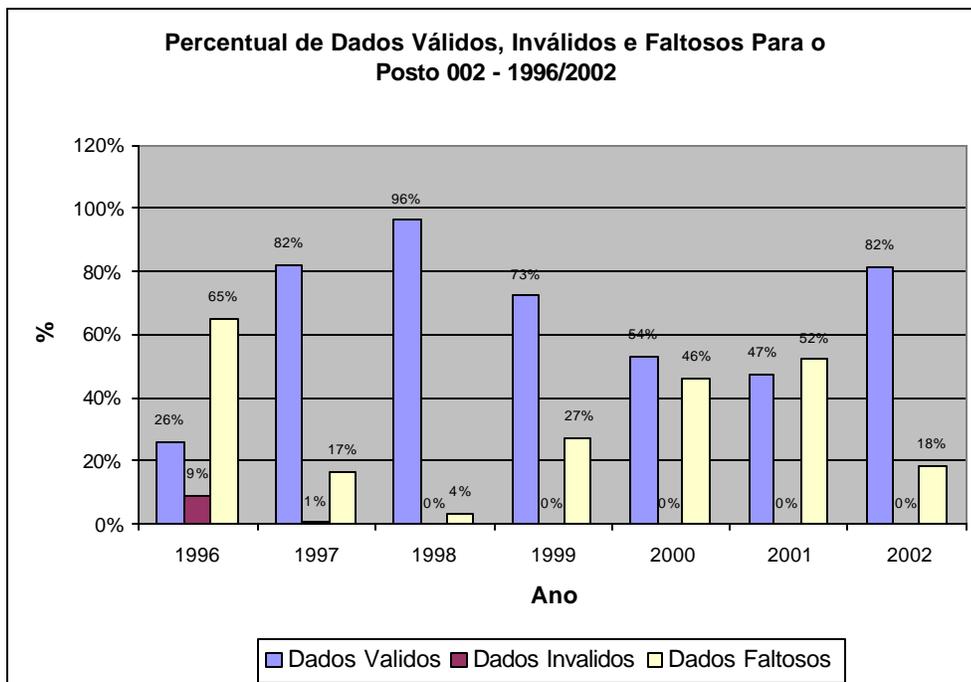
Este anexo é composto por gráficos que permitiram avaliar a qualidade dos dados coletados pelos postos permanentes e testes estatísticos de aderência e variação do volume de tráfego.



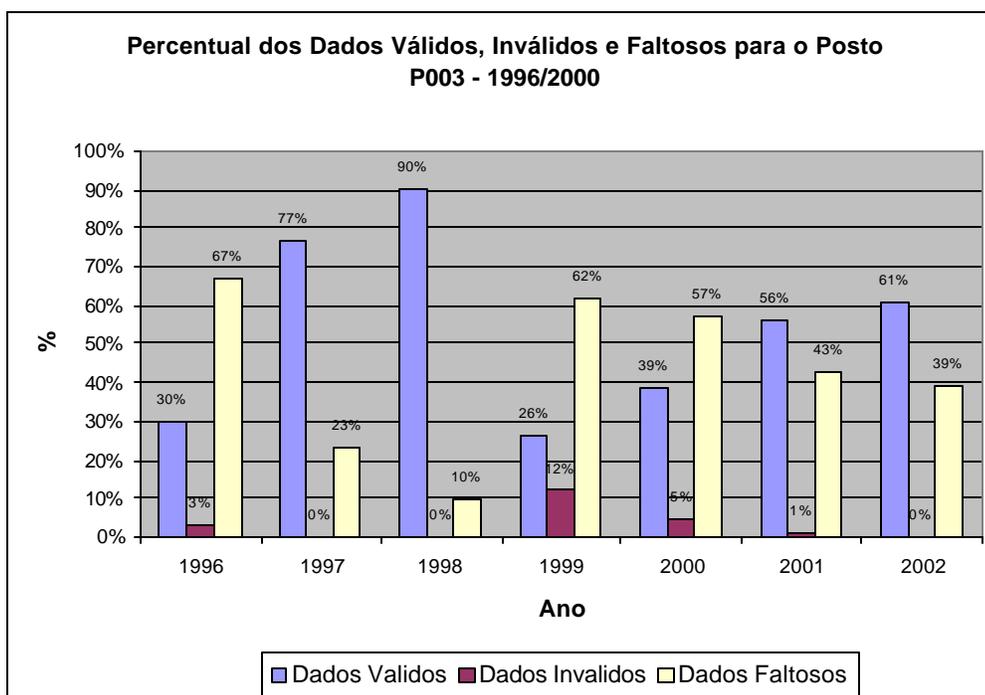
**Figura I.1:** Distribuição de Frequências Observadas e Esperadas (Normal) para a Variável Volume Diário



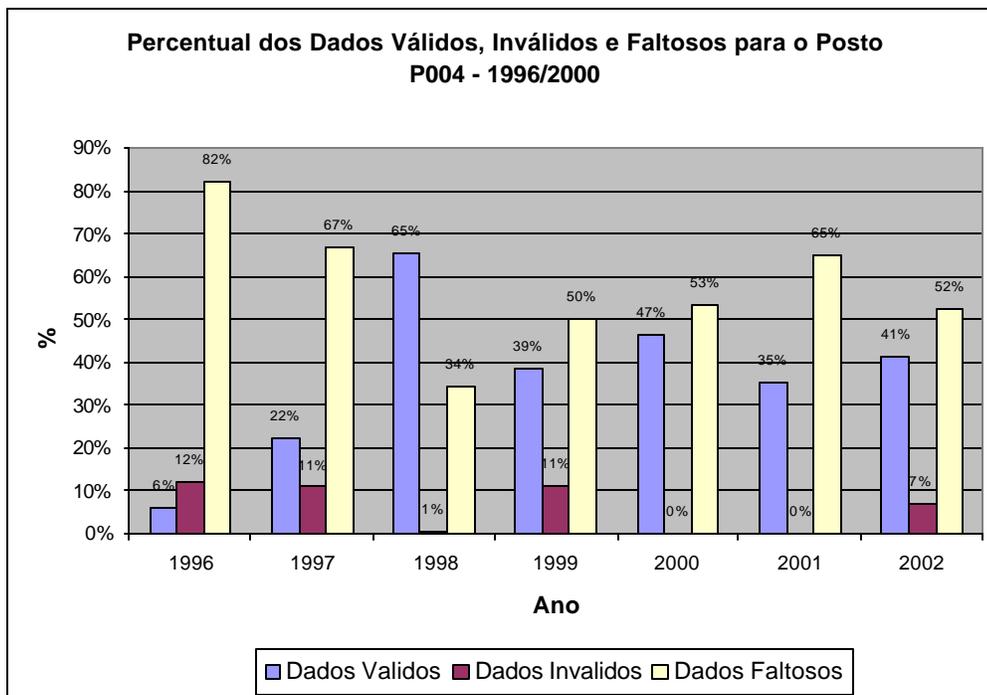
**Figura I.2:** Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P001 nos Anos de 1996 a 2002



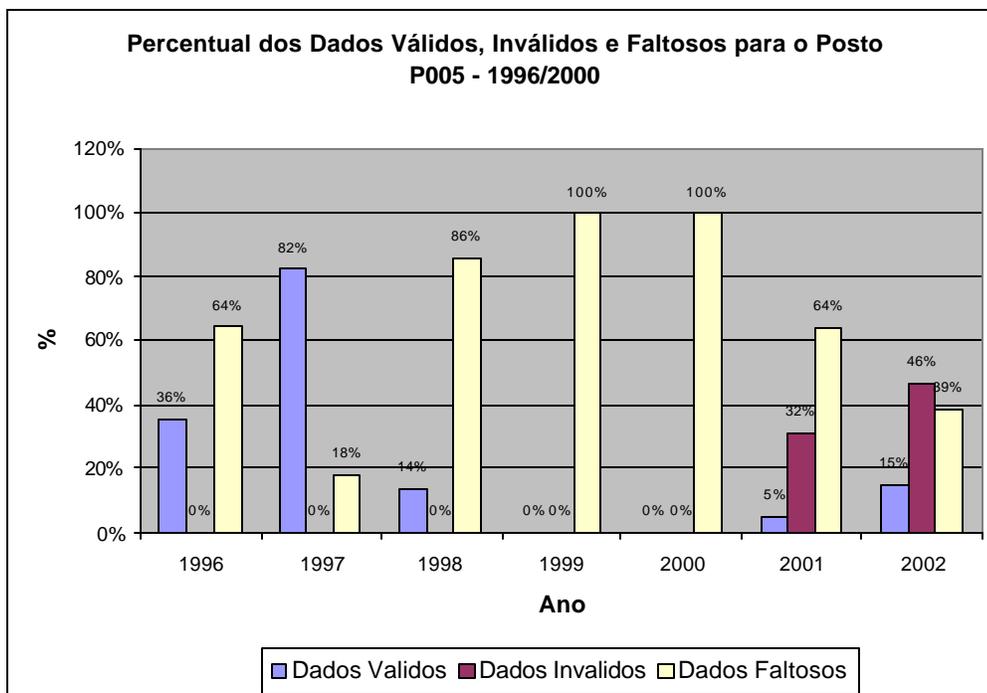
**Figura I.3:** Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P002 nos Anos de 1996 a 2002



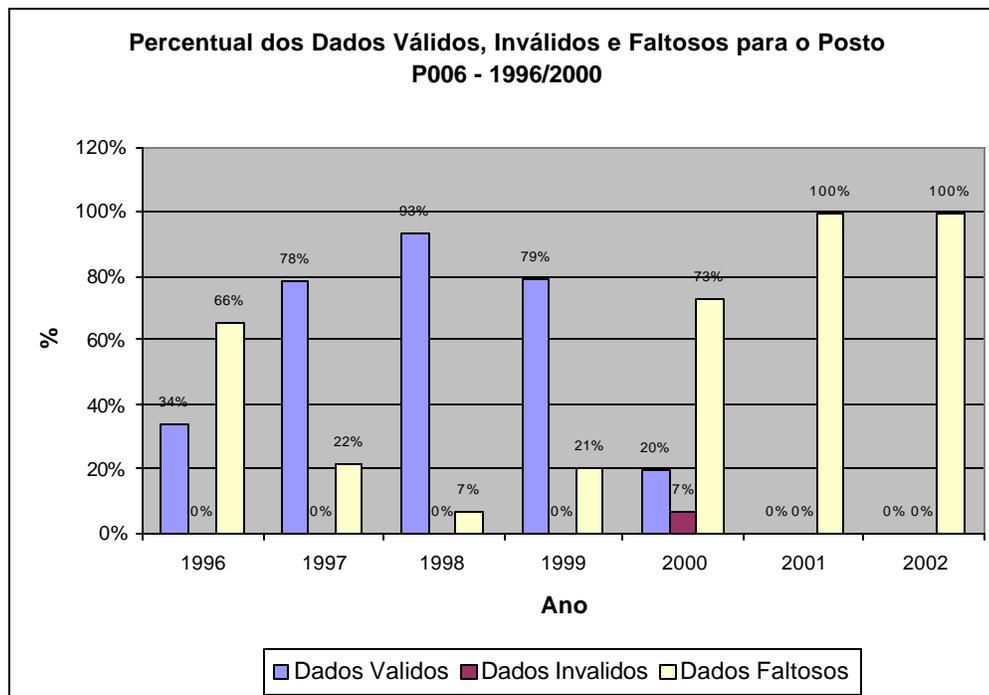
**Figura I.4:** Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P003 nos Anos de 1996 a 2002



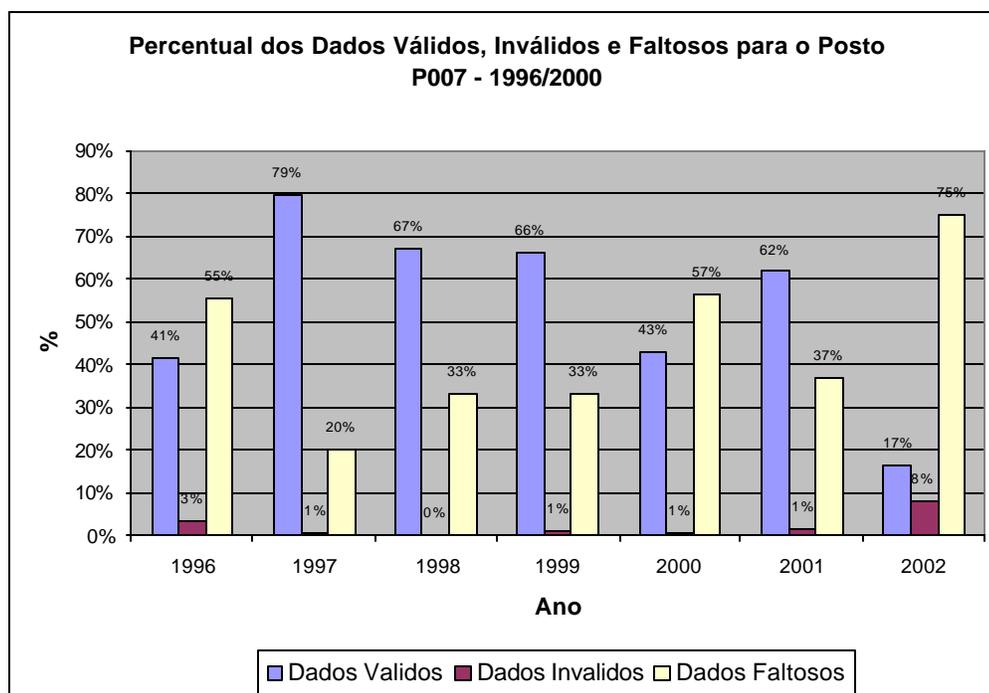
**Figura I.5:** Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltosos para o Posto P004 nos Anos de 1996 a 2002



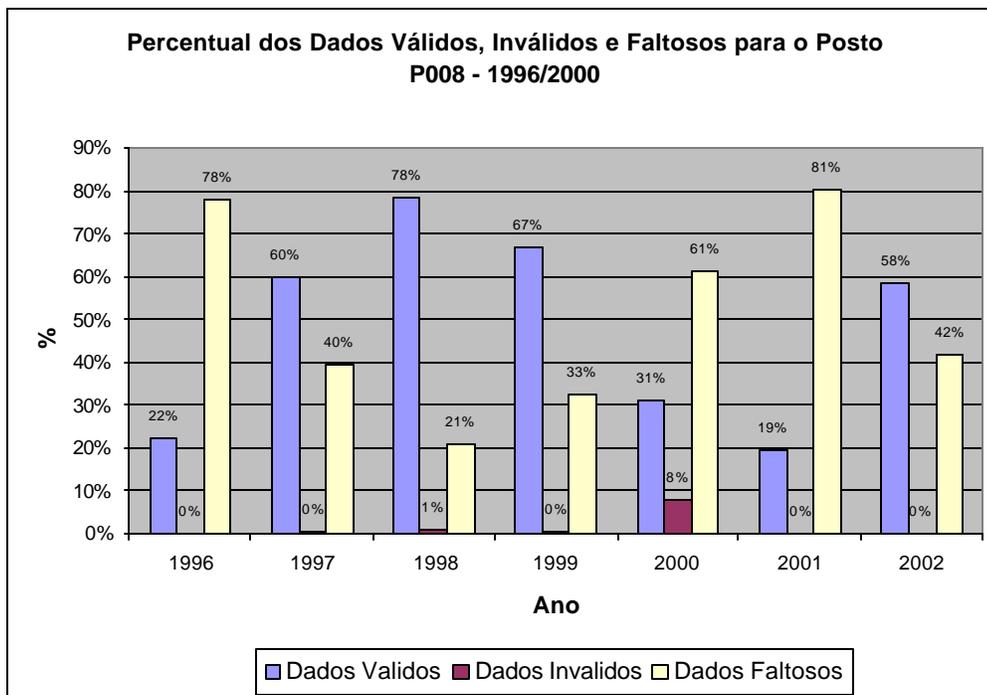
**Figura I.6:** Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltosos para o Posto P005 nos Anos de 1996 a 2002



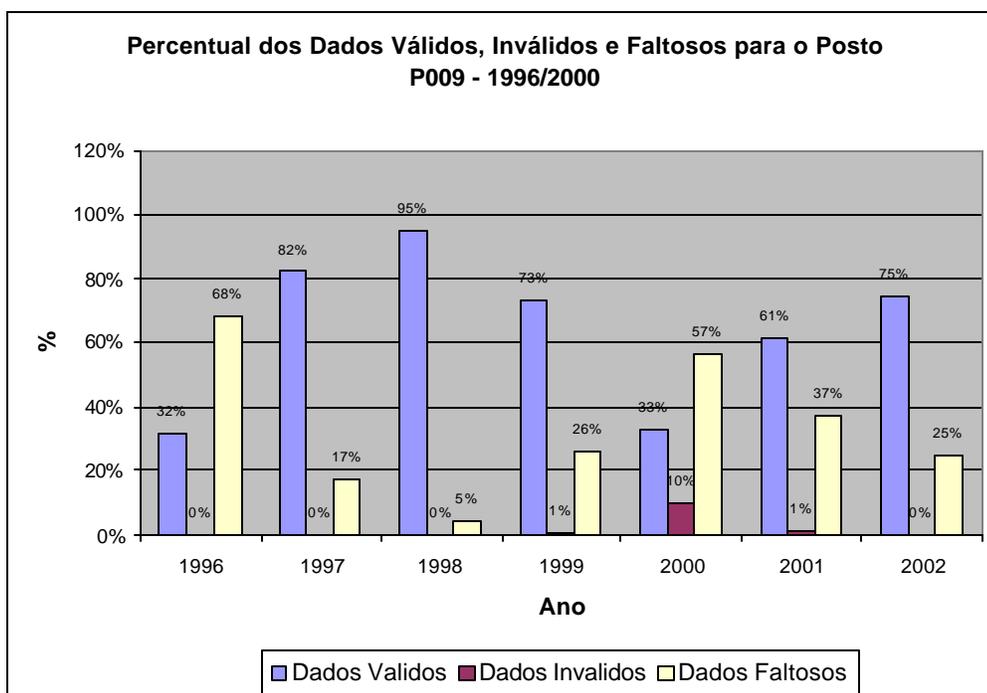
**Figura I.7:** Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltosos para o Posto P006 nos Anos de 1996 a 2002



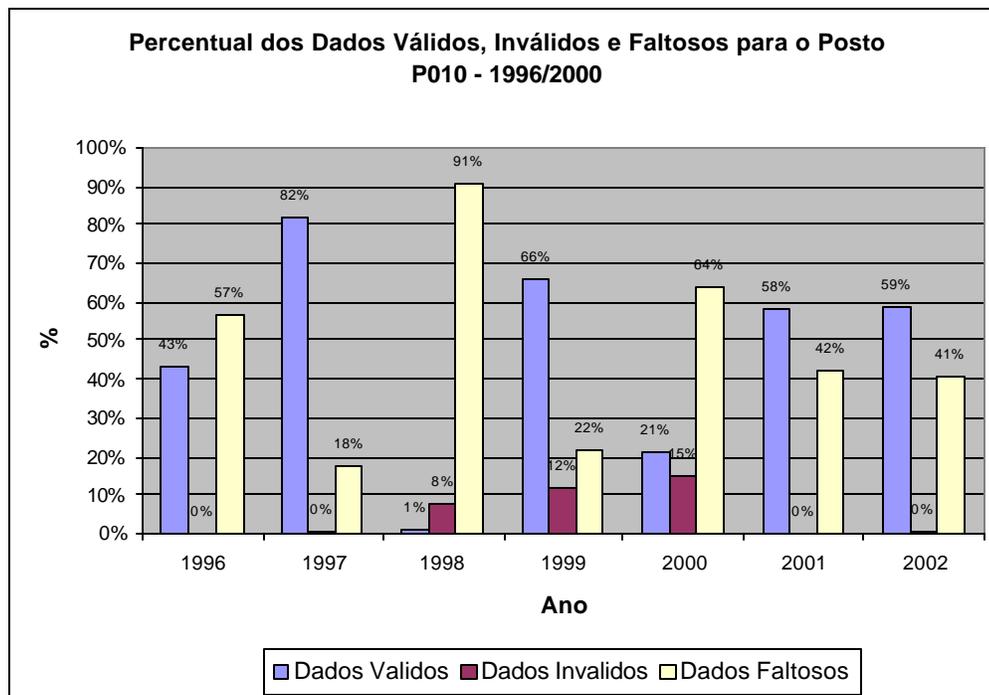
**Figura I.8:** Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltosos para o Posto P007 nos Anos de 1996 a 2002



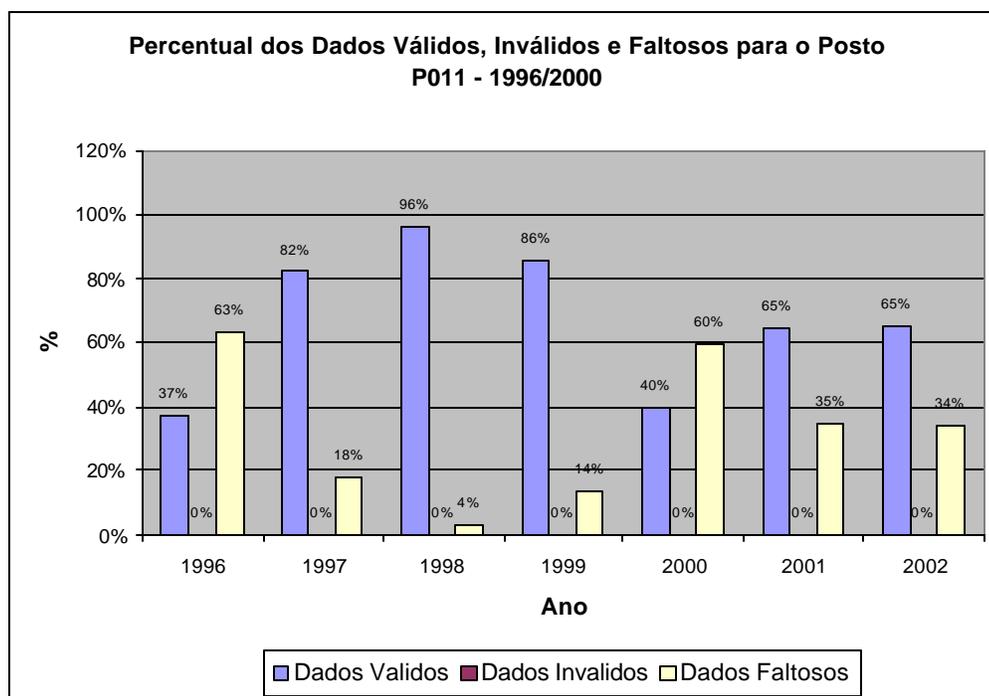
**Figura I.9:** Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P008 nos Anos de 1996 a 2002



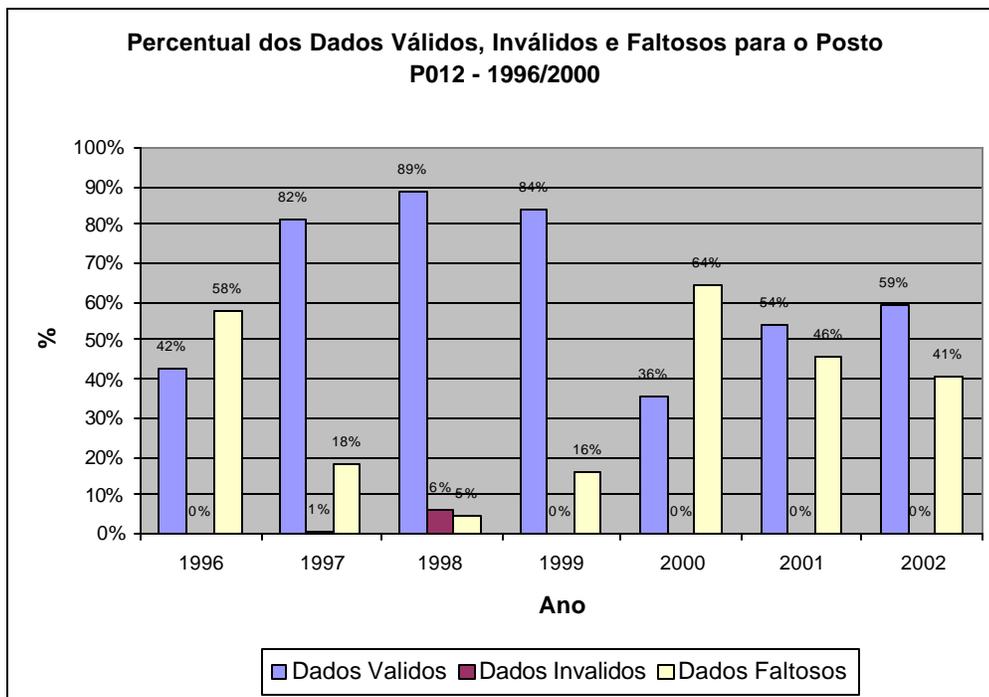
**Figura I.10:** Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P009 nos Anos de 1996 a 2002



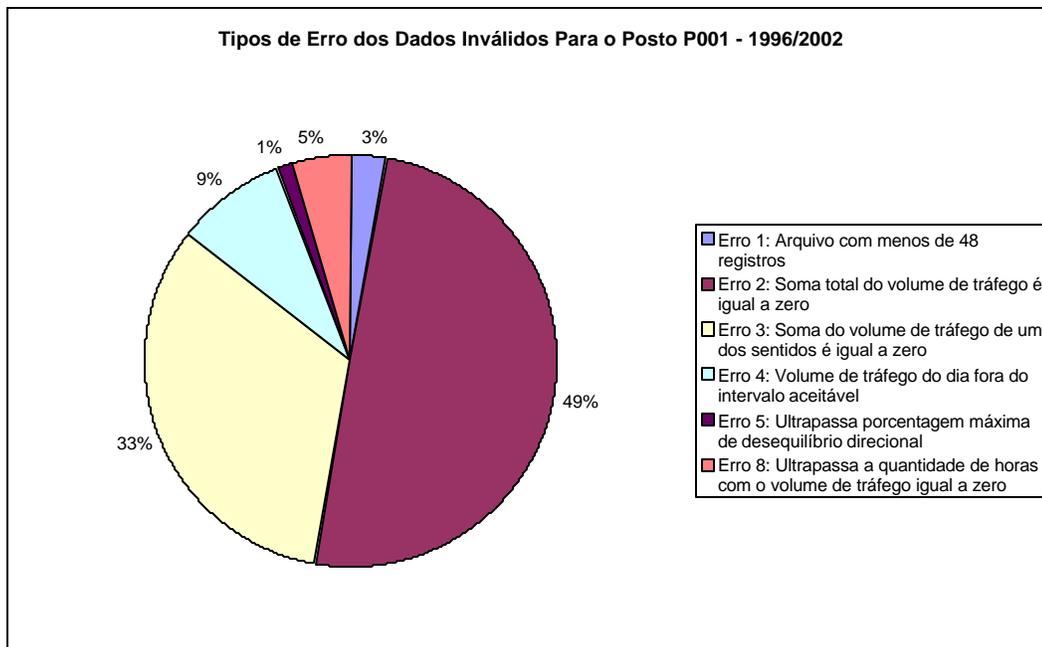
**Figura I.11:** Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P010 nos Anos de 1996 a 2002



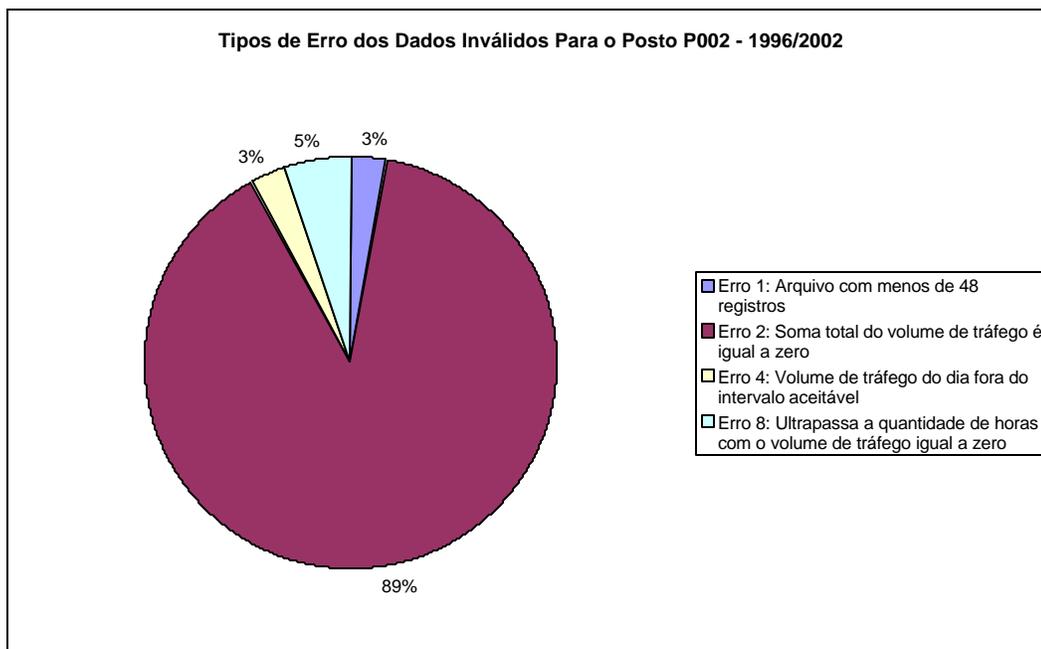
**Figura I.12:** Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltos para o Posto P011 nos Anos de 1996 a 2002



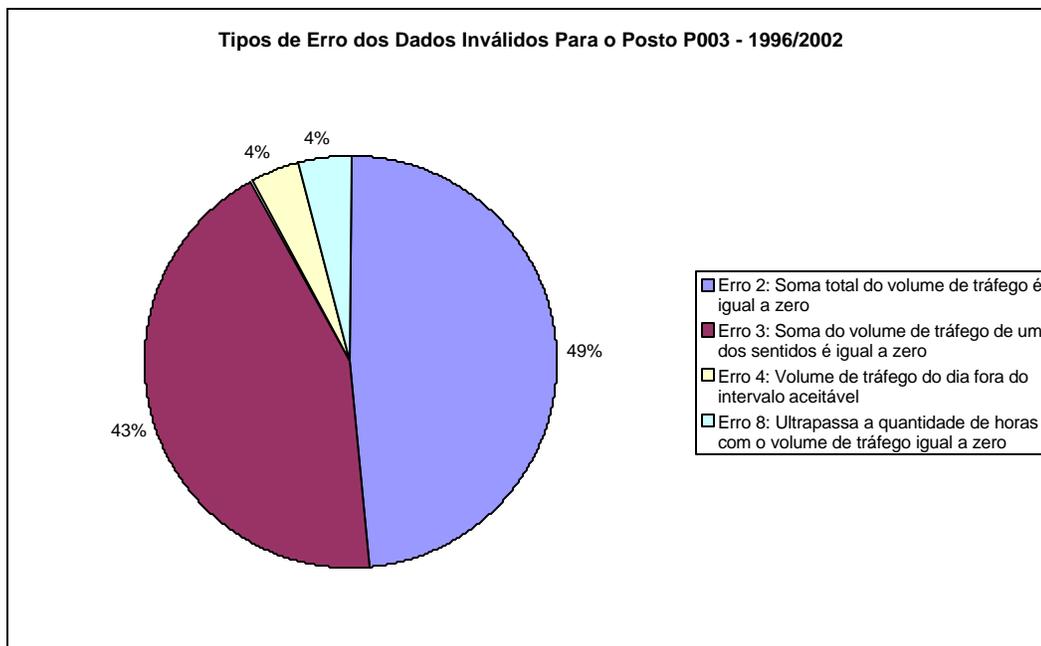
**Figura I.13:** Percentual de Dados Válidos, Inválidos e Faltosos para o Posto P012 nos Anos de 1996 a 2002



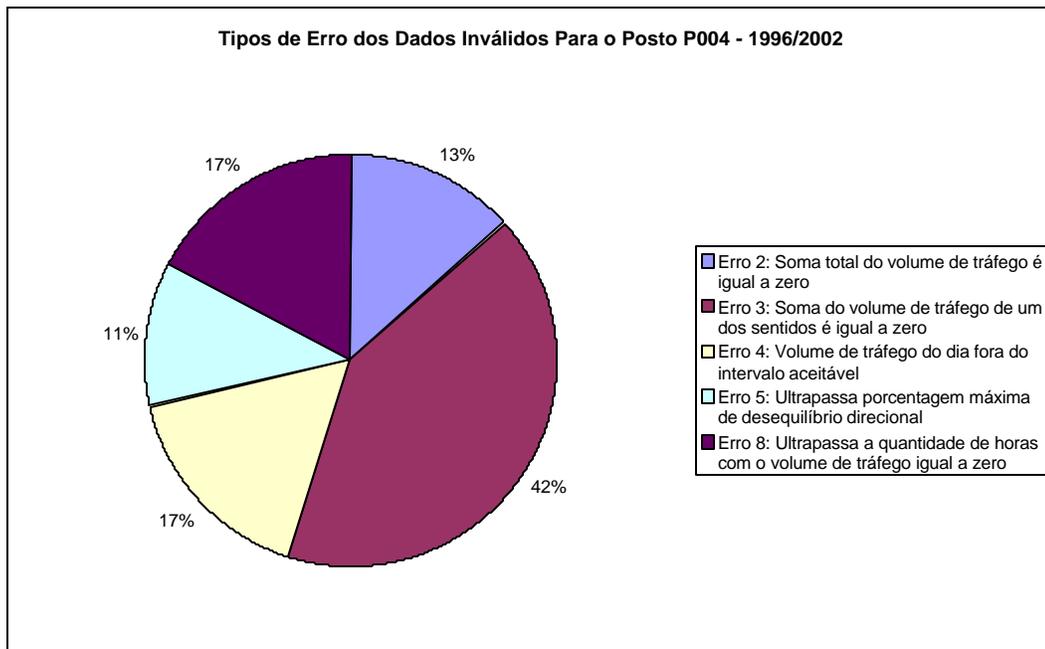
**Figura I.14:** Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P001 Durante os Anos de 1996 a 2002



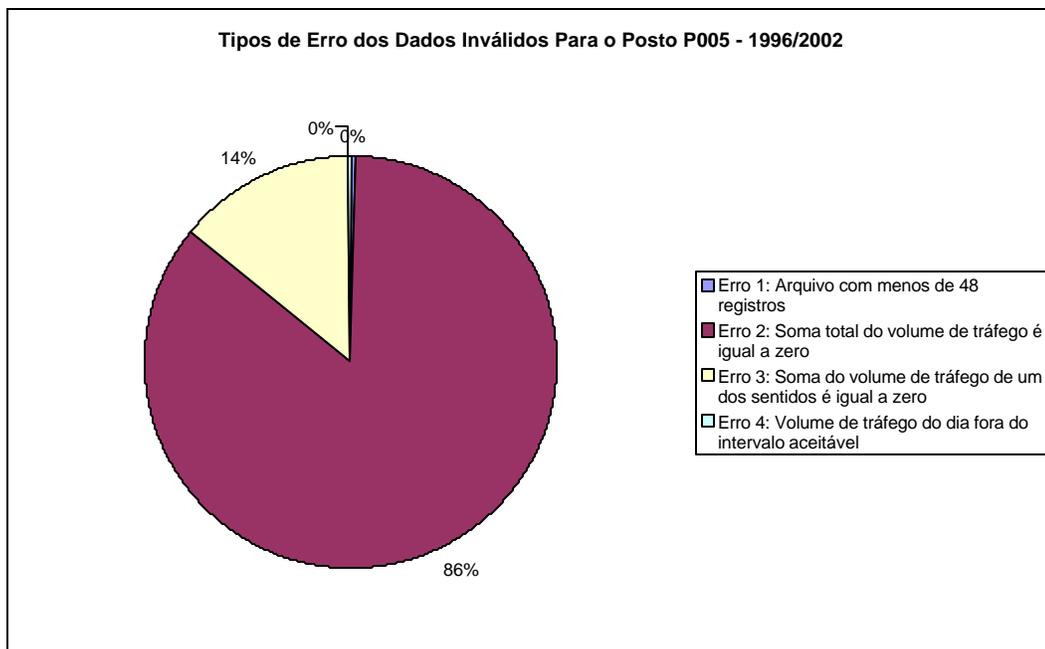
**Figura I.15:** Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P002 Durante os Anos de 1996 a 2002



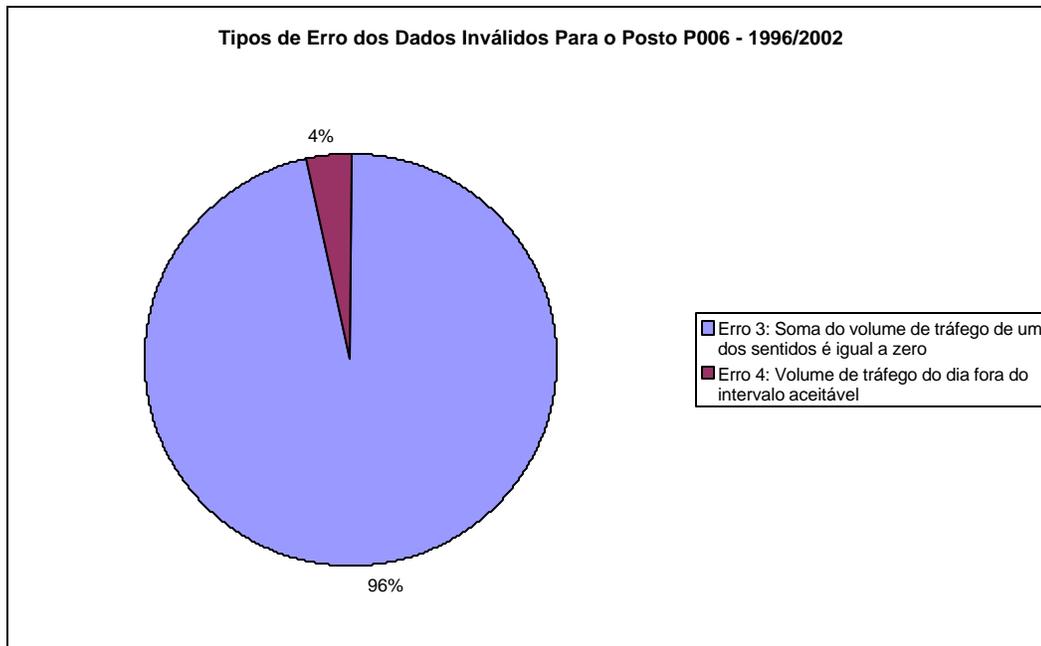
**Figura I.16:** Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P003 Durante os Anos de 1996 a 2002



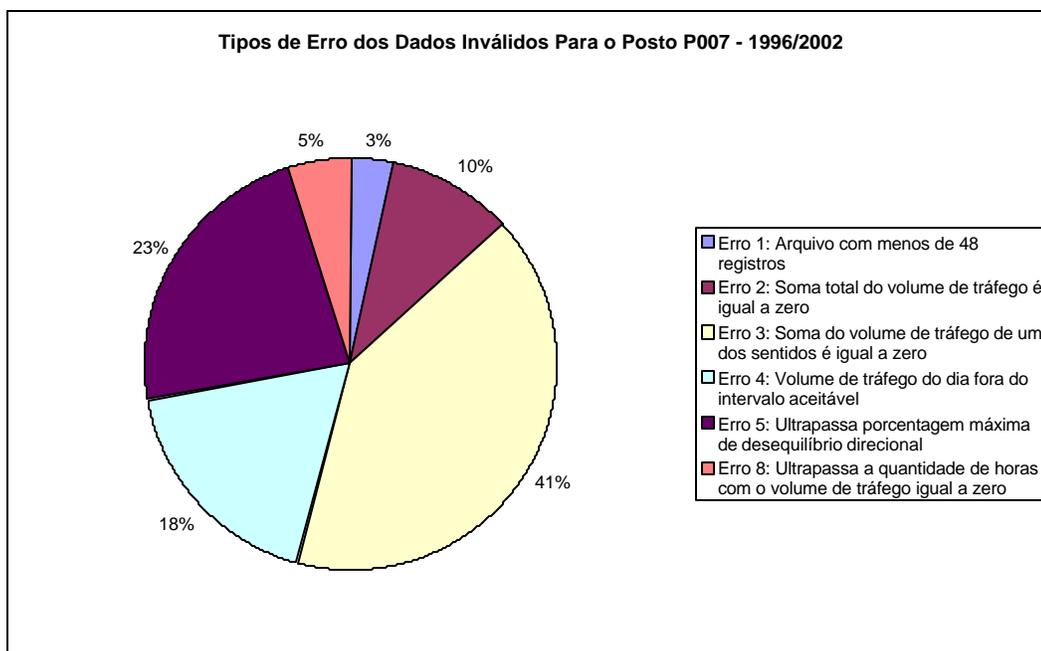
**Figura I.17:** Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P004 Durante os Anos de 1996 a 2002



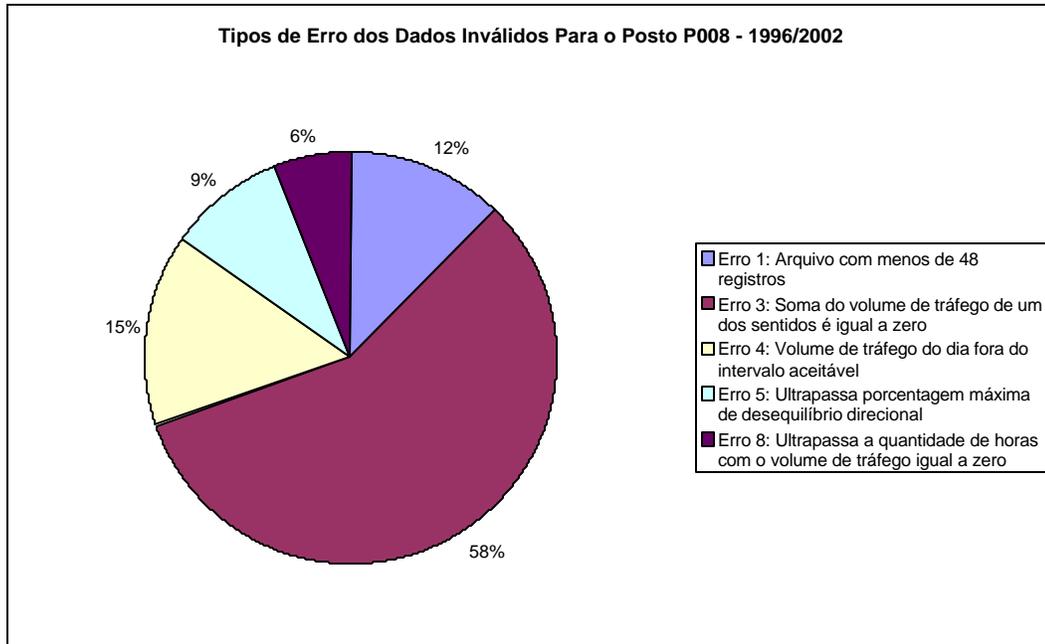
**Figura I.18:** Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P005 Durante os Anos de 1996 a 2002



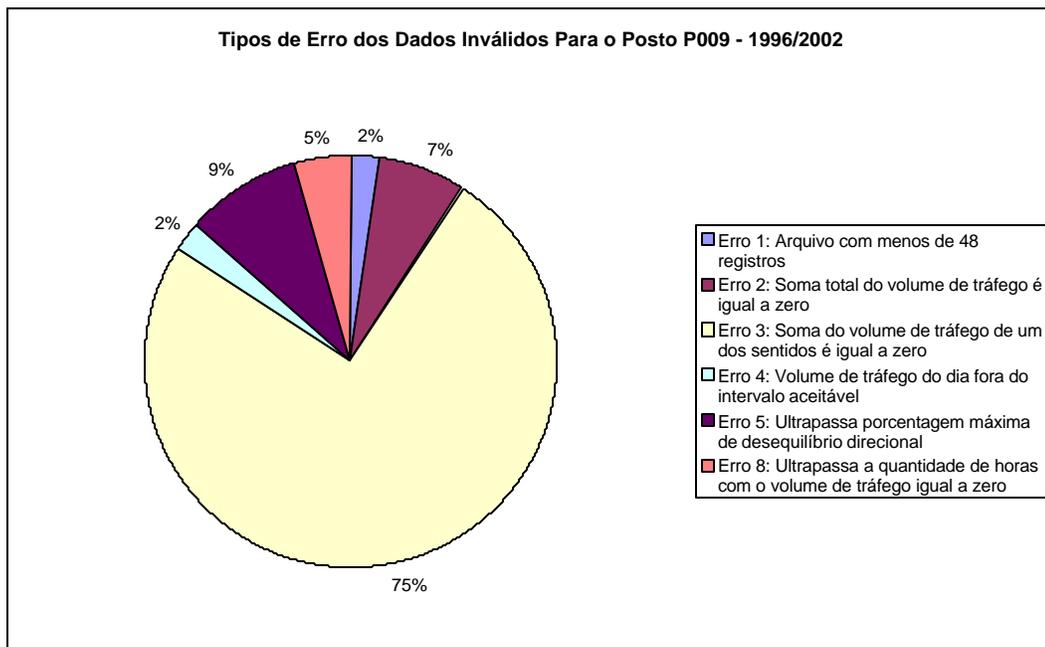
**Figura I.19:** Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P006 Durante os Anos de 1996 a 2002



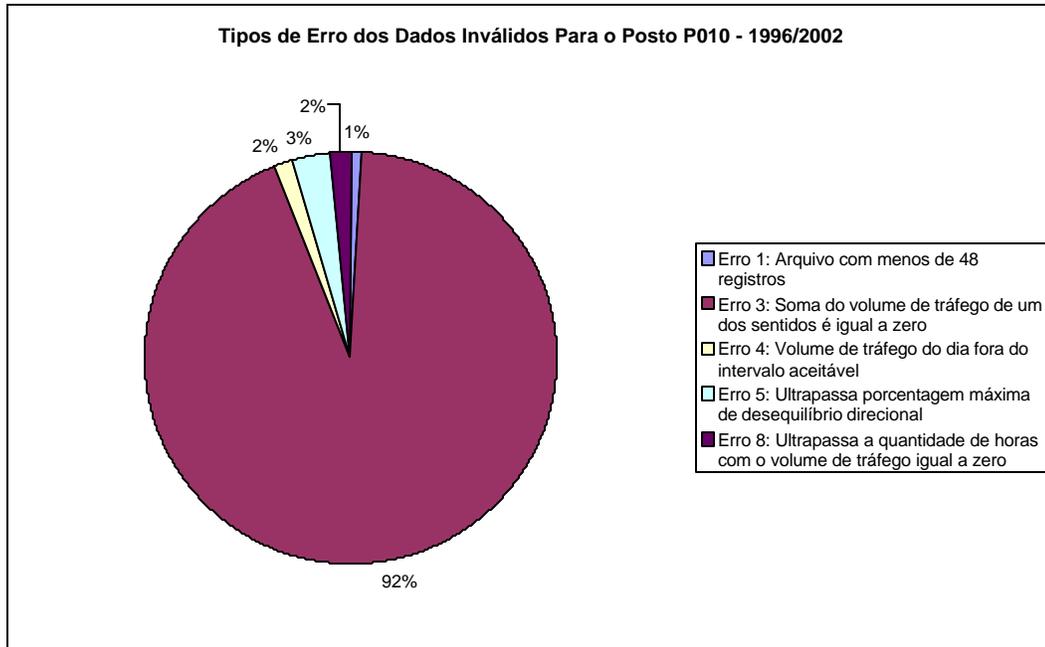
**Figura I.20:** Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P007 Durante os Anos de 1996 a 2002



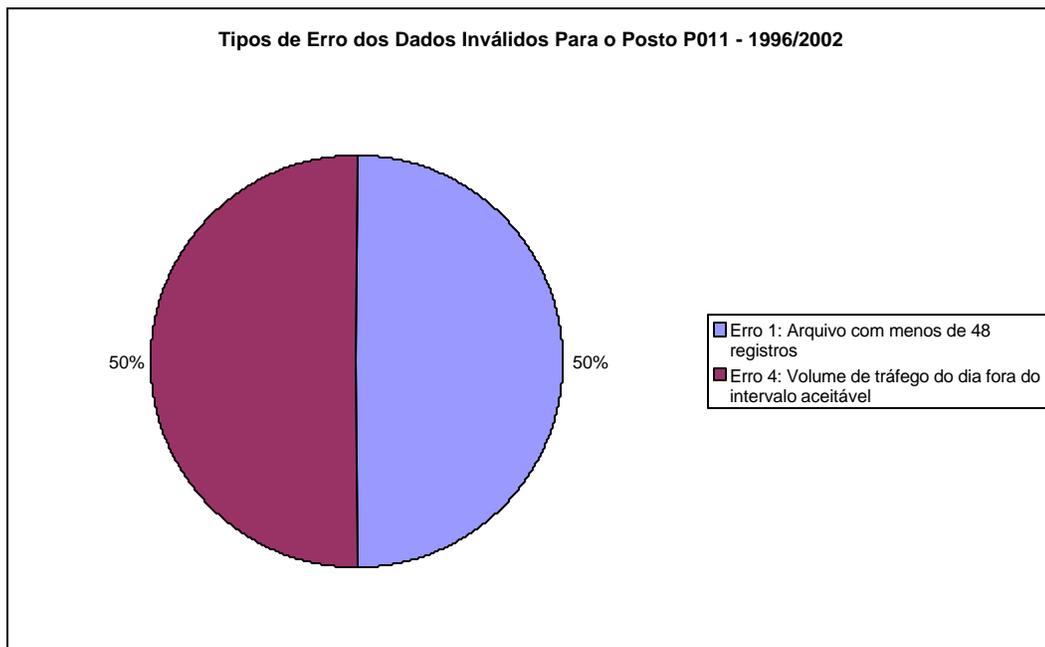
**Figura I.21:** Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P008 Durante os Anos de 1996 a 2002



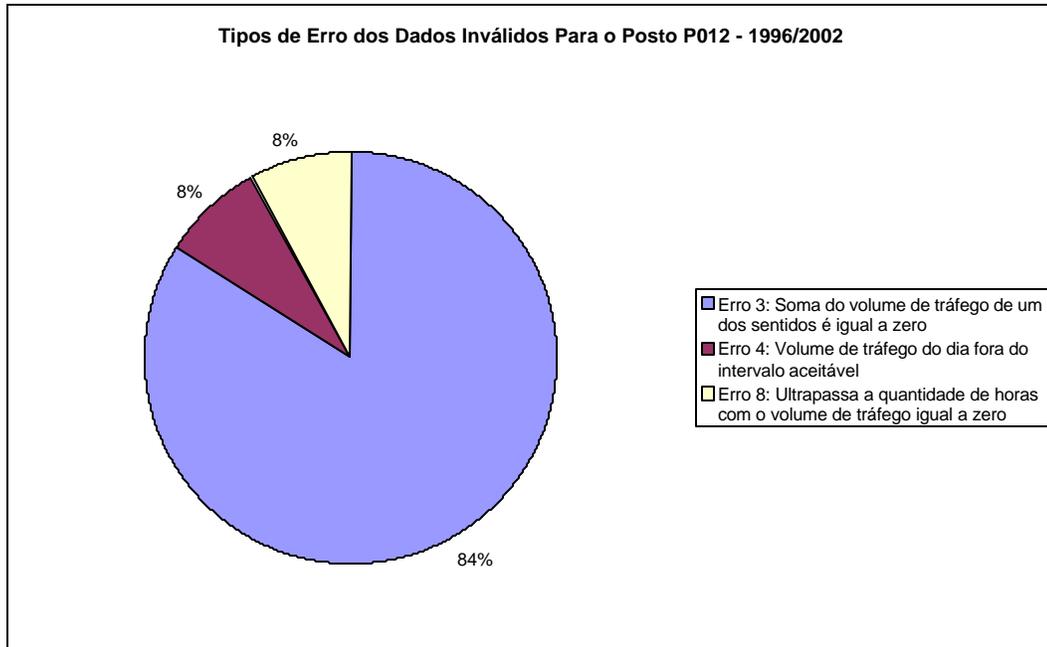
**Figura I.22:** Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P009 Durante os Anos de 1996 a 2002



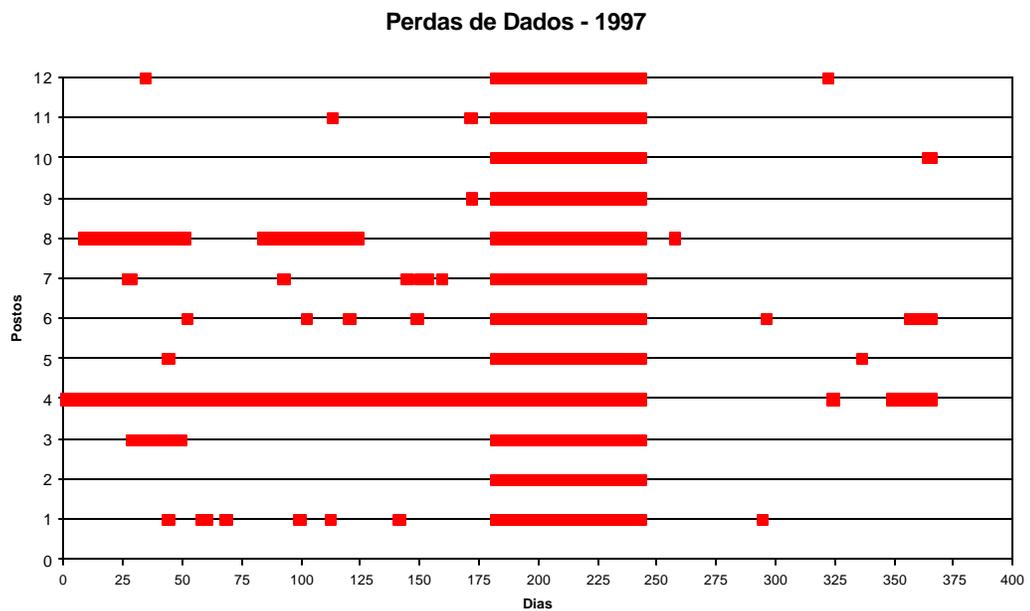
**Figura I.23:** Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P010 Durante os Anos de 1996 a 2002



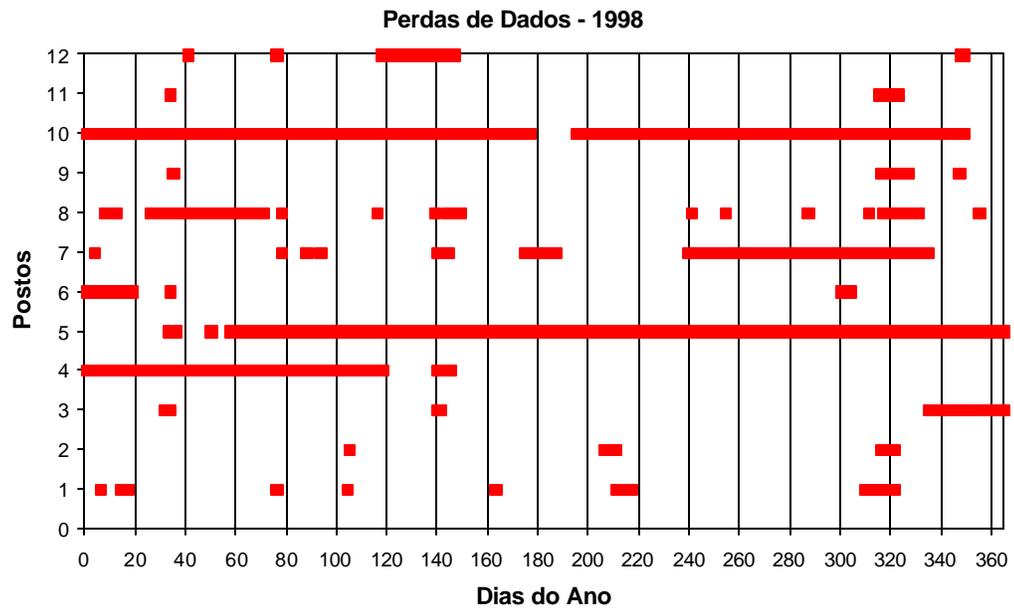
**Figura I.24:** Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P011 Durante os Anos de 1996 a 2002



**Figura I.25:** Percentuais dos Tipos de Erros dos Dados Considerados Inválidos Para o Posto P012 Durante os Anos de 1996 a 2002



**Figura I.26:** Distribuição dos Dados Perdidos Para Cada Posto Permanente no Ano de 1997



**Figura I.27:** Distribuição dos Dados Perdidos Para Cada Posto Permanente no Ano de 1998

**Tabela I.1:** Teste de Aderência (Qui-Quadrado) para a Variável Volume Diário do Posto P002

Bloco		Frequência Observada	Frequência Esperada	$(O - E)^2/E$
1400	1550	1	1,3	0,1
1550	1700	8	8,0	0,0
1700	1850	37	30,3	1,5
1850	2000	59	69,7	1,6
2000	2150	107	97,9	0,9
2150	2300	79	83,9	0,3
2300	2450	46	43,8	0,1
2450	2600	12	14,0	0,3
2600	2750	2	2,7	0,2
2750	2900	1	0,3	1,4
TOTAL		352		<b>6,4</b>
Graus de Liberdade				8
Qui-Quadrado				15,51

**Tabela I.2:** Teste ANOVA para os Meses Típicos do Ano, Considerando Todos os Postos Analisados

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
P001	7	5,656	0,808	0,006
P002	7	7,026	1,004	0,003
P003	7	7,304	1,043	0,007
P005	7	7,027	1,004	0,008
P006	7	6,686	0,955	0,010
P007	7	7,016	1,002	0,026
P008	7	6,652	0,950	0,006
P009	7	7,267	1,038	0,011
P010	7	7,339	1,048	0,003
P011	7	6,832	0,976	0,004
P012	7	7,530	1,076	0,007

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,368	10	0,037	4,402	9,6E-05	1,977
Dentro dos grupos	0,551	66	0,008			
Total	0,919	76				

**Tabela I.3:** Teste ANOVA para os Meses Típicos do Ano, Retirando o Posto P001

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
P002	7	7,026	1,004	0,003
P003	7	7,304	1,043	0,007
P005	7	7,027	1,004	0,008
P006	7	6,686	0,955	0,010
P007	7	7,016	1,002	0,026
P008	7	6,652	0,950	0,006
P009	7	7,267	1,038	0,011
P010	7	7,339	1,048	0,003
P011	7	6,832	0,976	0,004
P012	7	7,530	1,076	0,007

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,109	9	0,012	1,414	0,203	2,040
Dentro dos grupos	0,514	60	0,009			
Total	0,622	69				

**Tabela I.4:** ANOVA Para o P001 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Seg	30	107368	3579	87150
Ter	28	97702	3489	384271
Qua	31	106047	3421	145145
Qui	30	107751	3592	208290

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	589335	3	196445	0,97	0,41	2,68
Dentro dos grupos	23297434	115	202586			
Total	23886769	118				

**Tabela I.5:** ANOVA Para o P002 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Ter	33	63343	1919	18957
Qua	33	73975	2242	35012
Qui	30	66426	2214	16949

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	2080987	2	1040493	43,62	4,34E-14	3,09
Dentro dos grupos	2218508	93	23855			
Total	4299495	95				

**Tabela I.6:** ANOVA Para o P003 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Ter	34	40083	1179	23532
Qua	33	41267	1251	17603
Qui	30	39751	1325	9808

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	340500	2	170250	9,85	1,30E-04	3,09
Dentro dos grupos	1624280	94	17280			
Total	1964780	96				

**Tabela I.7:** ANOVA Para o P004 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Ter	21	10578	504	3604		
Qua	21	10732	511	4795		
Qui	20	10657	533	2691		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	9353	2	4677	1,26	0,29	3,15
Dentro dos grupos	219124	59	3714			
Total	228477	61				

**Tabela I.8:** ANOVA Para o P005 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Seg	30	168033	5601	266789		
Ter	30	166441	5548	257785		
Qua	29	162262	5595	379712		
Qui	27	147565	5465	229502		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	329024	3	109675	0,39	0,76	2,69
Dentro dos grupos	31811645	112	284033			
Total	32140669	115				

**Tabela I.9:** ANOVA Para o P006 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Seg	28	12177	435	3129		
Ter	29	12271	423	5076		
Qua	28	11348	405	2522		
Qui	26	10745	413	2885		
Sex	26	11347	436	4502		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	19865	4	4966	1,37	0,25	2,44
Dentro dos grupos	479361	132	3632			
Total	499226	136				

**Tabela I.10:** ANOVA Para o P007 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Seg	29	6465	223	2824		
Ter	30	6236	208	2193		
Qua	26	5761	222	2897		
Qui	26	5419	208	2249		
Sex	28	6313	225	1853		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	7979	4	1995	0,83	0,51	2,44
Dentro dos grupos	321355	134	2398			
Total	329334	138				

**Tabela I.11:** ANOVA Para o P008 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Ter	24	5123	213	362		
Qua	25	5226	209	666		
Qui	21	4407	210	773		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	266	2	133	0,22	0,80	3,13
Dentro dos grupos	39771	67	594			
Total	40037	69				

**Tabela I.12:** ANOVA Para o P009 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Ter	27	9061	336	1988		
Qua	29	9861	340	1600		
Qui	25	9080	363	1484		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	11345	2	5672,702	3,35	0,04	3,11
Dentro dos grupos	132115	78	1693,788			
Total	143461	80				

**Tabela I.13:** ANOVA Para o P010 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Seg	29	57683	1989	13717		
Ter	30	59925	1998	27323		
Qua	29	59526	2053	22515		
Qui	27	56111	2078	25568		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	157435	3	52478	2,36	0,08	2,69
Dentro dos grupos	2471626	111	22267			
Total	2629062	114				

**Tabela I.14:** ANOVA Para o P011 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Ter	28	38295	1368	23445		
Qua	28	38445	1373	33434		
Qui	25	35406	1416	12441		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	36789	2	18394	0,78	0,46	3,11
Dentro dos grupos	1834312	78	23517			
Total	1871100	80				

**Tabela I.15:** ANOVA Para o P012 do Volume de Tráfego Entre os Dias da Semana

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Ter	24	9152	381	2764		
Qua	24	8991	375	2134		
Qui	20	7578	379	1895		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	552	2	276	0,12	0,89	3,14
Dentro dos grupos	148651	65	2287			
Total	149203	67				

## ANEXO II

### FATORES DE EXPANSÃO

Neste anexo é mostrado a tabela dos fatores de expansão mensal dos postos permanentes para o ano de 1998, com exceção dos postos P005, P007 e P010 que utilizam dados do ano de 1997. A Tabela II.1 mostra o número do posto, o mês, a semana do ano e o fator de expansão mensal. Foi exibido somente a segunda e terceira semana de cada mês e que não possuíam dias de feriados.

**Tabela II.1:** Fatores de Expansão Mensal Para os Postos Permanentes

POSTO	MÊS	SEMANA DO ANO	FATOR DE EXPANSÃO MENSAL
P001	JAN	03	1,04
P001	JAN	04	1,05
P001	FEV	08	0,85
P001	FEV	09	0,71
P001	MAR	11	1,02
P001	MAR	12	0,91
P001	ABR	16	0,90
P001	ABR	17	1,14
P001	MAI	20	1,10
P001	MAI	21	1,06
P001	JUN	24	0,96
P001	JUN	25	1,00
P001	JUL	29	1,00
P001	JUL	30	0,87
P001	AGO	33	0,99
P001	AGO	34	0,99
P001	SET	38	1,15
P001	SET	39	1,11
P001	OUT	42	0,85
P001	OUT	43	1,15
P001	NOV	47	1,02
P001	DEZ	51	1,12
P001	DEZ	52	0,99
P002	JAN	03	0,99
P002	JAN	04	1,01
P002	FEV	08	1,07
P002	FEV	09	1,07
P002	MAR	11	0,97
P002	MAR	12	1,02
P002	ABR	16	0,95
P002	ABR	17	1,05
P002	MAI	20	0,99
P002	MAI	21	1,00
P002	JUN	24	1,01

POSTO	MÊS	SEMANA DO ANO	FATOR DE EXPANSÃO MENSAL
P002	JUN	25	0,98
P002	JUL	29	0,96
P002	JUL	30	0,96
P002	AGO	33	1,01
P002	AGO	34	0,99
P002	SET	38	1,01
P002	SET	39	1,01
P002	OUT	42	0,99
P002	OUT	43	1,02
P002	NOV	46	1,01
P002	NOV	47	0,97
P002	DEZ	51	1,01
P002	DEZ	52	0,98
P003	JAN	03	0,98
P003	JAN	04	0,99
P003	FEV	08	1,03
P003	FEV	09	0,93
P003	MAR	11	0,98
P003	MAR	12	0,98
P003	ABR	16	0,88
P003	ABR	17	1,09
P003	MAI	20	1,02
P003	MAI	21	1,06
P003	JUN	24	1,00
P003	JUN	25	1,00
P003	JUL	29	1,03
P003	JUL	30	0,93
P003	AGO	33	0,96
P003	AGO	34	0,99
P003	SET	38	1,02
P003	SET	39	1,01
P003	OUT	42	1,02
P003	OUT	43	1,07
P003	NOV	46	1,04
P003	NOV	47	0,98
P004	MAI	20	0,97
P004	MAI	21	1,10
P004	JUN	24	1,06
P004	JUN	25	0,96
P004	JUL	29	0,97
P004	JUL	30	0,95
P004	AGO	33	1,02
P004	AGO	34	1,01
P004	SET	38	0,98
P004	SET	39	0,94
P004	OUT	42	1,02
P004	OUT	43	1,03
P004	NOV	46	1,01
P004	NOV	47	0,98

POSTO	MÊS	SEMANA DO ANO	FATOR DE EXPANSÃO MENSAL
P004	DEZ	51	0,94
P004	DEZ	52	0,95
P005	JAN	02	0,99
P005	JAN	03	1,06
P005	FEV	06	1,00
P005	FEV	07	1,03
P005	MAR	10	0,98
P005	MAR	11	1,00
P005	ABR	16	1,01
P005	ABR	17	1,02
P005	MAI	20	0,98
P005	MAI	21	1,02
P005	JUN	24	1,02
P005	JUN	25	1,01
P005	SET	38	0,98
P005	SET	39	0,98
P005	OUT	41	1,00
P005	OUT	42	0,99
P005	NOV	46	1,00
P005	NOV	47	1,00
P005	DEZ	51	0,99
P005	DEZ	52	1,01
P006	JAN	03	0,61
P006	JAN	04	1,00
P006	FEV	08	1,00
P006	FEV	09	0,95
P006	MAR	11	0,93
P006	MAR	12	0,99
P006	ABR	16	0,94
P006	ABR	17	1,05
P006	MAI	20	0,97
P006	MAI	21	1,02
P006	JUN	24	0,93
P006	JUN	25	1,02
P006	JUL	29	0,94
P006	JUL	30	0,96
P006	AGO	33	1,00
P006	AGO	34	1,03
P006	SET	38	1,03
P006	SET	39	1,02
P006	OUT	42	1,05
P006	OUT	43	1,14
P006	NOV	46	0,99
P006	NOV	47	0,98
P006	DEZ	51	1,03
P006	DEZ	52	0,98
P007	JAN	02	1,02
P007	JAN	03	0,81
P007	FEV	06	0,83

POSTO	MÊS	SEMANA DO ANO	FATOR DE EXPANSÃO MENSAL
P007	FEV	07	1,06
P007	MAR	10	0,89
P007	MAR	11	0,96
P007	ABR	16	0,95
P007	ABR	17	0,92
P007	MAI	20	0,92
P007	MAI	21	0,98
P007	JUN	24	1,15
P007	JUN	25	0,88
P007	SET	38	0,89
P007	SET	39	1,33
P007	OUT	41	0,99
P007	OUT	42	0,91
P007	NOV	46	0,95
P007	NOV	47	1,13
P007	DEZ	51	1,07
P007	DEZ	52	0,90
P008	JAN	03	0,87
P008	JAN	04	0,88
P008	MAR	11	1,06
P008	MAR	12	0,94
P008	ABR	16	0,92
P008	ABR	17	1,16
P008	MAI	20	0,97
P008	MAI	21	1,03
P008	JUN	24	1,05
P008	JUN	25	1,02
P008	JUL	29	1,04
P008	JUL	30	0,96
P008	AGO	33	0,92
P008	AGO	34	1,02
P008	SET	38	1,00
P008	SET	39	1,03
P008	OUT	42	0,97
P008	OUT	43	1,05
P008	NOV	46	1,06
P008	DEZ	51	1,02
P008	DEZ	52	1,01
P009	JAN	03	0,92
P009	JAN	04	0,89
P009	FEV	08	0,93
P009	FEV	09	1,18
P009	MAR	11	0,93
P009	MAR	12	1,04
P009	ABR	16	0,89
P009	ABR	17	1,04
P009	MAI	20	0,96
P009	MAI	21	0,96
P009	JUN	24	1,02

POSTO	MÊS	SEMANA DO ANO	FATOR DE EXPANSÃO MENSAL
P009	JUN	25	0,99
P009	JUL	29	0,97
P009	JUL	30	1,04
P009	AGO	33	1,00
P009	AGO	34	0,97
P009	SET	38	1,00
P009	SET	39	1,03
P009	OUT	42	1,03
P009	OUT	43	1,02
P009	NOV	46	1,07
P009	DEZ	51	0,98
P009	DEZ	52	1,00
P010	JAN	02	0,99
P010	JAN	03	0,99
P010	FEV	06	0,89
P010	FEV	07	1,08
P010	MAR	10	0,98
P010	MAR	11	0,99
P010	ABR	16	0,97
P010	ABR	17	1,01
P010	MAI	20	0,99
P010	MAI	21	1,00
P010	JUN	24	1,01
P010	JUN	25	0,99
P010	SET	38	0,97
P010	SET	39	1,02
P010	OUT	41	1,05
P010	OUT	42	1,02
P010	NOV	46	1,02
P010	NOV	47	1,00
P010	DEZ	51	1,02
P010	DEZ	52	0,95
P011	JAN	03	1,01
P011	JAN	04	0,98
P011	FEV	08	0,90
P011	FEV	09	1,02
P011	MAR	11	1,02
P011	MAR	12	1,03
P011	ABR	16	0,79
P011	ABR	17	1,22
P011	MAI	20	0,98
P011	MAI	21	1,05
P011	JUN	24	1,05
P011	JUN	25	0,98
P011	JUL	29	1,03
P011	JUL	30	0,94
P011	AGO	33	0,97
P011	AGO	34	1,01
P011	SET	38	1,07

POSTO	MÊS	SEMANA DO ANO	FATOR DE EXPANSÃO MENSAL
P011	SET	39	1,00
P011	OUT	42	1,01
P011	OUT	43	1,12
P011	NOV	46	1,13
P011	NOV	47	0,93
P011	DEZ	51	1,03
P011	DEZ	52	0,99
P012	JAN	03	0,97
P012	JAN	04	0,99
P012	FEV	08	0,93
P012	FEV	09	1,14
P012	MAR	11	1,02
P012	MAR	12	1,00
P012	ABR	16	0,95
P012	ABR	17	1,02
P012	JUN	24	1,00
P012	JUN	25	0,97
P012	JUL	29	1,05
P012	JUL	30	0,96
P012	AGO	33	1,03
P012	AGO	34	0,98
P012	SET	38	0,98
P012	SET	39	1,04
P012	OUT	42	1,08
P012	OUT	43	1,05
P012	NOV	46	0,99
P012	NOV	47	0,98
P012	DEZ	51	1,02
P012	DEZ	52	0,97

## ANEXO III

### CUSTOS RODOVIÁRIOS

**Tabela III.1:** Custo Operacionais (Dezembro/1996)

(R\$ - veículo por quilômetro)

Rodovia	Trecho	Automóvel		Ônibus		Caminhão	
		Atual	Futuro	Atual	Futuro	Atual	Futuro
	<b>Duplicação</b>						
Acesso	Avenida Washington Soares	0,375	0,25	0,95	0,706	0,981	0,715
CE.040	Cambeba - Messejana	0,347	0,251	0,928	0,725	1,095	0,732
CE.040	Messejana - Aquiraz	0,317	0,25	0,881	0,732	0,937	0,751
CE.060	Mondubim - Anel Viário	0,306	0,251	0,832	0,711	0,93	0,721
CE.060	Pajuçara - Paratuba	0,331	0,25	0,9	0,722	1,084	0,738
CE.065	Anel Viário - Cágado - Maranguape	0,306	0,25	0,841	0,716	0,933	0,728
-	Grupo	0,330	0,250	0,889	0,719	0,993	0,731
	<b>Pavimentação Convencional</b>						
CE.060	Capistrano - Entrº CE/456	0,379	0,314	1,116	0,989	0,899	0,61
CE.187	Entrº BR./020 - Campos Sales	0,492	0,313	1,243	0,932	1,155	0,582
-	Grupo	0,436	0,314	1,180	0,961	1,027	0,596
	<b>Pavimentação Aces. Municipais</b>						
CE.176	Amontada - Mirafima	0,4	0,247	-	-	0,82	0,407
CE.176	Tauá - Arneiroz	0,391	0,248	1,107	0,837	0,943	1,003
CE.187	Campos Sales - Salitre	0,394	0,246	0,959	0,709	0,963	0,469
BR.404	Crateús - Iporanga	0,4	0,246	0,974	0,714	0,831	0,408
-	Grupo	0,396	0,247	1,013	0,753	0,889	0,572
	<b>Restauração</b>						
CE.060	Pacatuba - Aracoiaba	0,287	0,25	0,867	0,796	0,684	1,003
CE.060	Quixadá - Quixeramobim	0,249	0,206	0,665	0,59	0,63	0,423
CE.359	Entrº BR/116 - Piranji	0,283	0,249	0,785	0,721	0,709	0,518
CE.359	Piranji - Quixadá	0,288	0,249	0,792	0,722	0,719	0,519
CE.371	Morada Nova - Jaguaratama	0,318	0,278	0,911	0,835	0,705	0,52
-	Grupo	0,285	0,246	0,804	0,733	0,689	0,597
	<b>Selagem</b>						
CE.187	Sucesso - Crateús	0,26	0,256	0,764	0,758	0,658	0,636
CE.261	Entrº BR/304 - Icapuí	0,292	0,279	0,787	0,767	0,669	0,625
CE.354	Varjota - Itapipoca	0,249	0,248	0,716	0,714	0,493	0,484
CE.356	Entrº CE/060 - Baturité	0,27	0,267	0,801	0,795	0,552	0,539
-	Grupo	0,268	0,263	0,767	0,759	0,593	0,571

**Tabela III.2: Custo Econômico (Dezembro/1996)**

Rodovia	Trecho	Extensão (km) km	Econômico R\$
	<b>Duplicação</b>		
Acesso	Avenida Washington Soares	3,00	2.611.900,09
CE.040	Cambeba - Messejana	3,96	4.005.223,01
CE.040	Messejana - Aquiraz	14,67	10.576.814,63
CE.060	Mondubim - Anel Viário	3,80	3.235.993,12
CE.060	Pajuçara - Paratuba	13,81	6.794.162,23
CE.065	Anel Viário - Cágado - Maranguape	12,45	8.966.923,51
	<b>Pavimentação Convencional</b>		
CE.060	Capistrano - Entrº CE/456	53,50	2.857.701,64
CE.187	Entrº BR./020 - Campos Sales	124,26	9.269.712,42
	<b>Pavimentação Aces. Municipais</b>		
CE.176	Amontada - Mirafima	30,28	1.647.902,69
CE.176	Tauá - Arneiroz	42,90	1.735.143,92
CE.187	Campos Sales - Salitre	25,39	1.148.270,01
BR.404	Crateús - Ipaporanga	32,92	1.303.285,88
	<b>Restauração</b>		
CE.060	Pacatuba - Aracoiaba	57,06	4.059.937,39
CE.060	Quixadá - Quixeramobim	50,44	4.599.908,17
CE.359	Entrº BR/116 - Piranji	47,86	3.937.114,38
CE.359	Piranji - Quixadá	49,24	5.438.801,26
CE.371	Morada Nova - Jaguaretama	79,60	4.868.810,69
	<b>Selagem</b>		
CE.187	Sucesso - Crateús	34,60	492.897,55
CE.261	Entrº BR/304 - Icapuí	23,96	464.269,43
CE.354	Varjota - Itapipoca	34,68	592.777,89
CE.356	Entrº CE/060 - Baturité	7,85	179.733,06

**Tabela III.3: Custo de Conservação (Dezembro/1996)**

Rodovia	Trecho	Custo de Conservação Futuro
	<b>Duplicação</b>	
Acesso	Avenida Washington Soares	34.000,00
CE.040	Cambeba - Messejana	42.000,00
CE.040	Messejana - Aquiraz	159.000,00
CE.060	Mondubim - Anel Viário	44.000,00
CE.060	Pajuçara - Paratuba	159.000,00
CE.065	Anel Viário - Cágado - Maranguape	14.000,00