

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

CELSO SUCKOW DA FONSECA - CEFET/RJ

DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

COORDENADORIA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA

DISSERTAÇÃO

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DA PESAGEM DINÂMICA DE VEÍCULOS RODOVIÁRIOS

LUCIANO BRUNO FARUOLO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA

José Luiz Fernandes, Ph.D.
Marina Rodrigues Brochado, D.Sc.
Orientadores

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
MARÇO / 2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
I.1 - O EXCESSO DE PESO DAS CARGAS TRANSPORTADAS POR RODOVIA	9
I.1.1 - O dimensionamento de vias públicas	11
I.1.2 - Veículos de transporte de carga rodoviários	18
I.1.3 - Desgaste do pavimento das vias públicas	25
I.1.4 - Falta de segurança nas estradas	28
I.2 O PROCESSO DE PESAGEM DE VEÍCULOS RODOVIÁRIOS	30
I.2.1 - Instrumentos de pesagem de veículos rodoviários	31
I.2.2 - Procedimentos utilizados nos testes dos instrumentos de pesagens	39
I.2.3 - Fatores de influência no instrumento de pesagem dinâmica	43
I. 3. FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE CONFIABILIDADE	54
I.3.1 - Análise de incertezas	54
I.3.2 - Método de propagação de distribuição de Monte Carlo	56
II - PLANO BRASILEIRO DE PESAGENS	62
II.1- RODOVIAS, FATOR DE INTEGRAÇÃO NACIONAL	62
II.2- PLANO NACIONAL VIÁRIO	63
II. 3 - PROGRAMAS DE PESAGEM NACIONAL	66
II. 3. 1 - Evolução da pesagem no Brasil	67
II. 3. 2 - Localizações dos postos de pesagens no Brasil	69
II. 4 - LEGISLAÇÕES SOBRE LIMITE DE PESO	70
II. 5 - CONTROLE METROLÓGICO DA PESAGEM DE VEÍCULOS NO BRASIL	77
II. 5. 1 - Legislação metrológica	77
III - ANÁLISE DA METODOLOGIA DE PESAGEM EM MOVIMENTO	79
III. 1 - MODELAGEM DA AVALIAÇÃO	79
III. 1. 1 - Plano de medição	81

III. 2 - COLETA PRELIMINAR DOS DADOS	83
III. 2. 1 - Via	83
III. 2. 2 - Veículos	83
III. 2. 3 - Carga	84
III. 2. 4 - Registros das medições	84
III. 3 - COLETA DEFINITIVA DOS DADOS	87
III. 3. 1 - Via com controle do peso dos veículos rodoviários	87
III. 3. 2 - Velocidades de pesagem	87
III. 3. 3 - Cargas dos veículos	88
III. 3. 4 - Registros das medições das pesagens	89
III. 3. 5 - Medições de velocidade	96
III. 3. 6 - Monitoramentos da temperatura e da umidade	96
III. 3. 7 - Medições nas laterais dos sensores	97
III. 3. 8 - Medições com suspensão de eixos	99
IV - ANÁLISE DOS RESULTADOS	100
IV. 1 - CÁLCULOS DE INCERTEZAS COM A SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO	100
IV. 1. 1 - Modelagem da simulação	100
IV. 1. 2 - Análises da distribuição de probabilidade	101
IV. 1. 3 - Simulação computacional	106
IV. 2 - ANÁLISE DE CONFIABILIDADE	113
IV. 2. 1 - Análise da tecnologia aplicada aos instrumentos de pesagem em movimento	113
IV. 2. 2 - Análises dos procedimentos metrológicos de avaliação	113
IV. 2. 3 - Análise da legislação aplicada aos instrumentos de pesagem em movimento	114
IV. 2. 4 - Análises dos valores de PBT	115
IV. 2. 5 - Análises dos registros de carga por eixo	115
IV. 2. 6 - Análises da temperatura umidade e velocidade	116
IV. 2. 7 - Análises do local de pesagem	116
IV. 2. 8 - Análises da influência das pressões dos pneus	117
IV. 2. 9 - Análises dos instrumentos de pesagem utilizados	117
IV. 2. 10 - Análises da aplicação do modelo desenvolvido	118
CONSIDERAÇÕES FINAIS	120
REFERÊNCIAS	124

ANEXO I	130
APLICAÇÃO DAS MULTAS	131
ANEXO II	132
REDE RODOVIÁRIA NACIONAL	133
ANEXO III	135
PESQUISA DE CONTAGEM DE TRAFEGO - CENTRAN	136
ANEXO IV	139
DESCRIÇÃO DOS VEÍCULOS RODOVIÁRIOS	140
ANEXO V	146
RESOLUÇÃO CONTRAN 210/2006	147
ANEXO VI	153
ANEXO A PORTARA INMETRO 095/93 DE APROVAÇÃO DE MODELO	154
ANEXO VII	156
RELATÓRIO DA PESQUISA	157
ANEXO VIII	158
RESUMO DOS REGISTROS DAS MEDIÇÕES DA PRIMEIRA FASE	159
RESUMO DOS REGISTROS DAS MEDIÇÕES DA SEGUNDA FASE	160

FICHA CATALOGRÁFICA

F247 Faruolo, Luciano Bruno
Análise de confiabilidade da pesagem dinâmica de veículos
rodoviários / Luciano Bruno Faruolo – 2007.
xvi, 123 f + Anexos:il.,tabs. ; enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2007.
Bibliografia: f. 124 - 129

1. Transporte rodoviário de carga_Pesagem.
2. Confiabilidade (Engenharia). 3. Rodovias
I. Título

CDD 388.324

À minha família, meus pais e irmãos que sempre me apoiaram na pesquisa.

Agradecimentos

- Aos professores Marina Rodrigues Brochado, D.Sc. e José Luiz Fernandes, Ph.D pela dedicação e orientação na elaboração do trabalho.

- Aos pesquisadores do INMETRO: Mauro Correia Fagundes, M.Sc., e Jorge da Paz Cruz, M.T, Luiz Henrique Paraguassú de Oliveira, M.T, Dalni Malta do Espírito Santo, M.Sc. , Paulo Roberto Guimarães Couto, M.Sc, e Leonardo Rodrigues Cinelli, M.Sc., Pedro Paulo Almeida Silva, M.Sc, e Rodrigo Maia Tavares, M.Sc pela presteza e incentivo ao desenvolvimento desta pesquisa.

- Ao Carlos Serman e a ANTT – Agência Nacional de Transporte Terrestre, pela colaboração e suporte ao desenvolvimento dos experimentos.

- Ao INMETRO e aos técnicos da DIMAS – Divisão de Instrumentos de Medição de Massa, pelo apoio.

- Ao IMEPI – Instituto de Pesos e Medidas do Piauí, pela colaboração na fase preliminar dos ensaios em campo.

- A CONCER – Concessionária Juiz de Fora Rio e a empresa DIEFRA engenharia pelo apoio operacional durante as pesquisas de campo.

- Aos funcionários Bráulio Tito e Abraão, da secretaria do CEFET-RJ.

- Ao CEFET-RJ pela oportunidade do desenvolvimento da pesquisa.

- A minha família, pelo apoio e compreensão durante o curso de mestrado.

Resumo da dissertação submetida ao PPTEC/CEFET-RJ como parte integrante dos pré-requisitos para a obtenção do grau de mestre em tecnologia (M.T.).

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DA PESAGEM DINÂMICA DE VEÍCULOS RODOVIÁRIOS

Luciano Bruno Faruolo

Março de 2007

Orientadores: José Luiz Fernandes, Ph.D.

Marina Rodrigues Brochado, D.Sc

Programa: PPTEC

A carga transportada pelos veículos rodoviários é objeto de preocupação das autoridades de trânsito brasileiras, pois o dimensionamento da via pública tem como base as forças exercidas pelos eixos dos veículos sobre o pavimento provenientes de um volume de tráfego estimado para a rodovia. Há uma nova condição de utilização das rodovias nacionais, considerando as novas características do tráfego, com acréscimo das exportações e a atual formação da frota composta por veículos de até nove eixos, com maior capacidade de carga. O excesso de peso em veículos é prejudicial para a sociedade, pois acelera o desgaste das estradas, proporcionam defeitos nas vias. As estradas danificadas provocam acidentes e mortes, prejudicam os veículos e retardam as viagens. A tecnologia de identificação da força exercida pelo veículo na via é fator imperativo para o controle do uso da rodovia. Instalam-se instrumentos de medição de peso dos veículos em movimento nas estradas, a fim de monitorar a carga dos veículos e fiscalizar o cumprimento dos parâmetros estabelecidos em legislação específica. A tendência é a modernização dos instrumentos, utilizando ao mesmo tempo diferentes formas de fiscalização, em mais postos de pesagem. É importante a análise de confiabilidade dos instrumentos de medição referidos, pois a exatidão é diferenciada entre os equipamentos utilizados. Este trabalho avalia a confiabilidade dos procedimentos de medição de peso de veículos rodoviários de carga em movimento, através de um modelo desenvolvido aplicado em uma pesquisa exploratória em dois postos de pesagem, utilizando-se ferramentas estatísticas, análise de confiabilidade e aplicando-se o método de Monte Carlo em cálculo de incertezas. Este modelo é capaz de melhorar a exatidão do processo contribuindo para a redução dos danos provocados pelo excesso de peso dos veículos rodoviários.

Palavras-chave: Confiabilidade, Monte Carlo, Metrologia, Pesagem dinâmica, Veículos rodoviários.

Abstract of dissertation submitted to PPTEC/CEFET-RJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Technology (M.T.)

ANALYSIS OF RELIABILITY FOR THE WEIGH-IN-MOTION VEHICLES

Luciano Bruno Faruolo

March de 2007

Supervisors: Prof. José Luiz Fernandes, Ph.D.

Prof. Marina Rodrigues Brochado, D.Sc

Program: PPTEC

The load transported by road vehicles is object of concern for the Brazilian traffic authorities, because the dimensioning of public roads is based on the forces exerted by vehicles axles on the pavement resulting from an estimated traffic volume. There is a very brand new condition of use for the national roadways, considering the new characteristics of traffic, due to the exportation increase and the actual composition of vehicles up to nine axles, with a higher load capacity. The weight excess in vehicles causes damage to the society, because accelerates the time life of roads causing defects on the roads. The damaged roads provoke a very high number of accidents and deaths, prejudice the vehicles and cause delays on trips. The technology for the identification of the force exerted by vehicle on the road is the main factor to control the road use. Measuring instruments have been installed to monitor the vehicles load and to check the associated parameters set up in a national specific legislation. The tendency is the modernization of the instruments by using at the same time different ways of checking in a larger number of weighing station. It is very important the analysis of reliability of the measuring instruments concerned, for the accuracy is relatively different among the used instruments. This work evaluates the reliability of road vehicles weight measuring procedures for the weigh-in-motion, via a developed model applied to an exploratory research in two weighing stations, by using statistical tools, reliability analysis and making use of Monte Carlo method for the uncertainties evaluation. This model is capable of improve the process accuracy contributing for the reduction of damages provoked by the weight excess of road vehicles.

Keys-words: Reliability, Monte Carlo method, Metrology, Weigh-in-motion, Road vehicles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Demonstrativo dos tipos de caminhões mais utilizados	1
Figura 2 - Representação da metodologia utilizada neste trabalho	6
Figura I.1 - Elementos da seção transversal para rodovia em pista simples [DNER, 1996]	11
Figura I.2 - Estrutura do pavimento de uma rodovia [SÁ, 2003]	12
Figura I.3 - Fluxograma de dimensionamento mecânico [MOTTA,1991]	13
Figura I.4 - Gráfico de fator de carga [DNER,1996]	15
Figura I.5 - Atuação de forças dinâmicas [SCÂNIA, 2007].	21
Figura I.6 - Aplicação de forças laterais na traseira do veículo [SCÂNIA, 2007]	21
Figura I.7 - Os efeitos da força lateral gerando torção no chassi [SCÂNIA, 2007]	22
Figura I.8 - Modelo da oscilação do eixo da roda em pista plana [SCÂNIA, 2007]	22
Figura I.9 - Efeito da oscilação das rodas na cabine do veículo [SCÂNIA, 2007]	23
Figura I.10 - Veículo com tanque para carregamento de líquido [SCÂNIA, 2007].	23
Figura I.11 - Pesagem de um veículo bitrem, com frente alongada [DOWELL, 2005]	24
Figura I.12 - Pesagem de um veículo bitrem, com frente reta [DOWELL, 2005]	25
Figura I.13 - Trincamento do pavimento por fadiga [DORANCHO, 2001]	26
Figura I.14 - Trinca transversal no pavimento [DORANCHO, 2001]	26
Figura I.15 - Ciclo de vida de uma rodovia pavimentada [SCHLIESSER E BULL, 1994].	27
Figura I.16 - Balança rodoviária estática [TOLEDO, 2005]	31
Figura I.17 - WIN em instalação fixa, Modelo CWIM, EUA [CARDINAL, 2005]	32
Figura I.18 - Balança rodoviária dinâmica portátil [FILIZOLA,2005]	32
Figura I.19 - O sistema de sensores de quartzo QWIN/CARDINAL [CARDINAL, 2006]	33
Figura I.20 - Diagrama do sistema de controle de tráfego modelo 310 [TDS, 2006]	34
Figura I.21 - Esquema do posicionamento dos sensores AVC – TDS na pista [TDS, 2006]	34
Figura I.22 - Sensor de quartzo [TDS, 2006]	34
Figura I.23 - Radar <i>Doppler</i> [TDS, 2006]	35
Figura I.24 - Esquema representativo de instalação na pista do modelo 341 [TDS, 2006]	35
Figura I.25 - Sistemas de caixa de junção dos sensores, modelo 341 [TDS, 2006]	35
Figura I.26 - Monitoramento de peso via satélite, DODOO e THORPE [2005]	36
Figura I.27 - Veículo com instrumento de pesagem instalado [SCÂNIA, 2007]	37
Figura I.28 - Circuito de uma ponte de Wheatstone [HOFFMANN, 1989]	44
Figura I.29 - Modelo representativo de um caminhão na pesagem [ONO et al. 1998]	46
Figura I.30 - Modelo de sistema fixo de pesagem por eixo [ONO et al., 2001]	47
Figura I.31 - Representação dos sinais elétricos da pesagem [ONO, et al. 2001]	47
Figura I.32 - Carga em função da pressão interna do pneu [HYUNZ-GYN, et al., 2004]	49
Figura I.33 - Pneu diagonal ou convencional [MICHELIN, 2006]	50
Figura I.35 - Pneu radial, representação da aderência no piso [MICHELIN, 2006]	51

Figura I.38 - Arraste dos pneus [MICHELIN, 2006].	52
Figura I.39 - Atritos mecânicos e o rendimento do motor [MICHELIN, 2006].	53
Figura I.40 - Distribuição das cargas no veículo [MICHELIN, 2006]	53
Figura I.41 - Representação da variável de saída [GUM, 2002]	57
Figura I.42 - Modelo de interação das distribuições de probabilidade	58
Figura II.1 - Distribuição das rodovias federais [DINT, 2007]	63
Figura II.2 - Rodovias radiais [DNIT, 2007]	64
Figura II.3 - Rodovias longitudinais [DNIT, 2007]	64
Figura II.4 - Rodovias transversais [DNIT, 2007]	65
Figura II.5 - Rodovias diagonais [DNIT, 2007]	65
Figura II.6 - Estados onde são encontrados os postos de pesagens [DNIT, 2007]	69
Figura II.7 - Postos de contagem de tráfego de veículos em rodovias [DNIT, 2007]	69
Figura III.1 - Modelo ilustrativo da seqüência de ações do procedimento adotado	80
Figura III.2 - Configurações de veículos utilizados nas medições	81
Figura III.3 - Ilustração da aplicação do modelo do procedimento adotado	81
Figura III.4 - Pista lateral para pesagem de veículos, BR 040, Duque de Caxias.	82
Figura III.5 - Local da realização de ensaios metrológicos - BR 316 – Piauí	82
Figura III.6 - Praça de pesagem, rodovia BR 040, em Duque de Caxias, RJ	83
Figura III.7 - Medição do peso do veículo padrão na balança estática, Teresina, PI	84
Figura III.8 - Posto de pesagem de veículos, rodovia BR-316, Teresina, PI.	85
Figura III.9 - Pesagem estática, Duque de Caxias, RJ	88
Figura III.10 - Pesagem dinâmica, BR 040, Duque de Caxias, RJ	88
Figura III.11 - Dispersão das pesagens por eixo por veículo, primeira etapa, 2km/h	90
Figura III.12 - Dispersão das pesagens por eixo por veículo, segunda etapa, 2km/h	90
Figura III.13 - Dispersão das pesagens por eixo por veículo, primeira etapa, 4km/h	91
Figura III.14 - Dispersão das pesagens por eixo por veículo, segunda etapa, 4km/h	91
Figura III.15 - Dispersão das pesagens por eixo por veículo, primeira etapa, 6km/h	92
Figura III.16 - Dispersão das pesagens por eixo por veículo, segunda etapa, 6km/h	92
Figura III.17 - Linhas de tendência para o veículo caminhão 3c vazio	93
Figura III.18 - Linhas de tendência para o veículo caminhão 3c carregado	93
Figura III.19 - Linhas de tendência para carreta vazia	94
Figura III.20 - Linhas de tendência para a carreta carregada	94
Figura III.21 - Linhas de tendência para o veículo bitrem vazio	95
Figura III.22 - Linhas de tendência para o veículo bitrem vazio	95
Figura III.23 - Medição de velocidade, BR 040, Duque de Caxias, RJ	96
Figura III.24 - Medição de temperatura BR 040, Duque de Caxias, RJ	97
Figura III.25 - Veículo em aproximação para pesagem por eixo	98

Figura IV.1 - Distribuição de probabilidade caminhão 3C vazio	103
Figura IV.2 - Distribuições de probabilidade caminhão 3C carregado	103
Figura IV.3 - Distribuições de probabilidade carreta vazia	104
Figura IV.4 - Distribuições de probabilidade carreta carregada	104
Figura IV.5 - Distribuições de probabilidade bitrem vazio	105
Figura IV.6 - Distribuições de probabilidade bitrem carregado	105
Figura IV.7 - Distribuição normal da variável repetitividade	107
Figura IV.8 - Distribuição normal da variável incerteza do padrão	108
Figura IV.9 - Distribuição normal da variável resolução	108
Figura IV.10 - Distribuição normal da expressão da incerteza	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Receita operacional bruta do setor de transporte em 2001 [IBGE, 2005]	3
Tabela I.1 - Composição média da frota brasileira [CENTRAN - PDNEP, 2006]	19
Tabela I.2 - Veículos rodoviários da frota nacional [CENTRAN-PDNEP, 2006]	20
Tabela I.3 - As irregularidades que ocorrem no alinhamento das rodas [SCÂNIA, 2007]	22
Tabela I.4 - Número de acidentes no Brasil [PRF, 1998]	29
Tabela I.5 - Causas de Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais [DENATRAN, 2003]	29
Tabela I.6 - Custo de acidentes [MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2006]	30
Tabela I.7 - Funções utilizadas nos instrumentos, WIM [ASTM 1318,2002]	38
Tabela I.8 - Desempenho da função requerida para o WIM [ASTM 1318,2002]	38
Tabela I.9 - Variação das classes de exatidão para massa total minuta [ROIML, 2006]	39
Tabela I.10 - Resumo da comparação entre os procedimentos	43
Tabela II.1 - Extensão das rodovias nacionais [CNT, 2006a]	66
Tabela II.2 - Pesquisa de estado do pavimento [CNT, 2006b]	66
Tabela II.3 - Números de veículos da frota nacional [CNT, 2006a]	66
Tabela II.4 - Demonstrativo dos postos de pesagens no país [DNIT, 2005]	70
Tabela II.5 - Comparação de limites de carga [GÖKTAN e MITSCHKE, 1995]	74
Tabela II.6 - Limites de dimensões e peso dos veículos [DENATRAN, 2006]	75
Tabela II.7 - Limites de dimensões e peso dos veículos - AET [DENATRAN, 2006]	76
Tabela III.1 - Rodovia simples, Manual de soluções tecno-gerências [DNIT, 2005]	83
Tabela III.2 - Demonstrativo dos valores gerais de cada veículo examinado	85
Tabela III.3 - Correlação entre os PBT	86
Tabela III.4 - Análise estatística dos PBT na fase preliminar	86
Tabela III.5 - Comparações de dispersão dos valores de medições por eixos, para velocidade de 2km/h	89 89
Tabela III.6 - Comparações de dispersão dos valores de medições por eixos, para velocidade de 4km/h	91 91
Tabela III.7 - Comparações de dispersão dos valores de medições por eixos, para velocidade de 6km/h	92 92
Tabela III.8 - Registros das velocidades médias	96
Tabela III.9 - Registros das temperaturas e umidade médias	97
Tabela III.10 - Análises das medições em relação ao posicionamento na pesagem	98
Tabela IV.1 - Resumo das simulações principais da primeira fase	106
Tabela IV.2 - Participações das parcelas no resultado	107
Tabela IV.3 - Resumo da primeira fase de medição	111
Tabela IV.4 - Resumo da segunda fase de medição	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Abreviatura /Símbolo	Significado
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ANTT	Agência Nacional de Transporte Terrestre
ASTM	American Standard Test Material
AVC	Automatic Vehicle Classification
A_j	Amplitude do componente do sinal da onda
B	Expoente definido pela AASHTO e pelo exército Americano (US Army).
CENTRAN	Centro de Excelência em Engenharia de Transporte
C_i	Coefficiente de sensibilidade associado com a estimativa
CMT	Capacidade Motriz de Transmissão
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
CVC	Combinação de Veículos de Carga
D	Desvio da média
D_f	Diferença entre o valor de exatidão antes e depois do método
DEC	Departamento de Obras Civis
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagens
DNIT	Departamento Nacional Infra-estrutura de Trânsito
$E(F)$	Valor esperado
$\bar{E}(F)$	Estimativa para o valor esperado de $E(F)$
E	Erro na medição
Erp%	Erro relativo percentual de posicionamento
Erv%	Erro relativo percentual de velocidade
Es	Erro após a simulação, aplicação do método desenvolvido
Es%	Erro percentual após a simulação, aplicação do método desenvolvido
Ev	Erro na medição da massa em movimento do veículo
EUA	Estados Unidos da América
fdp	Função densidade probabilidade
F	Função objeto de análise de Monte Carlo
FC	Fator de Carga
FE	Fator de Eixo
FECi	Fator Equivalente de Carga primeiro método
FV	Fator de Veículo
g	Variável aleatória para a representação da margem de segurança
G_t	Função da perda de durabilidade relativa ao ponto onde $p_t = 1,5$
GUM	Guide to the Uncertainty in Measurement
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMEPI	Instituto de Metrologia do Estado do Piauí
INMETRO	Instituto Nacional de Normalização, Metrologia e Qualidade Industrial
k	Coefficiente de elasticidade
K	Fator de abrangência
$LEF_{L,n}$	Fator equivalente de carga segundo método, número 18000 lb por carga de eixo único aplicada, equivalente a uma carga L, para um tipo n de eixo.
L_i	Carga i para o eixo tipo considerado, lb/1000
L_1	Código de tipos de eixo, 1 para eixo simples
L_2	Código de tipos de eixo, 2 para conjunto em tandem
M	Número de interações
M_e	Melhoria após aplicação do método desenvolvido
n	Código de tipo de eixo

N	Número equivalente de operações do eixo simples padrão
N_i	Dimensão da amostra
NBR	Normas Brasileiras Registradas
OIML	Organização Internacional de Metrologia Legal
P	Corresponde à força exercida na plataforma de pesagem
P_t	Durabilidade no final do tempo
$p(x)$	Distribuição de probabilidade
P_0	Amplitude
PBT	Peso Bruto Total
PEM	Pesagem em Movimento
PDNEP	Plano Diretor Nacional Estratégico de Pesagem
PPV	Posto de Pesagem de Veículos
P_t	Durabilidade
Q_{ni}	Componente de carga específico
Q_n	Valor de carga nominal
Q	Variável aleatória para representação da carga
\bar{Q}	Média da carga
R	Valor de referência do PBT medido através de uma balança estática com plataforma de 20m de comprimento
R_{mn}	Limite de resistência mecânica nominal
R_m	Variável aleatória para representação da resistência mecânica
\bar{R}_m	Média dos valores de resistência mecânica
R_e	Resistência elétrica
ROIML	Recomendação da OIML
RTM	Regulamento Técnico Metrológico
\overline{SN}	Número estrutural, índice derivado do volume de tráfego e condições da estrutura das vias, espessuras e material de construção
SN	Flexibilidade do pavimento
Sx	Desvio padrão da amostra
Sx%	Desvio padrão percentual da amostra
t	Taxa de progressão geométrica
TDS	Transport Data System
U	Incerteza expandida
U%	Incerteza expandida percentual
u_1	Parcela referente à repetitividade das medições
u_2	Parcela referente ao padrão de referência
u_3	Parcela referente à leitura durante as medições
v_m	Volume médio diário de tráfego
v_t	Volume total de tráfego num sentido durante o período
V	Velocidade de tráfego durante as pesagens
V(F)	Variação real
w	Peso total do veículo
w_t	Número de carga de eixos, com dois pneus
$W \lambda$	Peso estático do veículo
Wi	Carga por eixo genérico
WIM	Weigh-in-motion

W_p	Carga por eixo tomada como padrão 82 kN
X^i	Vetor sorteado i a partir da distribuição de probabilidade $p(x)$
X	Grandeza de entrada no cálculo de incertezas
x_a	Aceleração da plataforma ou suporte para a medição
X_i	Variáveis de entrada
X_m	Aceleração da massa
$\overline{x_d}$	Média dos valores dinâmicos
Y	Grandeza de saída
ν	Coefficiente de poisson
Ω	Resistência elétrica
ϵ	Deformação elástica
β	Função do projeto e influência da variação de carga e curva de durabilidade
γ	Fator de carga em calibração
φ	Fator de resistência mecânica
φ_R	Fator de resistência mecânica da variável R
γ_Q	Fator da carga Q
δ	Resistividade elétrica
ω	Frequência natural
λ_i	Constante positiva que depende da distância entre o centro de massa e a posição dos eixos
ϕ_j	Fases dos componentes da onda
ω_j	Frequência angular do sinal da onda
β	Nível de confiança da relação entre a resistência e a carga
σ_Q^2	Desvio padrão da carga
σ_R^2	Desvio padrão da resistência mecânica
β	Coefficiente de variação na simulação de Monte Carlo

INTRODUÇÃO

A carga transportada pelos veículos é objeto de preocupação das autoridades de trânsito brasileiras, pois o dimensionamento da via pública tem como base de projeto a força exercida pelos eixos dos veículos no pavimento através de um volume de tráfego estimado para a rodovia, no período de tempo definido, e a resistência do pavimento o qual tem um período de vida útil esperado conforme a qualidade da construção.

A frota de veículos nacional é composta de diferentes tipos de caminhões sendo os mais utilizados os demonstrados na figura 1.



Figura 1 - Demonstrativo dos tipos de caminhões mais utilizados

O excesso de peso do veículo é prejudicial para a sociedade, pois as estradas danificadas provocam acidentes e mortes, prejudicam os veículos e retardam as viagens. Além disso, o excesso de peso danifica seriamente a suspensão dos caminhões, sua capacidade de transporte, a durabilidade do sistema de freios, prejudica a direção e gera desgastes prematuros nos pneus.

Saber a quantidade de veículos, e as respectivas cargas por eixos transportadas que trafegam em uma rodovia são condições importantes para o controle do desgaste da estrada. A tecnologia de identificação da força exercida pelo veículo na via é fator imperativo para o controle do uso da rodovia. Desta forma, instalam-se instrumentos de medição da massa dos veículos em movimento nas estradas, a fim de monitorar a carga dos veículos e até mesmo fiscalizar o cumprimento dos parâmetros estabelecidos na legislação específica.

Basicamente, este processo de pesagem funciona estimando o peso do veículo através da soma das forças que cada eixo exerce no pavimento ao deslocar-se. A aplicação destes processos tem o propósito de registrar a carga dos veículos nas rodovias. A legislação estabelecida pelos agentes controladores de trânsito define os limites de peso para as categorias de veículos e estabelece condições particulares para o uso de veículos com maior capacidade de carga. O DNIT e a ANTT tem investido no uso de instrumentos de pesagem de

veículos por eixo para a verificação do peso dos veículos nas rodovias. O peso dos veículos é fiscalizado por equipamento de pesagem ou verificação de documento fiscal, na forma estabelecida pelo CONTRAN. O Ato de Fiscalizar está amparado pela Lei 9.503/97 Código de Trânsito Brasileiro – CTB (1997) tendo como objetivo a preservação das condições das estradas, pontes e viadutos.

As estradas são constituídas de subleito, base, sub-base e revestimento (pavimento). O revestimento é um sistema em camadas, sujeito a cargas dos veículos, construída após a terraplenagem que tem uma função estrutural igual a capacidade de carga, que é o que comanda o dimensionamento. Porém, mais do que calcular espessuras, dimensionar é calcular espessuras de um conjunto de camadas que trabalham juntas e, portanto é necessário se compatibilizar os materiais. A escolha de materiais e espessuras deve ser feita em função de fatores como: tráfego esperado (período de projeto); clima; condicionantes particulares: subleito, topografia, drenagem, técnicas construtivas; e critérios de ruptura (como definir vida útil), segundo o DNER (1996).

O pavimento e sua base possuem um limite de suportabilidade e o contínuo esforço de resistência à rolagem dos pneus causa-lhes “fadiga”, ou seja, desgasta a capacidade de resistência do pavimento. É por isso que se formam as deformações e o enrugamento do asfalto (camaleões), as fissuras (rachaduras) e as rupturas (esburacamentos).

Para o controle do peso dos veículos que trafegam na rodovia, faz-se uso de instrumentos de pesagem rodoviária. Estes equipamentos estão presentes em diferentes setores da economia, em empresas como: transportadoras, atacadistas, transbordo de mercadorias, agroindústrias e na fiscalização do limite de peso de veículos no trânsito. A pesagem do veículo de carga é normalmente feita no início do trajeto onde a mercadoria é carregada. Durante o trajeto, o veículo é submetido à fiscalização e ao controle de trânsito onde são verificados o peso e a capacidade de transporte deste, com o objetivo de verificar-se o limite de peso do mesmo. As balanças rodoviárias de pesagem podem ser: estáticas ou dinâmicas (de instalação fixa ou móvel).

As balanças estáticas utilizam todo o veículo sobre a plataforma de pesagem para a verificação do peso, e com isso, determinam a massa do veículo. Os equipamentos de pesagem dinâmica utilizada para fiscalização no trânsito, mas de utilização vedada para fins comerciais, utilizam transdutores de força que são dimensionados para a verificação do peso por eixo do veículo, utilizando artifícios matemáticos para o cálculo do peso bruto total do veículo, após a passagem do mesmo sobre o sistema de pesagem. O sistema portátil pode ser remanejado para outro posto de pesagem, desde que tenha o laudo de verificação para o local de instalação. O portador do instrumento de pesagem deve ter diferentes autorizações do INMETRO para atuar nos diferentes postos de pesagem.

A exatidão dos instrumentos de medição referidos é diferenciada, sendo o sistema estático com a maior exatidão entre os quatro tipos de equipamentos, seguido do sistema de pesagem estática por eixo, pesagem dinâmica com instalação fixa, e, por último, o sistema de pesagem dinâmica portátil.

É permitida a tolerância máxima de 5% sobre os limites do peso bruto total (PBT) e 7,5% sobre os limites do peso bruto total transmitido por eixo de rodagem. Caso o excesso seja superior a estes limites, haverá autuação sobre o peso excedente. A carga em excesso deverá ser remanejada ou ser efetuado transbordo, de modo a que os excessos por eixo sejam eliminados, o veículo só poderá prosseguir ao sanar a irregularidade. No ANEXO I estão relacionadas o total de multas aplicadas pela ANTT (2005).

A vibração do sistema de pesagem interfere no valor de medição do instrumento de pesagem. Os principais fatores que originam esta vibração são: forças provenientes da massa do veículo em deslocamento, problemas da suspensão dos veículos, variações de pressão dos pneus, aspectos construtivos, instabilidade dos equipamentos e desnivelamento da pista de aproximação.

A pesagem de veículos rodoviários em movimento representa uma atividade de impacto no setor de transporte, já que através dela é possível evitar a sobrecarga dos veículos e contribuir para a conservação das estradas. Considerando a magnitude no Brasil do transporte rodoviário o qual, segundo o IBGE (2005) no ano de 2001, apresentou a receita operacional líquida de aproximadamente 36 bilhões de reais no transporte de carga, contra pouco mais de 13,6 bilhões do setor de transporte aéreo no país, como mostrado na tabela 1.

Tabela 1 - Receita operacional bruta do setor de transporte em 2001 [IBGE, 2005]

Tipo de transporte	Transporte ferroviário e metroviário	Transporte rodoviário		Transporte aquaviário	Transporte aéreo
		Passageiros	cargas		
Receita em R\$	2 881 756 000	16 302 692 000	20 412 029 000	3 985 661 000	13 627 863 000

O Brasil tem uma área de 8.514.215,3 km², o que o coloca como o maior país da América do Sul e o quarto maior país do mundo em terras contínuas. As medidas entre seus pontos extremos são de 4.394,7 km no sentido norte-sul e 4.319,4 km no sentido leste-oeste IBGE (2007). Essas dimensões continentais dão idéia da importância do sistema de transporte para a economia do país. Conforme a CNT (2007a) o sistema de transporte rodoviário é o mais utilizado participando em 61,1% do transporte de cargas nacional.

A carga por eixo, ou conjunto de eixos, do caminhão acima do tolerável acarreta desgaste excessivo no asfalto, principalmente durante o período de chuvas onde o pavimento torna-se mais propenso ao desnivelamento devido à erosão provocada pela força dos pneumáticos sobre o solo.

Além disso, o prejuízo da mercadoria transportada durante o trajeto da origem até o destino da carga devido aos problemas de buracos e desníveis nas rodovias a carga pode sofrer deformações acarretando quebras e danos. Nos casos de alimentos perecíveis pode ocorrer a perda de parte da carga, além do tempo de transporte influenciar nas condições de consumo do produto transportado.

O aumento do preço do frete com as perdas descritas nos itens anteriores o preço do transporte sofre acréscimo, sendo o mesmo objeto de reajustes para a compensação de gastos com o veículo devido à manutenção, seguro, renovação da frota e aumento do tempo de duração do frete.

Considerando as novas características do tráfego nacional, em relação ao volume de caminhões acrescido pelas exportações e a nova formação da frota nacional composta por veículos mais modernos de até nove eixos, com maior capacidade de carga, há uma nova condição de utilização das rodovias nacionais.

Entretanto, a aplicação dos instrumentos de pesagens requer a escolha correta de acordo com a finalidade de uso e a capacidade do equipamento de proporcionar o nível de confiabilidade desejado para a atividade estipulada. Para a análise da confiabilidade destes instrumentos deve-se considerar a escolha dos procedimentos metrológicos adequados às características do objeto de apreciação.

Espera-se que o sistema de pesagem rodoviária deva sofrer uma evolução nos próximos anos devido ao investimento em concessões de rodovias e com a preocupação de fiscalização das estradas. Além disso, os investimentos financeiros aplicados na conservação das estradas acabam por exigir o controle de peso dos veículos. Tendo como principal tendência o aumento do número de instrumentos instalados. Também como tendência o aumento do número de postos de pesagem e a modernização de instrumentos de medição utilizando ao mesmo tempo diferentes formas de fiscalização.

Portanto, todos estes fatores representaram a motivação para o desenvolvimento deste trabalho referente ao estudo dos aspectos da confiabilidade das medições registradas nos sensores instalados no pavimento. Para tanto, considera-se como hipótese a investigação de utilização de ferramentas estatísticas, descritivas, análise de incertezas aplicando Monte Carlo para verificação do nível de exatidão das medições, como contribuição ao estudo de confiabilidade dos processos de pesagem nas rodovias.

Objetivo Geral

- Este trabalho tem como objetivo analisar o processo do sistema de medição do peso de veículos nas rodovias e avaliar os procedimentos de medição de peso de veículos de carga em movimento, através de uma pesquisa exploratória em postos de pesagem.

Objetivos Específicos

- Investigar as diferentes variáveis que interferem na pesagem de veículos rodoviários;
- Avaliar os sistemas de pesagem no Brasil;
- Avaliar os procedimentos de medição de peso de veículos de carga em movimento, através de uma pesquisa exploratória em postos de pesagem.

Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho teve por objetivo dar o embasamento científico necessário para as diferentes aplicações metrológicas da pesagem dinâmica de veículos, considerando os aspectos da medição da massa transportada pelos automotores e em relação ao controle dos próprios instrumentos de pesagem.

Quanto ao tipo de pesquisa, o presente trabalho caracteriza-se por uma pesquisa descritiva e exploratória, utilizando-se de levantamentos bibliográficos por meio de fontes primárias e secundárias.

A análise desenvolvida através de uma revisão bibliográfica dos últimos anos expõe: alguns aspectos e conceitos básicos de dimensionamento de vias públicas, os tipos de veículos rodoviários, os problemas relacionados ao desgaste do pavimento resultante do excesso de peso dos veículos, redução da vida útil das estradas, a capacidade de transporte de veículo, custos de acidentes de trânsito.

Outro ponto de destaque deste trabalho é a utilização da ferramenta de análise de incertezas pelo método de Monte Carlo nas ferramentas de análise da confiabilidade dos dados levantados nos instrumentos de medição.

Também é abordado neste trabalho o planejamento da pesagem de veículos, que é inteiramente relacionada ao plano viário das rodovias, sendo estabelecida a aplicação dos instrumentos de pesagem no monitoramento da carga transportada pelos veículos.

Para a realização desta pesquisa desenvolveu-se um modelo de análise da confiabilidade da pesagem dinâmica gerando um plano de medição, definindo séries de testes de pesagens, simulando a pesagem de diferentes veículos de cargas representativos da frota nacional, em dois postos de pesagem localizados em rodovias federais. A figura 2 apresenta de forma esquematizada a seqüência utilizada na metodologia da pesquisa. Os veículos foram submetidos às medições em instrumentos de pesagens portáteis, tipo de equipamento que registra o grau de confiabilidade mais crítica, de menor exatidão para utilização em fiscalização do peso de veículos.

No trabalho foram aplicados tanto os conhecimentos adquiridos no contexto acadêmico, como a experiência vivenciada pelo autor deste trabalho no Inmetro, na análise da confiabilidade de instrumentos de pesagem.

METODOLOGIA DA PESQUISA

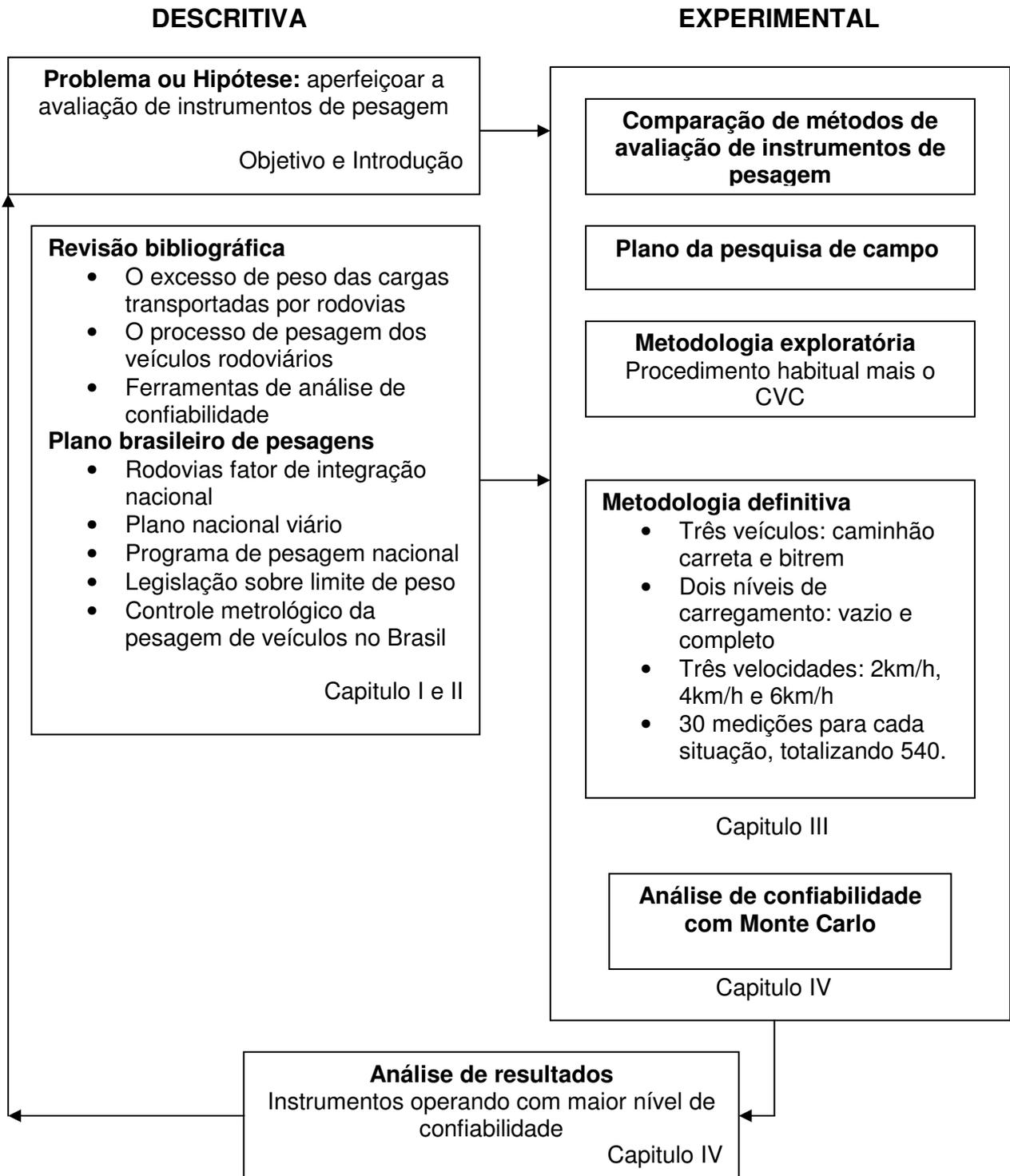


Figura 2 - Representação da metodologia utilizada neste trabalho

Organização do Trabalho

No primeiro capítulo é feita uma revisão bibliográfica considerando os principais aspectos relativos ao tema, sobre o desgaste das vias, acidentes nas estradas, sendo discriminada a forma utilizada para a prevenção do excesso de peso utilizando a pesagem de veículos. É apresentado o dimensionamento das estradas, segundo os critérios do DNER e AASHTO, onde está destacado o fator da carga por eixo de veículos. São apresentadas as principais formas de medição de massa, destacando os instrumentos utilizados para a medição do peso dos veículos, de forma estática, estática por eixo e dinâmica por eixo. De forma detalhada são demonstrados os principais fatores de influência na atividade de controle e monitoramento do peso de veículos nas rodovias.

Em seguida, no segundo capítulo é comentado o plano de pesagem brasileiro, considerando o plano viário e os planejamentos estratégicos de pesagem e os aspectos legislativos que abordam o tema no Brasil. Discorre-se sobre os aspectos históricos da pesagem de veículos na rodovia, e sobre as recentes mudanças na legislação de controle de peso.

No terceiro capítulo é feita a avaliação da pesagem dinâmica considerando os aspectos metrológicos, onde são analisadas as variáveis que interferem na pesagem. É descrita a metodologia aplicada para a determinação da influência dos fatores considerados para estimar o peso dos veículos em movimento nas estradas. As cooperações na obtenção de dados e realização de experimentos do INMETRO, IMEPI e ANTT. Apresentada a análise dos experimentos de pesagem de veículos em balanças dinâmicas instaladas em praças de pesagens, a aplicação da análise de incertezas e o método de simulação, combinação aleatória, de distribuição de probabilidade de Monte Carlo.

Na análise dos resultados está apresentada a discussão dos valores levando em consideração as diferentes formas de avaliação dos resultados e a aplicação dos instrumentos de pesagens. Estão descritos argumentos que justificam a introdução de sistemas de controle de peso de forma estratégica para o monitoramento de possíveis veículos com excesso de peso e sistemas eficazes de fiscalização com o devido controle metrológico.

Nas considerações finais verifica-se que as ferramentas metrológicas aplicadas aos conceitos de confiabilidade apresentadas nesta pesquisa podem ser aplicadas aos instrumentos de pesagens de forma a atender a demanda dos novos veículos. Se considerado este aspecto na calibração e na manutenção dos sistemas de pesagem de veículos em movimento, para proporcionar maior confiabilidade no controle de peso dos veículos e conseqüentemente na diminuição do desgaste das vias e na redução de acidentes de trânsito.

I - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A economia brasileira se expandiu através da exploração de recursos primários, acessíveis através de vias (rodovias e ferrovias) que confluem aos portos seguindo os ciclos agrícolas e de mineração, com a rede implantada (ao longo do litoral brasileiro) e o mesmo acontecendo com as principais cidades. No período entre o fim da II Guerra Mundial até 1970, o desenvolvimento do sistema de transporte é caracterizado pelo desenvolvimento acelerado, do subsistema rodoviário, conjugado com uma crise aguda nos subsistemas ferroviários e de navegação costeira e sem esquecer do descaso ou quase abandono das vias fluviais.

O transporte rodoviário contou, também, a partir de 1945, com sucessivas medidas adotadas pelo Governo Federal para fortalecer as bases institucionais e financeiras de apoio ao transporte rodoviário, com a criação do Fundo Rodoviário Nacional, em 1947, CNT Confederação Nacional dos Transportes em (1992) mecanismo estável e auto-sustentado de financiamento da expansão e melhoria do sistema rodoviário. O período de maior crescimento industrial brasileiro (1950-1975) caracterizou-se por uma ampliação da infra-estrutura rodoviária, tendo em vista seu menor custo de construção por quilômetro, os menores prazos de maturação e retornos dos investimentos e a sua maior adequação ao atendimento dos fluxos de mercadorias territorialmente dispersos, BROCHADO (1996). Além disso, o petróleo barato, a necessidade de rápida incorporação de novas fronteiras de produção ao desenvolvimento industrial, assim como, a implantação da indústria automobilística, fizeram as decisões penderem predominantemente para as soluções rodoviárias.

Em 1987, segundo o GEIPOT, o Brasil possuía uma extensão total de rodovias pavimentadas de 123 mil quilômetros, em 1994 esse número subiu para 157,3 mil quilômetros, chegando a 164.988 km em 2000, conforme o demonstrado no ANEXO II, onde esta apresentada a evolução do quantitativo da extensão das vias nacionais de acordo com os estados e regiões nacionais. Os dados da Confederação de Transporte Terrestre identificam entre (1999 e 2001) 165 mil e 173 mil quilômetros de rodovias pavimentadas respectivamente. A esse último deve se acrescer cerca de 1,56 milhão de quilômetros de estradas não pavimentadas. Segundo a CNT (2007a), o total das rodovias nacionais chega a mais de 1,6 milhão de km de extensão, sendo apenas 196.094 pavimentadas.

Hoje a rede rodoviária nacional se apresenta bastante deteriorada, com extensos trechos necessitando de recursos maciços para a sua recuperação. Esta situação prejudica o transporte rodoviário de mercadorias, aumentando os tempos de viagem e encarecendo os custos operacionais.

I.1 - O EXCESSO DE PESO DAS CARGAS TRANSPORTADAS POR RODOVIA

Transportar significa deslocar especialmente pessoas ou coisas de um ponto A para um ponto B. Nesse conceito não aparecem, de forma explícita, outros fatores condicionantes além da exigência pura e simples de deslocar especialmente o carregamento em questão ALVARENGA e NOVAES (2000).

Os problemas de distribuição e logística requerem soluções sistêmicas que, segundo NOVAES (1986) envolvem decisões de naturezas diversas dentro da empresa. Na avaliação das alternativas de solução para o problema de distribuição e logística, aparecem, quase sempre, variáveis quantitativas, junto com variáveis qualitativas. Se todas as variáveis pudessem ser convertidas num único valor resultante, quantificável, a comparação entre as alternativas seria bastante mais fácil. Não é o que acontece, no entanto, na maioria das situações reais. Além dos fatores preferenciais dos usuários, são ainda determinantes da escolha modal os objetivos da viagem e os aspectos técnico-econômicos intrínsecos a cada modalidade, ligados à capacidade, das vias e dos terminais.

A modalidade de transporte rodoviário é bastante diferente das demais. Se de um lado, quase sempre é necessária a utilização do transporte rodoviário para complementar outras modalidades, que em raras exceções podem fazer o trajeto completo, de outro lado, a competição entre os próprios transportadores rodoviários é muito acirrada.

A vantagem competitiva do transporte rodoviário é a sua flexibilidade, que pode ser resumida em três fatores, de acordo com BALLOU (1995) “(1) o serviço porta a porta, de modo que não é preciso carga ou descarga entre origem e destino, como freqüentemente ocorre com os demais modos; (2) a freqüência e disponibilidade dos serviços e (3) sua velocidade e conveniência no transporte porta a porta”.

Com uma fatia do mercado de cargas, em 2006, de cerca de 61,1% do total de toneladas/quilômetro na matriz de distribuição modal, conforme a CNT (2006a), no Brasil o transporte rodoviário tem uma participação que não é encontrada em outros países, de mesmas dimensões continentais. Enquanto o transporte ferroviário adota uma estratégia de enfoque em cargas agrícolas e minerais, o transporte rodoviário tem demanda em todas as quantidades e distâncias para os demais tipos de cargas.

A maior preocupação é decorrência da necessidade de reduzir custos de estoque, pressões para reduzir prazos de entrega (exigência do mercado, concorrência), diversificação da produção, entre outros fatores. Tal enfoque vem cada vez mais exigindo do setor transporte novas estratégias na logística da distribuição da produção. Segundo NOVAES (1986), o objetivo do sistema transporte de carga é o deslocamento de bens de um ponto para outro da rede logística, respeitando as restrições de integridade de carga e de confiabilidade.

No que se refere às características ou parâmetros da carga, os principais elementos a considerar são os seguintes: peso e volume; densidade média; dimensões da carga;

dimensões do veículo; grau de fragilidade da carga; grau de perecibilidade; nível de periculosidade; estado físico; assimetria; compatibilidade entre cargas diversas; o peso é um elemento importante, pois, dependendo de sua ordem de grandeza, haverá ou não a necessidade de equipamentos especiais para carga/descarga.

O volume está associado ao peso da carga através da densidade. Para cargas leves aparece o problema de se aproveitar ao máximo o espaço útil do veículo.

As dimensões das unidades de carga constituem outro elemento importante, quando relacionadas com as dimensões da carroceria do veículo. Se as unidades forem pequenas em relação à carroceria, as possibilidades do arranjo e de aproveitamento de espaço serão maiores.

O grau de fragilidade se aplica aos produtos que tem facilidade de se quebrar como: vidros, eletrodomésticos, louças, cristais e objetos de cerâmica, que exigem embalagens e cuidados especiais, além de um arranjo adequado dentro do veículo. Os perecíveis são mercadorias que se deterioram rapidamente com o tempo, como também, produtos que se tornam obsoletos em prazos curtos.

Os níveis de periculosidade são para as cargas que podem colocar em risco a saúde de pessoas por serem perigosas, podendo também prejudicar o meio ambiente, se derramadas no solo ou em cursos d'água. Alguns tipos de carga apresentam dimensões e formas muito diferentes, gerando assim um contorno com forte assimetria, que acaba dificultando o arranjo no caminhão. O estado físico da carga está associado à forma de manuseio. Outra característica da carga é a compatibilidade entre produtos de natureza diversa, em termos físicos, odoríferos, etc.

Segundo ALBANO (1998), num estudo realizado em um simulador de tráfego, uma pista simples pode sofrer uma redução de até 80%, da sua vida útil, quando os excessos de carga ultrapassam 20% da carga prevista no seu projeto. No Brasil, uma observação é constante, de que boa parte da malha rodoviária composta de pavimentos flexíveis, vem apresentando fadiga mecânica gerada pela contínua solicitação dinâmica do tráfego atuante. De acordo com levantamento da CNT (2006b) em pesquisa realizada nas estradas no país 54,6% das estradas apresentam estado ruim, péssimo, ou regular.

O excesso de peso dos veículos contribui com prejuízos para a sociedade, pois, as estradas danificadas provocam acidentes, mortes e retardam as viagens. Além disso, o excesso de peso danifica seriamente a suspensão de caminhões, sua capacidade de transporte, a durabilidade do sistema de freios e prejudica a direção gerando desgastes prematuros nos pneus.

A carga distribuída nos eixos dos caminhões, acima do limite tolerável, acarreta um desgaste excessivo no asfalto, principalmente durante o período de chuvas quando o

pavimento torna-se mais propenso ao desnivelamento devido à erosão provocada pela força dos pneus sobre o pavimento e este sobre o solo.

Segundo FERNANDES (1994) em pesquisa realizada em 1994, os caminhões trafegam com sobrecarga de 10 a 30%. Entretanto, onde é aplicada a fiscalização sobre o limite de peso o percentual de excesso é reduzido para 5%.

I.1.1 - O dimensionamento de vias públicas

Segundo o DNER (1996) uma rodovia pode ser imaginada como sendo um ente físico, no qual prevalecem as dimensões longitudinais, sendo seus elementos referenciados geometricamente a uma linha fluente e contínua.

Os elementos geométricos da rodovia são geralmente representados no projeto em planta num plano horizontal e vertical. O objetivo principal do projeto em planta é definir a geometria da linha que representa a rodovia, denominada de *eixo da rodovia*. Noutra fase, define-se o projeto em perfil, com o dimensionamento dos elementos geométricos da rodovia segundo um plano vertical; atente-se para o fato de que não se trata de uma *projeção vertical* propriamente dita, pois o plano vertical de referência para fins de projeto é obtido pelo rebatimento da superfície cilíndrica gerada por uma reta que se desloca ao longo do eixo da rodovia, perpendicularmente ao plano horizontal. No projeto em perfil, o objetivo principal é definir a geometria da linha que corresponde ao eixo da rodovia representado no plano vertical, linha esta que é denominada *greide da rodovia* (ou *grade*, do original em inglês).

Para uniformização e facilidade de referência, apresenta-se, com base na figura I.1 a denominação técnica dos principais elementos constituintes de uma rodovia em pista simples, com destaque para aqueles de maior interesse para o projeto geométrico, são a plataforma, o talude, faixa de trânsito, o acostamento, entre outros.

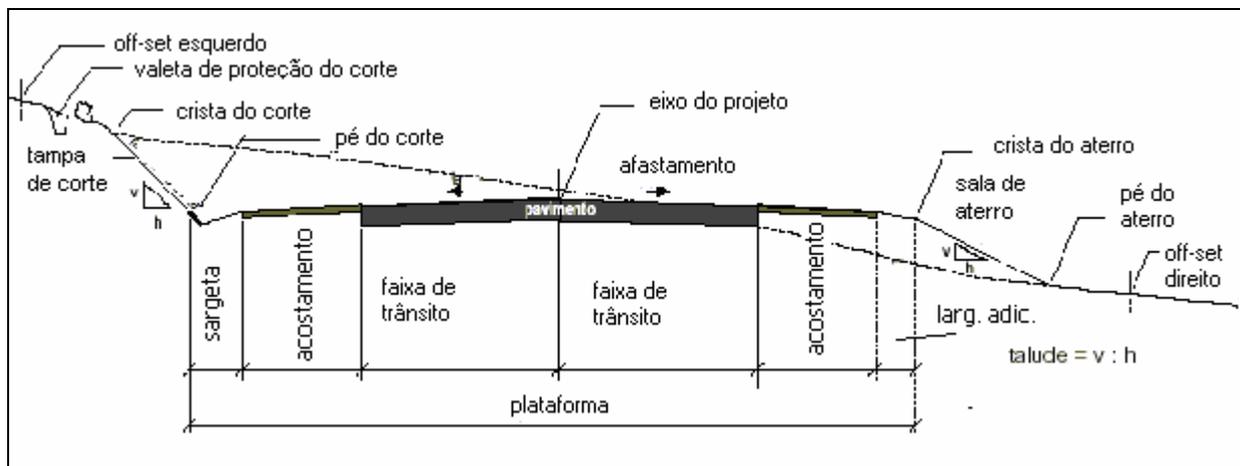


Figura I.1 - Elementos da seção transversal para rodovia em pista simples [DNER, 1996]

As estradas são constituídas por subleito, base, sub-base e revestimento, conforme mostrado na figura I.2. O pavimento é um sistema de camadas, sujeito às cargas dos veículos, construída após a terraplanagem que possui uma função estrutural, correspondente à capacidade de carga da via. Este elemento é o que dita o dimensionamento da via.

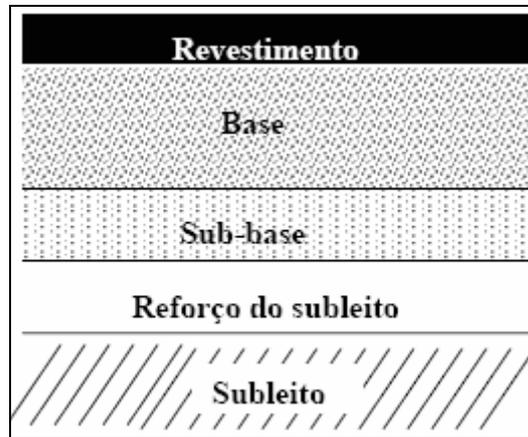


Figura I.2 - Estrutura do pavimento de uma rodovia [SÁ, 2003]

Porém, mais do que calcular espessuras, dimensionar é calcular espessuras de um conjunto de camadas que trabalham juntas e, portanto, é necessário que os materiais utilizados na construção da via sejam compatíveis. A escolha dos materiais e das suas respectivas espessuras deve ser feita em função de:

- Tráfego esperado (período de projeto);
- Clima;
- Condicionantes particulares;
- Subleito;
- Topografia;
- Drenagem;
- Técnicas construtivas,
- Critérios de ruptura (como definir vida útil) do pavimento.

A não observação destes procedimentos, por vezes, provoca deformações e o enrugamento do asfalto (camaleões), bem como, as fissuras (rachaduras) e as rupturas (esburacamentos).

O pavimento e sua base possuem um limite de suportabilidade às cargas que nele transitam e o contínuo esforço de resistência à rolagem dos pneus causa-lhe “fadiga”, ou seja, desgasta a sua capacidade de resistência.

A modelagem da estrutura do pavimento é complexa devido a fatores ligados à grande variação das características físicas dos materiais envolvidos, à difícil simulação e previsão do carregamento a que a estrutura estará submetida ao longo de sua vida útil e ainda, às

interferências dos fatores climáticos no comportamento e nas características dos materiais componentes da estrutura.

A avaliação da resistência de uma determinada estrutura de pavimento, segundo os aspectos mecânicos consiste exatamente em se testar a estrutura proposta, através de simulações.

Segundo as premissas da teoria de elasticidade, faz-se a avaliação das tensões atuantes e das deformações ocorridas, a partir da relação entre as duas, e assim chega-se a melhor configuração estrutural possível, ou seja, a partir desta avaliação, são definidas as camadas e as espessuras que irão compor o pavimento em estudo.

A análise é realizada mediante o equilíbrio entre os esforços (tensões & deformações) que são impostos pelas cargas de tráfego e a capacidade resistente dos materiais que constituem a estrutura, representados pelo módulo de Resiliência e do Coeficiente de Poisson.

Segundo a NBR 7207/82 (1982) o pavimento em seu conjunto tem a função de:

- Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

Na figura I.3, apresenta-se um fluxograma proposto por MOTTA (1991) no qual são elaboradas etapas que orientam o dimensionamento mecânico da estrutura dos pavimentos.

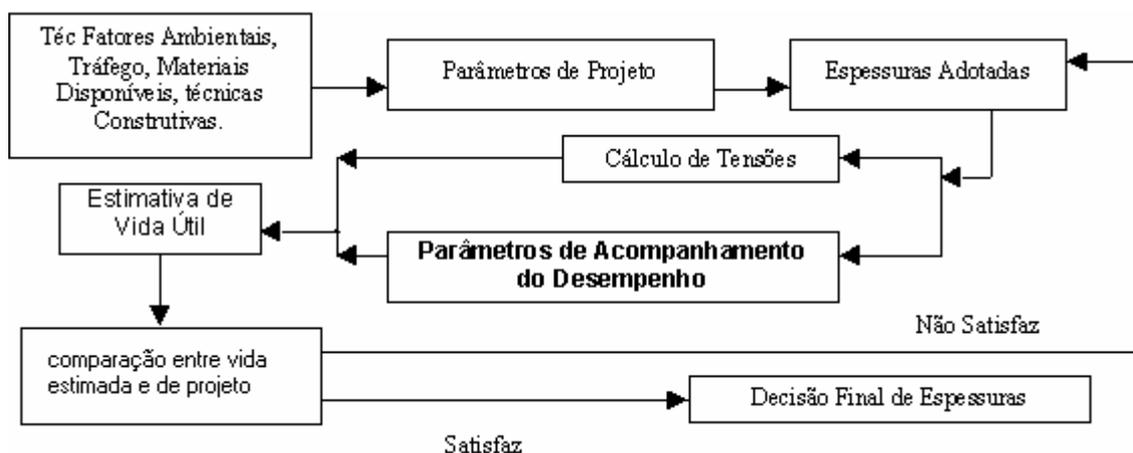


Figura I.3 - Fluxograma de dimensionamento mecânico [MOTTA,1991]

No fluxograma apresentado, verifica-se que é necessário ter como entrada, os dados relativos ao clima do local onde o pavimento vai ser construído, dos dados relativos aos materiais disponíveis para cada camada, e do tipo de material do subleito, além dos dados do tráfego e dos dados dos métodos construtivos.

A etapa do fluxograma relativa ao cálculo das tensões refere-se às oriundas da carga de tráfego imposta à estrutura a partir da repetição do eixo padrão de 8,2 t e ao cálculo das deformações, função dessas tensões, geradas também na estrutura, segundo o manual de pavimentação do DNER (1996).

As metodologias atualmente em uso para o cálculo deste dimensionamento consideram os materiais segundo dois comportamentos distintos de tensão-deformação: comportamento elástico linear e comportamento elástico não linear.

Segundo o manual de pavimentação do DNER (1996), o pavimento é dimensionado em função do número equivalente (N) de operações de um eixo estabelecido como padrão, durante o período de projeto escolhido. O manual apresenta os fatores de equivalência de operação entre eixos simples e em tandem, com diferentes cargas e o eixo simples padrão com carga de 8,2 t (18.000lbs).

Sendo v_m o volume médio diário de tráfego no ano de abertura, em um sentido e admitindo-se uma taxa de $t\%$ de crescimento anual, em progressão aritmética, no período de P anos, conforme as expressões das equações (I.1) e (I.2):

$$v_m = \frac{v_1[2 + (P-1)t/100]}{2} \quad (I.1)$$

O volume total de tráfego, (num sentido) durante o período, será:

$$v_t = 365 \times P \times v_m \quad (I.2)$$

Admitindo-se uma taxa $t\%$ anual em progressão geométrica, o volume total do tráfego, v_t durante o período é dado pela equação (I.3):

$$v_t = \frac{365v_1[(1+t/100)^P - 1]}{t/100} \quad (I.3)$$

Conhecendo v_t , calcula-se N, que é o número equivalente de operações do eixo simples padrão durante o período de projeto e o parâmetro de tráfego usado no dimensionamento, conforme as equações (I.4) e (I.5).

$$N = v_t \cdot (F.E.) \cdot (F.C.) \quad (I.4)$$

$$(F.E.) \cdot (F.C.) = F.V. \quad (I.5)$$

F.E. é um fator de eixos, isto é, um número que, multiplicado pelo número de eixos que operam, resulta o número de eixos correspondentes. F.C é um fator de carga, isto é, um número multiplicado pelo número de eixos que operam, corresponde ao número de eixos equivalentes ao eixo padrão. F.V. é um fator de veículo, isto é, um número que multiplicado pelo número de veículos que operam, dá, diretamente, o número de eixos equivalentes ao eixo padrão.

Para o cálculo de F.E., F.C. e F. V., é necessário conhecer a composição de tráfego. Para isto, é necessário fazer uma contagem do tráfego na estrada considerada, analisando-se um certo volume de tráfego, (para o período de amostragem). Faz-se a contagem do número total de eixos, e pesam-se todos esses eixos. Na figura I.4 mostram-se os gráficos de fator de carga em função dos eixos utilizados pelo DNER (1996).

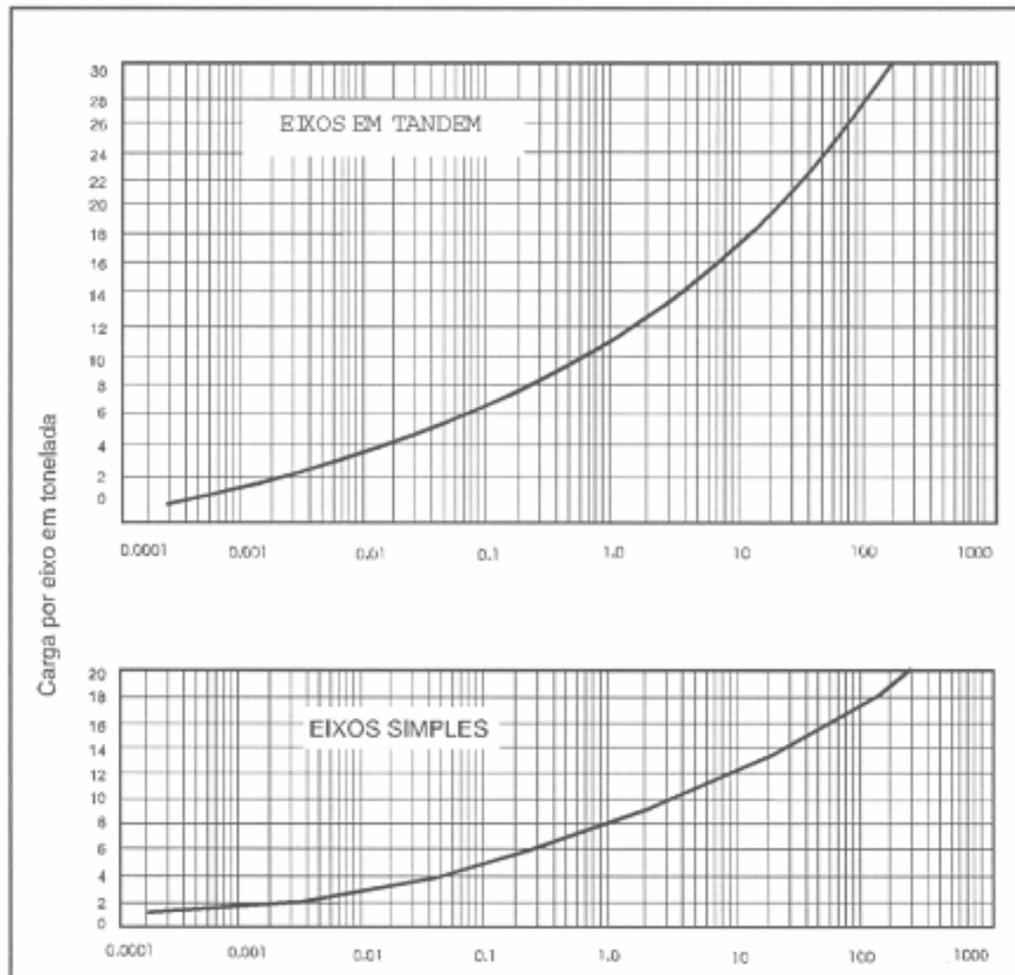


Figura I.4 - Gráfico de fator de carga [DNER,1996]

Segundo ALBANO (1998), inicialmente considerou-se o efeito do excesso de carga dos caminhões que é calculado, utilizando a equação (I.6):

$$FEC_i = (W_i / W_p)^b \quad (I.6)$$

Onde:

FEC_i: fator equivalente de carga primeiro método

W_i: carga por eixo genérico

W_p: carga por eixo tomada como padrão 82 kN

b: é um expoente, próximo de 4.

Conforme AASHO (1993), passou-se a considerar a relação da equação (1.7) para o cálculo do eixo equivalente, para pavimentos flexíveis:

$$LEF_{L,n} = \frac{W_{t18,1}}{W_{t_{in}}} = \left[\frac{(L_i + n)^{4,79}}{(18 + 1)^{4,79}} \right] \left[\frac{10^{\frac{G}{\beta_{18,1}}}}{\left(10^{\frac{G}{\beta_{i,n}}} \right) (n^{4,331})} \right] \quad (1.7)$$

$LEF_{L,n}$ = fator equivalente de carga segundo método, número 18000 lb por carga de eixo isolado aplicada, equivalente a uma carga L, para um tipo n de eixo, correspondente a uma flexibilidade do pavimento SN e durabilidade p_t .

L_i = carga i para o tipo de eixo considerado, lb/1000,

n = código de tipo de eixo

Segundo os padrões AASHTO (1981), indicados para pavimentos flexíveis, a influência dos fatores relacionados aos aspectos construtivos como o volume de tráfego e durabilidade estão relacionados com a carga por eixos, conforme demonstrado através das equações (1.8), (1.9) e (1.10):

$$\log W_t = 5,93 + 9,36 \log(\overline{SN} + 1) - 4,79 \log(L_1 + L_2) + 4,33 \log L_2 + \frac{G_t}{\beta} \quad (1.8)$$

$$\beta = 0,40 + \frac{0,08(L_1 + L_2)^{3,23}}{(\overline{SN} + 1)^{5,19} L_2^{3,23}} \quad (1.9)$$

$$G_t = \log \left[\frac{4,2 - p_t}{4,2 - 1,5} \right] \quad (1.10)$$

W_t = Número de carga por eixos, com dois pneus, no período de tempo t;

\overline{SN} = Número estrutural, índice derivado do volume de tráfego e condições da estrutura das vias, espessuras e material de construção;

L_1 = carga por eixo simples ou em tandem, lb/1000;

L_2 = código de tipos de eixos, 1 para eixo simples e 2 para conjunto em tandem;

β = função do projeto e influência da variação de carga e da curva P e W, curva de durabilidade;

G_t = função da perda de durabilidade relativa ao ponto, onde $p_t = 1,5$;

p_t = durabilidade no final do tempo

Durabilidade é a propriedade do pavimento para o tempo da observação de serviço para alta velocidade e grande volume de tráfego de caminhões.

O corpo de pesquisa em transporte da academia americana dos E.U.A, através da circular E-C079 (2005), publica informações sobre o procedimento de calibração de carga e dos fatores de resistência, aplicados ao limite geotécnico do projeto das vias, utilizando testes de hipótese através da ferramenta de Monte Carlo, conforme as perspectivas de projeto desenvolvidas pela AASHTO (2004), representada na equação (I.11) é a referência para o cálculo do limite de resistência das vias:

$$\sum \gamma_i Q_{ni} \leq \varphi R_n \quad (I.11)$$

Onde:

$\gamma =$ é o fator de carga;

$Q_{ni} =$ componente de carga específico;

$\sum \gamma_i Q_{ni} =$ somatório dos fatores de carga aplicados no estado limite considerado.

$\varphi =$ fator de resistência;

$R_{mn} =$ limite de resistência mecânica nominal.

Para se estabelecer uma relação matemática entre as variáveis relacionadas na calibração, desenvolve-se a equação (I.12), com o objetivo de facilitar as interações de valores para a estrutura geométrica estabelecida.

$$\varphi_R R_n - \gamma_Q Q_n \geq 0 \quad (I.12)$$

$R_{mn} =$ valor de resistência mecânica nominal

$Q_n =$ valor de carga nominal

$\varphi_R =$ fator de resistência

$\gamma_Q =$ fator de carga

Considerando-se a equação (I.12) para o estado limite da equação anterior, são inseridos valores aleatórios para as variáveis correspondentes na equação (I.13):

$$g = R - Q \geq 0 \quad (I.13)$$

Onde:

$g =$ variável aleatória para a representação da margem de segurança

$R_m =$ variável aleatória para representação da resistência mecânica

$Q =$ variável aleatória para representação da carga

Onde o nível de confiança da relação entre a resistência e a carga é representado por β , equação (I.14):

$$\beta = \frac{1}{COV_g} \quad (I.14)$$

COV_g = coeficiente de variação da função g .

Também se considera β , sendo segundo a equação (I.15), como:

$$\beta = \frac{\bar{R} - \bar{Q}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}} \quad (I.15)$$

Onde:

\bar{R} = média dos valores de resistência

\bar{Q} = média da carga

σ_R^2 = desvio padrão da resistência

σ_Q^2 = desvio padrão da carga

Portanto, demonstrado que além da carga por eixos, o tipo de veículos componentes da frota nacional é importante para o dimensionamento da rodovia. Sendo o subitem a seguir relacionado aos veículos de transporte de carga.

I.1.2 - Veículos de transporte de carga rodoviários

O objetivo do sistema transporte de carga é o deslocamento de bens de um ponto para outro da rede logística, respeitando as restrições de integridade de carga e de confiabilidade. A confiabilidade do sistema, no que se refere às características ou parâmetros da carga, considera os principais elementos: peso e volume; densidade média; dimensões da carga; dimensões do veículo; grau de fragilidade da carga; grau de perecibilidade; nível de periculosidade; estado físico; assimetria; compatibilidade entre cargas diversas.

A classificação técnica de uma rodovia (ou do projeto de uma rodovia) é feita, segundo os critérios estabelecidos pelo DNER (1996), com base em dois parâmetros principais: o volume de tráfego a ser atendido pela rodovia, e o relevo da região atravessada. O volume de tráfego em uma seção ou em um trecho de uma rodovia é, por definição, o número de veículos que passa pela seção ou pelo trecho, em um dado intervalo de tempo, sendo a sua grandeza, a que expressa a demanda de cada rodovia.

Considerando que o peso dos veículos de carga rodoviária é objeto de análise, respeitando as restrições de integridade de carga e de confiabilidade para o deslocamento de bens de um ponto para outro da rede logística, apresentam-se na tabela I.1 em valores percentuais relacionados aos tipos de veículos, considerando a silhueta que compõem a frota

nacional, no ANEXO III estão os percentuais em cada posto de contagem conforme a pesquisa realizada pelo CENTRAN em 2006. Na tabela I.2 estão apresentados os demais veículos que compõe a frota nacional, CENTRAN - PDNEP (2006). No ANEXO IV estão apresentadas as descrições detalhadas dos veículos, conforme o DNIT (2006).

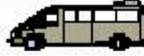
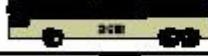
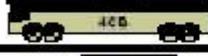
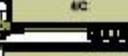
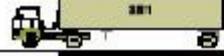
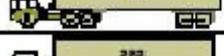
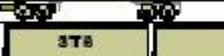
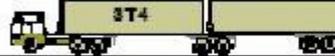
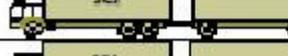
Tabela I.1 - Composição média da frota brasileira [CENTRAN - PDNEP, 2006]

Tipos de Veículos	Motos	Caminhões Reboques	Caminhões semi-reboques especiais	Caminhões Semi-reboques	Caminhões leves	Ônibus	Passeio e leves
Percentual	3,84	0,21	3,39	15,80	18,62	4,27	53,62

Os veículos semi-reboques compõem as chamadas carretas e participam da composição dos veículos combinados. Conforme NETO e SETTI (1996) a existência de caminhões mais lentos que os automóveis, em tráfego corrente, reduzem o nível de serviço e a capacidade da rodovia. No Brasil, os caminhões médios são os que, proporcionalmente, apresentam um maior impacto operacional, em virtude das características: mal conservação, excesso de carga e alta idade média da frota, o fator de equivalência de veículo MB2318 é ligeiramente inferior ao fator de equivalência de um treminhão T113E, apesar de sua capacidade de carga ser muito inferior a do treminhão. Entretanto, a restrição de velocidade do treminhão a 60km/h pode aumentar em até quatro vezes o seu impacto na capacidade e nível de serviço de uma rodovia simples. Nos trechos em aclives, devido à baixa relação potência/peso e a sobrecarga dos veículos há a formação de pelotões que agravam o problema de segurança de trânsito.

Assim, respeitando as restrições de integridade de carga e de confiabilidade do transporte rodoviário, e que, o dimensionamento de uma via pública é função do número de veículos que passa pela seção ou pelo trecho em um dado intervalo de tempo, sendo a grandeza que expressa a demanda que solicita a rodovia, destacam-se a seguir os principais conceitos sobre as forças atuantes nos veículos de carga rodoviários e conceitos de veículos de carga combinados os chamados CVC.

Tabela I.2 - Veículos rodoviários da frota nacional [CENTRAN-PDNEP, 2006]

TIPOS DE VEÍCULOS		
PASSEIO E LEVES		
		
		
ÔNIBUS		
		
		
CAMINHÕES	leves	
		
		
	semi-reboques	
		
		
		
		
		
		
	semi-reboques especiais	
		
		
	reboques especiais	
		
		
		
		
		
		
MOTOS		

a) Forças atuantes nos veículos

O manual técnico da fabricante de caminhões SCÂNIA (2007) mostra através de desenhos, as forças estáticas e dinâmicas que atuam em um veículo quando em movimento, durante a condução.

A concentração de tensões nos veículos durante a atuação de cargas dinâmicas, conforme representada na figura I.5, deve ser avaliada para evitar o rompimento da estrutura e a dificuldade de dirigibilidade, caso a superestrutura do veículo não seja calculada ou reforçada para a distribuição do carregamento de forma correta.

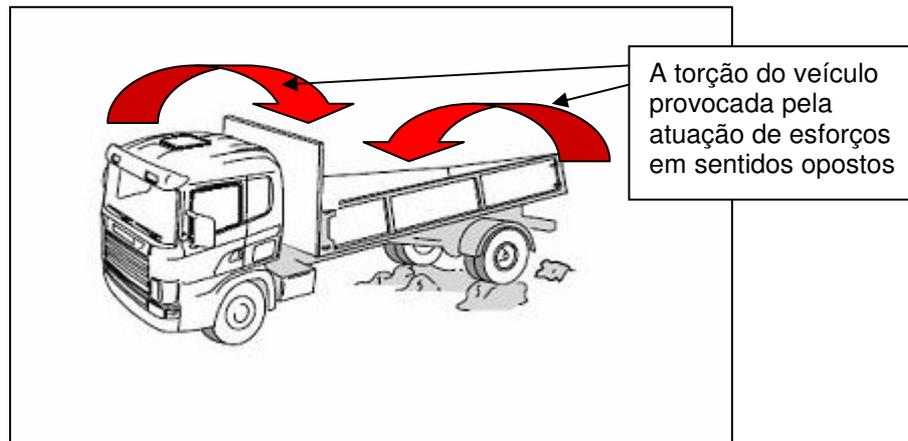


Figura I.5 - Atuação de forças dinâmicas [SCÂNIA, 2007].

Entretanto, as forças dinâmicas atuam em consequência dos "sobressaltos", que ocorrem em função das ondulações oriundas dos defeitos do pavimento. Estas forças dinâmicas variam basicamente de acordo com as condições do pavimento e a velocidade de condução do veículo.

Os veículos também sofrem a atuação de forças laterais, principalmente durante as curvas, em alguns casos atuam de forma mais concentrada na parte traseira do veículo, conforme demonstrado na figura I.6.

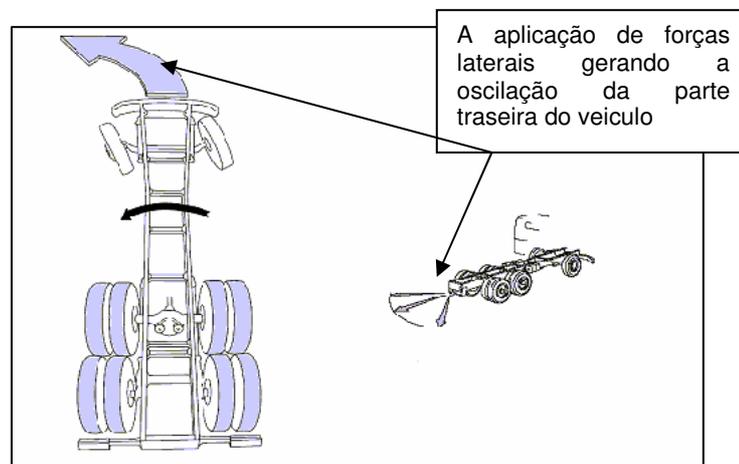


Figura I.6 - Aplicação de forças laterais na traseira do veículo [SCÂNIA, 2007]

A torção é uma força que, quando aplicada ao veículo de forma a provocar uma deformação, que conforme a estrutura ou reforço do veículo, pode ser de maior ou menor intensidade, variando conforme as irregularidades do piso como demonstrado na figura I.7.

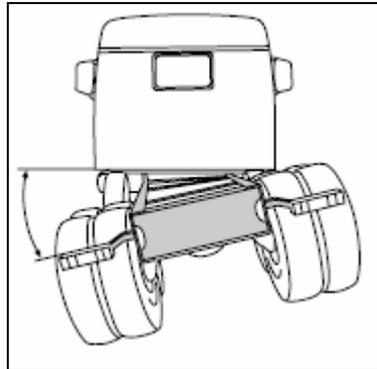


Figura I.7 - Os efeitos da força lateral gerando torção no chassi [SCÂNIA, 2007]

Nos veículos as diferenças entre os alinhamentos ou detalhes de construção podem gerar irregularidades na instalação das rodas, como mostrado na tabela I.3, que podem provocar impulsos horizontais e verticais levando o veículo as oscilações que também dependem da planicidade do pavimento. O piso, também pode gerar oscilações conforme mostrado nas figuras I.8, I.9 e I.10 nas diferentes partes do caminhão. Estas oscilações chegam a uma frequência de 6,0 a 6,5 Hz, na velocidade crítica de 70km/h. Para se evitar os "solavancos", devem-se reduzir as diferenças de alinhamento do veículo até que se atinjam níveis aceitáveis.

Tabela I.3 - As irregularidades que ocorrem no alinhamento das rodas [SCÂNIA, 2007]

	Irregularidade radial (mm) medida na faixa de rolamento	Irregularidade axial (mm) medida na ombreira
Roda dianteira	1	4
Roda traseira	1,0 – 2,0	4

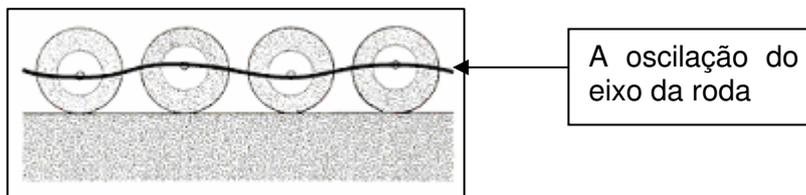


Figura I.8 - Modelo da oscilação do eixo da roda em pista plana [SCÂNIA, 2007]

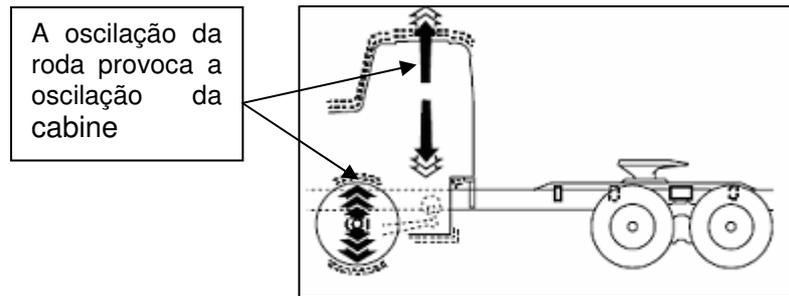


Figura I.9 - Efeito da oscilação das rodas na cabine do veículo [SCÂNIA, 2007]

O transporte de carga líquida, em veículo com tanques, ou cisternas, deve ser feito de forma a evitar o deslocamento em excesso, ou choques do líquido, com emprego de anteparos internos longitudinais e transversais à estrutura destinados a impedir o deslocamento brusco do líquido. A PORTARIA INMETRO 59/1993 regulamenta a construção de tanques de veículos para transporte de líquidos. Para os veículos de transporte de cargas perigosas e inflamáveis existe um conjunto de legislação específica que visa regulamentar os aspectos de segurança e proteção do consumidor.

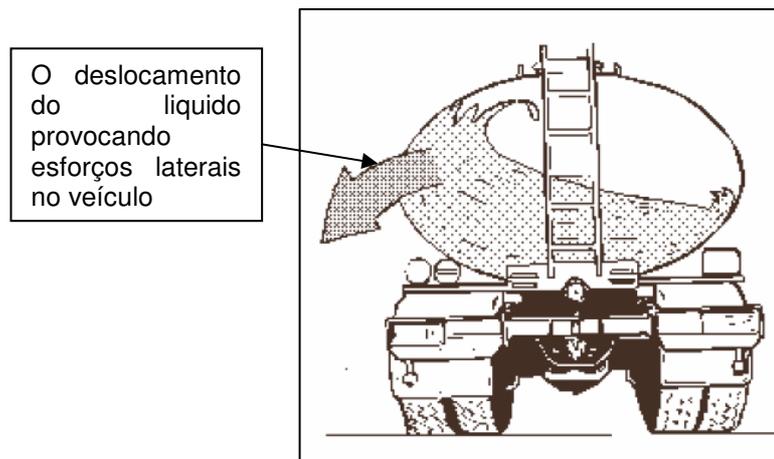


Figura I.10 - Veículo com tanque para carregamento de líquido [SCÂNIA, 2007].

b) Veículos CVC – combinação de veículos de carga

Considerando a modernização da frota de veículos rodoviários de carga, destina-se este subitem à abordagem dos CVC, combinação de veículos de carga, compostos por uma unidade tratora e mais duas ou três unidade comuns, semi-reboque ou reboque, conforme a tabela I.2.. Este tipo de veículo pode chegar ao peso de 77t na modalidade de nove eixos. No capítulo II, estão apresentados os aspectos legislativos do uso destes veículos.

STUCCHI (2005), afirma que quanto maior for a carga, maior deve ser o comprimento do veículo. Em avaliação sobre o impacto destes veículos sobre as obras de arte, pontes e

viadutos, o autor afirma que não devem ser considerados apenas os fatores de projeto, mas a qualidade e o estado de conservação da obra, e as condições reais as quais estão submetidas.

Conforme DOWELL (2005), os veículos CVC apresentam-se em participação crescente no quantitativo de veículos que trafegam nas rodovias nacionais. Em pesquisa realizada na AUTOBAN verificou-se, em agosto de 2002, a passagem de 17449 CVC e em agosto de 2005, a número de veículos chegou a 94160, em três anos, o registro aumentou mais de cinco vezes.

Considerando o aspecto da atuação da carga de um CVC de 74t em uma ponte de 40m, o autor constatou através de uma simulação que a aplicação do momento atuante nas extremidades é superior à aplicação referente a um veículo de três eixos.

Outro aspecto abordado pelo autor foi a verificação de que os tipos de bitrens com o trator mais extenso apresentam maior peso no segundo eixo que os veículos compostos por trator mais curto, ou seja, com a frente formando uma reta imaginária vertical quase perpendicular ao pavimento, conforme ilustrado nas figuras I.11 e I.12.

Pesos

	Pesos
E1/G	4530
E2/G	13420
E3/G	5110
E4/G	8170
E5/G	8510
E6/G	7960
E7/G	8320
E8/G	
E9/G	0

Dados

Placa	Class.	Data e Hora	PBT	Lim PBT	Exc. PBT	Exc Eixos	Exc. Total
IHA3258	3T4	22/04/2003 - 14:22:30	56020	47250	8770	250	0
Cod. Pesagem	Vel.	Compr.	Inform.	Signif.			
830	5.2	15.7	CD	1			
Matrícula	Operador	PPV					
005310	JOAO LEMOS BEZERRA	0001					

Figura I.11 - Pesagem de um veículo bitrem, com frente alongada [DOWELL, 2005]

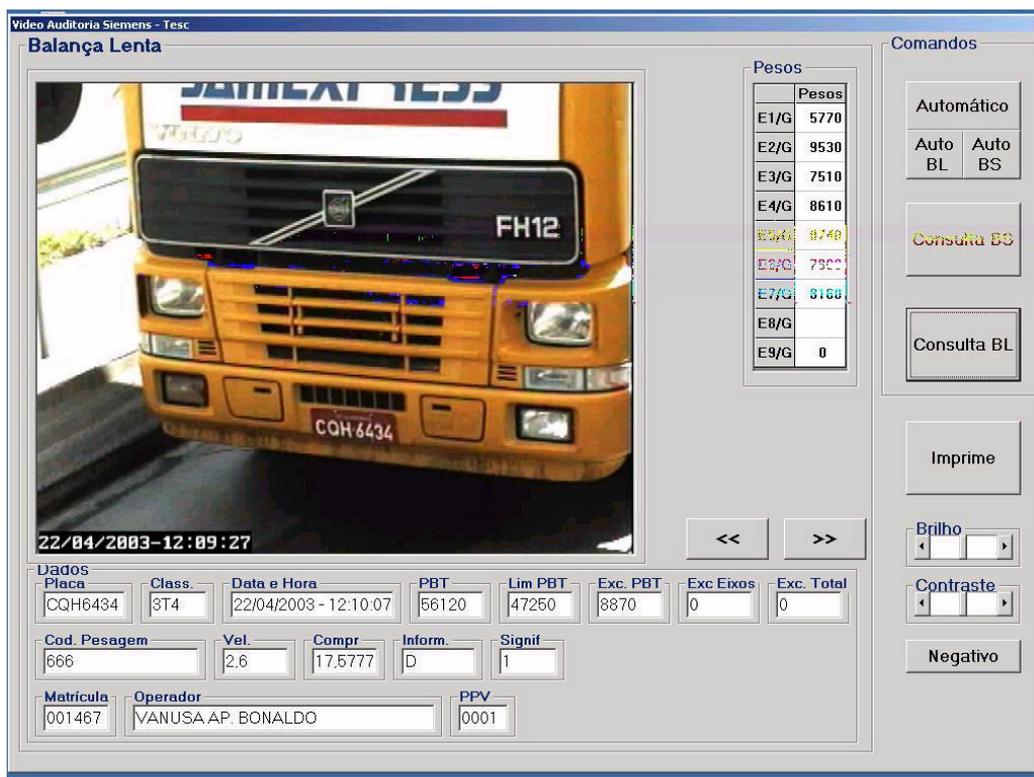


Figura I.12 - Pesagem de um veículo bitrem, com frente reta [DOWELL, 2005]

Segundo WIDMER (2005), os veículos articulados brasileiros ainda deverão sofrer aprimoramentos, que venham a proporcionar maior segurança na frenagem em segmento de rodovias em aclives e declives, pelo fato de alguns veículos utilizarem a tração em apenas um dos dois eixos do conjunto subsequente ao do eixo direcional, tração 6x2 e passarem a utilizar a tração 6x4. A utilização dos veículos com o comprimento de 19,80m, no Brasil, também pode sofrer a influência dos veículos normalmente utilizados na Austrália com comprimento de 25m. Aqui no Brasil, somente os veículos rodotrem, com nove eixos podem utilizar a extensão maior.

Atualmente a nova legislação RESOLUÇÃO CONTRAN 210/2006 no ANEXO V e RESOLUÇÃO CONTRAN 211/2006 regulamentam a utilização dos CVC, e a abordagem da legislação encontra-se no subitem II.4 desta pesquisa.

I.1.3 - Desgaste do pavimento das vias públicas

A carga aplicada nos eixos dos caminhões conforme a distribuição do material transportado pelo veículo acima do limite tolerável acarreta um desgaste excessivo no asfalto, principalmente durante o período de chuvas quando o pavimento torna-se mais propenso ao desnivelamento devido à deformação provocada pela força dos pneus sobre o pavimento e este sobre o solo.

Além do que, o excesso de peso dos veículos contribui com prejuízos para a sociedade, pois as estradas danificadas provocam acidentes, mortes e retardam as viagens. E ao mesmo

tempo, o excesso de peso danifica seriamente a suspensão de caminhões, sua capacidade de transporte, a durabilidade do sistema de freios e prejudica a direção gerando desgastes prematuros nos pneus.

Conforme DORANCHO (2001), no Brasil, uma observação é constante: de que boa parte da malha rodoviária composta de pavimentos flexíveis, vem apresentando fadiga mecânica gerada pela contínua solitação dinâmica do tráfego atuante, o que está diretamente relacionado à distribuição de defeitos nas estradas e, conseqüentemente, à qualidade da viagem.

Segundo ALBANO (1998), num estudo realizado em um simulador de tráfego, uma rodovia vicinal, pode sofrer uma redução de até 80%, da sua vida útil, quando, os excessos de carga ultrapassam 20% da carga prevista no seu projeto. ALBANO (2005), afirmou que um eixo em carga de 100kN acrescida à 120kN em uma via de pavimento espesso causa uma redução na vida útil de 48,3%. Para um pavimento delgado, mantendo-se a relação anterior, porém com a pressão no pneu de 689kPa a redução chega a 67,3%.

Os dois principais critérios de ruptura que ditam o dimensionamento de pavimentos, de qualquer tipo, num local onde o clima é tropical, são a fadiga e o afundamento de trilha de roda, são resultantes das deformações elásticas e plásticas que acontecem em vários pontos do pavimento a cada passagem de veículo.

As figuras I.13 e I.14 ilustram os efeitos da ruptura nos pavimentos asfálticos causado por fadiga e transversal ao pavimento.



Figura I.13 - Trincamento do pavimento por fadiga [DORANCHO, 2001]



Figura I.14 - Trinca transversal no pavimento [DORANCHO, 2001]

Segundo ALBANO (1998), os ciclos de vida de um pavimento estão descritos em fases, apresentadas conforme classificação alfabética e diagrama da figura I.15, de acordo com a pesquisa realizada por SCHLIESSER e BULL (1994) sobre as fases de desgaste das rodovias.

- Fase A – A Construção: a rodovia está em estado ótimo, somente no dia da entrega ao tráfego, satisfazendo plenamente ao usuário.
- Fase B – Deterioração Lenta: a rodovia sofre com a passagem do tráfego, um processo de debilitação lenta e pouco visível. Quando não há manutenção preventiva, este período dura de seis a oito anos.
- Fase C – Deterioração Acelerada: os efeitos da fadiga começam a surgir. A rodovia resiste cada vez menos ao tráfego. No início, não há repercussão estrutural e as trincas não são visíveis a um observador comum. Com o passar do tempo, pode-se observar mais falhas que ficam visíveis, estando a rodovia próxima do fim de sua vida útil e com sua a estrutura danificada. Um forte esquema de manutenção deve ser providenciado no início desta fase.
- Fase D – Deterioração Total: observa-se a perda do pavimento e o tráfego de veículos torna-se difícil, a velocidade média de percurso diminui e a capacidade da rodovia torna-se reduzida.

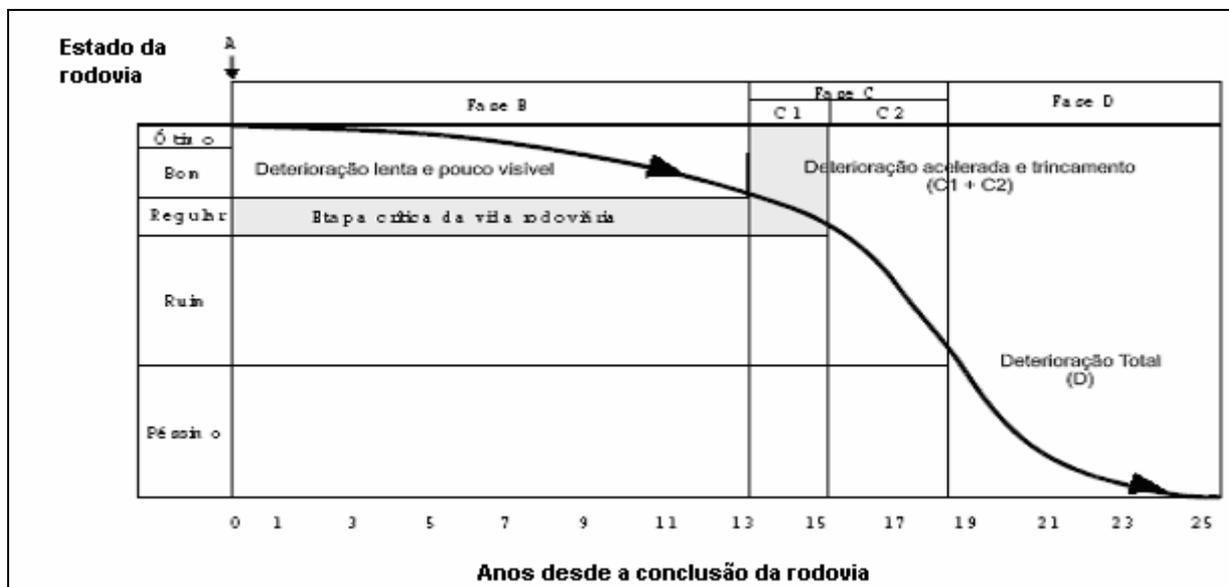


Figura I.15 - Ciclo de vida de uma rodovia pavimentada [SCHLIESSER E BULL, 1994].

Devido aos problemas no pavimento como os buracos e desníveis nas rodovias, a carga pode sofrer deformações acarretando quebras e danos. No caso do transporte de alimentos perecíveis, o aumento do tempo de transporte pode implicar na perda de parte da carga, além de influenciar nas condições de consumo do produto transportado. Com estas

perdas, o preço do transporte sofre acréscimo, sendo o mesmo objeto de reajustes para a compensação dos gastos com a manutenção do veículo, seguro, renovação da frota e aumento do tempo de duração do frete.

Segundo DODOO, et al. (2005), os efeitos dos desgastes provocados pelos veículos são dependentes dos seguintes fatores relacionados:

- Quantidade de veículos,
- Tipo de veículo;
- Tipo de pneus;
- Suspensão;
- Distância entre eixos;
- Condições ambientais da rodovia;
- Tipo de pavimento;
- Espessura do pavimento.

I.1.4 - Falta de segurança nas estradas

Os aspectos de segurança nas estradas estão relacionados principalmente aos fatores de registro de acidentes, às vítimas e aos custos neles envolvidos. A manutenção das estradas contribui para que sejam evitados acidentes devido aos problemas de defeitos nas vias. Outro fator importante é o excesso de peso dos veículos, que provoca acidentes pelo fato de sobrecarregar o veículo em relação à capacidade de frenagem e dirigibilidade, sendo a sua condução mais complexa podendo acarretar acidentes durante a viagem e prejudicar, além do próprio motorista, outras pessoas, como passageiros de ônibus, lotação, automóveis e pedestres. O excesso de carga também gera defeitos nas vias. Os pontos onde as estradas estão mais danificadas também representam locais de risco de assaltos aos veículos e roubo de carga, devido à redução da velocidade nestes locais. Na tabela I.4, apresenta-se quantidade de acidentes nos estados e o número de pessoas feridas, ocorridos nas rodovias federais em 1998, divulgado pela PRF (2003).

Na tabela I.5 são apresentados o número de acidentes e os tipos de veículos envolvidos em acidentes ocorridos nas rodovias federais em 2003, está registrado o número de 3387(três mil trezentos e oitenta e sete) acidentes provocados por defeitos na via. Considerando o custo médio dos acidentes em 2000, no valor de R\$ 51.508,00 (cinquenta e um mil, quinhentos e oito reais) em 2004 e, conforme o MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (2005) de acordo com a tabela I.6 verifica-se que os gastos com acidentes podem chegar a R\$174.457.596 (cento e setenta e quatro milhões quatrocentos e cinquenta e sete mil e quinhentos e noventa e seis reais), multiplicando o número de acidentes em um ano pelo valor médio dos acidentes.

Tabela I.4 - Número de acidentes no Brasil [PRF, 1998]

DRF - Estado	Número de Feridos
1/AC/AM/RO/RR	1.233
2/AP/PA	1.198
3/CE	1.476
4/PE	2.335
5/BA	3.761
6/MG	12.755
7/RJ	4.783
8/SP	4.356
9/PR	4.001
10/RS	4.389
11/MT	1.260
12/DF/GO/TO	3.728
13/PB	1.200
14/RN	1.091
15/MA	982
16/SC	6.279
17/ES	2.254
18/PI	690
19/MS	1.629
20/AL	828
21/SE	658
BRASIL	60.886

Tabela I.5 - Causas de Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais [DENATRAN, 2003]

CAUSAS PRESUMÍVEIS	Total de Acidentes	Feridos Graves	Feridos Leves	Mortos	Ilesos
VELOCIDADE INCOMPATÍVEL	12.546	1.956	4.463	634	23.400
ULTRAPASSAGEM INDEVIDA	4.011	751	1.216	341	13.809
INGESTÃO DE ÁLCOOL	735	141	324	53	1.621
DESOBEDIÊNCIA À SINALIZAÇÃO	5.406	1.048	1.982	278	16.081
DEFEITO MECÂNICO EM VEÍCULO	3.909	409	1.279	115	8.941
DEFEITO NA VIA	3.387	383	1.028	106	6.534
FALTA DE ATENÇÃO	32.284	4.229	8.137	2.372	107.412
DORMIR AO VOLANTE	2.020	288	695	80	3.122
NÃO MANTER DISTÂNCIA DE SEGMENTO	8.127	426	1.370	524	37.136
OUTRAS CAUSAS	34.404	5.359	9.681	2.597	80.673
	106.829	14.990	30.175	7.100	298.729

O desgaste da rodovia sem a manutenção adequada provoca defeitos na via, que por sua vez provocam acidentes, que representam perdas numeráveis de lato valor emocionam e financeiro. Portanto, o controle do peso dos veículos nas estradas utilizando o processo de

pesagem de veículos rodoviários é uma ferramenta importante para a prevenção dos acidentes.

Tabela I.6 - Custo de acidentes [MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2006]

Custo por gravidade de acidentes – Brasil – ano 2004				
Componentes do custo	Acidentes			Custo total anual R\$
	Com mortos R\$	Com feridos R\$	Sem vítimas R\$	
Perda de rendimentos futuros	944.724.273	205.695.272	-----	1.150.419.545
Danos dos veículos	63.327.842	235.418.813	185.483.491	484.230.146
Custos médico-hospitalares	67.874.169	1.836.137.787	-----	1.904.011.955
Administração de seguros	15.209.557	9.566.242	4.769.035	29.544.833
Operação de sistemas de atendimento	12.851.093	71.314.823	124.068.464	208.234.381
Danos ao patrimônio do DNIT	4867	32.347	87.732	1.249.459.052
Despesas de funerais	9.196.678	-----	-----	9.198.678
Custos administrativos de processos judiciais	28.782.211	-----	-----	28.782.211
Custos de congestionamento	22.386.989	312.106.772	45.202.295	379.696.056
Subtotal	1.164.359.680	2.670.272.055	359.611.018	4.194.242.753
Custos subjetivos de pesar dor e sofrimento	442.456.678	213.621.764	-----	656.078.443
Valor total	1.606.816.358	2.883.893.820	359.611.018	4.850.321.196
Número de acidentes	4.287	31.768	58.111	94.166
Custo por acidentes	374.811	90.780	6.188	51.508

I.2 O PROCESSO DE PESAGEM DE VEÍCULOS RODOVIÁRIOS

O revestimento das estradas (pavimento) é um sistema de camadas, sujeito às cargas dos veículos, construídas após a terraplanagem. A carga dos veículos é um dos elementos que determinam o dimensionamento da via, juntamente com o número equivalente(N) de operações de um eixo tomado como padrão de carga, que no Brasil é utilizado o definido pelo DNER (1996) com a carga de 8,2t (18.000lbs).

A medição da carga distribuída nos eixos dos caminhões contribui para a fiscalização do cumprimento do limite tolerável. Conforme apresentado no subitem I.1.3 sobre as influências do excesso de peso no desgaste do pavimento, o controle de peso faz-se imperativo para a manutenção das rodovias.

A pesagem dos caminhões, normalmente, é realizada no início do trajeto, no local de carregamento do veículo; utilizando instrumentos de pesagem instalados em fábricas,

transportadoras ou distribuidoras de produtos. Durante o trajeto da carga, o veículo é submetido à fiscalização e ao controle de trânsito onde são verificados o peso e a capacidade de transporte do veículo, com objetivo de registrar a massa do veículo e verificar se atende ao limite de peso do mesmo FARUOLO (2005).

Para a fiscalização do peso dos veículos nas rodovias, são utilizados instrumentos de pesagem estática e dinâmica, instalados em praças de pesagens nas estradas, os quais estimam a força aplicada pelas rodas no pavimento.

I.2.1 - Instrumentos de pesagem de veículos rodoviários

Os veículos utilizados no transporte rodoviário de carga podem sofrer a verificação de massa transportada de diferentes maneiras, dentre elas, relacionam-se FARUOLO (2005):

- Balanças rodoviárias de pesagem estática;
- Balanças rodoviárias de pesagem estática por eixo;
- Balanças rodoviárias fixas de pesagem dinâmica por eixo; e
- Balanças rodoviárias portáteis de pesagem dinâmica por eixo.

As balanças estáticas, mostradas na figura I.16, necessitam que todo o veículo esteja estacionado sobre a plataforma de pesagem, para a verificação do peso através da ação da gravidade para a determinação da massa do veículo. O modelo apresentado pelo fabricante de Balança rodoviária estática TOLEDO (2005) exemplifica este tipo de instrumento de pesagem.



Figura I.16 - Balança rodoviária estática [TOLEDO, 2005]

Por sua vez, os equipamentos de pesagem dinâmica, utilizam transdutores de força que são dimensionados para a verificação do peso, por eixo do veículo, utilizando recursos matemáticos para o cálculo do peso bruto total do veículo, após a passagem do mesmo sobre o sistema de pesagem. A resultante das forças medida nos transdutores instalados no pavimento representa a participação de outras componentes, como a proveniente da oscilação da suspensão dos veículos, do atrito no pavimento, de arraste do ar, e a principal força medida a força peso.

A instalação destes equipamentos requer especial atenção para as propriedades do pavimento adjacente ao local de instalação dos sensores, ou plataformas de pesagens. Normalmente é alocado em pavimento rígido, com boas características de planicidade e nivelamento.

Estes instrumentos são utilizados para estimar o peso dos veículos em processos de balanças seletivas, no qual, segundo o peso do veículo, o motorista é liberado para prosseguir o seu trajeto normalmente, ou encaminhado para a uma balança de maior precisão onde o peso é avaliado de forma mais exata, por uma balança chamada “lenta”, onde a pesagem do veículo se faz em baixa velocidade, até 12km/h.

Estes instrumentos devem ser aprovados pelo INMETRO na utilização em processos de registro de multas de trânsito. São emitidos laudos de verificação e selos de identificação para os instrumentos aprovados pelo INMETRO. Estes instrumentos também são utilizados em outros países como o exemplo de uso no Canadá do fabricante CARDINAL (2005), como o mostrado na figura I.17 o qual exemplifica um sistema de pesagem dinâmica de instalação fixa.



Figura I.17 - WIN em instalação fixa, Modelo CWIM, EUA [CARDINAL, 2005]

Concomitantemente, o portador do instrumento de pesagem deve possuir diferentes autorizações do INMETRO que permitam a sua atuação em cada posto de pesagem. Nestes instrumentos é verificada se a exatidão da pesagem é de qualidade inferior ao sistema fixo de pesagem.

O sistema portátil, exemplificado pelo fabricante FILIZOLA (2005), na figura I.18 caracteriza-se pela possibilidade de remanejamento para qualquer outro posto de pesagem, desde que esteja disponível o laudo de verificação para o local de instalação.



Figura I.18 - Balança rodoviária dinâmica portátil [FILIZOLA,2005]

Para fins de pesagens seletivas são utilizados equipamentos similares aos anteriores ou sensores de características particulares, como o da figura I.19, utilizado em pesagens com velocidades maiores, tendo como consequência, menor exatidão. Atualmente, esta modalidade não é objeto de verificação do INMETRO.



Figura I.19 - O sistema de sensores de quartzo QWIN/CARDINAL [CARDINAL, 2006]

a) Equipamentos de pesagem

Diferentes pesquisadores estudaram sistemas de medição dinâmica: ONO (1998), que desenvolveu um sistema de medição do peso de veículos através da média dos sinais emitidos de uma plataforma de pesagem, utilizando algoritmos matemáticos para estimar a massa do veículo, também realizou estudos considerando fatores como o erro causado pela inclinação da plataforma de pesagem e pela aceleração do objeto a ser pesado.

KUMME (1996) estudou processos de calibração para os transdutores de força, em cargas dinâmicas. PARK et al. (2002) estudaram sistemas de medição dinâmica com multicomponentes de forças. DANACI (2001) estudou processos de pesagem em alta velocidade baseados no método de regressão não-linear de Gauss-Newton, OLIVEIRA (1996) desenvolveu sistema de medição através da frequência natural de oscilação da massa, em laboratório. FARUOLO e FERNANDES (2005a) relatam a aplicação de instrumentos de pesagem dinâmica em esteiras transportadoras e ferrovias, especificamente equacionando a medição da carga de um veículo em função da deflexão de uma plataforma de pesagem.

Sistemas mais complexos são aplicados no controle de trânsito em diferentes países. Nos Estados Unidos, por exemplo, utilizam-se os sistemas AVC – Automatic Vehicle Classification, de fabricação TDS –Transport Data System, que consistem em um tipo de equipamento que concilia a medição de velocidade, peso com um processador classificatório de veículos, simultaneamente enviando as informações à distância. Este sistema contempla sensores PEM, radar Doppler, cortina de luzes e sensores de quartzo, conforme mostrado nas figuras I.20, I.21, I.22 e I.23.

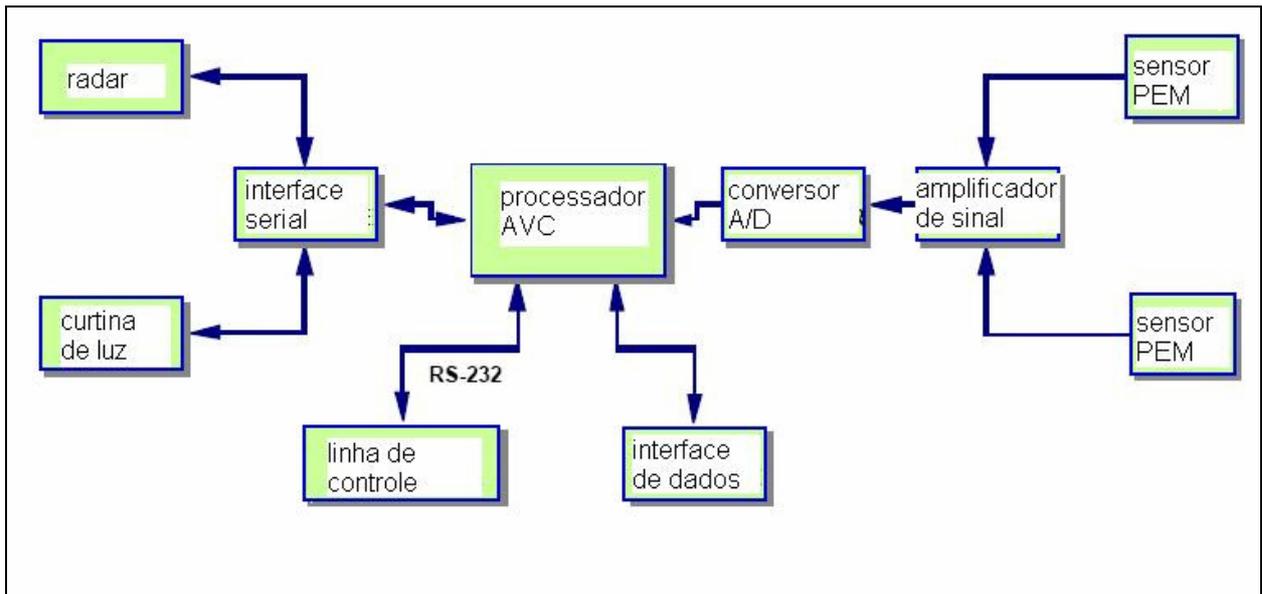


Figura I.20 - Diagrama do sistema de controle de tráfego modelo 310 [TDS, 2006]

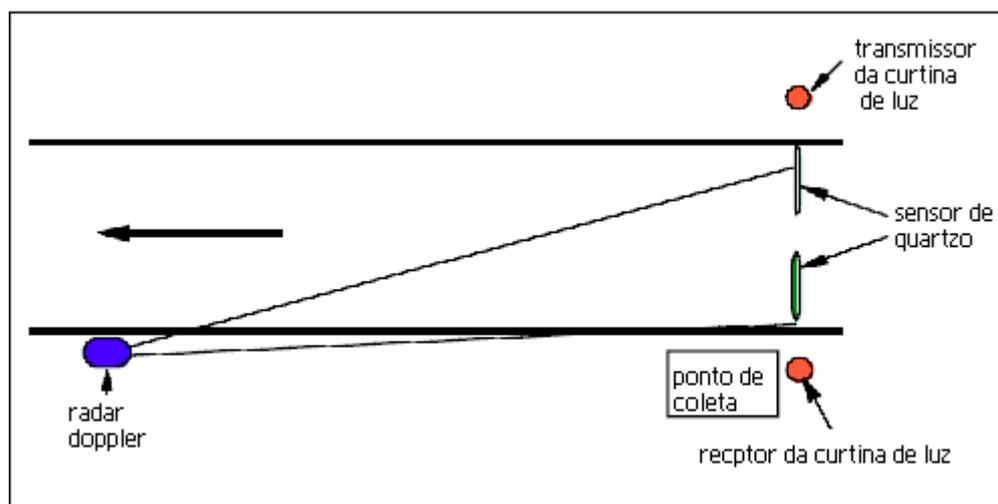


Figura I.21 - Esquema do posicionamento dos sensores AVC – TDS na pista [TDS, 2006]



Figura I.22 - Sensor de quartzo [TDS, 2006]



Figura I.23 - Radar *Doppler* [TDS, 2006]

Outro exemplo de aplicação do sistema integrado de fabricação TDS (2005) está mostrado nas figuras I.24 o qual concilia outros fatores como a instalação de sensores em forma de uma cortina capaz de identificar o veículo, e a instalação de uma base capaz de identificar eixos duplos. E a representação em detalhe da caixa de junção dos sensores na figura I.25.

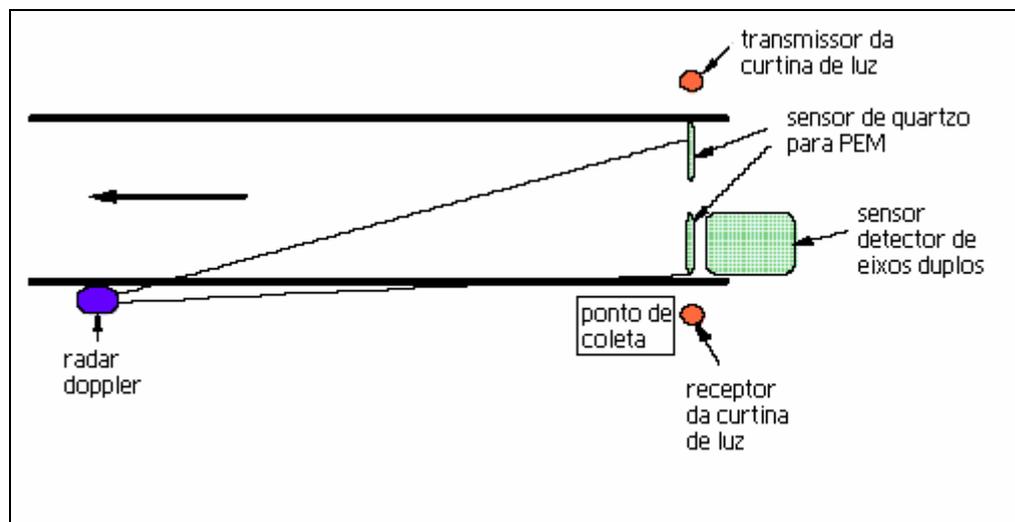


Figura I.24 - Esquema representativo de instalação na pista do modelo 341 [TDS, 2006]



Figura I.25 - Sistemas de caixa de junção dos sensores, modelo 341 [TDS, 2006]

Segundo FARUOLO et al. (2006a) a tecnologia embarcada é também capaz do monitoramento via satélite, aplicada em países como Alemanha e Bélgica onde se pode acompanhar o deslocamento do veículo alertando as autoridades de trânsito sobre o percurso em vias não autorizadas. Na figura I.26 apresenta-se o sistema de pesagem, conforme DODOO e THORPE (2005), capaz de registrar o desgaste provocado pelo veículo, proporcionalmente ao peso e distância percorrida em uma rodovia com percurso registrado em memória eletrônica ou via satélite em uma central de controle, qual pode ser utilizado para cálculo de tarifa.

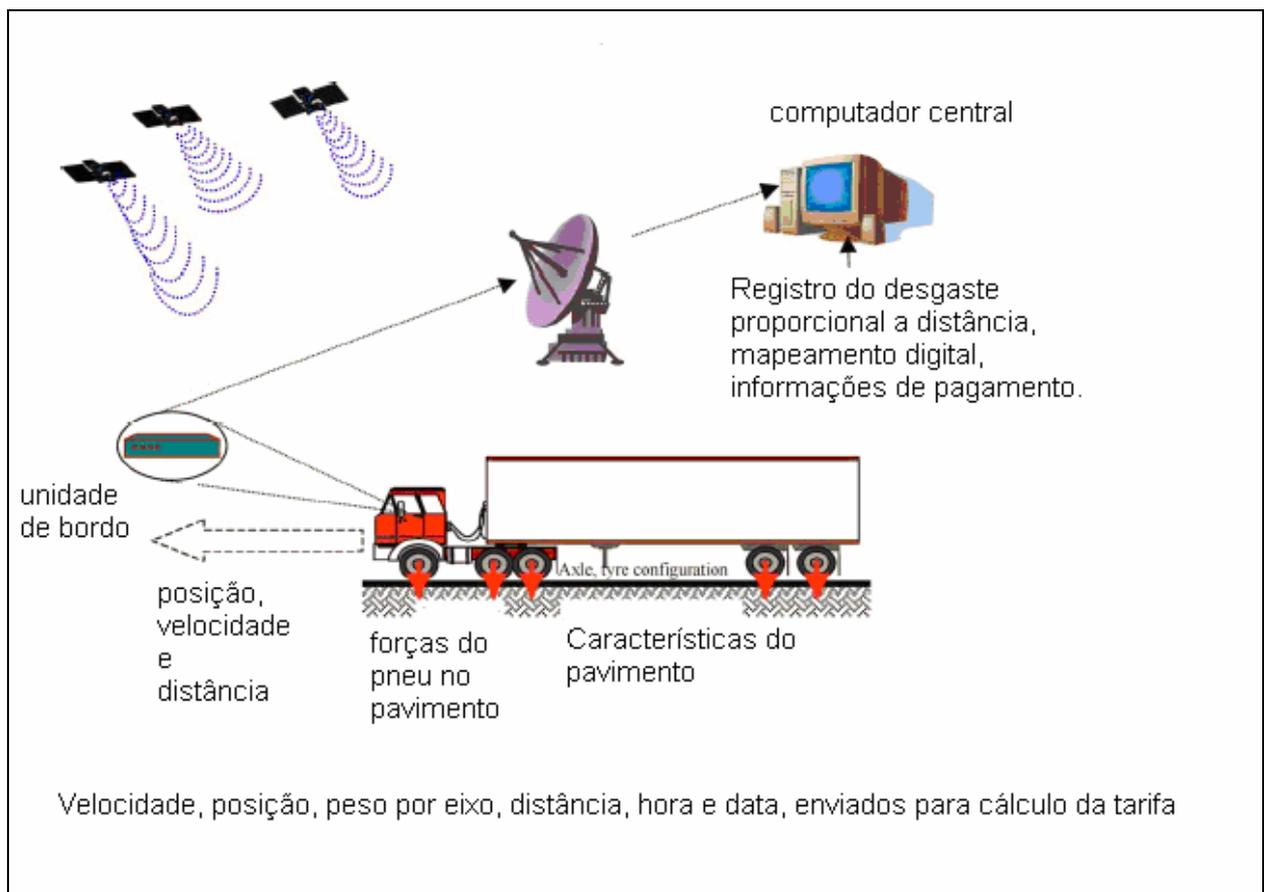


Figura I.26 - Monitoramento de peso via satélite, DODOO e THORPE [2005]

Segundo FASEL (2004) as aplicações de instrumentos em rodovias que emitem resultados por sistemas sem fio estão sujeitos à interferência durante as conversões de sinais na transmissão que podem prejudicar a garantia metrológica dos resultados.

Outro equipamento de pesagem que vem sendo desenvolvido, para instalação direta no veículo de carga, onde se registra a carga que é acrescida no veículo. Instalado em duas bases de apoio da carga, mede-se a força exercida pelo carregamento, e utiliza-se outra base intermediária para evitar solavancos e vibrações em excesso SCÂNICA (2007), como apresentado na figura I.27.

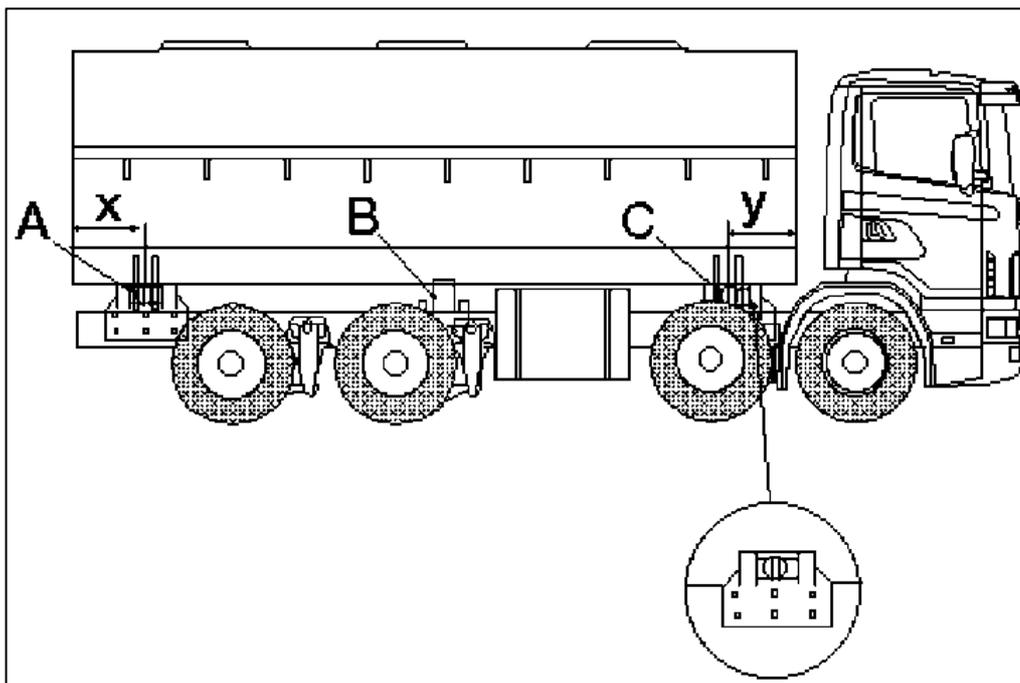


Figura I.27 - Veículo com instrumento de pesagem instalado [SCÂNIA, 2007]

Instalações individuais em veículos são também destinadas a aplicações de monitoramento do peso dos veículos e da força exercida no pavimento. Estes equipamentos também participam de processos de cobrança de tarifas proporcionais ao deslocamento dos veículos e ao desgaste relacionado com o trajeto do veículo em carga pela rodovia.

Outros instrumentos são utilizados em sistemas de medição da força exercida pelo veículo em pavimentos de pontes, viadutos, onde se controla o excesso de peso e o desgaste das obras.

Neste trabalho procurou-se aprofundar os estudos em instrumentos de pesagens instalados ao longo de rodovias, os quais são mais utilizados no país. A seguir destacam-se os elementos descritivos destes instrumentos.

b) Classificação dos instrumentos de pesagem rodoviária dinâmica

Conforme a ASTM E1318-02 (2002), norma aplicada na avaliação de um instrumento de pesagem dinâmica rodoviária, denominado WIM, e no Brasil identificados como PEM, a classificação é realizada em diferentes etapas, o instrumento de medição é classificado em quatro grupos, os quais correspondem à utilização conforme as aplicações para a numeração composta na norma referida, apresentada na tabela I.7, descritos a seguir:

-Tipo I - Intervalo de velocidades de 16km/h, a 130km/h, para estimar a força dos pneus e utilização para os itens (1,5,6,8,9,10 e11).

-Tipo II - Intervalo de velocidades de 24km/h, a 130km/h, para coleta de dados e utilização para todos os itens exceto o 1.

-Tipo III - Intervalo de velocidades de 16km/h a 130km/h, identificar os veículos e os suspeitos de excesso de peso ou carga, conforme os limites estabelecidos em leis, utilização para todos os itens exceto os (7,12 e 13).

-Tipo IV - Intervalo de velocidade de 3km/h a 16km/h, ainda não permitido nos E.U.A, desenvolvido para uso na fiscalização do limite de peso dos veículos rodoviários, para uso em todos os itens exceto (7,9,12 e13).

Tabela I.7 - Funções utilizadas nos instrumentos, WIM [ASTM 1318,2002]

Itens	Descrição das funções de utilização
1	Carga por roda
2	Carga por eixo
3	Carga por grupo de eixos
4	Carga total do veículo
5	Velocidade
6	Distância, de centro a centro, entre eixos
7	Classe do veículo (via composição dos eixos)
8	Local de identificação por código
9	Faixa ou direção de viagem
10	Data e hora de passagem
11	Número de registro seqüencial do veículo
12	Maior distância entre eixos, considerando o primeiro até o último eixo do veículo
13	Eixo único equivalente de carga
14	Código de violação

A exatidão dos respectivos instrumentos, conforme a classificação da ASTM, está descrita na tabela I.8, onde cada classe corresponde à faixa de exatidão correspondente:

Tabela I.8 - Desempenho da função requerida para o WIM [ASTM 1318,2002]

Tolerância de 95% probabilidade de conformidade.					
Função	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	
				Valores em kg	± kg
Carga por roda	±25%		±20%	2300	100
Carga por eixo	±20%	±30%	±15%	5400	200
Carga por grupo de eixos	±15%	±20%	±10%	11300	500
Carga total do veículo	±10%	±15%	±6%	27200	1100
Velocidade	±2km/h				
Espaço entre eixos	±0,15m				

Entretanto, conforme a minuta da ROIML 134 (2006), normativa internacional, aplicada à metrologia legal, recomenda-se que os sistemas de pesagem de veículos em movimento atendam às classes estabelecidas em níveis de exatidão, com valores diferenciados para a verificação metrológica inicial e em serviço, tabela I.9. Estes parâmetros serão considerados pela comunidade internacional, caso aprovados definitivamente pela OIML.

Tabela I.9 - Variação das classes de exatidão para massa total minuta [ROIML, 2006]

Classe de exatidão para a massa total	Percentual do valor convencional da massa total do veículo	
	Verificação inicial (\pm)	Inspeção em serviço (\pm)
0,2	0,10	0,20
0,5	0,25	0,50
1	0,50	1,00
2	1,00	2,00
5	2,50	5,00
10	5,00	10,00

De acordo com VIML (2005), estabelece-se:

Verificação inicial:

- A verificação de instrumento de medição, que não foi verificado anteriormente.

Inspeção de um instrumento de medição:

- Exame de instrumento de medição para constatar todos ou alguns dos itens.

Os itens para o exame de instrumento de medição são:

- Se a marca de verificação e/ou certificado é válida;
- Se nenhuma marca de selagem foi danificada;
- Se após a verificação o instrumento não sofreu modificações evidentes;
- Seus erros não ultrapassam os erros máximos admissíveis em serviço.

I.2.2 - Procedimentos utilizados nos testes dos instrumentos de pesagens

As normativas para a calibração dos instrumentos de pesagem dos veículos em movimento são também utilizadas para a avaliação dos mesmos. Os procedimentos desenvolvidos proporcionam a verificação do nível de exatidão das medições. Conforme as exigências estabelecidas pela legislação relativa à fiscalização ou à estratégia de monitoramento do trânsito, verifica-se se os instrumentos objetos dos ensaios metrológicos estão aptos a fornecer valores confiáveis.

Para as aplicações apresentadas neste capítulo, estão definidos como valores verdadeiros do peso de um veículo, ou referência, o valor medido em uma balança estática, a qual apresenta maior exatidão na medição por não sofrer influências de outras forças que não a da gravidade. Outro fator importante no exame é considerar as velocidades constantes durante a passagem sobre o receptor de carga ou plataforma de pesagem, evitando-se as acelerações e desacelerações durante as medições. Quanto aos aspectos construtivos, destaca-se a necessidade de avaliar se o instrumento de pesagem está instalado em condições mínimas de nivelamento e planicidade. Desta forma, é importante lembrar que a avaliação dos instrumentos de pesagens corresponde ao local, onde se está instalado, portanto, sendo necessária uma verificação naquele posto, ou praça, de pesagem.

A seguir, estão apresentadas algumas características das metodologias consideradas como referências no cenário internacional, COST 323, a ASTM 1318-02 da minuta da ROIML134-1 e a atualmente adotada no Brasil, desenvolvida pelo INMETRO.

a) Procedimento adotado na Europa

O COST 323 (1997) é um documento elaborado através da ação conjunta de vários países da Europa, tem como objetivo de estabelecer um procedimento consistente para a elaboração de uma norma internacional para a aplicação dos instrumentos de pesagem de veículos em movimento, inclusive quanto à instalação dos mesmos.

Neste documento, estão disponíveis algumas formas de ensaios dos instrumentos de pesagem que podem ser utilizados para avaliação dos mesmos.

- (r1) Condições completas de repetitividade: se o mesmo veículo passar várias vezes na mesma velocidade, com a mesma carga e na posição lateral.
- (r2) Condições estendidas de repetitividade: se somente um veículo passar varias vezes com diferentes velocidades (de acordo com as condições da pista de trafego), cargas diferentes (por exemplo, totalmente carregado e vazio) e com variações pequenas de posição lateral (de acordo com os caminhões reais de trafego).
- (R1) condições limitadas de reprodutibilidade: se um conjunto pequeno de veículos (de 2 a 10), tipicamente representativo da composição global de tráfico esperado no sitio, (silhuetas e pesos brutos) é usado; cada um deles passando varias vezes, com diferentes cargas, diferentes velocidades, e com pequenas variações de posição lateral.
- (R2) Condições completas de reprodutibilidade: se uma amostra grande de veículos (isto é, alguns grupos de centenas) registrada do fluxo de tráfico e representativo dele, passa sobre o sistema de pesagem em movimento e são pesados estaticamente antes ou depois dele.

Em relação aos aspectos de instalação para 50m antes dos sensores e 25m depois, são estabelecidas as indicações máximas: inclinação longitudinal de 2%, e transversal de 3%. Faz-se a orientação para a instalação em uma estrada reta ou com raio de curvatura maior que 1000m, sem defeitos no pavimento.

A quantidade de medições necessárias, e a forma de tratamento dos dados, ou seja, o cálculo de avaliação da exatidão das pesagens depende da finalidade de uso, o que vai exigir mais medições, quanto for maior o nível de confiança.

Para os cálculos de calibração nas condições R1 e R2, estão previstos alguns métodos considerando-se:

- O modelo de calibração para cada tipo de silhueta de veículo a partir da amostra de ensaio, ou para cada classe de silhueta (por exemplo, caminhão rígido, trator mais semi-reboque, caminhão mais reboque).
- O tipo de eixo dos modelos de veículos utilizados no local

Outros processos de calibração relativos às proporções entre os valores de referência e os valores médios também podem ser utilizados.

O projeto WAVE (2000) desenvolveu a pesquisa de pesagem de veículos na Europa de forma a estabelecer orientações para a aplicação da tecnologia de WIN, aplicando as diretrizes do COST em metrologia,

b) Norma ASTM 1318-02 (2002)

Normativa desenvolvida pela Associação Americana de Testes de Material, onde foram especificados procedimentos de ensaios de testes e os requisitos de uso, de forma a propor uma base consistente na utilização dos instrumentos de pesagem dinâmica, de forma similar à anterior estabelecendo parâmetros propostos para as instalações dos sistemas de pesagens.

Neste procedimento, calculam-se as médias das pesagens de, pelo menos, vinte pesagens de veículos, contando, ao menos, cinco ou mais medidas em duas velocidades para dois veículos. Considera-se inadequado o instrumento de pesagem quando, para cada uma das situações, em condições de instalação inicial, a média aritmética das medições apresentar um erro relativo em referência à tabela II.3 superior a:

1. 2% para o peso total do veículo,
2. 3% para as cargas por eixo em tandem
3. 4% para as cargas por eixo,
4. 5% para a carga por roda,

Em relação à instalação do instrumento de pesagem, recomenda-se no percurso de 60m anterior e 30m posterior ao instrumento os limites de inclinação longitudinal de 2% para a maioria das aplicações e de 1% para a aplicação na fiscalização de peso, lateral de 3% para a maioria das aplicações e de 1% para o uso em fiscalização, em condições de linearidade do pavimento, sem defeitos superiores a 3 mm, utilizado em pavimento rígido. As classificações dos instrumentos estão apresentadas nas tabelas I.7 e I.8.

c) Metrologia legal internacional

Minuta de recomendação ROIML 134 (2006), para a regulamentação metrológica dos países membros da comunidade de metrologia legal, com base na aplicação em ensaios de verificação por agentes de metrológicos dos instrumentos de pesagem dinâmica dos veículos.

Utilizando-se um veículo de dois eixos rígidos e mais dois outros no conjunto dos veículos: três ou quatro eixos rígidos, quatro ou mais eixos articulados, dois ou três eixos rígidos com reboque de dois ou três eixos.

Para cada tipo de veículo, nas condições do veículo carregado e em vazio, realizam-se três grupos de cinco medições, nas velocidades: próxima à velocidade máxima, próximo à velocidade média, e próxima à mínima, conforme o instrumento avaliado, totalizando pelo menos 90 medições. Calculam-se os valores médios das medições de PBT, para os valores de carga por eixo e dos valores de grupos de eixos. Verificam-se os valores dos desvios percentuais.

d) Metodologia do INMETRO

Metodologia de verificação / ensaio de instrumentos de pesagem de veículos em movimento, anexas às portarias Inmetro de aprovação de modelos de instrumentos de pesagem dinâmica. Este procedimento utilizado pelo Inmetro, entidade de metrologia legal brasileira, estabelece os parâmetros de realização de ensaios para a avaliação destes instrumentos nas verificações iniciais e periódicos.

Para a verificação inicial, calculam-se as médias para cada somatório de trinta medições subdivididas em três grupos de dez medições em faixas de velocidades, próxima à mínima à média e à máxima, para três diferentes cargas de veículos no conjunto de dois tipos de diferentes de silhueta, 3c e 2s3. O limite de erro máximo relativo para a média das medições do PBT é estipulado em 1% para balanças portáteis e 0,5% para as balanças fixas, para o nível de confiança de 95%. Para as verificações periódicas, considera-se ao invés de dez utilizam-se cinco medições para cada velocidade.

Referente às condições de instalações, deve-se verificar as condições de nivelamento e planicidade da pista com uma régua de 3m.

e) Comparação entre os procedimentos utilizados

Os sensores utilizados nos processos de medição destinam-se às diferentes aplicações, tais como a medição do impacto dos pneus no pavimento, a simples contagem do número e tipos de veículos que trafegam em um trecho da estrada determinado, ou a atividade de fiscalização do peso dos veículos. Portanto, as abordagens de avaliação da exatidão são diferenciadas, conforme a exigência de melhor confiabilidade da medição e a finalidade de utilização dos instrumentos de medição.

Concentrando-se nos aspectos metrológicos da questão da pesagem dinâmica, observa-se que existem variações entre os diferentes procedimentos apresentados nestes modelos de avaliação com relação às ferramentas utilizadas para a qualificação do instrumento

de pesagem. Para facilitar o entendimento da comparação, apresenta-se a tabela I.10. No quadro, apresentam-se diferentes quantidades de classes de instrumentos; na primeira coluna, referente às diversas aplicações, variando-se de sete a duas classes de exatidão. Na seqüência, na segunda coluna, percebe-se que todos os procedimentos têm base no cálculo da média de sucessivas medições e utilizam algum critério de dispersão. Para as atividades de fiscalização, os dois primeiros critérios indicam apenas as classes que atuam em baixas velocidades, atribuindo à legislação local a avaliação desta aplicação.

Tabela I.10 - Resumo da comparação entre os procedimentos

Procedimento	Classes de atuação	Formas de cálculo	Aplicação em fiscalização de trânsito
COST 323	sete	Média, e diferentes cálculos de dispersão	Restrita as baixas velocidades
ASTM 1318-2	quatro	Médias 95% de confiança	Restrita as baixas velocidades
ROIML 134	seis	Média e desvio padrão	Em revisão
INMETRO	duas	Média e desvio padrão	Somente para baixas velocidades

I.2.3 - Fatores de influência no instrumento de pesagem dinâmica

A análise de confiabilidade da pesagem dinâmica de veículos nas estradas deve levar em consideração todos os fatores atuantes no processo, que estima a massa dos veículos de carga através da medição da força aplicada pelos pneus nos sensores instalados nas pistas de rolamento.

O instrumento de pesagem dinâmica de veículos está sujeito às influências provenientes da temperatura de trabalho e das ações das diferentes forças atuantes nos sensores durante a medição. As forças atuantes no veículo como: a aceleração ou desaceleração, de atrito, provenientes da vibração da suspensão, e de deslocamento que pode ser em diferentes sentidos.

a) Temperatura

As variações de temperaturas provocam dilatações e alterações de desempenho, sendo verificadas alterações na sensibilidade da liga metálica que compõe o instrumento de pesagem, produzindo contração ou alongamento do material. Nestas condições, torna-se imperativo, que na construção destes instrumentos sejam instalados resistores para a compensação do efeito da variação da temperatura, conforme HOFFMAN (1979).

A variação da resistência elétrica nos extensômetros quando submetidos a tensões mecânicas é atribuída a dois fatores como: a deformação do condutor e mudança na

resistividade do condutor devido a mudanças microestruturais. Esse fenômeno pode ser descrito pela equação (I.16) HOFFMANN (1979):

$$dR_e = \epsilon (1 + 2\nu) + \frac{d\delta}{\delta} \quad (\text{I.16})$$

Onde:

R_e = resistência elétrica

ϵ = deformação

ν = coeficiente de Poisson

δ = resistividade elétrica

A variação de temperatura é compensada pela instalação de uma ponte wheatstone. A ponte de Wheatstone é um circuito que, além de ser capaz de comparar impedâncias (resistências, capacitâncias e indutâncias), também pode ser utilizado para medir variações relativas. Além de medir mudanças em extensômetros que são da ordem de 10^{-2} a 10^{-4} Ω/Ω com grande precisão. Esse circuito pode ser representado de acordo com a figura I.28.

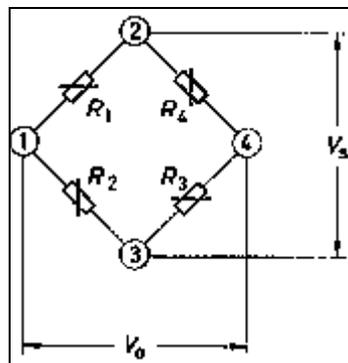


Figura I.28 - Circuito de uma ponte de Wheatstone [HOFFMANN, 1989]

b) Vibração

Conforme FARUOLO e FERNANDES (2005) a vibração do sistema de pesagem ocasionada pelas forças provenientes do veículo e do deslocamento do mesmo interfere no valor da medição do instrumento de pesagem. Sendo as interferências provenientes de problemas da suspensão dos veículos, estabilidade dos equipamentos e devido ao desnivelamento da pista de aproximação à plataforma de pesagem formas de influência no resultado da pesagem. Para a interpretação do efeito da vibração nos sistemas, pode-se

utilizar a equação (I.17), conforme THOMSON (1978), onde: ω é a frequência natural, k é o coeficiente de elasticidade e m é a massa.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (\text{I.17})$$

A frequência é função da massa e do coeficiente de elasticidade, o qual varia conforme as condições de estabilidade e nivelamento do instrumento de medição. Desta forma, a má instalação do equipamento interfere na frequência produzida durante a utilização.

Conseqüentemente, para um movimento harmônico da força P , variável em função de uma força inicial P_0 com frequência angular ω e defasagem de um ângulo ϕ , segundo PRODONOFF (1996), temos a Equação (I.18). No caso de uma balança dinâmica, P corresponde à força exercida na plataforma de pesagem com amplitude P_0 .

$$P = P_0 \text{sen}(\omega t + \phi) \quad (\text{I.18})$$

Sob os aspectos da metrologia, admitem-se diferentes métodos de utilização de instrumentos de pesagem dinâmica. Conforme, NIEDZWIKI (1996) o sistema de plataforma não deve ter uma variação de planicidade do piso superior a 3 mm nos 8 metros antes e depois da plataforma de pesagem para evitar a distorção das medições. Para evitar estes problemas, são recomendados os usos de sensores de pressão (strain gages) horizontais e verticais; também o uso de algoritmos específicos para a utilização, com parâmetros adaptados à situação real. O algoritmo de processamento de sinal analisa e compara os valores medidos. Diferentes modelos de utilização são aplicados a estes instrumentos: O valor máximo de sinal de medição, o método dos mínimos quadrados, o algoritmo de estimação de erro e o método de aplicação do filtro de Kalman para pesagem dinâmica. O método da pesagem dinâmica pode ser aplicado em diferentes situações, onde ocorra a variação dinâmica da carga. Muitos métodos de adaptação de filtros são propostos. Porém, a maioria dos sistemas de pesagem dinâmica impõe restrições quanto à velocidade de operação. Entretanto, segundo o autor, o sistema apresentado por ele não é sensível à velocidade. O método consiste em dois passos: a estimação de parâmetros matemáticos do sistema de pesagem (plataforma da balança e veículo) e, através destes parâmetros, calcular o peso.

Segundo ONO et al. (1998), a figura I.29 representa um caminhão de dois eixos, onde estão esquematizados: o motor, a suspensão do motor em relação ao veículo, o chassi; e os conjuntos de suspensões dianteira e traseira, através das massas, dos amortecedores, pneumáticos e solo. Para o efeito de uma pesagem em movimento, são adicionados os efeitos de momento e deslocamentos verticais.

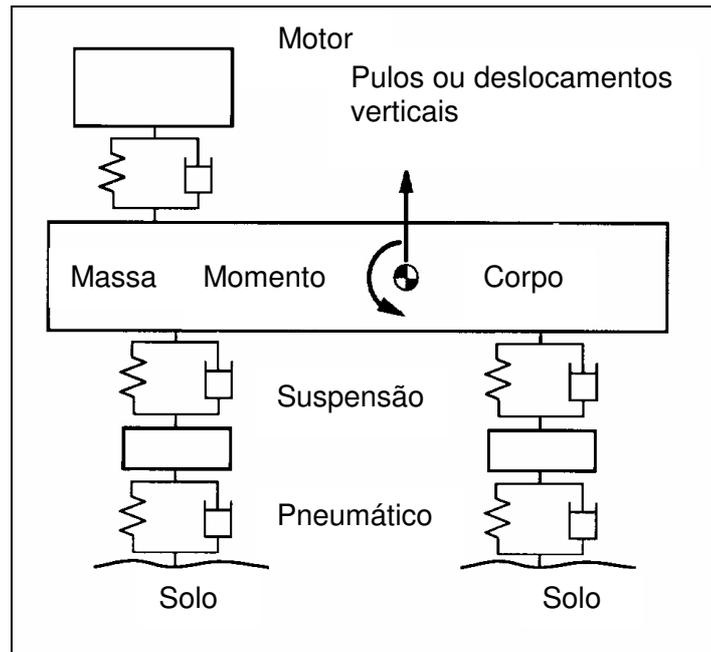


Figura I.29 - Modelo representativo de um caminhão na pesagem [ONO et al. 1998]

O modelo estimado para o cálculo do peso $w_i(t)$ de um veículo com k eixos e peso por eixos i -n, em movimento, é descrito como equação (I.19):

$$w_i(t) = \lambda_i \left[w + \sum_{j=1}^p A_j \sin(\omega_j t + \theta_j) \right] \quad (I.19)$$

$$i = 1, 2, \dots, K,$$

Onde:

λ_i = A constante positiva que depende da distância entre o centro de massa e a posição dos eixos equação (I.20):

$$\sum_{i=1}^K \lambda_i = 1 \quad (I.20)$$

w = Peso total do veículo

A_j = Amplitude do componente do sinal da onda

ω_j = Frequência angular do sinal da onda

ϕ_j = Fases dos componentes da onda

$w \lambda$ = peso estático do veículo

A frequência captada pelo instrumento de pesagem de veículos representa um sinal elétrico, construído por duas senóides, as quais identificam as diferentes massas em um instrumento de medição, oriundas das cargas de cada eixo de um veículo rodoviário, conforme as figuras I.30 e I.31, onde os picos de onda detectados em um analisador de sinais

representam o momento do contato da força do veículo com o transdutor, os quais são registrados no equipamento. Considerando o comportamento da vibração do sistema, em ensaios com veículos ONO et al. (2001) desenvolveu uma metodologia de interpretação de sinais elétricos durante a medição de carga capaz de considerar elementos da vibração do veículo, utilizando a média de valores registrados, não somente o valor máximo da carga captada pelo transdutor de força durante a medição.

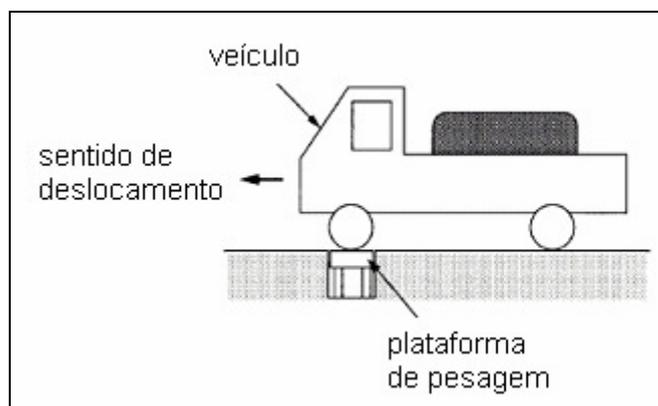


Figura I.30 - Modelo de sistema fixo de pesagem por eixo [ONO et al., 2001]

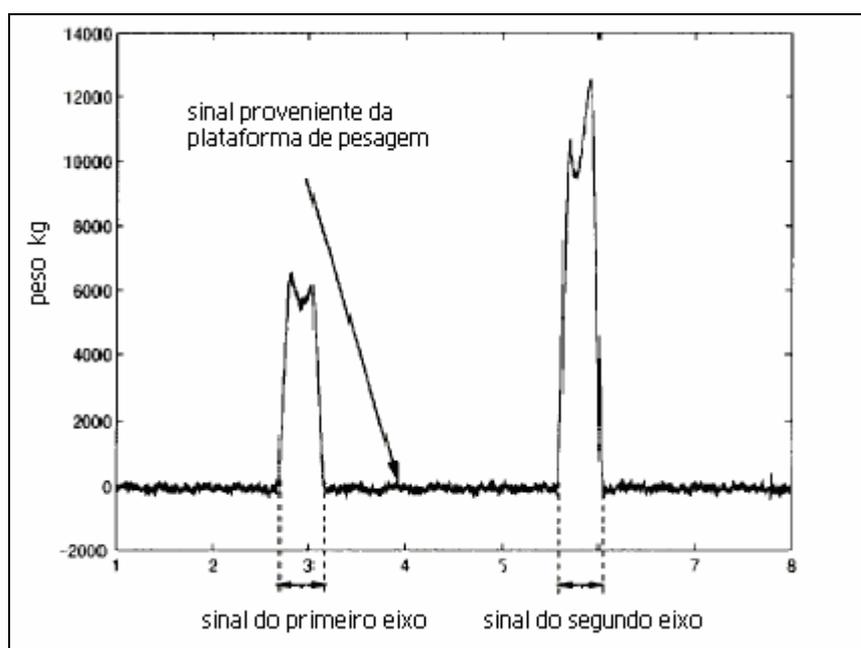


Figura I.31 - Representação dos sinais elétricos da pesagem [ONO, et al. 2001]

Na figura I.31, o sinal do primeiro eixo está representado pela primeira curva onde são registrados vários pontos componentes da curva correspondendo às várias medições realizadas durante o tempo de contato do pneu com a plataforma de pesagem. O mesmo processo é feito para a segunda curva, onde as medições estabelecem uma curva com valores maiores, as quais representam o maior peso do segundo eixo, em relação ao primeiro. Através

de simulação computacional FUKUDA et al. (2001) aplicou este modelo desenvolvido obtendo resultados compatíveis com os obtidos na prática para velocidades de até 15km/h.

Para o caso de uma balança estática, considera-se apenas o efeito da gravidade local para a aceleração da massa a ser medida e da plataforma, pois nesta situação o instrumento de pesagem deve estar estabilizado.

c) Influência dos Pneus

A força peso do veículo é transmitida pelo contato do pneu do caminhão com a plataforma de pesagem, ou placa de pesagem, pela qual será calculada a massa do veículo, de forma que a pressão do pneu é parte importante do processo.

FARUOLO et al. (2006c) relata que a pesagem dinâmica de um veículo de carga pode sofrer interferência no valor medido de até 10% em decorrência da variação da pressão de ar nos pneus. Onde a atuação de um pneu furado nos conjuntos de eixos, por exemplo, durante a pesagem pode interferir no processo de medição.

HYUNZ-GYN et al. (2004) demonstraram que o pneu com maior pressão interna amortece a força transmitida do veículo ao pavimento. Na figura 1.32 é representado um ensaio, onde são aplicadas duas cargas constantes sobre o pneu, de 23,9kN e 40,0kN, variando-se sua pressão interna. Verifica-se que conforme aumenta a pressão ocorre diminuição no registro da força aplicada ao pavimento. Estabelece-se assim, uma relação de forças decrescentes, transmitidas pelo pneu em função de pressões internas crescentes. No valor máximo de pressão de ar em 240 kPa os dois pneus testados registram 6kN para a força aplicada de 23,9kN e 11kN para a força de 40,0kN. Mantendo-se as forças aplicadas nos pneus as reações de tração medidas no sensor no pavimento alteram na pressão interna limite inferior, registrada no ensaio em 100kPa, medem 7kN para os 23,9kN e 13kN para a carga de 40kN. Demonstrando que nestes testes as pressões internas maiores registram forças no pavimento menores para a mesma carga aplicada no rodado. Entretanto esta grande variação de pressão interna nos pneus, onde se mais que dobrou a pressão de 100kPa para 204kPa foi aplicada em um pneu de fora de estrada, tipo utilizado em tratores, ou seja, esta variação grande deveria ser aplicada em um teste de pneus utilizados normalmente em rodovias para ser considerado em pesagens de verificação de peso de veículo.

Segundo ALBANO (1998) a variação da pressão interna de 552kPa (80psi) para 620kPa (90psi) aumenta a pressão de contato entre 4,8% a 9,9%. Entretanto, para uma mesma carga por eixo o aumento da pressão de enchimento de 620kPa(90psi) para 689kPa(100psi) implica em redução de 0,4% a 1,6% da pressão de contato. O aumento da pressão interna do pneu diminui a área de contato do pneu com o pavimento, de forma a transferir parte da força para a lateral do rodado. O uso de rodados em condições de pressão mais elevadas que o previsto no projeto das rodovias aumenta a degradação do pavimento.

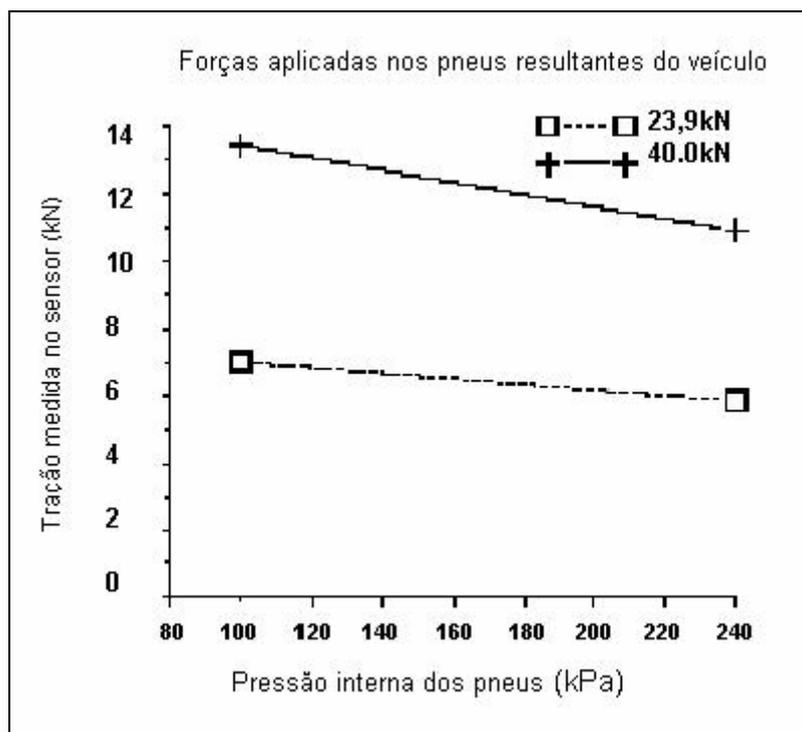


Figura I.32 - Carga em função da pressão interna do pneu [HYUNZ-GYN, et al., 2004]

A pressão de inflagem é responsável por garantir o funcionamento correto do pneu. Portanto, para suportar a carga, a velocidade, e todos os esforços durante a rodagem, faz necessário que a pressão esteja adequada. Ela deve ser regulada em função de três características: dimensão do pneu, carga por eixo e velocidade normal do veículo.

E segundo as recomendações:

- Inflar os pneus com a pressão recomendada pelo fabricante do pneu.
- Revisar periodicamente a pressão na condição a frio antes de iniciar a rodagem (veículo parado há aproximadamente 2 horas).
- Utilizar tampas de válvula.
- Usar extensão de válvulas para facilitar o controle da pressão de seus pneus internos.
- Para determinar a pressão adequada do seu produto, consulte o manual técnico ou o fabricante.
- Para rodar com segurança e economia é importante calibrar os pneus em função do peso da carga transportada.

O pneu é chamado diagonal ou convencional, figuras I.33 e I.34, quando a carcaça é composta de lonas sobrepostas e cruzadas umas em relação às outras. Os cordões que compõem essas lonas são fibras têxteis. Neste tipo de construção, os flancos são solidários à banda de rodagem. Quando o pneu roda, cada flexão dos flancos é transmitida à banda de rodagem, conformando-a ao solo.

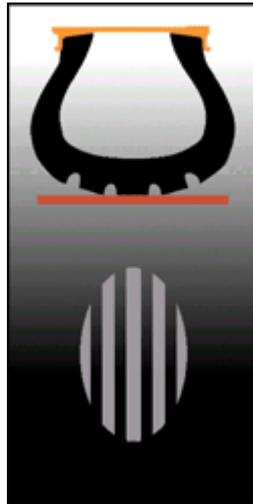


Figura I.33 - Pneu diagonal ou convencional [MICHELIN, 2006]

As principais características são:

- Desgaste mais rápido - Menor quilometragem;
- Consumo de combustível mais elevado;
- Aquecimento muito grande – Lixamento com o solo, fricção entre lonas e a má condução de calor do material têxtil;
- Aderência não muito boa - Menor área de contato pneu/solo, deformações da Banda de Rodagem;
- Estabilidade prejudicada – Perda da trajetória causada pelas deformações da Banda de Rodagem;
- Maior possibilidade de cortes/furos - Carcaça rígida e material têxtil.

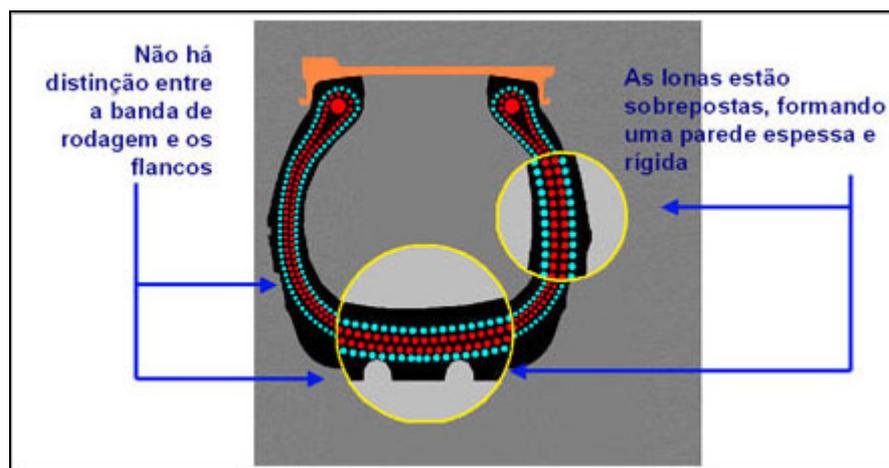


Figura I.34 - Representação das forças atuantes em um pneu diagonal [MICHELIN, 2006]

No pneu radial, figuras I.35 e I.36, os cabos da carcaça estão dispostos em arcos perpendiculares ao plano de rodagem e orientados em direção ao centro do pneu. A estabilização do piso é obtida através de 3 ou 4 lonas de aço sobrepostas. Por ser uma

carcaça única, não existe fricção entre lonas - apenas flexão - o que evita a elevação da temperatura interna do pneu.

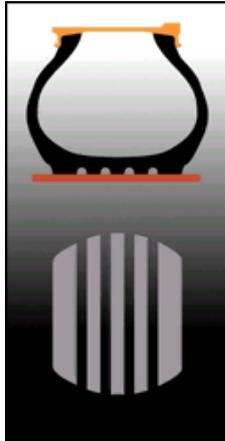


Figura I.35 - Pneu radial, representação da aderência no piso [MICHELIN, 2006]

As principais características são:

- Desgaste mais lento - Aumento na quilometragem;
- Diminuição no consumo de combustível;
- Redução do aquecimento - Não existe fricção entre lonas da carcaça, diminui o lixamento com o solo e o aço é um excelente condutor do calor;
- Maior aderência - A área de contato pneu/solo é maior e constante;
- Estabilidade favorecida - Com a redução das deformações da Banda de Rodagem, o pneu segue uma trajetória definida;
- Menor possibilidade de cortes/furos - Carcaça mais flexível e com uma "alma de aço".

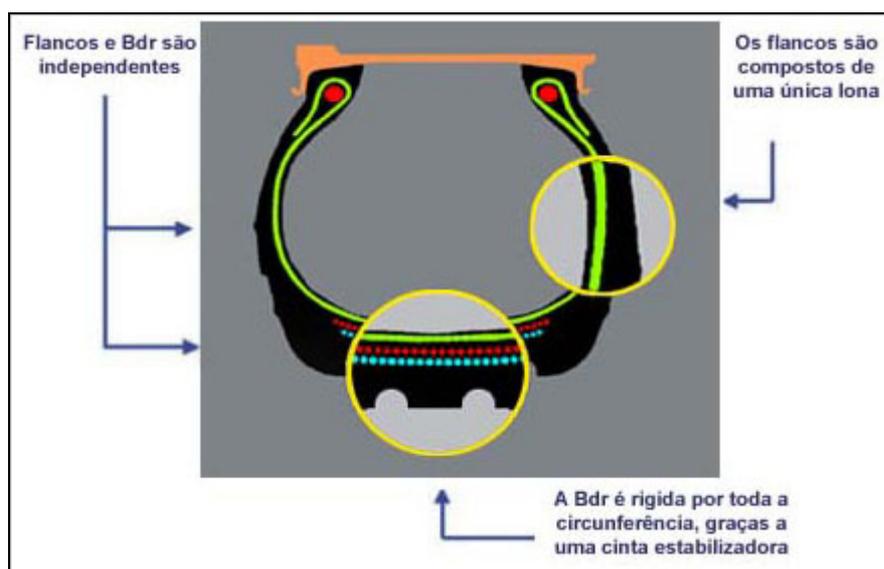


Figura I.36 - Representação das cargas atuantes no pneu radial, [MICHELIN, 2006]

Denomina-se resistência ao rolamento o conjunto das diferentes forças que atuam sobre o veículo ocasionando resistência à sua rodagem. São três as principais forças:

O arraste aerodinâmico, apresentado pela figura I.37, contribui para o aumento da força a ser exercida pelo veículo para deslocá-lo, quanto maior a velocidade de deslocamento maior será a força de atrito a ser realizada pelo ar em sentido contrário ao movimento do automotor.

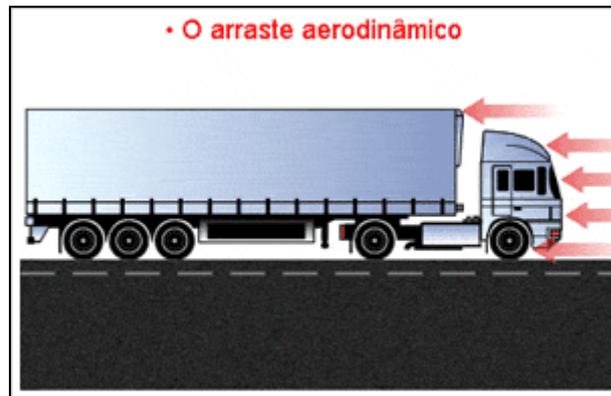


Figura I.37 - Arraste aerodinâmico [MICHELIN, 2006].

A resistência dos pneus, a aderência do veículo ao solo através dos pneus, conforme o modelo da figura I.38, representa cerca de 25% a 30% da energia consumida pelo veículo.



Figura I.38 - Arraste dos pneus [MICHELIN, 2006].

Os atritos mecânicos e o rendimento do motor representam elementos que geram calor ao pneu, Figura I.39 pelo fato de que é necessário girar mais vezes o rodado, devido à necessidade de transportar a carga com a potência disponível proporcionar mais calor ao sistema.

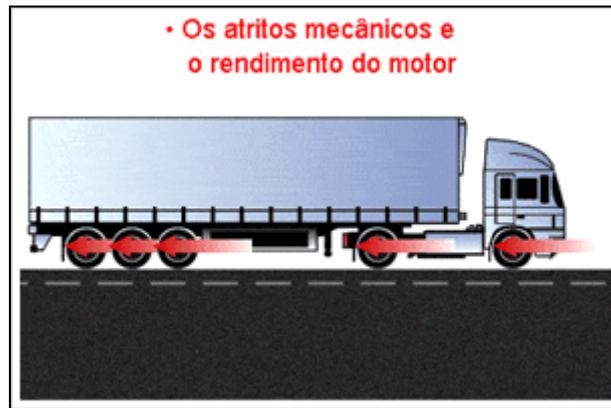


Figura I.39 - Atritos mecânicos e o rendimento do motor [MICHELIN, 2006].

d) Divisão da carga

A figura I.40 registra a comparação de dois veículos com relação à distribuição de carga, para um carregamento considerado contínuo. A utilização de um veículo com maior número de eixos, considerado CVC, representa uma maior distribuição de carga, e por consequência menor concentração de carga como é apresentado no segundo eixo do veículo 2S3.



Figura I.40 - Distribuição das cargas no veículo [MICHELIN, 2006]

I. 3. FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE CONFIABILIDADE

A análise de incertezas é parte importante na análise de confiabilidade de qualquer processo. Considerando os aspectos metrológicos para o processo de pesagem, faz-se necessária uma explanação sobre os conceitos de incertezas conforme o VIM (1995) e o referente ao ISO GUM (2004), método de numérico de propagação de distribuição de probabilidade de Monte Carlo. A utilização de ferramentas de análise de confiabilidade para calibração em processos de produção alavanca a qualidade e proporciona o acesso aos mercados mais exigentes, os quais exigem credenciamento em organismos metrológicos, FARUOLO e FERNANDES (2005b).

A confiabilidade é genericamente medida pela probabilidade de um sistema de cumprir uma função requerida, em condições dadas, durante um intervalo de tempo. A confiabilidade pode ser classificada em:

- Operacional, em operação normal;
- Previsional (preditiva), modelo estimado em condição futura;
- Extrapolada, extensão da operacional com restrições diferentes;
- Estimada ou intrínseca, relacionada aos dispositivos em testes sob condições definidas.

Como ferramentas principais adotadas para a análise de confiabilidade estão relacionadas à análise de incertezas, o estudo das distribuições de probabilidade, aplicações de histogramas e o método de simulação de Monte Carlo.

I.3.1 - Análise de incertezas

A declaração do resultado de uma medição somente é completa, se ela contiver tanto o valor atribuído ao mensurando quanto à incerteza de medição associada a este valor. As grandezas que não são conhecidas exatamente são tratadas como variáveis aleatórias, incluindo as grandezas de influência que podem afetar o valor medido.

A incerteza de medição é um parâmetro associado ao resultado de uma medição que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando, avalia a exatidão da medição realizada e pode qualificar o equipamento, de acordo com a classe de exatidão. A incerteza de medição pode ser classificada como:

a)Tipos de incertezas

Conforme o ISO GUM (2003) as incertezas podem ser classificadas como:

- Tipo A, onde é utilizado o método através da análise estatística de uma série de medições, sendo o desvio padrão experimental da média caracterizado como

incerteza padrão de medição, obtida através da média aritmética ou por meio de uma análise de regressão correta.

- Tipo B₁ pelo qual a incerteza padrão é obtida por outros meios do conhecimento científico. Podendo ser obtido a partir de dados anteriores, manuais, dados provenientes de calibração e de outros certificados, especificações de fabricantes, experiência ou conhecimento do comportamento de materiais e instrumentos relevantes.

b) Cálculo de incertezas

O cálculo da incerteza, de acordo com o ISO GUM (2003), é dado pela equação (I.21), no caso de grandezas independentes, representando o somatório das parcelas de diferentes estimativas de saída:

$$\mu^2(y) = \sum_{i=1}^N \mu^2_i(y) \quad (I.21)$$

As contribuições das diversas grandezas de saída y proveniente da associação das grandezas de entrada x, pela equação (I.22):

$$\mu_i(y) = c_i \mu(x_i) \quad (I.22)$$

Para (i = 1, 2, ..., N)

Onde c_i é o coeficiente de sensibilidade associado à estimativa de entrada x_i considerado a derivada parcial da função modelo f com relação à variável X_i , para as variáveis de entrada x_i . O coeficiente de sensibilidade apresenta a influência das variações das estimativas de entrada em relação à estimativa de saída, conforme a equação (I.23).

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (I.23)$$

Para (i = 1, 2, ..., N_i)

A incerteza expandida de medição é calculada pela multiplicação do valor relacionado da grandeza de saída pelo valor do fator de abrangência, equação (III.33). Na maioria dos casos de calibração, são aceitas as expressões de incerteza padrão de medição com fator de abrangência $K=2$, de aproximadamente 95%, em casos onde a distribuição é normal equação (I.24) é a incerteza expandida de medição.

$$U = ku(y) \quad (I.24)$$

Quando a distribuição normal não representa a expressão real das medições outras distribuições podem ser utilizadas, como a retangular para as outras contribuições para a incerteza do mensurando. Entretanto, a confiabilidade das medições é determinada pelo grau de liberdade efetivo. Porém, se as incertezas forem provenientes de incertezas do tipo A em número maior que 10, o critério da confiabilidade, é normalmente, satisfeito.

Devem ser utilizados no máximo dois algarismos significativos no resultado de avaliação da incerteza de medição, escrevendo da forma conforme a equação (I.25):

$$y \pm U \quad (I.25)$$

OLIVEIRA (1996) relacionou as variáveis principais na composição do cálculo de incertezas para a medição de massa em laboratório.

I.3.2 - Método de propagação de distribuição de Monte Carlo

A análise de dados tem como base a análise de incertezas com o apoio de métodos numéricos de propagação de distribuição de probabilidade de Monte Carlo ISO GUM (2004), para formar uma análise dos parâmetros de estatística descritiva. Este método é utilizado quando a análise de incertezas é aplicada em situações onde a propagação de incertezas não está muito clara, onde a medição da incerteza é difícil devido à complexidade do modelo.

Segundo COX et al. (2003) este método pode ser aplicado para o estudo de diagramas causa e efeito em situação onde a combinação de variáveis é responsável para a obtenção de um mensurando. A variação das variáveis de entrada, conforme os valores possíveis representados em fdp geram uma fdp correspondente à variável de saída.

Na aplicação deste método, deve-se considerar que o modelo de obtenção do mensurando deve contemplar o número de variáveis de entrada de acordo com o tipo da variável de saída considerada. As principais etapas da determinação da incerteza, por simulação de Monte Carlo, estão relacionadas a seguir:

- Definir a quantidade de medições necessárias da variável de saída; com o propósito de quantificar uma amostra razoável da variável objeto da análise de incertezas;
- Definir quais são as variáveis dependentes para o mensurando, ou seja, quais as variáveis que influenciam no resultado e podem ser quantificadas;
- Desenvolver um modelo de relação entre as variáveis, identificar a relação matemática ou a equação que estabelece a interface entre as variáveis de entrada e a variável de saída, ou o mensurando;
- Verificar quais as funções de densidade de probabilidade de cada variável a serem consideradas no modelo, proporcionando elementos para a identificação do comportamento da distribuição de probabilidade da variável de saída ou mensurando.

Para a determinação da função de distribuição de densidade de probabilidade, deve-se ter como base:

- Análises de diferentes séries de medições, estabelecendo um histórico de medições ou um levantamento de diferentes medições, formando um conjunto de valores;
- Observações de cientistas, os quais através de estudos específicos definem a relação de dependência de variáveis, ou experimentalmente a distribuição de probabilidade;

-Utilizar todas as informações relevantes, tais como dados históricos, calibrações e pareceres de profissionais especializados, os quais podem contribuir com informações que influenciam o resultado de medição.

Entretanto, várias ferramentas podem ser consideradas para esta etapa do processo de determinação da função de propagação da distribuição de probabilidade: métodos analíticos, por exemplo, equações matemáticas que representam fenômenos físicos ou econômicos.

-Utilizar séries de Taylor de primeira ordem;

-Utilizar séries de Taylor de ordens elevadas, incluindo aproximações;

-Métodos numéricos, implementando a propagação de distribuição, especificamente a simulação de Monte Carlo.

A simulação de Monte Carlo para a análise de incertezas é baseada na premissa que qualquer valor fruto de uma distribuição aleatória de valores possíveis do mensurando é legítimo como qualquer outro valor. E o procedimento para a simulação é:

Desenvolver o modelo $Y = f(x)$ proveniente da formulação da análise de incertezas, ou seja, a relação matemática entre as variáveis de entrada x , que influenciam na medição e a variável de saída y , que é o mensurando, objeto da análise de incertezas. O esquema representativo da figura I.41 facilita o entendimento, das variáveis de entrada no processo de formação da função e a correspondente saída de uma variável ou uma função y .

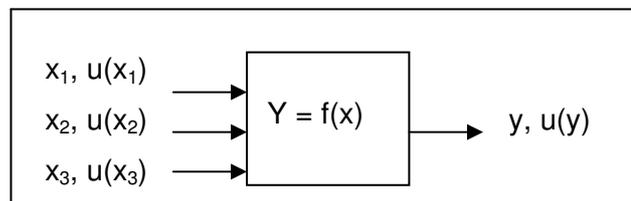


Figura I.41 - Representação da variável de saída [GUM, 2002]

As considerações das funções de densidade de distribuição de probabilidade dos integrantes da medição, das variáveis x . Deve ser relacionada para cada variável de entrada a distribuição de probabilidade, por exemplo, distribuição normal, retangular, triangular, Poisson, Weibul, etc. No esquema da figura I.42 podem ser observados diferentes tipos de distribuição normal e triangular de probabilidade gerando uma curva próxima da normal.

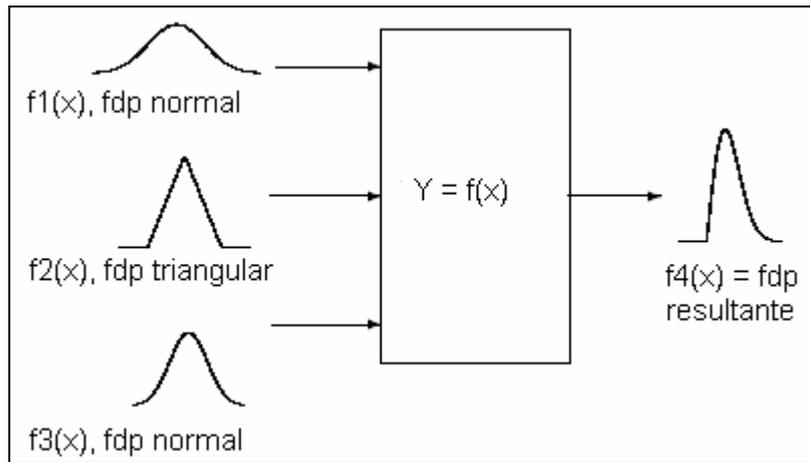


Figura I.42 - Modelo de interação das distribuições de probabilidade

O valor M de interações deve ser selecionado tendo como intenção atingir o intervalo de confiança de 95%, com uma ou duas casas decimais significativas, sendo indicado o valor $M = 10^6$.

Este método de iterações matemáticas foi aplicado por SILVA (2001) em artigo técnico sobre detecção de perfilagem nuclear, e pelo corpo de pesquisa de transporte dos Estados Unidos da América E-079 (2005) para calibração para determinar a carga e os fatores de resistência geotécnicos em projetos estruturais.

Tendo em vista a realização do tratamento metrológico dos dados, foram especificadas as formulações para a simulação computacional pelo método de propagação de distribuições de probabilidades de Monte Carlo.

Entretanto, antes de formular o modelo utilizado esta apresentada uma introdução ao tema da simulação de cálculo de incertezas pelo método de variação numérica de Monte Carlo.

a) Análise de incertezas pelo método de Monte Carlo

Conforme ISO GUM (2004) por meio da simulação computacional, através do uso da técnica de Monte Carlo, são analisados os valores considerando até 1.000.000 interações limite para a análise de incertezas.

Segundo MOSCATI et al. (2004), a técnica de simulação de Monte Carlo é apresentada, como procedimento geral, para se obter numericamente uma aproximação da propagação das fdp. Pressupõe a premissa de que cada possível valor obtido da distribuição, de modo aleatório, como grandeza de entrada, é tão legítimo como qualquer outro valor. Caso haja dúvida na utilização deste procedimento, recomenda-se a realização do cálculo segundo o GUM, ou em séries de Taylor de segunda ordem, e a comparação dos métodos pode validar o processo. Ao gerar valores de forma aleatória até 1.000.000 vezes, é estabelecida uma base de dados suficiente para a consideração de uma distribuição normal de probabilidade. Para a

restrição dos valores a serem gerados de forma aleatória na simulação são considerados uma média estimada e o intervalo de confiança desejado. Medições reais podem ser utilizadas para estipular os valores iniciais na simulação COUTO et al. (2006), comprovaram a viabilidade de utilização da técnica de Monte Carlo, demonstrando a eficiência da aplicação da ferramenta de Monte Carlo em análises de incertezas em medições de dureza e torque. RIBEIRO et al. (2006), aplicaram a metodologia de Monte Carlo em análise de incertezas em múltiplos estágios, superando as dificuldades em problemas com regressão não linear.

b) Procedimento de elaboração do algoritmo

Conforme MOSCATI et al. (2004), segue-se a seqüência de passos:

- 1) Definir a quantidade de medições necessárias da variável de saída; com o propósito de quantificar uma amostra razoável da variável objeto da análise de incertezas;
- 2) Definir quais são as variáveis dependentes para o mensurando, ou seja, quais as variáveis que influenciam o resultado e podem ser quantificadas;
- 3) Desenvolver um modelo de relação entre as variáveis, identificar a relação matemática ou a equação, que estabelece a relação entre as variáveis de entrada e a variável de saída, ou o mensurando;
- 4) Verificar que função de densidade de probabilidade de cada variável a ser considerada no modelo, proporcionando elementos para a identificação do comportamento da distribuição de probabilidade da variável de saída. Segundo HROMKOVIC (2001) existem três classes de algoritmo Monte Carlo: erro unilateral, erro-bilateral e erro-não-limitado comumente chamado de Monte Carlo. O método de Monte Carlo também é chamado de amostragem estocástica, com aplicações amplas, dividendo-se em quatro tipos:

- modelos determinísticos, quando aplicado em relações exatas e não em fdp, onde podem ser obtidas soluções analíticas.

- modelos estocásticos, quando pelo menos uma das características é uma fdp.

- modelos estáticos, de aplicabilidade limitada (a não ser para aplicações em economia)

- modelos dinâmicos, iterações relativas ao tempo são levadas em consideração.

c) Variáveis estatísticas aplicadas no algoritmo

Segundo MIRANDA (2007), estima-se $E(F)$ com base na amostra aleatória de N estados do sistema ou N cenários, conforme a equação (I.26):

$$\bar{E}(F) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F(x^i) \quad (\text{I.26})$$

Onde :

$\bar{E}(F)$ - estimativa para o valor esperado de $E(F)$

N – dimensão da amostra

X^i – vetor sorteado i a partir da distribuição de probabilidade $p(x)$

Entretanto, $\bar{E}(F)$ não é um valor esperado exato de $E(F)$, que é desconhecido e se deseja *calcular*, mas apenas uma *estimativa* de tal valor. Tal como em qualquer processo de amostragem, o valor médio da amostra apresenta uma distribuição em torno do valor exato, tal que a estimativa pode ser representada pela variância $V[\bar{E}(F)]$ do estimador, na equação (1.27):

$$V[\bar{E}(F)] = \frac{V(F)}{N} \quad (1.27)$$

Onde $V(F)$ é a variação real de F , expressa na equação (1.38). Mas como este valor é desconhecido, usa-se no cálculo um estimador não tendencioso:

$$\bar{V}(F) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N [F(x^i) - \bar{E}(F)]^2 \quad (1.28)$$

Verifica-se que a incerteza na estimativa de $E(F)$, medida pela amplitude da variância, é inversamente proporcional à dimensão da amostra N . Portanto, é costume estabelecer um critério de parada para um processo de simulação de Monte Carlo pela definição de uma incerteza relativa, baseada num coeficiente de variação β , conforme a equação (1.29):

$$\beta^2 = \frac{V[\bar{E}(F)]}{\bar{E}(F)^2} \quad (1.29)$$

Ou como função do desvio padrão $\sigma[\bar{E}(F)]$, expressa na equação (1.30):

$$\beta = \frac{\sigma[\bar{E}(F)]}{\bar{E}(F)} \quad (1.30)$$

d) Aplicação de métodos computacionais em Monte Carlo

Segundo STEELE e DOUGLAS (2005) podem ser aplicadas ferramentas de Excel para aplicação deste método de iterações matemáticas, onde se estabelecem os intervalos de valores para serem gerados aleatoriamente para os parâmetros a serem utilizados no modelo.

STEMPNIAK et al. (2005) relacionou a eficiência do uso de software para o cálculo de incertezas a níveis de confiança de 99,9%.

DECKER et al. (2006), sintetizaram de forma genérica a combinação dos fatores metrológicos para a aplicação do método de Monte Carlo, através do desenvolvimento de programação em linguagem C e uso de ferramentas avançadas do Excel.

Segundo CANTRELL (1995) o método numérico de Monte Carlo pode ser descrito como uma simulação estatística, em termos gerais um método que utiliza sequência de números aleatórias para simulações.

Segundo BIANCHI e CANESIN (2002) modelos matemáticos geram subconjuntos conhecidos como modelos de simulação. Os modelos de simulação surgiram durante a segunda guerra mundial, identificados por John Von Neumann, Stanislaw Ulam e Fermi para resolver problemas de difusão de nêutrons. Entretanto, a simulação não envolve obrigatoriamente o uso de computadores, mas com o avanço da informática e o surgimento de computadores pessoais, a popularização dos computadores facilita a prática da simulação computacional com a aplicação de linguagens de programação de alto nível. A utilização de computadores torna mais rápida a simulação e a obtenção dos resultados. O surgimento das modelagens e simulações nos currículos escolares se deu nos anos sessenta na antiga União Soviética, e no Brasil na década de setenta.

Segundo CANABRAVA e VITIELLO (2003) a aplicação do método variacional de Monte Carlo é eficiente em simulações computacionais de sistemas físicos onde o método analítico não pode ser aplicado. Aplicando este no estudo de uma partícula confinada em um poço de potencial infinito.

Através do uso da técnica de Monte Carlo podem ser simuladas diferentes situações para um mesmo processo de medição, conforme a variação dos intervalos de valores definidos para serem gerados no modelo específico.

O programa Crystal Ball é uma ferramenta poderosa para a aplicação deste método pois é possível designar as fdp das variáveis de entrada e estipular os intervalos de valores aleatórios a serem gerados obtendo a fdp do mensurando, inclusive sendo utilizada nesta pesquisa.

No capítulo seguinte, apresentam-se algumas políticas públicas adotadas no setor de transporte rodoviário, como o planejamento das rodovias e o controle de peso dos veículos, de forma a promover a manutenção das estradas. Neste sentido, descreve-se o cenário onde se insere o objeto de estudo deste trabalho.

II - PLANO BRASILEIRO DE PESAGENS

No Brasil foram desenvolvidos dois grandes planos estratégicos de pesagem, consideradas as ações estratégicas, adotadas para a prevenção do desgaste das vias. Através de políticas públicas desenvolvidas pelos Ministérios do planejamento, transporte, justiça entre outros e implementadas pelos DNER no passado e, atualmente, pelo DNIT, DENATRAN, INMETRO, ANTT investiu-se na infra-estrutura das estradas. O conceito de controlar a carga dos veículos passou a ser importante para a manutenção das rodovias. Passou-se a instalar postos de pesagens nas estradas.

Primeiramente, tendo em vista a vasta extensão territorial do Brasil foram projetadas estradas, implementadas leis de trânsito, e estabelecido o controle metrológico dos instrumentos de pesagem para fins de fiscalização do peso dos veículos. Com o aumento do número de veículos e a modernização da frota nacional, busca-se atualizar as normativas relacionadas ao transporte rodoviário.

II.1- RODOVIAS, FATOR DE INTEGRAÇÃO NACIONAL

O contexto histórico resultante da determinação dos governos militares, a partir de 1964 BRASIL (1964), expôs em parte os anseios nacionais através de diversas etapas necessárias contidas no Programa de Ação Econômica para o período de 1964-66. A contingência era transformar definitivamente o Brasil em uma “potência emergente”.

A consolidação de tal plano serviu-se do notável desempenho do setor industrial, onde um novo padrão de crescimento se revelava, a citar: a indústria automobilística inicia em 1968 um ciclo de recordes de produção (mais de 270 mil unidades, contra 225 mil em 1967), e a indústria da construção civil com substancial ativação MACARINI (2000). Estes fatores de desenvolvimento aliados à disponibilidade de capital externo e o planejamento de investimentos públicos comporiam a aceleração e a diversificação da consolidação do “Milagre Econômico” para o período (1968-1974).

Além da indústria automobilística e da construção civil, era também notável o implemento na siderurgia, o setor de materiais para a construção civil surpreendido com a explosão de demanda, incluindo a insuficiência da produção de cimento, e até a indústria têxtil penalizada por crises econômicas em anos anteriores. Nesta conjuntura, a formalização da infra-estrutura nacional exigiu a expansão das vias de escoamento e distribuição das produções brasileiras, pois, neste período, também foram exibidos os primeiros sinais do “boom” exportador nacional, após mais de 15 anos de literal estagnação MACARINI (2000).

Em conformidade com a matriz escolhida para o escoamento das produções brasileiras, as rodovias formalizaram-se como a principal via de oferta para a integração deste país com

características continentais, que em contrapartida estabelece intensos custos operacionais relativos às atividades de construção viária e suas conseqüentes manutenções.

II.2- PLANO NACIONAL VIÁRIO

O plano nacional viário apresenta as descrições das vias brasileiras e as respectivas referências quanto às dimensões das rodovias, segundo o DNIT (2007), conforme a figura II.1 apresentando um total de 122.620 mil quilômetros de extensão de rodovias federais em 1973:

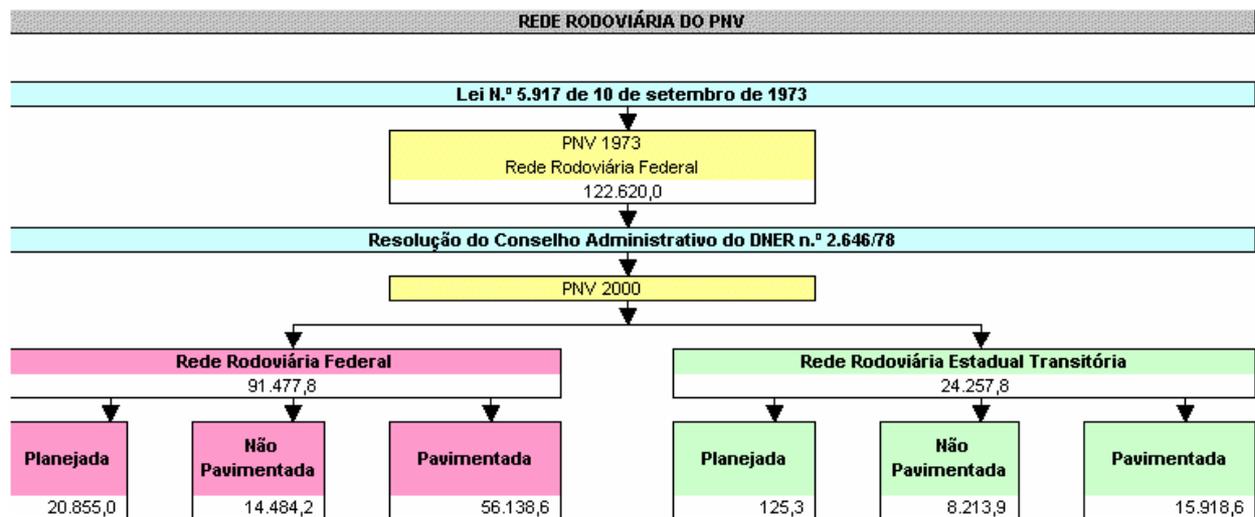


Figura II.1 - Distribuição das rodovias federais [DINT, 2007]

No ANEXO II, verificam-se as extensões de rodovias, conforme as classificações por jurisdição dos entes da federação.

De acordo com o DNIT (2007), a nomenclatura das rodovias é definida pela sigla BR, esclarecendo que a rodovia é federal, os dois algarismos seguintes definem a categoria em relação à orientação, tendo como base de referência a capital federal. Na seqüência, algumas definições quanto à direção das rodovias:

1. RODOVIAS RADIAIS - São as rodovias que partem da Capital Federal em direção aos extremos do país, figura II.2.



Figura II.2 - Rodovias radiais [DNIT, 2007]

2. RODOVIAS LONGITUDINAIS - São as rodovias que cortam o país na direção Norte-Sul, figura II.3.



Figura II.3 - Rodovias longitudinais [DNIT, 2007]

3. RODOVIAS TRANSVERSAIS - São as rodovias que cortam o país na direção Leste-Oeste, figura II.4

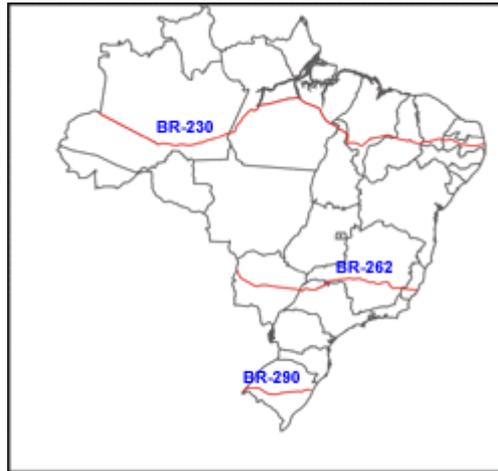


Figura II.4 - Rodovias transversais [DNIT, 2007]

4. RODOVIAS DIAGONAIS - Estas rodovias podem apresentar dois modos de orientação: Noroeste-Sudeste ou Nordeste-Sudoeste, figura II.5.



Figura II.5 - Rodovias diagonais [DNIT, 2007]

5. RODOVIAS DE LIGAÇÃO - Estas rodovias apresentam-se em qualquer direção, normalmente ligando rodovias federais, ou pelo menos uma rodovia federal a cidades ou pontos importantes, e até as nossas fronteiras internacionais.

A quilometragem das rodovias não é cumulativa de uma Unidade da Federação para a outra. Logo, toda vez que uma rodovia inicia dentro de uma nova Unidade da Federação, sua quilometragem começa novamente a ser contada a partir de zero.

Entretanto, considerando os aspectos atuais dados referentes à malha rodoviária em 2006, as rodovias registram a extensão total da malha rodoviária de 1.610.076 km, conforme a CNT (2006a) e especificação da tabela II.1, onde se apresentam os totais em extensão das rodovias federais, estaduais e municipais. Em pesquisa realizada pela CNT (2006b) 54,6% das rodovias estão em estado crítico, conforme a tabela II.2.

Tabela II.1 - Extensão das rodovias nacionais [CNT, 2006a]

Malha rodoviária – extensão em km			
	Pavimentada	Não pavimentada	Total
Federal	57.933	14.777	72.710
Estadual transitória	17.049	7.277	24.326
Estadual	98.377	109.963	208.340
Municipal	22.735	1.281.965	1.304.700
Total	196.094	1.413.982	1.610.076
Malha rodoviária condicionada – extensão em km			10.803
Administrada por iniciativa privada			9.739
Administrada por operadoras			1.064

Tabela II.2 - Pesquisa de estado do pavimento [CNT, 2006b]

Indicações da pesquisa	%	km
Pavimento em estado crítico (regular, ruim, péssimo)	54,6	45.950
Sinalização com problemas	70,3	59.309
Sem acostamento	40,5	34.168
Placas encobertas por mato	1,3	1.119
Trechos com afundamentos, ondulações ou buracos	8,6	7.228
Predominância de pista de rolamento simples de mão dupla	89,7	75.696

Atualmente, o número de veículos de transporte rodoviário, que circulam nas vias públicas, é superior a três milhões, sendo a maioria de caminhões, CNT (2006a), conforme a tabela II.3.

Tabela II.3 - Números de veículos da frota nacional [CNT, 2006a]

Frota de veículos	
Caminhão	1.733.288
Cavalo mecânico	271.007
Reboque	516.499
Semi-reboque	437.334
Ônibus interestaduais	13.212
Ônibus fretamento	25.120
Ônibus urbanos	95.000
Número de terminais rodoviários	173

II. 3 - PROGRAMAS DE PESAGEM NACIONAL

Os programas de pesagens nacionais têm como principal objetivo estabelecer estrategicamente o posicionamento das praças de pesagens nas rodovias, e descrever o uso das balanças, onde são realizadas as atividades de fiscalização do peso de veículos.

II. 3. 1 - Evolução da pesagem no Brasil

O início da pesagem de veículos em movimento no Brasil data da década de 70, onde as primeiras unidades de propriedade do DNER passaram a compor parte dos equipamentos utilizados na identificação da sobrecarga dos veículos rodoviários.

Segundo o relatório do DNER (1985), o plano diretor de pesagem desenvolvido no Brasil com início em 1975 foi o maior plano de controle de cargas do mundo, visando preservar o valioso patrimônio das estradas federais, inclusive com o financiamento do BIRD de aproximadamente US\$49 milhões para 73 obras civis.

Em 1979, o DNER estabeleceu entendimento com o antigo INPM para a aferição dos instrumentos de pesagem. Face à novidade no Brasil, naquela época, a avaliação dos instrumentos de pesagem teve a apreciação com base aos ensaios metrológicos realizados na Hungria, Inglaterra e Alemanha, os quais foram enviados pelo DNER ao INPM. Desta forma, foram realizados exames nos modelos apresentados pela empresa PROTOS engenharia e pela SIMENS no país conforme as condições de instalação locais, durante três anos. Conforme ALENCAR e MARTHA (1981) após as medições realizadas em cinco locais no território nacional, chegou-se em 1981 a uma proposta de metodologia de verificação. Em 1982, o presidente do então Inmetro, Fernando Simões Souto, enviou ao DNER o ofício 127/82 com a metodologia para a verificação dos modelos apresentados ao Instituto, que foi a base para as futuras aplicações nas avaliações nacionais de instrumentos de pesagens.

Segundo CENTRAN-PDNEP (2006) em 1974, pela implementação da chamada lei da balança, o controle de peso era realizado por instrumento de pesagem estático. O primeiro plano diretor de pesagem desenvolvido pelo DNER previu a criação de 132 postos fixos de pesagem, sendo posteriormente reduzido este número devido a restrições orçamentárias. Estes PPV, postos de pesagem de veículos, eram sistemas de pesagem onde o veículo trafegava em baixa velocidade, constituídos normalmente, por uma balança seletiva e outra de precisão. Com o passar dos anos, a manutenção e a conservação dos PPV tornou-se deficitária, por dificuldades de importação de sobressalentes e conseqüente custo de manutenção.

Primeiramente, foram utilizados instrumentos de pesagem em instalações fixas, em postos definidos para atividade contínua; posteriormente, foram projetadas instalações para os instrumentos destinados à atividade de pesagens portáteis, ou seja, os que podem ser deslocados para outros postos de pesagem, legalmente autorizados.

Atualmente, o Plano Diretor Nacional Estratégico de Pesagem foi desenvolvido através da parceria entre o DNIT e o DEC do exército brasileiro, conforme o relatório apresentado teve como atividade fim possibilitar a determinação do número de postos de pesagem, suas respectivas localizações e a priorização dos investimentos naqueles, comprovadamente, mais representativos.

Devido à mudança na frota nacional, com o surgimento dos veículos de sete eixos e nove eixos e a falta de registro, nos últimos dez anos, do número de veículos e da análise de origem e destino do transporte de cargas no país, foi primeiramente desenvolvida uma pesquisa conhecida como semana nacional de contagem de tráfico. Desenvolvida entre os dias 26/27/28/29/30 de novembro a 01/02 de dezembro de 2005.

Os locais dos postos foram indicados em função dos seguintes aspectos:

- Avaliação dos principais corredores de transporte rodoviário;
- Avaliação dos principais centros (industriais e agrícolas);
- A localização dos principais pontos de distribuição de cargas (ferrovias e portos);
- Avaliação dos volumes de tráfego do DNIT;
- A localização das balanças já implantadas (em funcionamento ou não) na malha rodoviária federal;
- Verificação do grau de importância dos pontos escolhidos para as pesquisas, tomando-se por base a conjugação de rotas (software TransCAD).

As localizações dos Postos de Pesquisas, correlacionados aos seus respectivos trechos, conforme o código do Plano Nacional de Viação – PNV do DNIT, totalizaram 109 postos de medição e mais de 4000 pessoas envolvidas na tarefa diretamente, estando as informações disponibilizadas no CENTRAN. Considerando para a pesquisa os tipos de veículos relacionados na figura I.2.

No plano referido, foram feitas considerações sobre os aspectos de pesagem por eixo de veículos e o peso bruto total dos veículos, inclusive com as participações das instituições: ABCR, ANTT, CNT, DENATRAN, DNIT, INMETRO, MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES e NTC, onde alguns representantes enviaram sugestões sobre o assunto. Além dos registros dos acordos do TCU estabelecendo que a pesagem por eixo deva ser exigida conforme o Código Nacional de Trânsito, ou seja, interpretando que a lei faz esta exigência e solicitando o desenvolvimento desta prática. A pesagem por eixo é assunto polêmico, já que recentes deliberações do CONTRAN, resolução 104/00, estabeleceu que a multa sobre o excesso de peso por eixo fosse impedida, multando-se apenas por excesso do PBT.

Outro assunto de muita discussão é o aspecto da pesagem dinâmica ser utilizada para gerar multas de excesso de peso em veículos de transporte de líquidos em tanques ou cisternas, a ABCR afirma que este sistema de pesagem é eficiente para esta atividade, porém o Inmetro esclarece que este sistema de pesagem é somente avaliado para cargas que não alterem a posição do centro de gravidade durante o deslocamento do veículo, de forma a interferir no resultado das medições. Certamente este assunto ainda deve ser avaliado sobre os aspectos da utilização de instrumentos de pesagem estática para a realização da fiscalização ou a utilização de novas tecnologias para o controle do peso destes veículos.

II. 3. 2 - Localizações dos postos de pesagens no Brasil

Segundo o DNIT (2007), a localização dos postos de pesagens no Brasil está distribuída nos seguintes estados, conforme as figuras II.6 e II.7 resultando em um número de 121 PPV, de acordo com a tabela II.4.

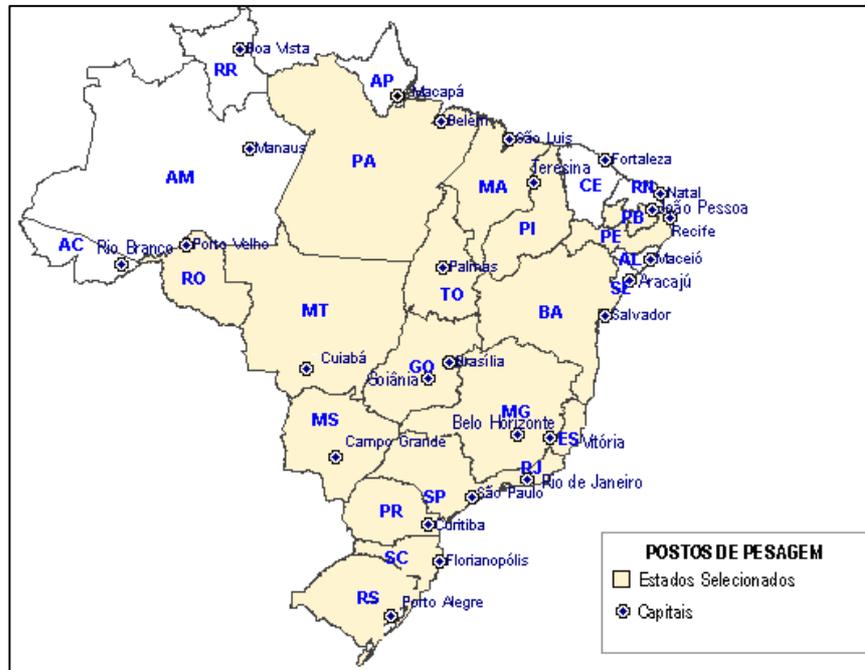


Figura II.6 - Estados onde são encontrados os postos de pesagens [DNIT, 2007]

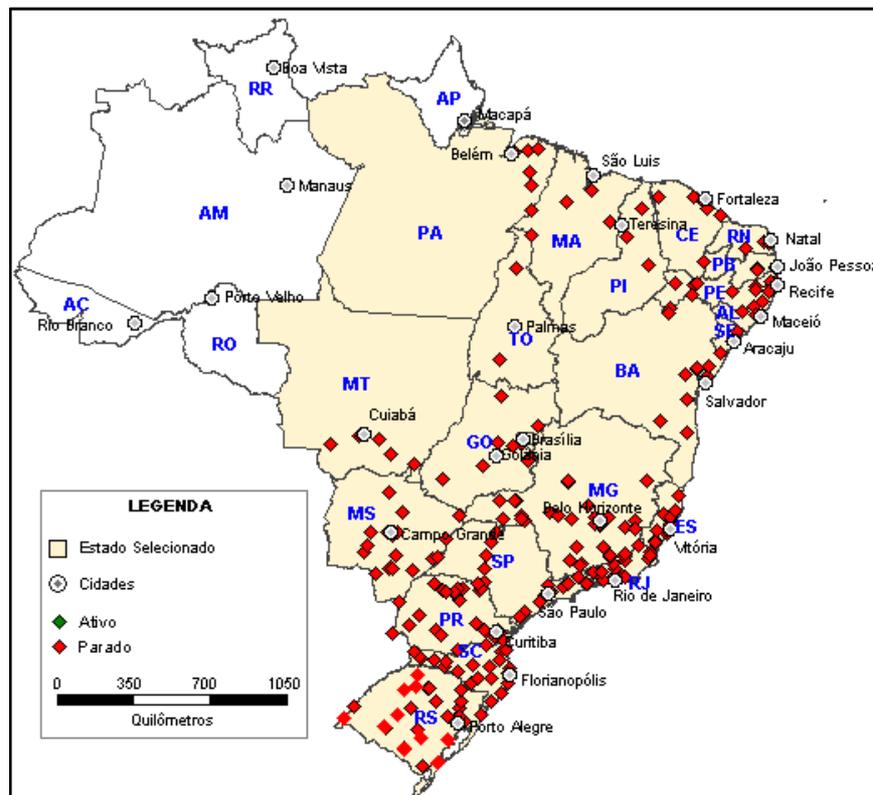


Figura II.7 - Postos de contagem de tráfego de veículos em rodovias [DNIT, 2007]

Tabela II.4 - Demonstrativo dos postos de pesagens no país [DNIT, 2005]

Última atualização: Junho/2005	
Postos de Pesagem	Quantidade
Postos Concedidos	7
Delegado ao estado	16
Subtotal	23
Construído / Inoperante	26
Em operacionalização	13
Operação educativa	14
Operando normalmente	35
Paralisado	9
Projeto não concluído	1
Subtotal	98
Total	121

II. 4 - LEGISLAÇÕES SOBRE LIMITE DE PESO

No Brasil a fiscalização dos limites de peso, dimensões e lotação dos veículos são de competência da Polícia Militar nas rodovias estaduais e nas federais, pela Polícia Rodoviária Federal.

O excesso de peso é verificado por equipamento de pesagem ou pela verificação de documento fiscal, na forma estabelecida pelo CONTRAN. O Ato de Fiscalizar está amparado na Lei 9.503/97, Código Brasileiro de Trânsito – CTB (1997).

A regulamentação tem como objetivo principal a preservação das condições das estradas, pontes e viadutos. Sendo que a legislação estabelece uma tolerância máxima de 5% sobre os limites do peso bruto total (PBT) e 7,5% sobre os limites do peso bruto total transmitido por eixo de rodagem.

Caso o excesso seja superior a estes limites, haverá autuação sobre o peso excedente. A existência de multa por excesso de peso em eixos separadamente, é contestada e gera polêmica sobre a autorização para a sua aplicação.

Outro fator importante na fiscalização sobre veículos é o CMT (capacidade motriz de transporte) relacionado com a potência do veículo, informado pelo fabricante. Este parâmetro identifica a potência do veículo que pode ser utilizada para transporte de carga.

De acordo com o Art. 257 do Código de Trânsito Brasileiro - CTB, as penalidades aplicadas, serão impostas ao condutor, ao proprietário do veículo, ao embarcador e ao transportador, salvo nos casos de liberação do cumprimento de obrigações e deveres impostos a pessoas físicas ou jurídicas, expressamente mencionados no Código de Trânsito Brasileiro.

Em conformidade ao Código de Trânsito Brasileiro, relacionam-se as diversas situações de infrações cometidas e a atribuição de responsabilidade pelas mesmas, como segue:

- PROPRIETÁRIOS E CONDUTORES DE VEÍCULOS - sempre que houver responsabilidade solidária;
- PROPRIETÁRIO - sempre que a infração for referente à prévia regularização, preenchimento das formalidades e condições exigidas para o trânsito do veículo na via, conservação e inalterabilidade de suas características, componentes, agregados, habilitação legal e compatível de seus condutores;
- EMBARCADOR – sempre que a infração for relativa ao transporte de carga com excesso de peso nos eixos ou de peso bruto total, este embarcador for o único remetente da carga e o peso declarado na nota fiscal, fatura ou manifesto for inferior àquele aferido;
- TRANSPORTADOR – quando a infração for relativa ao transporte de carga com excesso de peso nos eixos ou quando a carga proveniente de mais de um embarcador ultrapassar o peso bruto total;
- TRANSPORTADOR E EMBARCADOR - são solidariamente responsáveis pela infração relativa ao excesso de peso bruto total, se o peso declarado na nota fiscal, fatura ou manifesto for superior ao limite legal.

Estes são os artigos do Código de Trânsito Brasileiro, que normalizam o funcionamento das Balanças:

“Art. 99 Somente poderá transitar pelas vias terrestres o veículo cujo peso e dimensões atenderem aos limites estabelecidos pelo CONTRAN.

§ 1º O excesso de peso será aferido por equipamento de pesagem ou pela verificação de documento fiscal, na forma estabelecida pelo CONTRAN.

§ 2º Será tolerado um percentual sobre os limites de peso bruto total e o peso bruto transmitido por eixo de veículos à superfície das vias, quando aferido por equipamento, na forma estabelecida pelo CONTRAN.

§ 3º Os equipamentos fixos ou móveis utilizados na pesagem de veículos serão aferidos de acordo com a metodologia e na periodicidade estabelecidas pelo CONTRAN, ouvido o órgão ou entidade de metrologia legal.”

Neste artigo é expressamente exigida a pesagem de todos os veículos nas rodovias:

“Art. 209. Transpor sem autorização, bloqueio viário com ou sem sinalização ou dispositivos auxiliares, deixar de adentrar às áreas destinadas à pesagem de veículos ou evadir-se para não efetuar o pagamento do pedágio:

Infração: Grave

Penalidade: Multa

Art. 210. Transpor, sem autorização, bloqueio viário policial.

Infração: Gravíssima

Penalidade: Multa, apreensão do veículo e suspensão do direito de dirigir;

Medida Administrativa: Remoção do veículo e recolhimento do documento de habilitação.”

.....

Art. 278. Ao condutor que se evadir da fiscalização, não submetendo veículo à pesagem obrigatória nos pontos de pesagem, fixos ou móveis, será aplicada a penalidade prevista no art. 209, além da obrigação de retornar ao ponto de evasão para fim de pesagem obrigatória

Parágrafo único: No caso de fuga do condutor à ação policial, a apreensão do veículo dar-se-á tão logo seja localizado, aplicando-se além das penalidades em que incorre, as estabelecidas no art. 210

Nos artigos acima estão as relações de penalidades de evasão ou fuga da pesagem.

“Art. 230 - Conduzir o veículo

(...)

XXI - de carga, com falta de inscrição da tara e demais inscrições previstas neste Código;

Infração - média

Penalidade - multa

Art. 231 - Transitar com o veículo:

(...)

IV - com suas dimensões e ou de sua carga superiores aos limites estabelecidos legalmente ou pela sinalização, sem autorização:

Infração - grave

Penalidade - multa

Medida administrativa - retenção do veículo para regularização;

V - com excesso de peso, admitindo percentual de tolerância quando aferido por equipamento, na forma a ser estabelecida pelo CONTRAN.

Infração - média

Penalidade - multa acrescida a cada duzentos quilogramas ou fração de excesso de peso apurado, constante na seguinte tabela:

a) até seiscentos quilogramas - 5 (cinco) UFIR

b) de seiscentos e um a oitocentos quilogramas - 10 (dez) UFIR

- c) de oitocentos e um a um mil quilogramas - 20 (vinte) UFIR
- d) de um mil e um a três mil quilogramas - 30 (trinta) UFIR
- e) de três mil e um a cinco mil quilogramas - 40 (quarenta) UFIR
- f) acima de cinco mil e um quilogramas - 50 (cinquenta) UFIR

Medida Administrativa - retenção do veículo e transbordo da carga excedente

VI - em desacordo com a autorização especial, expedida pela autoridade competente para transitar com dimensões excedentes, ou quando a mesma estiver vencida:

Infração - grave

Penalidade - multa e apreensão do veículo

Medida administrativa - remoção do veículo

(...)

X - excedendo a capacidade máxima de tração:

Infração - de média a gravíssima, a depender da relação entre o excesso de peso apurado e a capacidade máxima de tração, a ser regulamentada pelo CONTRAN;

Penalidade - multa

Medida Administrativa - retenção do veículo e transbordo de carga excedente

Parágrafo único - Sem prejuízo das multas previstas nos incisos V e X, o veículo que transitar com excesso de peso ou excedendo à capacidade máxima de tração, não computado o percentual tolerado na forma do disposto na legislação, somente poderá continuar viagem após descarregar o que exceder, segundo critérios estabelecidos na referida legislação complementar.

TARA - peso próprio do veículo, acrescido dos pesos da carroçaria e equipamento, do combustível, das ferramentas e acessórios, da roda sobressalente, do extintor de incêndio e do fluído de arrefecimento, expresso em quilogramas. “

Nos referidos artigos, estão as penalidades ocasionadas pelo excesso de peso nas rodovias.

Outro fator importante é a substituição da legislação sobre os limites de peso e dimensões dos veículos. A Resolução CONTRAN 210 de novembro de 2006, ANEXO V, substitui a Resolução 12/98, e inovou em relação a anterior 12/98, relativa ao tema de dimensionamento dos veículos e referente à exigência de tração dupla, para os veículos articulados, conforme artigo 11. Outro ponto de destaque é o limite de diferença entre eixos, no Art. 4, de 1700kg.

A dimensão dos veículos também é importante para a fiscalização visto que a legislação atual define diferentes capacidades conforme o comprimento de veículos. Para um mesmo tipo de veículo podem existir diferentes possibilidades de limite de carga conforme as dimensões do veículo.

Entretanto, as modificações da legislação pertinente representam o reflexo do desenvolvimento tecnológico contínuo dos veículos nacionais e a necessidade de estudo com relação aos aspectos metrológicos das pesagens destes veículos.

Conforme ao DENATRAN (2006) portaria 85, temos os novos limites de peso dos veículos conforme as dimensões e tipos de silhuetas, estabelecidos expostos na Tabela II.6 e para AET na Tabela II.7.

GÖKTAN e MITSCHKE (1995), registraram os limites de carga por eixo e os PBT e PBTC em diversos países conforme a tabela II.5

Tabela II.5 - Comparação de limites de carga [GÖKTAN e MITSCHKE, 1995]

País	Carga por Eixo (kN)			PBT ou PBTC (kN)			
	Eixo dianteiro	Eixo simples	Eixo tandem duplo	2 eixos	3eixos	semi-reboque	trator e reboque
Alemanha	100	100	110-200	170	240	400-440	400
Áustria	100	100	160	160	220	380	380
Bélgica	100	100	190-200	190	260	440	440
Bulgária	60	100	130-200	160	260	380	420
Dinamarca	100	100	160-200	180	240	480	480
Finlândia	80	100	180	170	250	440	560
França	130	130	210	190	260	400-440	400
Grécia	70	100-130	200	190	260	380	380
Holanda	100	110	115-190	200	300	500	500
Hungria	100	100	160	200	240	400	400
Inglaterra	92	105	105-203,4	170	243,9	380	352,2
Itália	120	120	200	180	240	400-440	400-440
Iugoslávia	100	100	160	180	240	400	400
Suécia	100	100	160	170	290	375-514	375-514
Suíça	100	100	180	160	190	280	280

Tabela II.6 - Limites de dimensões e peso dos veículos [DENATRAN, 2006]

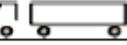
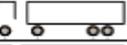
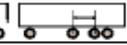
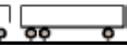
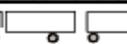
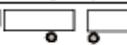
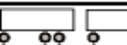
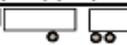
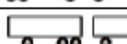
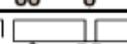
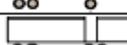
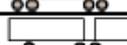
COMPOSIÇÕES HOMOLOGADAS PARA O TRANSPORTE DE CARGA									
COMPOSIÇÕES		Peso máximo por eixo ou conjunto de eixos (t)	PBT E PBTC (t)						Comprimento máximo (m)
			Comprimento total (metros)						
			inferior ou igual a 14,0	inferior a 16,0	superior ou igual a 16,0	inferior a 17,5	superior ou igual a 17,5	superior a 19,9	
Caminhão		6+10 = 16	16						14,0
		6+17 = 23	23						
		12+17 = 29	29						
Caminhão + semi-reboque		6+10+10= 26		26	26				18,6
		6+10+17= 33		33	33				
		6+10+10+10 = 36		36	36				
		6+10+25,5 = 41,5		41,5	41,5				
		6+10+10+17=43		43	43				
		6+10+10+10+10= 46		45	46				
		6+17=33		33	33				
		6+17,5=40		40	40				
		6+17+10=43		43	43				
		6+17+25,5 = 48,5		45	48,5				
		6+17+10+17 = 50		45	50				
	6+17+10+10+10 =53		45	53					
Caminhão + reboque		6+10+10+10 = 36				36	36		19,8
		6+10+10+17 = 43				43	43		
		6+17+10+10 = 43				43	43		
		12+17+10+10=49				45	49		
		6+10+17+17 = 50				45	50		
		6+17+10+17= 50				45	50		
		12+17+10+10+17= 56				45	56		
	6+17+17+17= 57				45	57			
Caminhão + semi-reboque + reboque		6+10+10+10+10=46				45	46		19,8
		6+17+10+10+10=53				45	53		
		6+10+17+10+10=53				45	53		
		6+10+10+17+10=53				45	53		
		6+10+10+10+17=53				45	53		
Caminhão + 2 semi-reboque		6+10+10+10=36				36	36		19,8
		6+17+10+10=43				43	43		
		6+10+17+10=43				43	43		
		6+10+10+17=43				43	43		
		6+17+10+17=50				45	50		
		6+17+17+10=50				45	50		
		6+10+17+17=50				45	50		
	6+17+17+17=57				45	57			

Tabela II.7 - Limites de dimensões e peso dos veículos - AET [DENATRAN, 2006]

COMPOSIÇÕES QUE NECESSITAM DE AUTORIZAÇÃO ESPECIAL DE TRÂNSITO - AET										
Caminhão + semi-reboque + reboque		6+10+10+10+10=46							46	30,0
		6+17+10+10+10=53							53	
		6+10+17+10+10=53							53	
		6+10+10+17+10=53							53	
		6+10+10+10+17=53							53	
Caminhão + 2 semi-reboque		6+10+10+10=36							36	30,0
		6+17+10+10=43							43	
		6+10+17+10=43							43	
		6+10+10+17=43							43	
		6+17+10+17=50							50	
		6+17+17+10=50							50	
		6+10+17+17=50							50	
		6+17+17+17=57							57	
Caminhão + 2 semi-reboque		6+17+25,5+17=65,5							65,5	30,0
		6+17+17+25,5=65,5							65,5	
		6+17+25,5+25,5=74							74	
Caminhão + semi-reboque + reboque		6+17+17+10=60							60	30,0
		6+17+17+10+17=67							67	
		6+17+17+17+17=74							74	
Caminhão + 2 reboque		6+17+10+10+10=63							63	30,0
		6+17+10+17+10+10=70							70	
Caminhão +3 semi-reboque		6+17+17+17+17=74							74	30,0

Observação: As figuras são meramente ilustrativas

II. 5 - CONTROLE METROLÓGICO DA PESAGEM DE VEÍCULOS NO BRASIL

No subitem II.3, apresentaram-se os elementos históricos incluindo desde o surgimento da atividade de pesagem de veículos rodoviários até o atual planejamento desenvolvido pelo DNIT e o Exército Brasileiro, porém nesta etapa da pesquisa estão relacionados os elementos ligados aos aspectos metrológicos.

Conforme o VIM LEGAL (2005), o controle metrológico legal é o conjunto das atividades de metrologia legal, visando à garantia metrológica, compreendendo o controle legal dos instrumentos de medição, a supervisão metrologia e a perícia metrológica.

DIAS (1998), afirma que o início da atividade de metrologia legal no Brasil, na época da colonização portuguesa, foi justamente com a fiscalização de instrumentos de medição de peso, porém para as atividades comerciais.

De acordo com a legislação apresentada no subitem anterior, Art. 99 do CTB, as balanças para aplicação na fiscalização rodoviária devem ser avaliadas pelo Inmetro, a entidade responsável pela metrologia legal no Brasil.

II. 5. 1 - Legislação metrológica

A RESOLUÇÃO Nº. 11/1998, do CONMETRO, estabelece, em seu Capítulo III, item 8, que os instrumentos de medir e as medidas materializadas, que tenham sido objeto de um ato normativo, deverão, obrigatoriamente:

- a) corresponder à modelo aprovado pelo INMETRO;
- b) ser aprovados em verificação inicial; e.
- c) ser verificados periodicamente.

A aprovação de modelo, segundo o VIM LEGAL (2005) é a decisão de caráter legal, baseada no relatório de apreciação técnica, reconhecendo que o modelo de instrumento de medição satisfaz às exigências regulamentares e pode ser utilizado no campo regulado, fornecendo resultados confiáveis durante um período de tempo definido. As descrições das verificações inicial e periódica encontram-se no capítulo I.

O Inmetro identifica a avaliação positiva do instrumento apreciado através da respectiva portaria de aprovação de modelo. O documento legal é publicado no Diário Oficial da União, em resumo, e a portaria na íntegra disponibilizada no Inmetro.

Mas, as verificações metrológicas subseqüentes à aprovação do modelo são realizadas pela RMLQ-I Rede de Metrologia Legal e Qualidade - Inmetro. Esta rede é composta por órgãos delegados pelo Inmetro em todo território nacional (Ipem estaduais), os quais são submetidos às auditorias do Inmetro regularmente.

As verificações subseqüentes realizadas nos instrumentos de pesagens uma vez ao ano fiscalizam o funcionamento, com o objetivo de constatar e confirmar que o instrumento de

medição satisfaz às exigências regulamentares. Um dos procedimentos adotados é avaliar se os erros na medição estão dentro dos limites máximos admissíveis estabelecidos no regulamento pertinente. Avaliações eventuais também podem ser realizadas a pedido do detentor do instrumento ou para investigação de denúncias.

Considerando a Lei nº. 9.933/99 de 20 de dezembro de 1999, que confere a competência ao Inmetro para elaborar e expedir atos normativos, tem apresentado nas portarias de aprovação de modelo de instrumentos de pesagem de veículos em movimento, o anexo referente à Metodologia de Verificação/Ensaio Dinâmico. Assim, os instrumentos de pesagem automáticos, ou seja, nos quais se enquadram as balanças de pesagem dinâmica (veículo em movimento), tem como dispositivo legal a autorização por suas respectivas portarias de aprovação de modelo.

Entretanto, um Regulamento Técnico Metrológico detalhado, relativo às balanças de pesagem dinâmica de veículos, está sendo desenvolvido pelo Inmetro. No caso dos instrumentos de pesagem não automáticos, ou seja, processo de pesagem estático, no qual se enquadram as balanças rodoviárias de pesagem estática (veículo parado), o ato normativo pertinente é a PORTARIA INMETRO nº. 236/94 correspondendo ao respectivo Regulamento Técnico Metrológico (RTM).

No capítulo seguinte se apresenta a aplicação de um modelo para uma abordagem metrológica detalhada da análise de confiabilidade dos instrumentos de pesagem de veículos em movimento. Estes instrumentos são utilizados no monitoramento e na fiscalização do cumprimento da legislação referente ao limite de peso de veículos rodoviários, através da pesagem dos veículos em movimento em locais apropriados, ato comumente chamado de pesagem dinâmica.

III - ANÁLISE DA METODOLOGIA DE PESAGEM EM MOVIMENTO

A análise da confiabilidade da pesagem de veículos em movimento requer mais que uma análise da funcionalidade ou da abordagem operacional da utilização de instrumentos de pesagem como ferramenta para o controle e monitoramento do peso dos veículos nas estradas. Faz-se necessária a análise metrológica, sob os aspectos da confiabilidade das medições registradas nos sensores instalados no pavimento.

Neste capítulo, apresenta-se o estudo metrológico da confiabilidade do processo de pesagem dinâmica. A base para a análise da exatidão do processo de pesagem de caminhões é a abordagem de medições comparativas entre o peso medido em uma balança estática e o registro similar em uma balança dinâmica, quando o veículo trafega sobre a plataforma de pesagem.

Através da abordagem dos procedimentos mais utilizados nas análises metrológicas do tipo de instrumento de medição considerado na pesquisa, na Europa e nos E.U.A, desenvolveu-se um modelo de avaliação nesta pesquisa. Através do planejamento de medição, aplicaram-se em duas fases de ensaios preliminar e definitiva, registradas na pesquisa, duas formas diferentes de aplicações metrológicas.

Está demonstrada neste capítulo a técnica de análise das incertezas através do método de propagação de distribuição de Monte Carlo, aplicada na estimativa da massa dos veículos rodoviários em movimento nas estradas.

III. 1 - MODELAGEM DA AVALIAÇÃO

As principais diretrizes da pesquisa constituem-se em realizações de ensaios para avaliar a repetitividade e reprodutibilidade das pesagens dos veículos na rodovia. Entende-se por repetitividade de resultados de medições VIM (1995), o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição; e reprodutibilidade dos resultados de medição, o grau de concordância entre os resultados das medições efetuadas sob condições variadas de medição.

A avaliação da pesagem dinâmica de veículos requer a análise das variáveis que interferem nos resultados das medições. Conforme FARUOLO, et al. (2006b), os principais fatores da pesagem em movimento são: a composição dos veículos, com referência à suspensão e tipo de articulação dos veículos, a velocidade e a instalação dos instrumentos. Portanto, nesta análise consideram-se os parâmetros principais abordados no ensaio como: os pesos transportados, os tipos de veículos (silhuetas), a velocidade de tráfego sobre a plataforma de pesagem, e a via onde está instalado o instrumento de medição. Neste aspecto, os parâmetros de ensaio podem mudar conforme o instrumento de medição objeto de avaliação; com o objetivo de analisar a capacidade de medição do equipamento em diferentes

níveis de utilização. No modelo a seguir, estão estruturadas as variáveis analisadas, com as respectivas ações em seqüência de blocos.

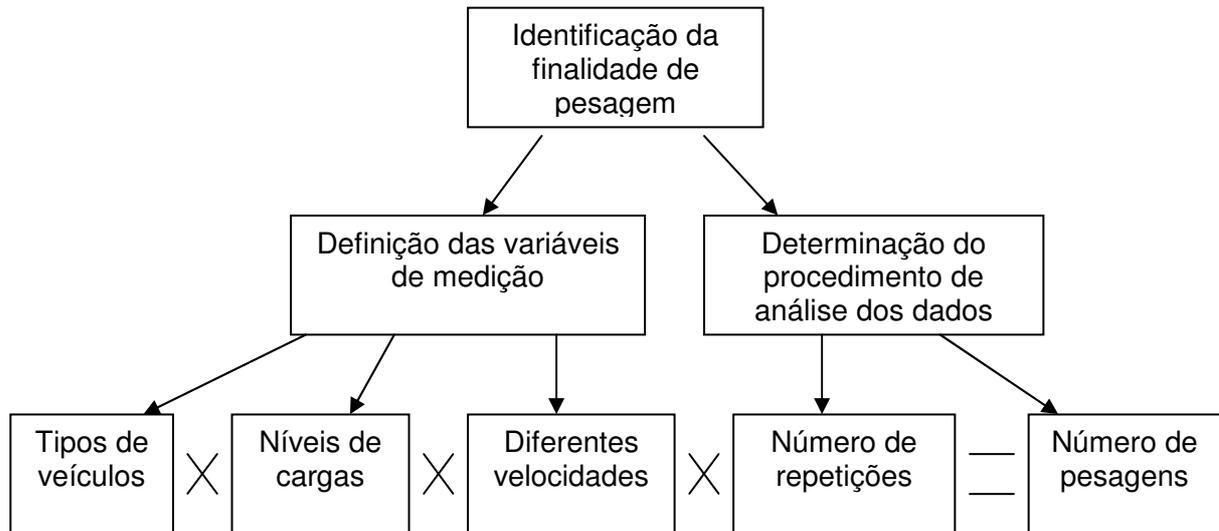


Figura III.1 - Modelo ilustrativo da seqüência de ações do procedimento adotado

Está apresentada a proporção direta entre os elementos, de forma que dependendo da quantidade de subdivisões das variáveis, o número de medições irá variar diretamente. Os blocos estão descritos na seqüência:

- Identificação da finalidade da pesagem: onde se verifica se a pesagem é para fins de fiscalização, controle estatístico ou monitoramento do peso dos veículos.
- Definição das variáveis de medição: após a escolha da finalidade de uso é possível determinar quais variáveis serão analisadas e as respectivas características.
- Determinação do procedimento de análise dos dados: conforme as escolhas anteriores se estabelecem os números de medições e o tamanho da amostra de medições.
- Tipos de veículos: a escolha das silhuetas dos veículos ou tipo de suspensão dos veículos utilizados nos ensaios.
- Níveis de cargas: estabelece-se o nível de carregamento dos veículos.
- Diferentes velocidades: conforme a capacidade do modelo de instrumento de pesagem define-se as velocidades a serem avaliadas as pesagens.
- Número de repetições: quantidade de medições a serem realizadas nas mesmas características de velocidade, carga, e tipo de veículo, conforme o procedimento de análise escolhido.
- Numero de pesagens: numero de medições do peso, proporcional às demais variáveis.

III. 1. 1 - Plano de medição

Primeiramente, definiu-se a finalidade de uso do instrumento de pesagem, para auxílio à fiscalização de trânsito no controle de excesso de peso. Considerando neste trabalho 3 tipos de veículos, em 2 níveis de cargas, em três velocidades diferentes e em seqüências de trinta medições, multiplicando-se os fatores chega-se ao total de 540 medições, como visto na figura III.2. Para explicar melhor as escolhas do procedimento de ensaios foram estratificados os parâmetros nos subitens a seguir:

- Definição das variáveis de medição: atendendo ao limite legal estabelecido pela Resolução Contran 210(2006). Sendo utilizados os veículos 3C, 2S3 carreta, além do 3T4 bitrem figura III.2.

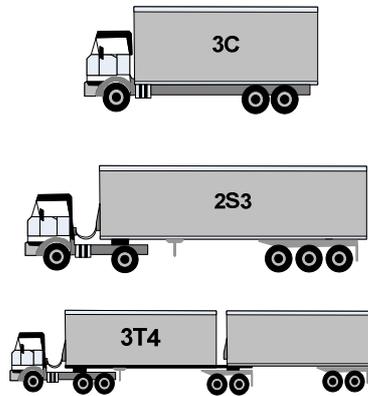


Figura III.2 - Configurações de veículos utilizados nas medições

- Definição do tipo de instrumento de pesagem: balança dinâmica portátil
- Definição dos tipos de parâmetros normativos: exatidão das pesagens, repetitividade e reprodutibilidade.
- Programa de realização das pesagens em campo: séries de pesagens para cada veículo nas condições em vazio, sem carregamento, e carregado próximo ao limite de peso, nas velocidades aproximadamente: mínima, média e máxima.
- Número de repetições igual a trinta, avaliando a hipótese de distribuição normal de probabilidade, conforme mostrado na figura III.3.

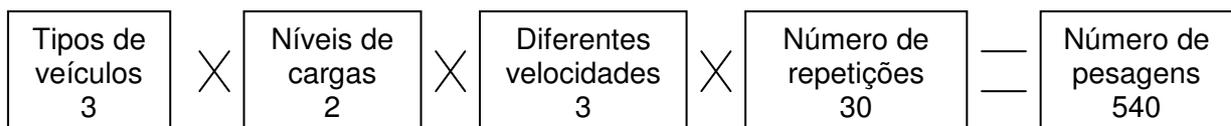


Figura III.3 - Ilustração da aplicação do modelo do procedimento adotado

O sistema de pesagem objeto de avaliação é a balança dinâmica portátil em instalação em pista de pesagem lateral a uma rodovia singela como demonstrada na figura III.4.



Figura III.4 - Pista lateral para pesagem de veículos, BR 040, Duque de Caxias.

Considerada primeiramente uma balança dinâmica, Omega 2001MV, instalada em uma praça de pesagens à margem da rodovia BR 316 em Teresina, no Piauí como mostrado na figura III.5.



Figura III.5 - Local da realização de ensaios metrológicos - BR 316 – Piauí

Sendo após a fase preliminar, verificada a necessidade de outra coleta de dados sendo utilizada a balança, SIEMENS MXP 300, instalada na BR 040 em Duque de Caxias no Rio de Janeiro como mostrado na figura III.6.



Figura III.6 - Praça de pesagem, rodovia BR 040, em Duque de Caxias, RJ

III. 2 - COLETA PRELIMINAR DOS DADOS

Foram realizados ensaios preliminares na rodovia BR 316 no estado do Piauí, local onde foi realizado o trabalho em uma rodovia simples, de duas faixas de rolamento, em mão dupla. Sendo as variáveis utilizadas nesta etapa descrita a seguir:

III. 2. 1 - Via

Considerando uma rodovia singela: largura = 7,20 m (em duas faixas de 3,60m/cada uma), descritos na tabela III.1;

Tabela III.1 - Rodovia simples, Manual de soluções tecno-gerências [DNIT, 2005]

Descrição	Dimensão
Acostamento	1,5m
Faixa de rolamento	3,6m
Faixa de rolamento	3,6m
Acostamento	1,5m

III. 2. 2 - Veículos

Tendo referência à minuta da ROIML 134 (2006) e para caracterizar a maioria dos veículos utilizados na frota nacional, foram utilizados três tipos de veículos, figura III.2:

- 3C - Três eixos – caminhão “truck” leve.
- 3C - Três eixos (com carregamento superior ao anterior) – caminhão “truck” pesado.
- 2S3 - Cinco eixos – com semi-reboque, carreta.
- 3T4 - Sete eixos – com dois semi-reboques, bitrem para cargas a granel.
- 3T4 - Sete eixos – com dois semi-reboques, bitrem tanque.

III. 2. 3 - Carga

Conforme as resoluções do CONTRAN que estabelecem os limites de peso e dimensões dos veículos, para esta etapa realizada em 2005, foi tida como referência a RESOLUÇÃO CONTRAN 184 (2005), vigente a época. Foram divididos os carregamentos com valores em toneladas aproximadamente de: 12t, 22t, 34t, 46t e 52t.

III. 2. 4 - Registros das medições

Os veículos utilizados estão descritos a seguir:

1. um caminhão do tipo 3C, três eixos, com o peso total de 12.340 kg,
2. um caminhão do tipo 3C, três eixos, com o peso total de 22.840 kg,
3. uma carreta, do tipo 2S3, um direcional, um eixo trator e três em tandem, com o peso total de 34.560 kg.
4. um bitrem, do tipo CVC 3T4, bitrem, sete eixos com dois tanques para carregamento de líquidos, com o peso total de 52.870 kg.
5. um bitrem, do tipo CVC 3T4, bitrem, sete eixos com carregamento de saibro, carga seca, com peso total de 46.340 kg.

Utilizando-se a balança estática para a pesagem de referência, apresentado conforme a figura III.7. Conforme o procedimento de portaria de aprovação de modelo de instrumento de pesagem Omega 2001MV foram realizadas quinze medições do peso no instrumento de pesagem, figura III.8, sendo cinco nas velocidades de 2 km/h, 6 km/h e 12 km/h respectivamente. Sendo verificado os resultados da medição de Peso Bruto Total dos veículos em movimento ensaiados no Piauí, relacionados na tabela III.2:



Figura III.7 - Medição do peso do veículo padrão na balança estática, Teresina, PI



Figura III.8 - Posto de pesagem de veículos, rodovia BR-316, Teresina, PI.

Tabela III.2 - Demonstrativo dos valores gerais de cada veículo examinado

Cálculo da média e desvio padrão - unidades em kg					
Pesagem	PBT 1	PBT 2	PBT 3	PBT 4	PBT 5
1	12520	22880	34590	52320	43210
2	12390	22800	34710	52400	43650
3	12400	22900	34970	52190	43110
4	12440	22830	35010	52230	40320
5	12500	22810	34890	51990	40190
6	12540	23130	34490	52370	41130
7	12470	23140	34730	50670	40940
8	12280	23190	34500	52000	40180
9	12330	23190	34770	51450	40220
10	12330	23140	34560	52370	40180
11	11480	22760	35640	51370	41430
12	11730	23050	34980	51590	43020
13	11370	22820	34390	51120	42960
14	11450	23380	34760	51130	43210
15	11410	23040	34970	50760	41940
Média	12109,33	23004	34797,33	51730,67	41712,67
Sx	466,47	188,22	306,98	611,93	1355,07
Sx%	3,85	0,82	0,88	1,18	3,25
PBT ref.	12340,00	22840,00	34560,00	52870,00	46340,00
Desvio PBT%	-1,87	0,72	0,69	-2,16	-9,99

Com relação aos valores de PBT verifica-se que os desvios para as diferentes composições de veículos variam de entre -9,99 até 0,72 em valores percentuais, obtido entre a diferença dos valores médios registrados na balança dinâmica e os valores de referência, dividido pelo valor de referência correspondente a cada tipo de veículo, definido em III.2.4.

Análise de correlação entre as variáveis nomeadas de PBT, os quais representam os valores das medições de peso total dos veículos ordenados por coluna, para cada tipo de veículo, onde se percebe que as correlações não apresentam valores próximos a um, de

acordo com a tabela III.3, e não apresenta uma curva de distribuição normal de probabilidade, conforme os índices de curtose registrados na tabela III.4.

Tabela III.3 - Correlação entre os PBT

	PBT1	PBT 2	PBT 3	PBT 4	PBT 5
Coluna 1	1				
Coluna 2	-0,054	1			
Coluna 3	-0,306	-0,371	1		
Coluna 4	0,664	-0,273	-0,208	1	
Coluna 5	-0,377	-0,187	-0,019	-0,065	1

Tabela III.4 - Análise estatística dos PBT na fase preliminar

Descrição	PBT1	PBT2	PBT3	PBT4	PBT5
Média	12109,33	23004	34797,33	51730,67	41712,67
Erro padrão	120,44	48,60	79,26	158,00	349,88
Mediana	12330	23040	34760	51990	41430
Modo	12330	23140	34970	52370	43210
Desvio padrão	466,47	188,22	306,98	611,94	1355,07
Variância da amostra	217592,4	35425,71	94235,24	374463,8	1836221
Curtose	-1,36	-0,93	3,14	-1,25	-1,85
Assimetria	-0,79	0,35	1,36	-0,48	0,12
Intervalo	1170	620	1250	1730	3470
Mínimo	11370	22760	34390	50670	40180
Máximo	12540	23380	35640	52400	43650
Soma	181640	345060	521960	775960	625690
Contagem	15	15	15	15	15
Nível de confiança (95,0%)	258,32	104,23	169,99	338,87	750,41

III. 3 - COLETA DEFINITIVA DOS DADOS

No Rio de Janeiro, na forma de ensaios complementares e definitivos, o local de realização destes ensaios foi estabelecido na rodovia BR 040 Juiz de Fora – Rio, de duas faixas de rolamento e sentido único.

Nesta segunda fase foram realizados experimentos em modalidades extensivas em relação ao número de operações de pesagens, e sob a perspectiva de uma curva normal de distribuição de probabilidade.

Tendo como base a minuta da ROIML 134 (2006) e o COST-323 (1999) foram estabelecidos parâmetros para a escolha dos veículos quanto aos tipos e cargas, em dois estágios, vazios e próximo ao limite de peso, segundo o limite de capacidade considerando o tipo de veículo.

Com o objetivo de validar o processo, foram realizadas duas etapas de pesagem em dois meses diferentes, dezembro de 2006 e janeiro de 2007, no mesmo posto de pesagem e com as mesmas condições estabelecidas para a carga, tipo de veículos e velocidades de pesagens. Os resumos dos registros das medições, referentes ao PBT dos veículos, encontram-se no ANEXO VIII.

III. 3. 1 - Via com controle do peso dos veículos rodoviários

Tendo em vista realizar as medições em situação diferente da anterior, foi escolhida a rodovia de via única, com dupla rodagem, e o instrumento de pesagem destinado à fiscalização de limite de peso em configuração para a velocidade diferenciada, ou seja, velocidade operação de até 6km/h, e sem as guias de rodagem para a orientação da passagem sobre as duas placas de pesagem, foi analisado o funcionamento de um instrumento de pesagem, Simens MXP300.

III. 3. 2 - Velocidades de pesagem

Conforme a metodologia proposta foram estabelecidas três velocidades envolvendo a máxima a média e a mínima, de acordo com a capacidade de operação do instrumento de pesagem:

- 2km/h,
- 4km/h
- 6km/h.

III. 3. 3 - Cargas dos veículos

Para a classificação das faixas de cargas, foram seguidas as orientações de utilização dos tipos de silhuetas de veículos considerando a capacidade de carga dos mesmos, em situação sem cargas, vazios, e próximos do limite de peso, carregados:

- Caminhão “truck”, 3c vazio
- Caminhão “truck”, 3c carregado
- Carreta, 2s3, vazia
- Carreta, 2s3, carregada
- Bitrem, 3t4, vazio
- Bitrem, 3t4, carregado.

Para a realização das medições foram utilizadas as medições de referência na balança estática, conforme a figura III.9, a qual mostra a pesagem estática de um veículo utilizado para a avaliação do instrumento de pesagem dinâmica, as quais foram realizadas na balança dinâmica portátil instalada na praça de pesagem, conforme a Figura III.10, na BR 040, Duque de Caxias, RJ.



Figura III.9 - Pesagem estática, Duque de Caxias, RJ



Figura III.10 - Pesagem dinâmica, BR 040, Duque de Caxias, RJ

III. 3. 4 - Registros das medições das pesagens

Consideram-se os índices de dispersão das medições de carga por eixos, obtidos através do desvio padrão em relação à média das amostras, conforme a equação (III.1), de acordo com o plano de medição relacionado ao modelo de avaliação para a abordagem mais específica da pesagem. Considerando o grande número de medições realizadas nos experimentos, superior a 1000, dividiu-se o conjunto das medições de acordo com as velocidades de pesagem sobre a plataforma. A apresentação registra as duas fases contendo os tipos de veículos nas respectivas condições de carregamento. Na tabela III.5, destinada às medições em 2km/h observam-se os valores mais elevados na primeira fase para o Bitrem carregado.

Tabela III.5 - Comparações de dispersão dos valores de medições por eixos, para velocidade de 2km/h

Etapas	Vel. 2km/h	Medidas de dispersão percentual das pesagens por eixos						
	Veículo	1	2	3	4	5	6	7
1	caminhão vazio	1,13	1,76	0,96				
	caminhão carregado	0,70	0,44	0,65				
	carreta vazia	1,30	1,70	0,83	2,70	2,28		
	carreta carregada	1,06	1,10	1,27	2,90	3,48		
	bitrem vazio	1,24	2,24	3,10	1,95	2,23	2,39	3,33
	bitrem carregado	4,47	5,92	1,98	1,44	1,80	6,81	5,71
2	caminhão vazio	0,69	1,67	1,55				
	caminhão carregado	0,82	0,94	1,21				
	carreta vazia	0,85	0,71	1,76	2,22	1,69		
	carreta carregada	1,15	0,77	1,30	0,74	1,15		
	bitrem vazio	0,46	1,60	2,54	0,88	1,09	1,46	1,47
	bitrem carregado	0,99	1,97	1,81	1,17	1,09	1,00	0,95

$$Sx = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [x_i - \bar{x}]^2} \quad (\text{III.1})$$

Para a melhor visualização das medidas de dispersão, estão apresentados, em gráficos as variações através de colunas distribuídas em relação ao tipo de veículos nas duas condições de carregamento, em vazio e carregado, conforme a legenda, para a primeira etapa figura III.11 e para a segunda etapa a figura III.12.

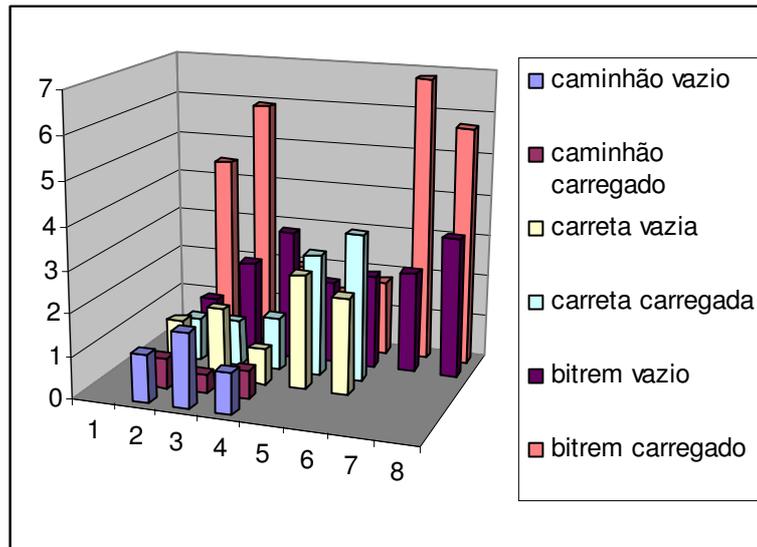


Figura III.11 - Dispersão das pesagens por eixo por veículo, primeira etapa, 2km/h

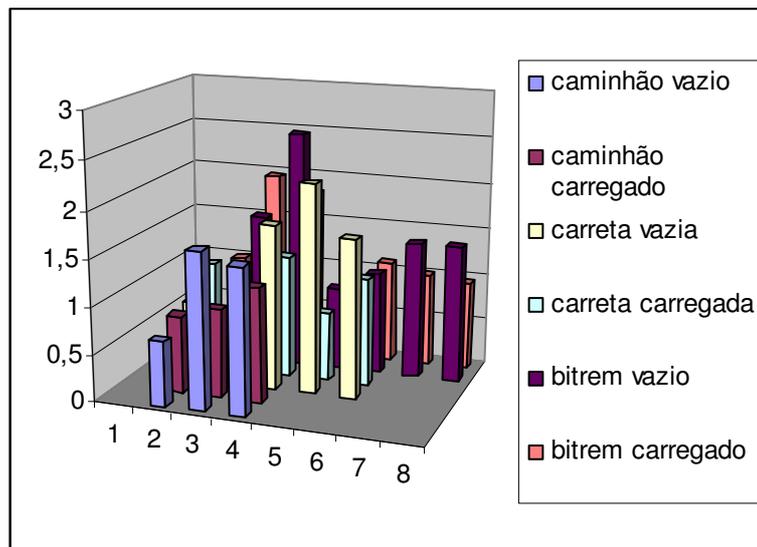


Figura III.12 - Dispersão das pesagens por eixo por veículo, segunda etapa, 2km/h

Para as medições em velocidades de 4km/h e 6km/h, verificam-se nas tabelas respectivas tabela III.6 e tabela III.7. Nas duas condições, verificam-se as situações de maiores dispersão no veículo bitrem, porém no caso da velocidade de 6km/h foi verificado o valor maior sem a carga.

Tabela III.6 - Comparações de dispersão dos valores de medições por eixos, para velocidade de 4km/h

Etapas	Vel. 4km/h	Medidas de dispersão percentual das pesagens conforme os eixos						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Veículo							
	caminhão vazio	1,10	1,85	2,55				
	caminhão carregado	1,30	1,68	1,02				
	carreta vazia	0,36	0,79	1,22	1,13	1,37		
	carreta carregada	0,89	0,57	0,82	1,69	3,31		
	bitrem vazio	2,19	2,38	2,60	2,50	2,76	3,09	2,33
	bitrem carregado	3,35	1,65	1,64	1,31	1,30	0,82	4,32
2	caminhão vazio	0,38	1,11	2,15				
	caminhão carregado	0,61	0,75	0,57				
	carreta vazia	0,78	1,28	2,32	2,06	2,05		
	carreta carregada	0,44	0,44	1,38	0,71	0,55		
	bitrem vazio	0,73	1,92	1,88	1,53	1,71	1,85	3,11
		bitrem carregado	2,72	1,58	1,98	0,78	1,13	1,49

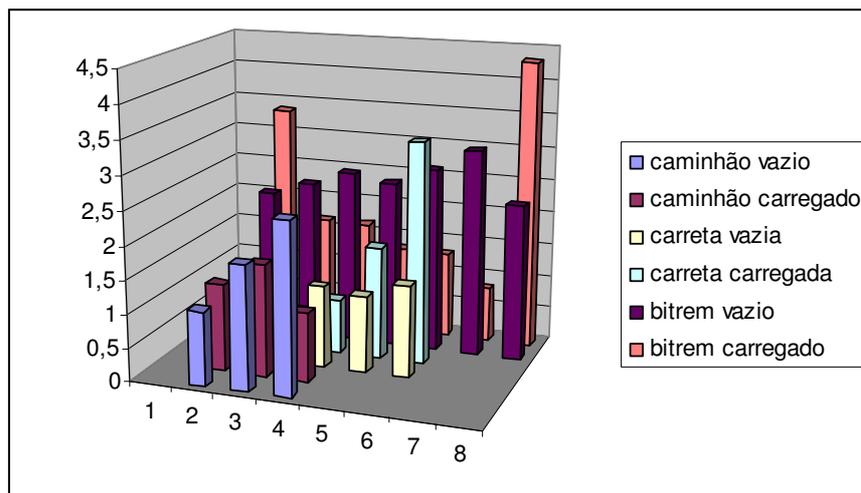


Figura III.13 - Dispersão das pesagens por eixo por veículo, primeira etapa, 4km/h

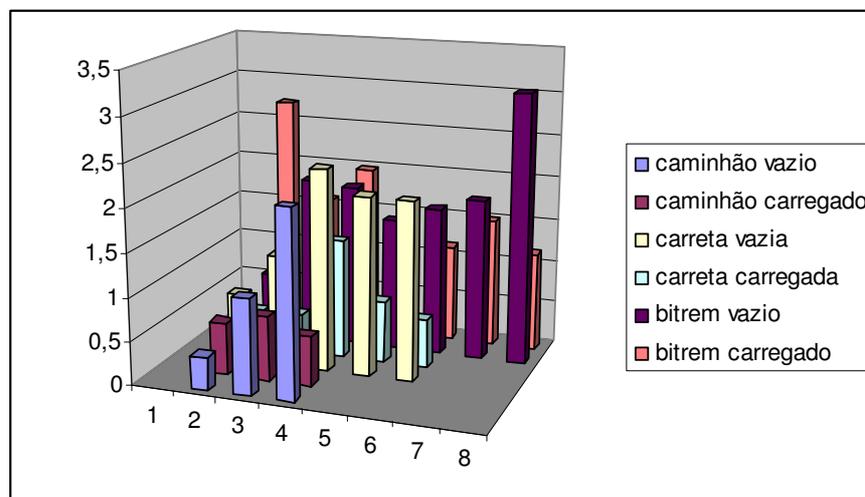


Figura III.14 - Dispersão das pesagens por eixo por veículo, segunda etapa, 4km/h

Tabela III.7 - Comparações de dispersão dos valores de medições por eixos, para velocidade de 6km/h

Etapas	Vel. 6km/h	Medidas de dispersão percentual das pesagens conforme os eixos						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Veículo							
	caminhão vazio	0,61	1,91	2,98				
	caminhão carregado	0,88	0,83	1,34				
	carreta vazia	0,54	0,99	1,21	1,23	1,74		
	carreta carregada	1,15	0,71	1,09	1,11	1,48		
	bitrem vazio	2,96	2,82	3,36	1,75	1,93	2,28	4,68
2	bitrem carregado	2,23	1,21	1,85	2,40	1,33	1,49	1,85
	caminhão vazio	0,63	1,51	1,88				
	caminhão carregado	1,04	0,85	0,91				
	carreta vazia	0,68	0,69	2,53	2,02	1,62		
	carreta carregada	1,07	0,72	1,14	0,79	1,24		
	bitrem vazio	0,78	1,72	2,50	1,96	1,52	2,43	2,65
bitrem carregado	0,93	1,50	1,98	1,93	1,15	1,40	3,29	

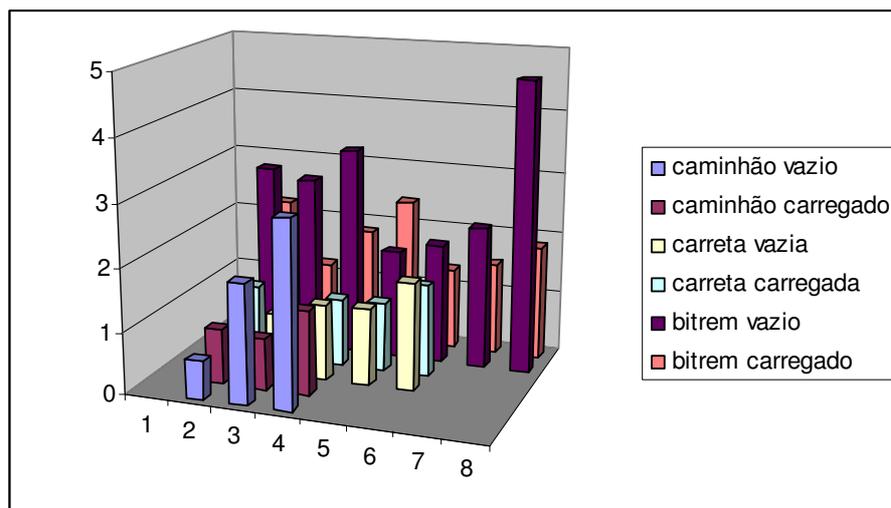


Figura III.15 - Dispersão das pesagens por eixo por veículo, primeira etapa, 6km/h

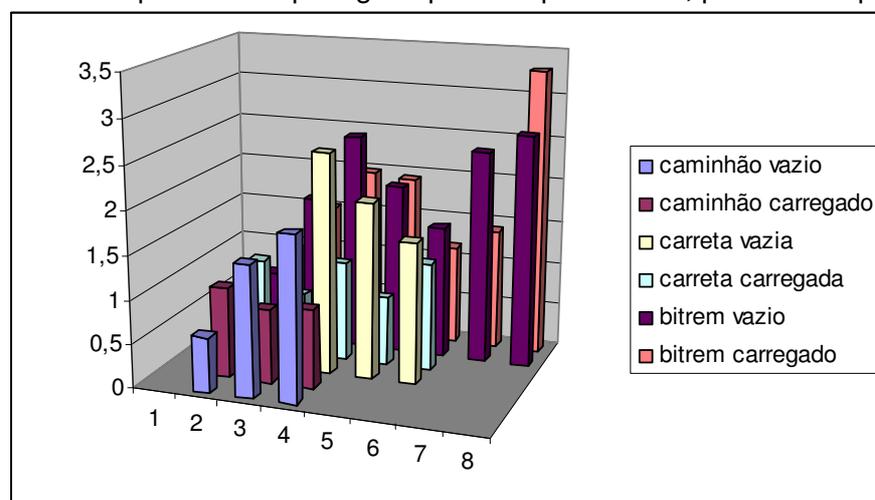


Figura III.16 - Dispersão das pesagens por eixo por veículo, segunda etapa, 6km/h

Nas figuras III.17 a III.23 a seguir estão representadas as linhas de tendências relativas às medições do PBT dos veículos, conforme o tipo de veículo e a carga para cada gráfico considerando as três velocidades diferentes, de 2km/h, 4km/h e 6km/h, de acordo com o plano de medição estabelecido no subitem III.1.1.

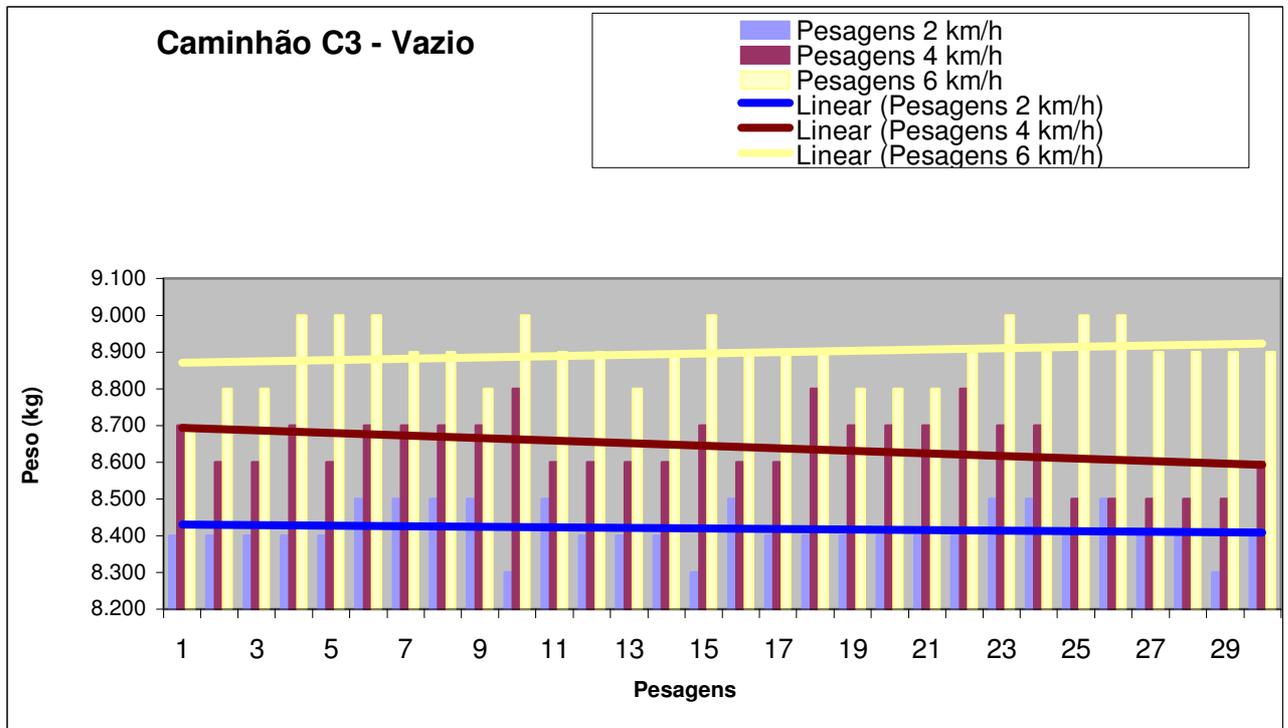


Figura III.17 - Linhas de tendência para o veículo caminhão 3c vazio

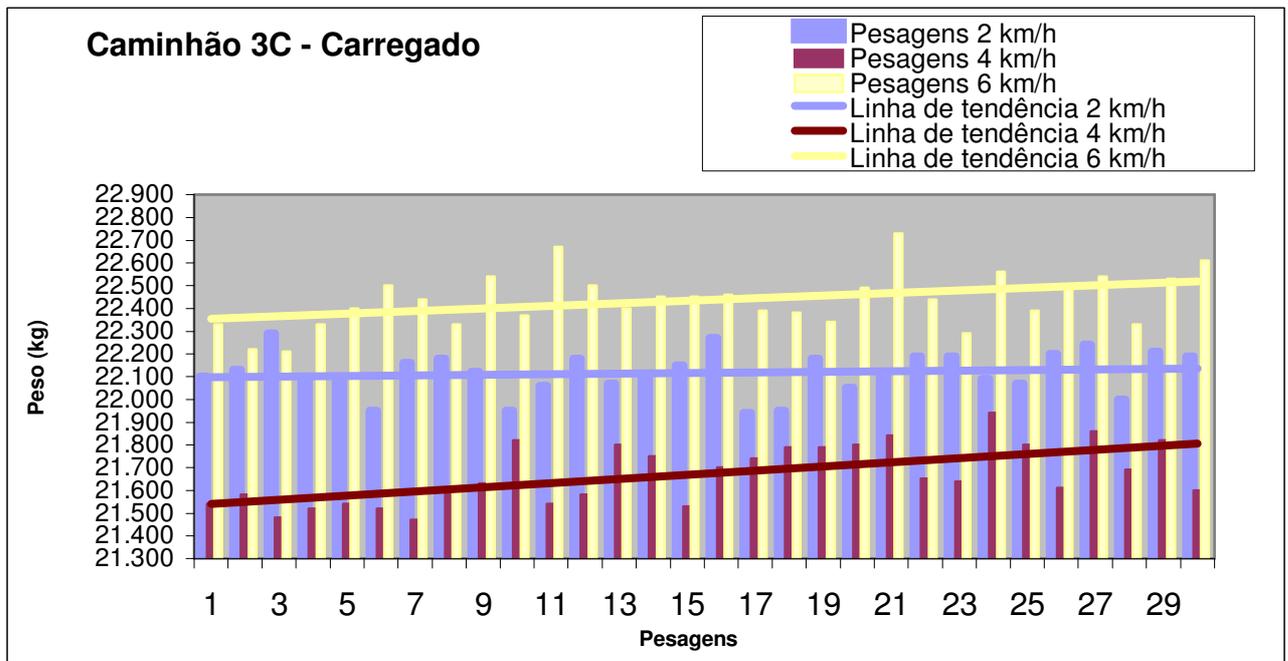


Figura III.18 - Linhas de tendência para o veículo caminhão 3c carregado

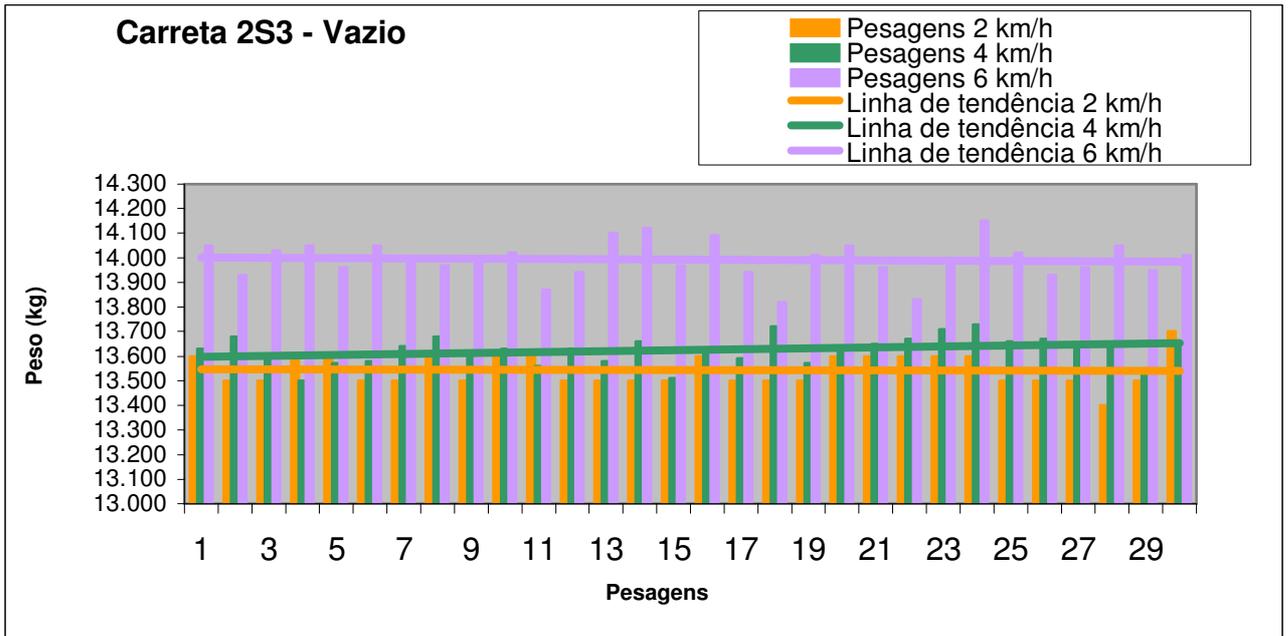


Figura III.19 - Linhas de tendência para carreta vazia

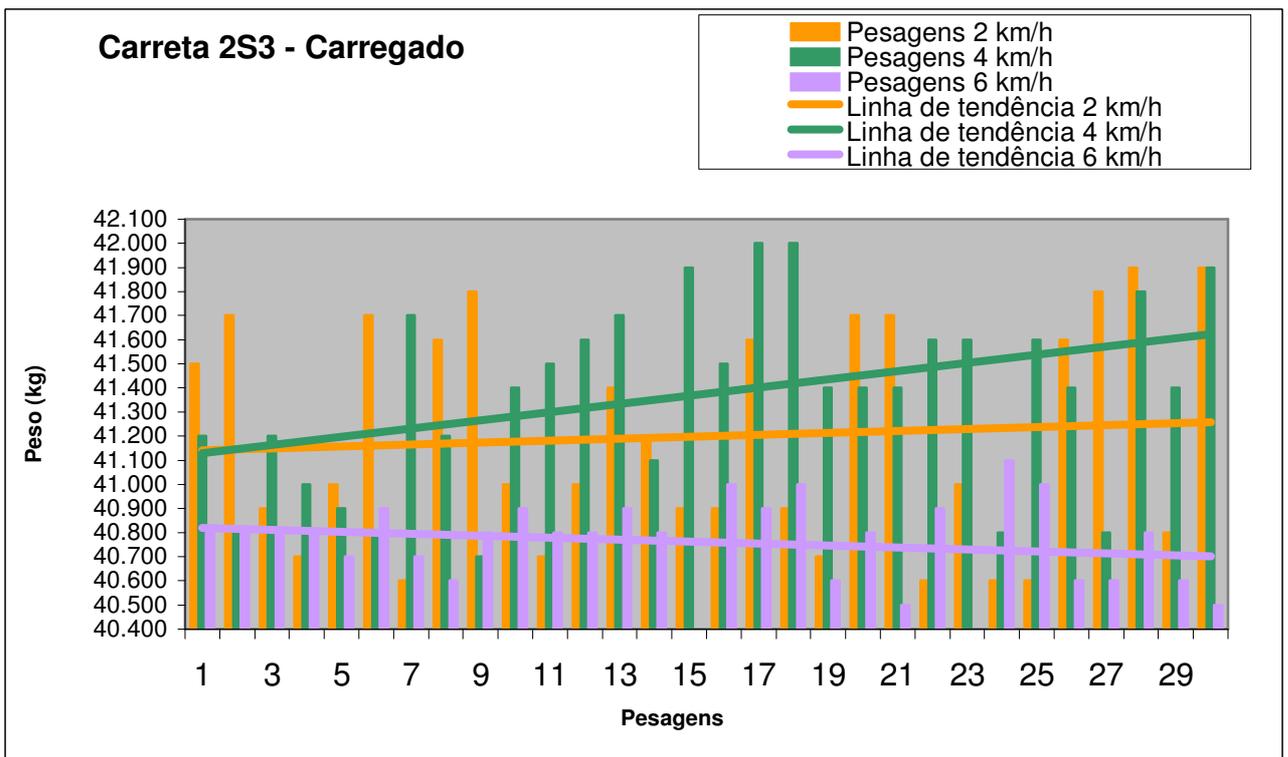


Figura III.20 - Linhas de tendência para a carreta carregada

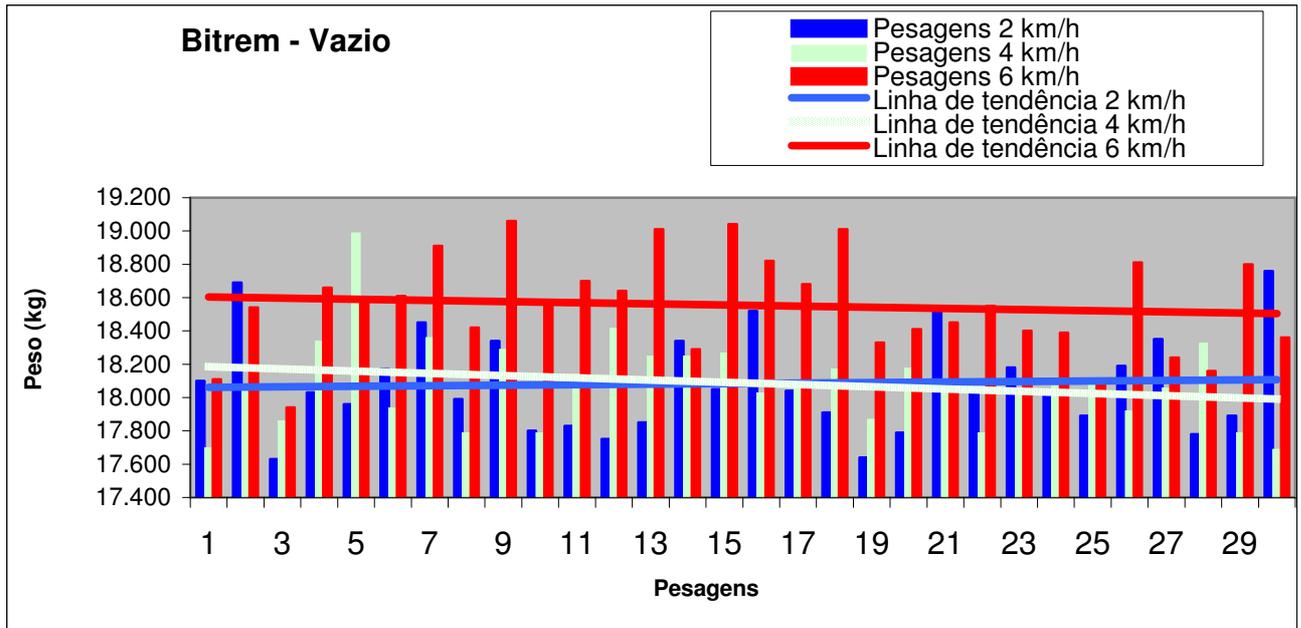


Figura III.21 - Linhas de tendência para o veículo bitrem vazio

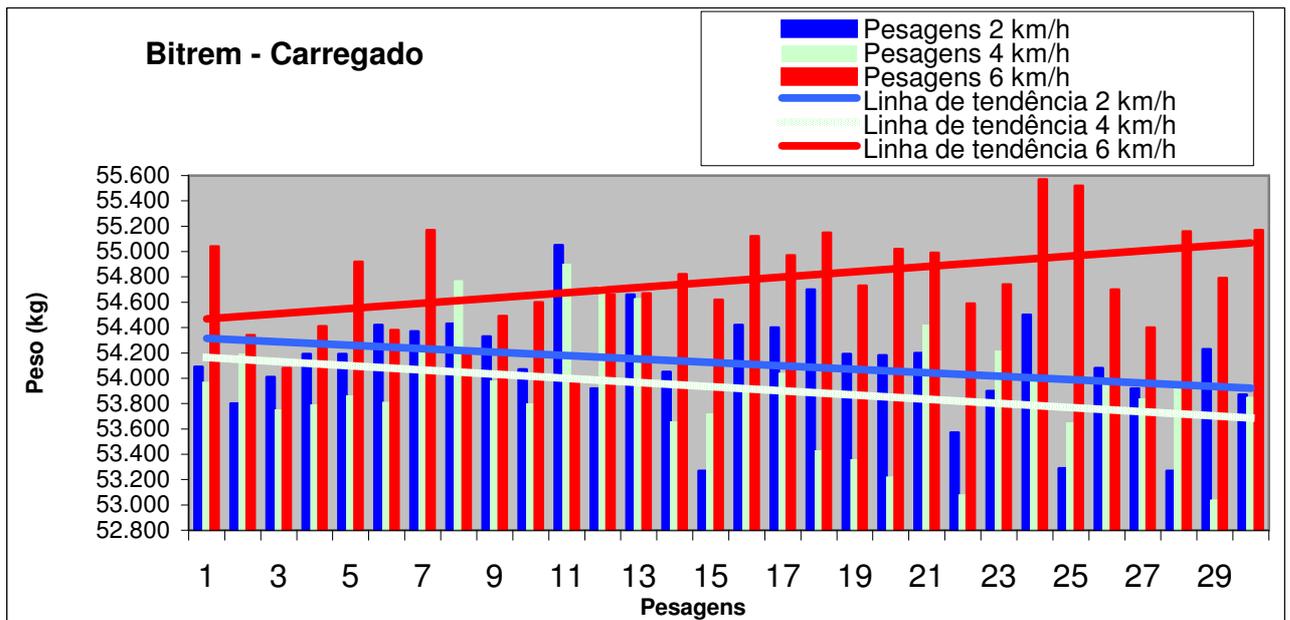


Figura III.22 - Linhas de tendência para o veículo bitrem vazio

Percebe-se que nestes gráficos não existe paralelismo entre as linhas de tendências, o que indica dificuldade de se estabelecer uma correlação entre os valores de massa nas diferentes velocidades. Outro fator verificado é que para cada condição de ensaios, de 30 medições, na maioria dos casos, os registros do peso dos veículos em valores de massa apresentam níveis diferentes, ou intervalos de valores dentro da faixa de abrangência de valores para as 90 medições. Ou seja, as linhas de tendências não se cruzam em quase todas as figuras.

III. 3. 5 - Medições de velocidade

Nesta fase, foram medidas as variações de temperaturas e verificadas as medições de velocidades dos veículos, durante as pesagens. A medição da velocidade foi realizada através do tacômetro de contato, conforme a figura III.23, a baixa velocidade do veículo de 2km/h, os métodos mais tradicionais os quais já iniciam a indicação na velocidade de 20km/h seriam impossíveis de serem utilizados.



Figura III.23 - Medição de velocidade, BR 040, Duque de Caxias, RJ

O registro das medições está apresentado na tabela III.8, onde se apresentam os valores médios utilizando o tacômetro e os valores indicados na balança dinâmica, referente a primeira e a segunda fases, conforme as equações (III.2) e (III.3).

Tabela III.8 - Registros das velocidades médias

Fase	V_p	V_t		Erros	
	km/h	m/min	km/h	D	Erv %
Primeira	1,83	30,35	1,82	0,01	0,48
Segunda	2,31	33,6	2,02	0,15	7,7

V_t = velocidade registrada no tacômetro

V_p = velocidade registrada no instrumento de pesagem

$$D = (V_t - V_p) = \text{desvio} \quad (\text{III.2})$$

$$\text{Erv\%} = \left(\frac{D}{V_t} \right) 100 = \text{erro relativo percentual da velocidade} \quad (\text{III.3})$$

III. 3. 6 - Monitoramentos da temperatura e da umidade

Conforme descrito em I.2.3, fatores de influência no instrumento de pesagem dinâmica, verificou-se a necessidade de se registrar as temperaturas e umidades locais, medidas ao lado da plataforma de pesagem, com o termohigrômetro, figura III.24, observa-se a variação dos valores ao longo do período de pesagem na tabela III.9.

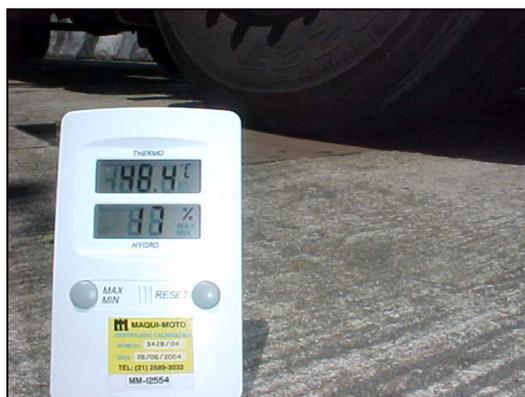


Figura III.24 - Medição de temperatura BR 040, Duque de Caxias, RJ

Tabela III.9 - Registros das temperaturas e umidade médias

Primeira fase			Segunda fase		
Dia	Temperatura	Umidade	Dia	Temperatura	Umidade
1	36,34°C	42%	1	26,80 °C	73%
2	43,24 °C	27%	2	21,80 °C	92%
3	48,97 °C	16%	3	25,30 °C	89%
4	42,62 °C	25%	4	31,20 °C	50%
5	36,87 °C	38%	5		

A exatidão do instrumento foi avaliada neste trabalho nas diferentes temperaturas relacionadas na tabela III.9, onde se verificaram erros maiores nos dias de temperaturas mais altas, no caso dos ensaios na carreta carregada onde a temperatura média de 48,97 °C o erro médio da pesagem em movimento do veículo foi de 4,18%. Esta constatação demonstra a necessidade do instrumento de pesagem ser capaz de funcionar corretamente em altas temperaturas, ou seja, nas condições reais de utilização.

III. 3. 7 - Medições nas laterais dos sensores

Tendo em vista as dimensões da plataforma de pesagem as quais se estendem, normalmente, conforme a largura da pista de pesagem verificou-se a necessidade de se registrar possíveis variações de exatidão em relação à utilização das diferentes partes da plataforma de pesagem por eixo, desta forma, foram realizadas medições considerando a pesagem em diferentes posições, alternado entre as extremidades esquerda e direita do receptor de carga. A figura III.25 apresenta um veículo em aproximação para pesagem, onde se verifica a margem de variação do posicionamento do veículo em relação à largura da plataforma de pesagem.

Estão apresentadas algumas medições na tabela III.10 na velocidade de 6km/h, arbitrada para a execução destes ensaios, realizados após a seqüência de medições estabelecidas no plano de medição. Percebe-se que existe variação quando se utilizam as

extremidades, em relação à posição central dos sensores para a realização das pesagens, o que proporciona variação de até 3,72%; e de -3,67% na confiabilidade das medições através do cálculo do erro representado pela equação (III.4).



Figura III.25 - Veículo em aproximação para pesagem por eixo

$$\text{Er}\% = \left(\frac{PBT - R}{R} \right) 100 = \text{erro relativo percentual de posicionamento} \quad (\text{III.4})$$

PBT = peso bruto total

R = valor de referência, do PBT medido através de uma balança estática com plataforma de 20m de comprimento.

Tabela III.10 - Análises das medições em relação ao posicionamento na pesagem

Veículos – 6km/h Avaliação	Caminhão 3c - carregado		Carreta - carregada		Bitrem –vazio	
	kg	Er%	kg	Er%	kg	Er%
Valor de referência	23150		41650		17140	
Lado esquerdo	22300	-3,67	40560	-2,62	17230	0,53
Lado esquerdo	22530	-2,68	40880	-1,85	17070	-0,41
Lado direito	22400	-3,24	40130	-3,65	16840	-1,75
Lado direito	22310	-3,63	40120	-3,67	16720	-2,45
Central	22410	-3,20	40595	-2,53	17358	1,27

Verificando-se que o erro é negativo quando o valor medido é inferior ao valor de referência, e positivo quando o valor medido for superior ao valor de referência. Nas pesagens nas extremidades da plataforma de pesagem podem ocorrer pesagens parciais do veículo, onde parte da carga do veículo não é registrada pelos sensores instalados nos receptores de carga, ou seja, a passagem de parte do veículo fora da plataforma de pesagem.

Em outros postos de pesagem estes resultados podem variar, tendo em vista a possibilidade da utilização de modelos diferenciados de instrumentos de pesagem e diferentes condições de instalação. Em um instrumento fixo de pesagem esperam-se resultados mais

equilibrados pelo fato de haver uma menor possibilidade de deslocamentos da plataforma de pesagem durante a utilização.

III. 3. 8 - Medições com suspensão de eixos

Observou-se a variação da medição da carga quando utilizado o suspensor. Este dispositivo é capaz de suspender as rodas de um eixo de um conjunto de eixos do veículo. Esta manobra é normalmente utilizada quando o veículo está sem carga, ou em carregamento bem inferior ao limite de carga, onde é visível a distância entre as rodas suspensas e o pavimento. Mas o mesmo dispositivo também pode ter sido utilizado para manipular a distribuição da carga entre os eixos do veículo. Este artifício interfere, reduzindo o registro da pesagem do veículo. Nesta pesquisa foram verificadas diferenças de até 721kg, entre o menor peso com o efeito do suspensor e a média das pesagens sem o uso do mesmo. Em ensaios realizados verificou-se a redução de até 3t em relação à medição do peso total do veículo com a maior carga o bitrem, considerando a diferença entre o valor de referência e a pesagem com suspensor.

IV - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresenta-se a análise do procedimento desenvolvido através da aplicação do modelo proposto no capítulo anterior, para a análise de confiabilidade de instrumentos de pesagem, utilizando-se os dados da pesquisa exploratória, realizada conforme o planejamento da pesquisa descrito na introdução. A seguir estão descritas a aplicação do cálculo de incertezas aplicando Monte Carlo, as análises referentes à legislação aplicada à fiscalização de peso dos veículos rodoviários, as observações das medições de PBT e de carga por eixo.

IV. 1 - CÁLCULOS DE INCERTEZAS COM A SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Considerando o exposto no capítulo I, referente aos procedimentos de análise de incertezas e sobre o método de função de distribuição de probabilidade de Monte Carlo, apresentam-se a seguir as aplicações simultâneas na análise das pesagens de veículos em movimento.

IV. 1. 1 - Modelagem da simulação

Com o modelo estipulado para avaliação das incertezas, conforme a equação (IV.1):

$$D = \overline{x_d} - R \quad (IV.1)$$

D = desvio, da medição da massa, durante a pesagem do veículo em movimento

$\overline{x_d}$ = média dos valores de massa do veículo, provenientes de cada série de pesagem

R = valor de referência, obtido em uma balança estática.

Considera-se, neste caso, que a incerteza do erro é proveniente da soma das incertezas da média e do valor de referência, como mostrado na equação (IV.2):

$$U = k \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \quad (IV.2)$$

Sendo:

u_1 = parcela referente à repetitividade das medições

u_2 = parcela referente ao padrão de referência

u_3 = parcela referente à leitura durante as medições

U = incerteza do resultado

k = coeficiente de expansão

IV. 1. 2 - Análises da distribuição de probabilidade

Conforme o procedimento de utilização da simulação de Monte Carlo descrito no capítulo I em I.3.2 e de acordo com o descrito no modelo de análise desenvolvido no capítulo III em III.1, buscou-se identificar a função distribuição de probabilidade das pesagens em movimento dos veículos.

Na fase preliminar da pesquisa, os registros das pesagens de veículos não garantiam uma fdp normal, conforme os índices de curtose verificados na tabela III.4. Após a coleta de dados, a amostra mais significativa das pesagens realizada na fase da pesquisa chamada definitiva buscou-se identificar a função de distribuição de probabilidade relativa aos veículos, com o objetivo de verificar a formação de distribuição normal de probabilidade.

Para facilitar o entendimento e a comparação dos resultados, foram alocadas as fdp nas mesmas páginas relativas aos tipos de veículos, na condição vazio e carregado, nas três velocidades nas quais foram realizadas as medições. Nas figuras III.15 a III.20, estão registrados os histogramas e as curvas normais, obtidos pelo programa Statística 7.0, onde está evidenciada a diferença entre as médias de cada curva, verificada pelo posicionamento diferenciado das mesmas, e a nítida diferença em relação à dispersão das medições, certificada pelo posicionamento das colunas representativas dos conjuntos de valores das pesagens.

Outra forma utilizada nesta pesquisa para a verificação foi o teste de hipótese de aderência a curva normal, conforme SPIEGEL (1978) na fdp relativa à pesagem de veículos em movimento, nos ensaios metrológicos realizados em campo. Portanto, considerando a expectativa da curva normal, utilizaram-se os valores de média e desvio padrão relativos aos registros de medições de cada tipo de veículos, nas condições com carga e em vazio, conforme o desenvolvimento dos ensaios em campo. Para a análise de 90 medições, onde se considerou em uma mesma amostra as três velocidades utilizadas no experimento, os resultados indicaram a formação de uma fdp normal.

A análise das curvas registradas das funções de distribuição de probabilidade para o PBT dos veículos sem carga, ou seja, vazio e com o carregamento estipulado no modelo, com uso do programa Statística 7.0, propiciou os calculados dos índices de curtose, constatando-se os valores próximos a 3 o que indica a formação de curvas normais de distribuição de probabilidade.

Apenas para o caso dos veículos bitrem considerou-se uma aproximação da distribuição normal, verificando-se que cerca de 10% das medições não estariam incluídas em uma fdp normal, no qual o limite para o teste foi estipulado em 5% da amostra. Entretanto, esta aproximação pode ser considerada tendo em vista que o aumento do número de medições, de 15 para 90 entre as fases preliminar e definitiva, foi suficiente para atingir uma amostra significativa de fdp normal para os demais tipos de veículos. Os veículos bitrem, com maior

número de eixos, em uma amostra real maior atingiriam os dados suficientes para uma fdp normal. Esta ponderação pode ser confirmada visto que a simulação computacional, em 100.000 iterações, resultou em amostras normais no cálculo de incertezas para todos os veículos.

Para facilitar a interpretação das medições, além da constatação do tipo de distribuição de probabilidade, as figuras representam pesagens nas três velocidades definidas, em seqüência para o veículo em vazio e com carregamento. A apresentação dos registros das fdp do mesmo tipo de veículo nas velocidades de 2km/h, 4km/h e 6km/h, para a primeira fase, encontram-se especificadas conforme a seguir:

Caminhão 3C vazio na Figura IV.1 onde se verifica que a 2km/h houve maior concentração dos valores próximo a 8300kg. Com aumento da velocidade durante as pesagens os valores tornaram-se mais altos, ou seja, as colunas representativas das pesagens nas velocidades de 4km/h e 6km/h estão com os valores superiores aos registrados em 2km/h chegando até 9100kg.

Entretanto, para o caminhão 3C carregado representada na Figura IV.2, na disposição das pesagens por velocidade verificaram-se que os registros em 4km/h foram inferiores que os valores correspondentes à 2km/h, porém em 6km/h os valores se mantiveram superiores aos respectivos dois anteriores.

Para a carreta vazia, conforme a Figura IV.3, os valores referentes às pesagens em movimento tornaram-se bem próximos nas velocidades de 2km/h e 4km/h. Porém, em 6km/h os valores chegaram a 14.300kg contra o valor mínimo de 13.300kg.

Mas para a carreta carregada observa-se uma maior dispersão dos valores, identificado pela superposição das colunas e curvas representativas das medições nas três diferentes velocidades, de acordo com a Figura IV.4.

Para o caso do veículo bitrem vazio, os valores referentes às pesagens em 2km/h e 4km/h estão próximos e para os valores de 6km/h representam valores maiores, identificados na Figura IV.5, observam-se variação de até 1,6t entre os valores mais baixos e mais altos.

No caso do bitrem carregado, através da Figura IV.6, idêntica-se a diferença de aproximadamente 3t entre os valores mínimo e máximo na representação gráfica.

Foram estabelecidas funções distribuições de probabilidade para os valores referentes ao padrão de referência utilizado, fdp normal, com base na precisão da balança estática, e relativa a resolução na leitura da balança eletrônica durante a pesagem.

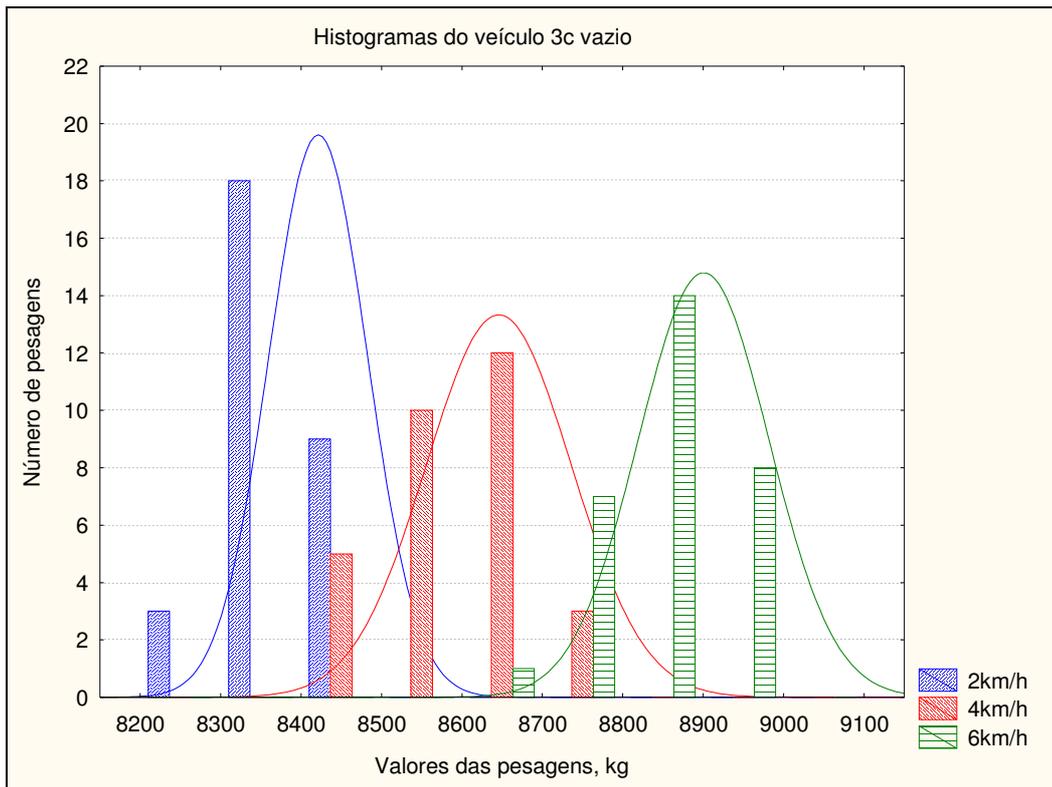


Figura IV.1 - Distribuição de probabilidade caminhão 3C vazio

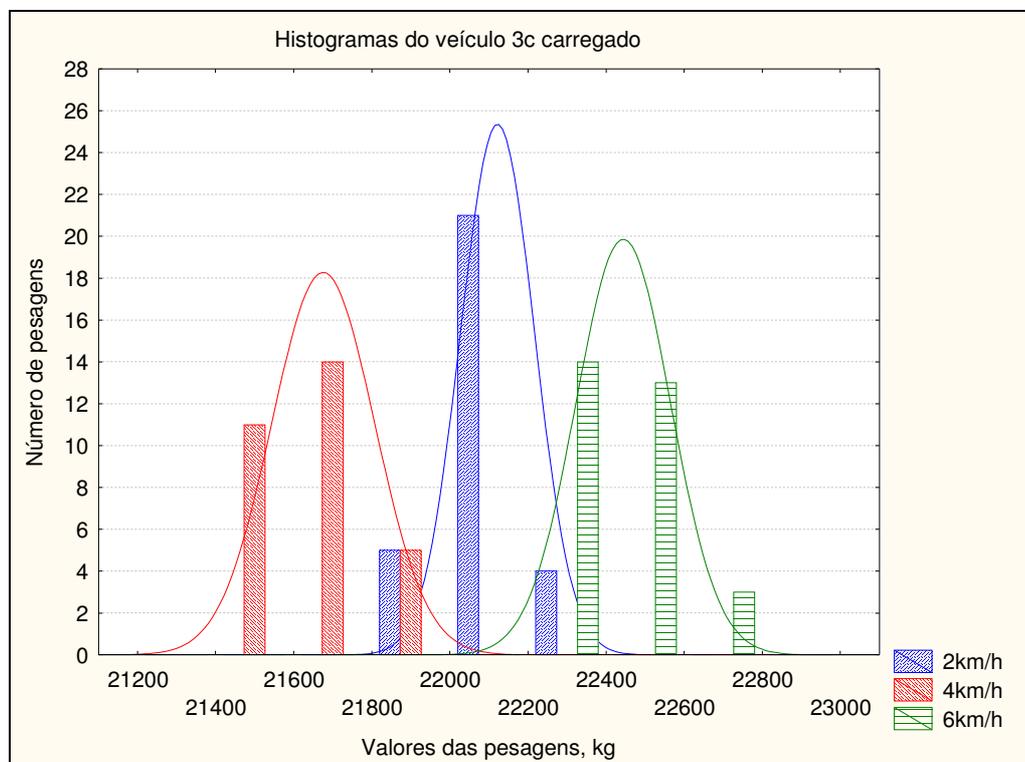


Figura IV.2 - Distribuições de probabilidade caminhão 3C carregado

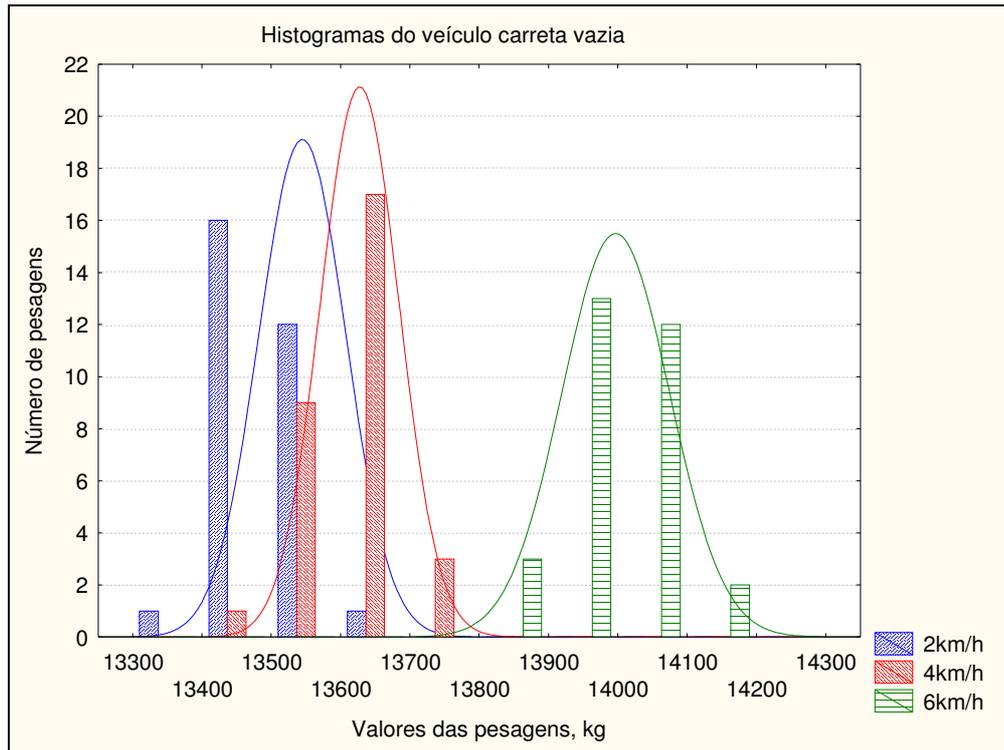


Figura IV.3 - Distribuições de probabilidade carreta vazia

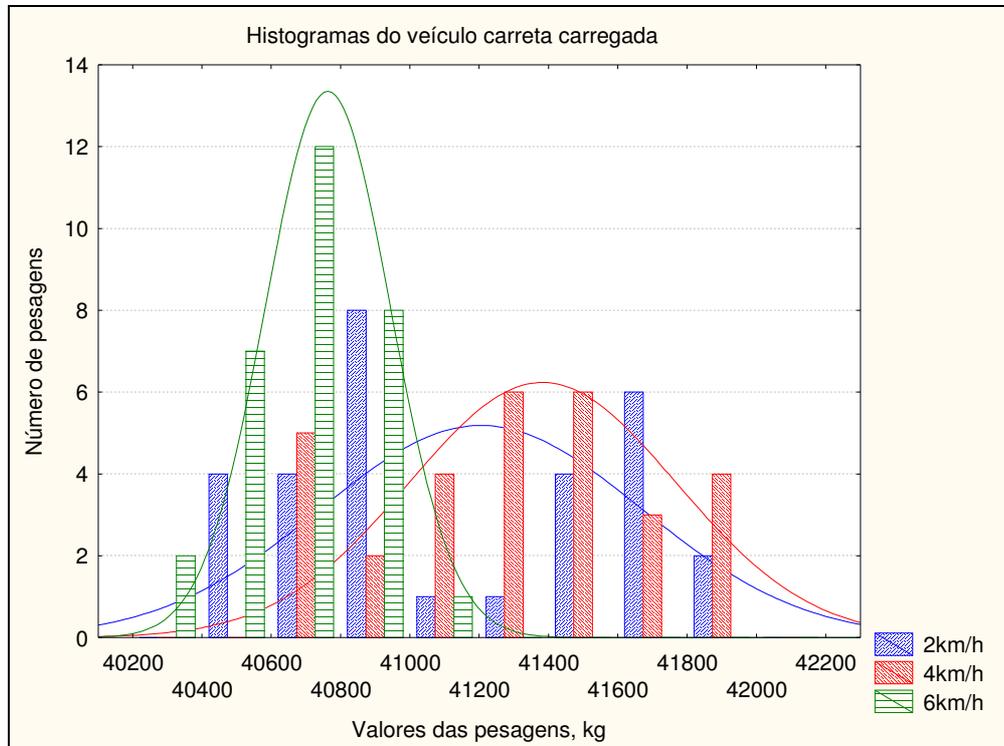


Figura IV.4 - Distribuições de probabilidade carreta carregada

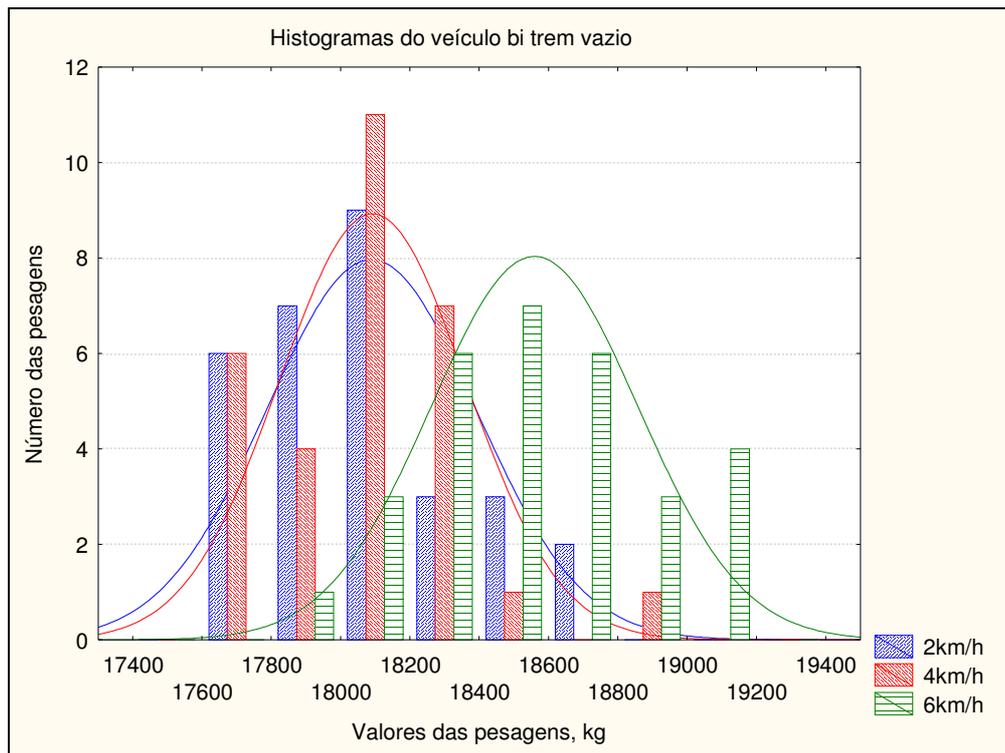


Figura IV.5 - Distribuições de probabilidade bitrem vazio

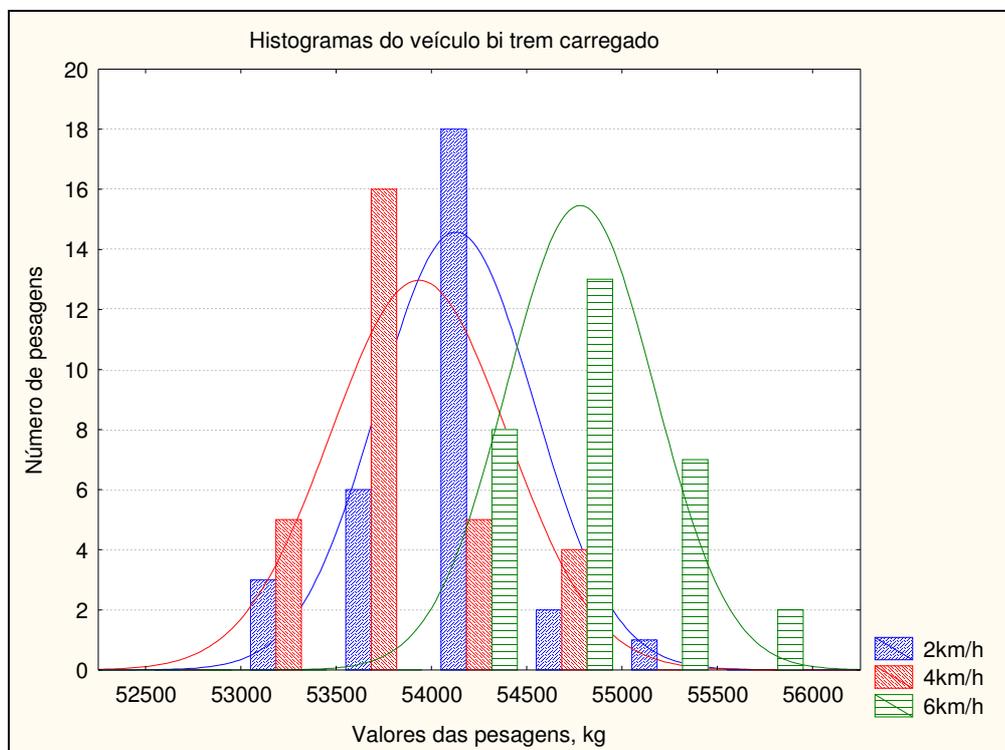


Figura IV.6 - Distribuições de probabilidade bitrem carregado

Após a etapa de modelagem e identificação das fdp das variáveis de entrada busca-se estipular através de iterações computacionais a variação das variáveis dentro do limite estipulado para geração de números aleatórios, ou seja, a simulação computacional de Monte Carlo.

IV. 1. 3 - Simulação computacional

Definidas as distribuições de probabilidades das parcelas participativas do modelo, foi estipulada a margem de 10% de variação dos valores apartir do valor central de cada variável de entrada do modelo de cálculo de incertezas.

Para as interações dos valores aleatórios, conforme o procedimento de Monte Carlo, foram realizadas iterações no programa computacional *Crystal Bal 2000*. Por outro lado, também é possível desenvolver procedimentos para o uso de programas em Excel para aplicação de Monte Carlo na área metrológica.

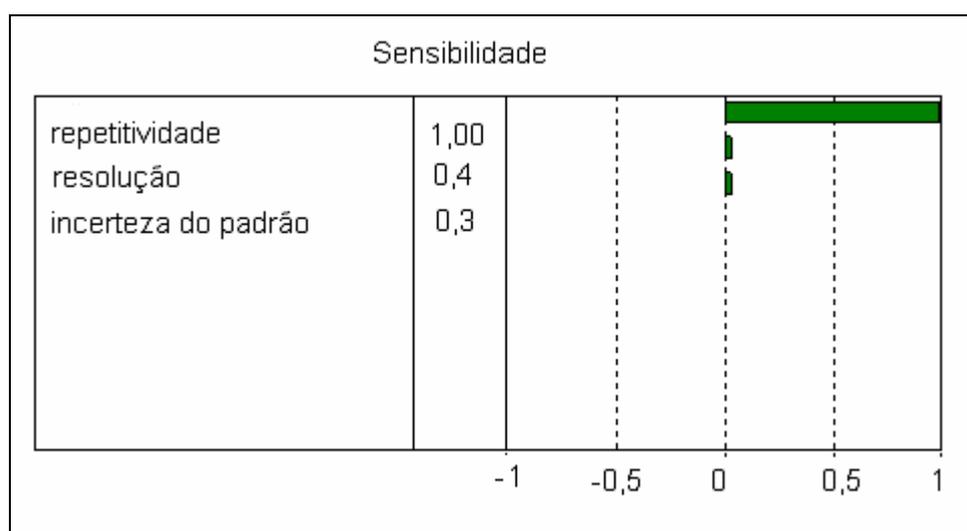
Na tabela IV.1, estão apresentados os valores referentes aos veículos no ensaio preliminar no tratamento dos dados para a simulação de Monte Carlo, sendo observados valores diferenciados em relação ao método anterior, o qual considera somente o desvio padrão. Desta forma, estão apresentados valores mais exatos e utilizando mais informações metrológicas.

Tabela IV.1 - Resumo das simulações principais da primeira fase

Veículos	V1	V 2	V 3	V 4	V 5
Média kg	12.109,30	23.004,00	34.797,30	41.713,00	51.730,70
Incerteza \pm kg	466,46	188,21	306,98	1355,10	611,94
Erro \pm %	3,82	0,02	1,15	11,5	2,46
Referência kg	12.340,00	22.840,00	34.560,00	46.340,00	52.870,00
Desvio (%)	1,87	0,72	0,69	9,99	2,15

Utilizando-se o programa *Crystal ball 2000*, para a aplicação do modelo desenvolvido para a análise de confiabilidade, calculam-se as incertezas dos veículos após a coleta definitiva de dados, conforme o planejamento da pesquisa. Para exemplo está demonstrada a aplicação no caso do veículo Bitrem em vazio, na velocidade de 6km/h, na segunda etapa da segunda fase. Através desta aplicação identifica-se a participação das variáveis de entrada no modelo desenvolvido, conforme a tabela IV.2, onde se percebe que a variável principal no calculo de incertezas é a repetitividade, a qual é proporcional ao desvio padrão da média das pesagens e inversamente proporcional ao tamanho da amostra.

Tabela IV.2 - Participações das parcelas no resultado



A fdp da parcela de repetitividade está registrada na figura IV.7, onde na aplicação referida, apresentou a média de 29,49kg identificada pelo valor central da curva normal. A fdp da participação da variável incerteza do padrão esta apresentada na figura IV.8, com o valor central da curva normal de 5kg. Assim como a variável resolução está apresentada na figura IV.9. com o mesmo valor central. Esta igualdade se deve a definição destas fdp, com maior prudência estabelecendo-se curvas normais.

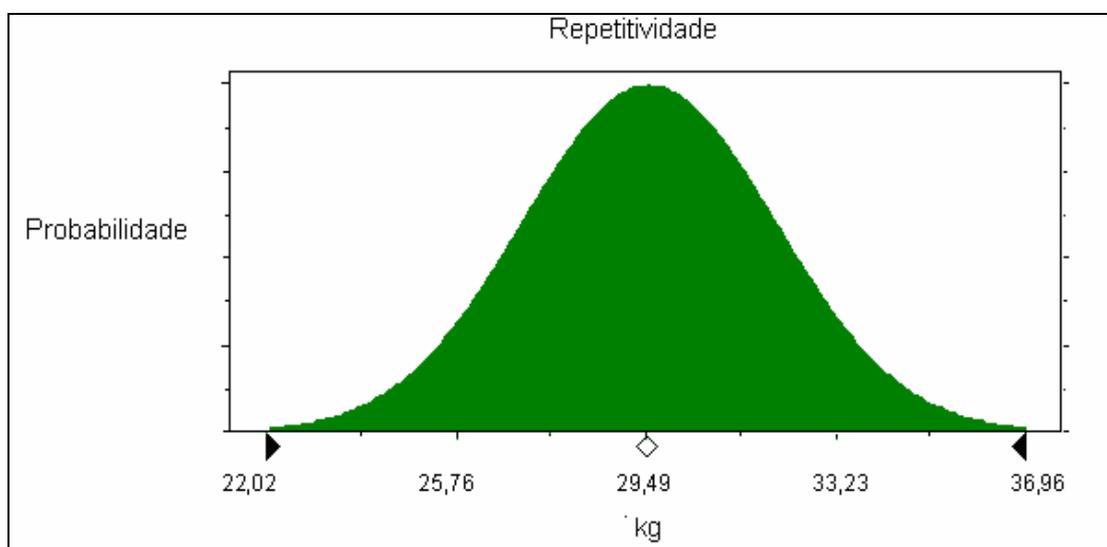


Figura IV.7 - Distribuição normal da variável repetitividade

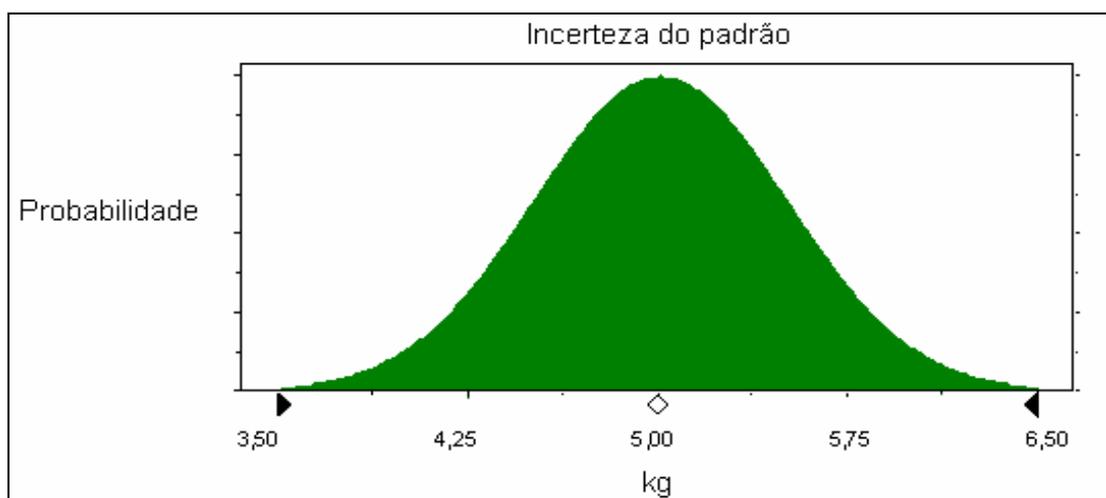


Figura IV.8 - Distribuição normal da variável incerteza do padrão

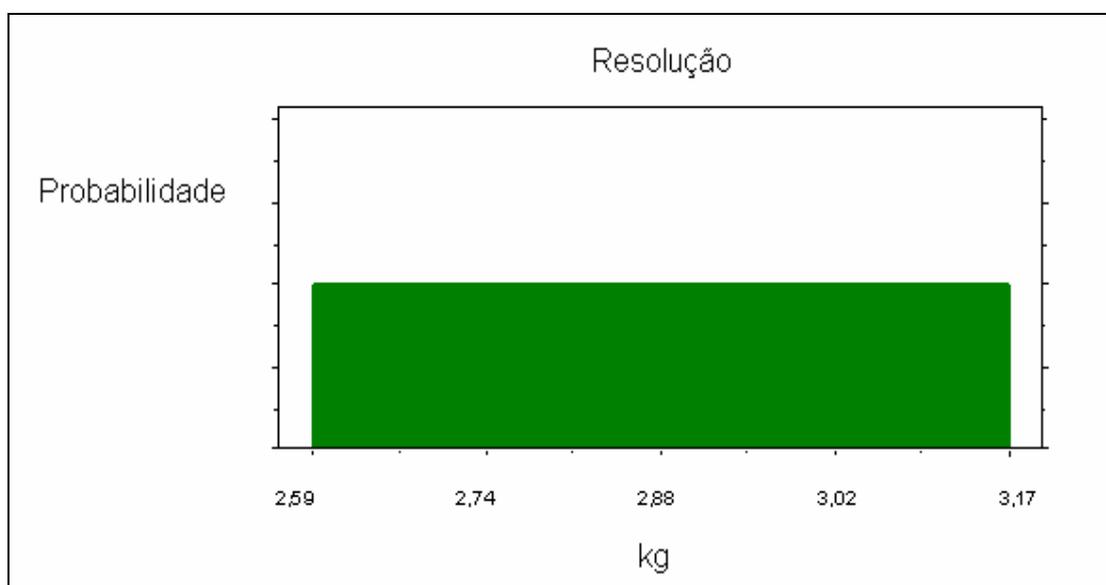


Figura IV.9 - Distribuição normal da variável resolução

O cálculo de incertezas após a aplicação do modelo está apresentado está demonstrada na curva normal na figura IV.10.

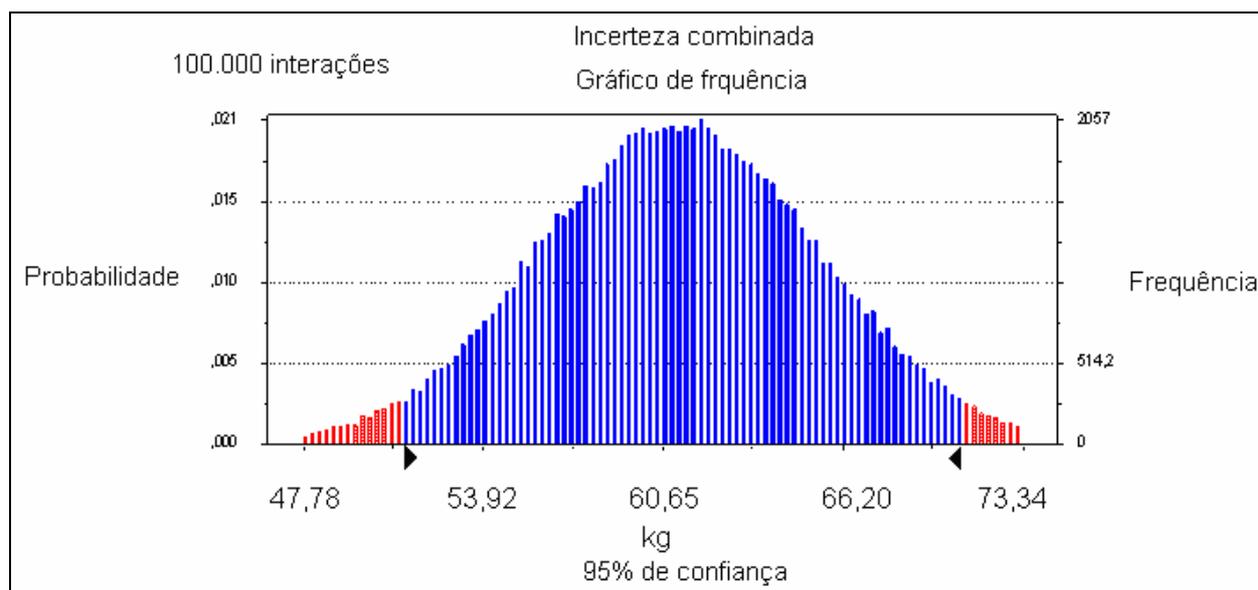


Figura IV.10 - Distribuição normal da expressão da incerteza

Considerou-se o intervalo de confiança nesta análise de 95%, para curva normal de distribuição de probabilidade, para 100.000 iterações, registrando-se o valor de 60,65kg para a incerteza do valor de 17.358kg da média das pesagens.

Para a análise de confiabilidade foram realizadas as iterações computacionais conforme o modelo estipulado utilizando os dados obtidos no plano de medição. Através dos 18 conjuntos de 30 medições, chegou-se a tabela IV.3 referente ao resumo da primeira fase e em relação à segunda fase a tabela IV.4.

Consideram-se:

R = valor de referência

V = velocidade de tráfego durante as pesagens

\bar{x}_d = média das sucessivas medições dos veículos escolhidos

Sx = desvio padrão da amostra

Sx% = desvio padrão percentual da amostra

$D = \bar{x}_d - R =$ desvio da média (IV.3)

$D\% = \left(\frac{D}{R}\right)100 =$ desvio percentual em relação ao valor de referência (IV.4)

$E = |Sx| + |D| =$ erro medido (IV.5)

$E\% = \left(\frac{E}{R}\right)100 =$ erro percentual em relação ao valor de referência (IV.6)

$Ev\% = \frac{E_{2km/h} + E_{4km/h} + E_{6km/h}}{3} =$ erro percentual médio de cada veículo. (IV.7)

U = incerteza

U% = incerteza percentual

$$E_s = |U| + |D| = \text{erro medido} \quad (\text{IV.8})$$

E_s% = erro medido percentual, após simulação de Monte Carlo

$$D_f = \text{Diferença} = (E_s - E) \quad (\text{IV.9})$$

$$M_e = \text{Melhoria\%} = \left(\frac{\text{Diferença}}{E_s} \right) 100 \quad (\text{IV.10})$$

Nesta análise se verifica que se pode analisar o erro E antes da aplicação do método computacional e após, através de E_s. Registram-se a diferença e a melhoria com aplicação do método.

Tabela IV.3 - Resumo da primeira fase de medição

Veículos	R	V	\bar{x}_d	Sx	Sx%	U	U%	D	D%	E	E%	Ev%	Es	Es%	D _f	M _e
Caminhão leve vazio	8620kg	2km/h	8420kg	61,03 kg	0,72	102,94kg	1,22	-200	-2,23	261,03	2,95	2,80	302,94kg	3,54	0,59	16,67
	8620kg	4km/h	8643 kg	89,76 kg	1,04	105,71kg	1,22	23	0,27	112,76	1,31		128,71 kg	1,49	0,18	12,08
	8620Kg	6km/h	8897 kg	80,87 kg	0,91	104,75kg	1,18	277	3,21	357,87	4,12		381,75 kg	4,39	0,27	6,15
caminhão leve carregado	22380kg	2km/h	22117 kg	94,36 kg	0,43	37,25kg	0,17	-263	-1,18	357,36	1,61	3,04	300,25 kg	1,35	-0,26	-19,26
	22380kg	4km/h	21673 kg	130,96 kg	0,60	55,99kg	0,26	-707	-3,16	837,96	3,76		762,99 kg	3,42	-0,34	-9,94
	22380kg	6km/h	22437 kg	120,49 kg	0,54	44,51kg	0,20	57	3,21	177,49	3,75		101,51 kg	3,41	-0,34	-9,97
carreta vazio	13670kg	2km/h	13543 kg	62,61 kg	0,46	26,88kg	0,20	-127	-0,93	189,61	1,73	1,14	153,88 kg	1,13	-0,6	-53,10
	13670kg	4km/h	13623 kg	56,51 kg	0,42	25,05kg	0,18	-47	-0,34	103,51	0,76		72,05 kg	0,52	-0,24	-46,15
	13670kg	6km/h	13993 kg	77,21 kg	0,55	31,55kg	0,23	57	0,42	134,21	0,92		88,55 kg	0,65	-0,27	-41,54
carreta carregada	42540kg	2km/h	41200 kg	461,63 kg	1,12	26,59kg	0,06	-1340	-3,15	1801,63	4,27	4,18	1366,59 kg	3,21	-1,06	-33,02
	42540kg	4km/h	41377 kg	383,89 kg	0,93	140,89kg	0,34	-1163	-2,73	1546,89	3,66		1177,89 kg	3,07	-0,59	-19,22
	42540kg	6km/h	40760 kg	179,27 kg	0,44	109,74kg	0,27	-1780	-4,18	1959,27	4,62		1889,74 kg	4,45	-0,17	-3,82
bitrem vazio	18090kg	2km/h	18085 kg	300,49 kg	1,66	110,63kg	0,61	-5	-0,03	305,49	1,69	2,45	115,63 kg	0,64	-1,05	-164,06
	18090kg	4km/h	18088 kg	268,17 kg	1,48	98,94kg	0,55	-2	-0,01	270,17	1,49		100,94 kg	0,56	-0,93	-166,07
	18090kg	6km/h	18554 kg	297,98 kg	1,61	109,72kg	0,59	464	2,56	761,98	4,17		573,72 kg	3,15	-1,02	-32,38
bitrem carregado	54990kg	2km/h	54119 kg	410,50 kg	0,76	150,57kg	0,28	-871	-1,58	1281,5	2,34	2,08	1021,57 kg	1,86	-0,48	-25,81
	54990kg	4km/h	53926 kg	461,32 kg	0,86	169,05kg	0,31	-1064	-1,93	1525,32	2,79		1233,05 kg	2,24	-0,55	-24,55
	54990kg	6km/h	54768 kg	396,94 kg	0,72	145,53kg	0,27	-222	-0,40	618,94	1,12		367,53 kg	0,67	-0,45	-67,16

Tabela IV.4 - Resumo da segunda fase de medição

Veículo	R	V	\bar{x}_d	Sx	Sx%	U	U%	D	D%	E	E%	Ev%	Es	Es%	D _f	M _e
Truck Vazio	8790 kg	2km/h	8554kg	73,98kg	0,86	30,48kg	0,35	-236	-2,7	309,98	3,56	2,87	266,48kg	3,05	-0,51	-16,72
	8790 kg	4km/h	8758 kg	68,38kg	0,78	28,64kg	0,33	-32	-0,4	100,38	1,18		54,64kg	0,73	-0,45	-61,64
	8790 kg	6km/h	9060 kg	71,2kg	0,79	29,6kg	0,34	270	3,07	341,2	3,86		299,6kg	3,41	-0,45	-13,20
Truck Carregado	23150 kg	2km/h	22106 kg	154,51kg	0,70	30,48kg	0,13	-1044	-4,5	1198,51	5,20	5,12	1074,48kg	4,63	-0,57	-12,31
	23150 kg	4km/h	21727 kg	77,52kg	0,36	31,64kg	0,14	-1423	-6,1	1500,52	6,46		1454,64kg	6,24	-0,22	-3,53
	23150 kg	6km/h	22410 kg	114,92kg	0,51	44,28kg	0,19	-740	-3,2	854,92	3,71		784,28kg	3,39	-0,32	-9,44
carreta vazio	14900 kg	2km/h	14780 kg	108,04kg	0,73	42,05kg	0,28	-120	-0,8	228,04	1,53	2,41	162,05kg	1,08	-0,45	-41,67
	14900 kg	4km/h	14976 kg	123,92kg	0,83	47,42kg	0,32	76	0,51	199,92	1,34		123,42kg	0,83	-0,51	-61,45
	14900 kg	6km/h	15459 kg	96,18kg	0,62	37,86kg	0,25	559	3,75	655,18	4,37		596,86kg	4,00	-0,37	-9,25
carreta carregada	41650 kg	2km/h	41437 kg	241,09kg	0,58	89,17kg	0,21	-213	-0,5	454,09	1,08	2,51	302,17kg	0,71	-0,37	-52,11
	41650 kg	4km/h	40403 kg	199,76kg	0,49	74,3kg	0,18	-1247	-3,00	1446,76	3,49		1321,3kg	3,18	-0,31	-9,75
	41650 kg	6km/h	40595 kg	187,52kg	0,46	69,93kg	0,17	-1055	-2,5	1242,52	2,96		1124,93kg	2,67	-0,29	-10,86
bitrem vazio	17140 kg	2km/h	16705 kg	109,38kg	0,65	42,37kg	0,25	-435	-2,5	544,38	3,15	2,55	477,37kg	2,75	-0,4	-14,55
	17140 kg	4km/h	16911 kg	167,17kg	0,99	60,66kg	0,35	-229	-1,3	396,17	2,29		289,66kg	1,65	-0,64	-38,79
	17140 kg	6km/h	17358 kg	161,05kg	0,93	60,65kg	0,35	218	1,27	379,05	2,2		278,65kg	1,63	-0,57	-34,97
bitrem carregado	57550 kg	2km/h	54849 kg	243,95kg	0,44	90,2kg	0,16	-2701	-4,7	2944,95	5,14	5,33	2791,2kg	4,86	-0,28	-5,76
	57550 kg	4km/h	54542 kg	351,2kg	0,64	129kg	0,22	-3008	-5,2	3359,2	5,84		3137kg	5,42	-0,42	-7,75
	57550 kg	6km/h	55192 kg	496,21kg	0,90	181,8kg	0,32	-2358	-4,1	2854,21	5,00		2539,8kg	4,42	-0,58	-13,12

IV. 2 - ANÁLISE DE CONFIABILIDADE

Após a pesquisa bibliográfica, onde se observaram as diferentes maneiras de fiscalizar o cumprimento da legislação de limite de peso, com vista a conservar o pavimento das estradas tem-se a aplicação do modelo de análise de confiabilidade em instrumentos de pesagem em movimento.

Tendo em vista sintetizar a análise de confiabilidade da pesagem de veículos rodoviários em movimento, objeto desta pesquisa, exploratória, apresenta-se a relação entre a pesquisa descritiva e a experimental realizada neste trabalho.

IV. 2. 1 - Análise da tecnologia aplicada aos instrumentos de pesagem em movimento

Sob a ótica do funcionamento dos instrumentos de pesagens dinâmica de veículos rodoviários, verificou-se que existem diferentes sistemas de medição do peso dos veículos. Através dos estudos de ONO et al. (1998), pelo método de análise de sinais emitidos de uma plataforma de pesagem identificam-se diferentes formas de obterem-se os valores relativos às pesagens, e, por conseqüência, analisar o processo dinâmico de pesagem de veículos. Por DANACI (2001) aplica-se regressão não linear para calibração do sistema de pesagem, método capaz de calibrar um instrumento de pesagem considerando-se as variáveis relativas ao efeito dinâmico das forças provenientes de um veículo em movimento sobre a plataforma de pesagem.

As tecnologias de controle de peso apresentadas variam da aplicação em instrumentos convencionais onde o veículo é pesado estaticamente até os métodos de monitoramento via satélite, sensores instaladas em pontes, além de outros diferentes meios de medição dinâmica de massa. Mas, como todos os métodos apresentados geram resultados que devem ser avaliados, neste trabalho foi aprimorada a aplicação metrológica aos instrumentos de pesagem rodoviária, focalizando-se os diversos fatores que interferem na medição, analisando assim a confiabilidade da utilização dos instrumentos de pesagem.

IV. 2. 2 - Análises dos procedimentos metrológicos de avaliação

Portanto, tendo em vista a abordagem metrológica foram apresentados outros modelos de avaliação, sendo o aplicado pela ASTM -1318E (2002), desenvolvido em 2002, o procedimento indicado na Europa COST-323, e o método atual brasileiro, estabelecido na década de 80, o qual apresenta um número menor de classes de atuação, comparando-se aos demais métodos.

Entretanto, as diretrizes internacionais, citadas anteriormente, são de caráter normativo, ou seja, não compulsório, o que difere da metodologia aplicada no Brasil, atuante a forma da lei em portarias publicadas pelo Inmetro.

Outro fator importante enfatizado é que ainda não existe consenso entre as autoridades de metrologia internacionais, para o estabelecimento de uma normativa para esta aplicação em metrologia legal, ou seja, em ações onde esta sendo aplicada a lei, sendo este assunto ainda objeto de estudos e versões preliminares.

No Brasil, a aplicação metrológica visa atender a demanda do setor de transporte que utiliza instrumentos de pesagem em movimento aplicados aos veículos rodoviários. Nesta pesquisa o modelo de avaliação desenvolvido pode ser aplicado para a calibração dos instrumentos PEM, além de uma possível aplicação na metrologia legal, com algumas alterações no sentido de simplificar a processo reduzindo o número de medições. O modelo aplicado nesta pesquisa buscou atender um número de pesagem suficiente para a pesquisa científica.

No capítulo III, foram apresentadas as ferramentas utilizadas no experimento realizado, para a avaliação dos instrumentos de pesagens dinâmicas, e a análise de incertezas com o uso do método de propagação de distribuição de probabilidade de monte Carlo. Relativo à análise dos resultados das pesagens dos ensaios realizados em campo, e através da simulação computacional, pode-se verificar os índices relativos aos veículos, conforme a tabela III.12 e III.13. A análise dos valores define as demais participações numéricas no resultado da medição, como a influência da resolução dos instrumentos utilizados e a incerteza do padrão de referência estabelecido.

IV. 2. 3 - Análise da legislação aplicada aos instrumentos de pesagem em movimento

Os erros registrados são da ordem de até 6%, pouco acima do limite de 5% para a classe 5 e dentro do estabelecido para classe 10 na minuta da ROIML. Entretanto, para a ASTM os erros registrados classificariam o instrumento na classe III, destinado à utilização em identificação de veículos com risco de excesso de peso.

Com relação aos testes de pesagens dos Bitrens, observaram-se erros de até 5,84% o que extrapolam o limite da legislação de trânsito nacional referente à tolerância de excesso peso, correspondente a margem de erro na pesagem de veículos em movimento, a qual permite a margem de 5%. Considerando que além do Bitrem, somente foram registrados erros superiores aos 5% no caso do veículo 3c carregado na segunda fase, porém os testes para este veículo foram realizados em dia de chuva, o que pode ter comprometido a eficiência do instrumento de pesagem.

Considerando a legislação metrológica vigente, a portaria de aprovação de modelo do Inmetro, este instrumento de pesagem deve apresentar erros máximos dentro do limite de 2,5%, através de cálculos específicos de acordo com a metodologia de verificação no ANEXO VIII, constantes das portarias de aprovação de modelo. Porém esta análise utilizou cargas diferenciadas e quantidades de medições superiores à referida metodologia.

IV. 2. 4 - Análises dos valores de PBT

Para primeira etapa, sendo apenas a carreta em vazio apresentando condições ideais de medição, onde a maioria das cargas está fora do exigido pelo Inmetro, considerando a mesma avaliação para PBT. Entretanto, evidenciou-se que mesmo nas condições de maior erro registrado o instrumento de pesagem ainda obteve um resultado esperado inferior ao estabelecido de 5%. Esta diferença tem possibilidade de justificativa pelo fato do instrumento de pesagem sofrer um desgaste conforme o uso e a calibração necessitar de ajuste após um período estimado. De acordo com a legislação metrológica do Inmetro, este período está estabelecido em 1 ano. Sendo adotado um percentual mais rigoroso em relação à tolerância no momento da avaliação periódica, de certa forma, se previne o desgaste estimado, de maneira a manter os índices de exatidão dentro do aceitável pela legislação de trânsito. Na segunda etapa, verificou-se que o veículo Bitren apresentou maior erro, além do caminhão carregado.

Através dos dados relacionados, verifica-se que existem variações dos erros dos resultados de acordo com a velocidade de pesagem e a carga dos veículos. Entretanto, não foram identificadas relações de proporcionalidade entre o aumento da velocidade e o índice de erro apurado durante as medições. Mas, os aumentos do erro em relação ao aumento da carga dos veículos foram identificados.

Constatou-se que repetindo os ensaios no mesmo posto de pesagem, com os mesmos instrumentos, com outros veículos, em configurações e cargas similares ao primeiro teste os erros registrados foram diferentes. Na primeira fase, observaram-se os valores mais expressivos na carreta carregada; porém, na segunda fase, o destaque foi para o bitrem carregado. Nesta fase o limite de erro de 5% foi ultrapassado.

Porém a análise dos instrumentos de pesagem, sem considerar análise de incertezas combinada, tem-se o resultado das medições em duas fases uma realizada em dezembro de 2006, tabela IV.3, e outra em janeiro de 2007, tabela IV.4, apresentando-se os registros dos valores de PBT – peso bruto total dos veículos utilizados. A relação nestes cálculos é referente aos valores de PBT médio de trinta medições sucessivas na plataforma de pesagem do mesmo veículo. Conforme a sugestão da minuta ROIML134 e a utilização de veículos sem carga, vazios, além dos veículos com carga e um veículo com maior número de eixos, representativo da frota nacional, no caso o bitrem.

IV. 2. 5 - Análises dos registros de carga por eixo

As tabelas relacionadas aos valores de carga por eixos, no capítulo III, apresentam variações de desvio padrão, em relação a média, entre 0,46 a 6,81 que indicam o intervalo de variação do nível de confiabilidade da pesagem em movimento para identificação da carga por eixo, neste instrumento ensaiado.

Conforme a pesquisa realizada pelo DER/MG 2005 sobre monitoramento de tráfego e controle de peso de veículos na rodovia BR 381/MG a maioria dos veículos registra o acesso de peso no segundo eixo. Este fator também pode ser percebido nesta pesquisa, no caso das carretas carregadas. Porém, no caso do bitrem, foram verificados excessos de carga, acima de 10t, no quarto eixo.

IV. 2. 6 - Análises da temperatura umidade e velocidade

Foram também realizadas medições de monitoramento dos parâmetros de temperatura, umidade e velocidade, para o acompanhamento da influência na pesagem. Verificou-se que as variações de temperaturas, durante os ensaios metrológicos comprovaram a necessidade de se instalar instrumentos capazes de inibir tal influência, pois os erros maiores atingidos foram em períodos de altas temperaturas. As condições observadas de altas temperaturas de até 52°C também contribuíram para o registro de erros de até 4,62%, no caso dos testes da carreta carregada. Durante as altas temperaturas verifica-se a dilatação do sistema formado pelos equipamentos, onde estão instalados os sensores, e do pavimento de acesso às balanças.

Outro fator registrado foi a condição de na maioria das vezes em velocidade próxima ao limite do instrumento atingir maiores erros.

O ajuste de um sistema de pesagem deve prever as influências de forma a proporcionar ao fator de calibração, constante multiplicada ao mensurando, a ação de anular os efeitos indesejáveis à pesagem. Além de serem verificadas deformações na pista de pesagem quando os veículos mais carregados trafegaram pela pista, o que interferiu na qualidade da medição, de forma negativa.

Outro elemento que interfere no resultado são as pesagens fora do centro das plataformas, ou seja, as “placas de pesagens” onde estão instalados os sensores responsáveis pela captação dos sinais eletrônicos relativos às cargas dos eixos dos veículos. Desta forma, as interferências provocadas quando o veículo passa nas extremidades das placas dificultam a medição correta.

A medição de velocidade, realizada por instrumento de medição para baixas velocidades registrou diferenças entre as velocidades registradas pela balança rodoviária e pelo tacômetro em níveis muito diferenciados, o que pode ter relação com os diferentes métodos utilizados na medição com o tacômetro e o resultado médio registrado pela balança rodoviária.

IV. 2. 7 - Análises do local de pesagem

Outro importante fator relacionado na pesquisa foi a verificação das condições da pista onde está instalado o instrumento de pesagem. Para facilitar o entendimento da medição foram

estipulados pontos de verificação a cada cinco metros, na parte onde a pista está com pavimento de concreto, totalizando 25m, sendo a instalação da balança aproximadamente no meio do trecho, em 12m. Foi verificado que na última parte, de cinco metros, após a passagem pela balança existe um desnível de 3cm, em declive, e na parte onde está instalada a balança existe uma inclinação de 1cm no sentido transversal da passagem do veículo. Em toda extensão da pista verificam-se sinais de erosão do pavimento. Além de não existir sinalização no pavimento da pista.

IV. 2. 8 - Análises da influência das pressões dos pneus

O valor relativo à influência dos pneus nota-se alarmante, porém estes valores máximos apresentados sugerem o aprofundamento destes estudos. Considerando a interação importante na transmissão da carga do veículo ao pavimento via pneu, a área de contato e a conseqüente pressão interna do rodado assumem uma condição de destaque no processo de análise da medição da massa do veículo.

Para a aplicação em rodovia federal o estudo preliminar, conforme o teste inicial realizado neste trabalho, apresentado no subitem III.2.4, e em FARUOLO et al. (2006c) considerou variações nos registros da massa do veículo na ordem de 10%, em média menor que a PBT na medição estática com a alteração da pressão interna do pneu.

Albano (1998) identificou que a variação da pressão interna de 552kPa (80psi) para 620kPa (90psi) aumenta a pressão de contato entre 4,8% a 9,9%. Entretanto, para uma mesma carga por eixo o aumento da pressão de enchimento de 620kPa(90psi) para 689kPa(100psi) implica em redução de 0,4% a 1,6% da pressão de contato.

Conforme HYUNZ-GYN (2004) o valor relativo aos veículos, tratores fora de estrada, conforme registros apresentados na Figura I.32 através da combinação de fatores, como a variação da pressão do pneu interna de 100kPa até 240kPa e forças dinâmicas de 23,9kN a 40kN, registram redução do efeito da força aplicada no pneu ao solo em 5%.

O aumento da carga do eixo altera a distribuição das forças internas atuantes no pneu e transfere parte da pressão para as laterais do pneu diminuindo a pressão de contato do pneu com o solo, portanto reduzindo a transmissão da carga do veículo ao pavimento, em condições de sobre pressão do pneu. Porém o excesso de pressão no rodado acarreta sérios riscos do desgaste excessivo e provável acidentes decorrente do funcionamento do pneu fora das especificações.

IV. 2. 9 - Análises dos instrumentos de pesagem utilizados

Através desta pesquisa foram realizadas medições em dois instrumentos de pesagem, conforme descrito no capítulo III, este fator apresenta a possibilidade de uma breve

comparação entre as diferentes situações de utilização de dois modelos de instrumentos de pesagens, com diferença de dez anos de projeto, ou de lançamento no mercado. O modelo utilizado no teste preliminar tem a provação no Inmetro com data em 2001 e o segundo utilizado na fase definitiva com aprovação na entidade de controle metrológico em 1991. Entretanto, ambos os instrumentos são considerados portáteis ou móveis, podendo ser transferidos para outros postos de pesagem desde que tenham autorização para uso nos locais de instalação.

Nesta pesquisa não foram consideradas as características internas de funcionamento dos modelos, ou seja, informações como tipo de tratamento de sinais ou modelo de tratamento dos dados antes da exibição dos resultados das pesagens. Portanto, as análises tiveram o objetivo de avaliar o sistema de pesagem sob os aspectos de utilização para o monitoramento e controle de peso dos veículos nas estradas. Com este propósito a escolha de instrumentos móveis, ou portáteis, representa a situação de maior aplicação em diferentes postos de pesagem. Além de apresentar possibilidade de evidencia de erros maiores, pois os mesmos conforme os modelos aprovados relação de desvio da média em função do valor de referência de 1% contra 0,5% nos instrumentos fixos de pesagem. Contudo, a comparação direta entre os resultados obtidos entre os dois equipamentos não representa a análise dos modelos de instrumentos, pois as diferentes variáveis de interferências na medição modificam as condições de ensaios nas duas situações e impedem de se concluir a análise sob este aspecto.

IV. 2. 10 - Análises da aplicação do modelo desenvolvido

Através da aplicação do método desenvolvido neste trabalho obteve-se melhoria na qualidade de medição em relação à exatidão de até 160%. A variação do erro foi de 0,52% a 6,24%, registrado na pesquisa exploratória, na praça de pesagem a qual está instalado o instrumento de pesagem móvel ou portátil, para os diferentes tipos de composição de veículos. Este resultado comprova a necessidade de se ajustar os instrumentos de pesagem dinâmica para as reais condições de funcionamento, ou seja, considerando-se os tipos de veículos componentes do volume de tráfego local, temperatura ambiente, pavimento e dimensionamento das pistas de acesso, conforme os argumentos apresentados anteriormente. No processo de avaliação podem ser incluídos outros elementos, considerando a manipulação na utilização, estendendo o modelo, com acréscimos no erro de até:

- 3,72% posicionamento durante a passagem na plataforma;
- 5% manipulação do suspensores de eixos;
- 5% variação da pressão dos pneus (veículos tratores, fora de estrada);
- 10% variação da pressão dos pneus (uso em caminhões).

Desta forma, evidencia-se que durante o processo de pesagem dos veículos devem-se evitar as variações de posição da suspensão e da direção dos veículos, além de verificar se a pressão dos pneus está de acordo com a recomendação dos fabricantes.

A metodologia apresentada por de ONO et al. (1998), considerando a vibração e regressão linear, os erros registrados foram em torno de 2% para veículos de dois e três eixos a 10km/h. Em ONO et al. (2001) aplicando regressão não linear os erros registrados foram em torno de 3% para praticamente as mesmas condições de ensaios. FUKUDA et al. (2001) registrou resultados na casa dos 0,2% para a simulação computacional, considerando-se maior amplitude de dados, menor frequência no tratamento de sinais e modelos lineares de simulação para a geração dos dados. DANACI (2001) analisou os resultados através de modelagem com uso de regressão não linear. Entretanto, as variações de metodologias de tratamentos de dados, devem considerar os aspectos experimentais da instalação também considerados por NIEDZWIECKI, M e A WASILEWSKI (1996) e DODOO e THORPE (2005).

Porém, este método apresentado na pesquisa pode ser relacionado com a simulação de resultados, com base nos dados reais das pesagens, com erros praticamente nulos tendo em vista a geração de 100.000 valores, conforme o modelo estipulado para a aplicação de Monte Carlo. Mas, considerando a aplicação em análise de confiabilidade, e para fins de fiscalização, a dispersão dos valores reais não deve ser eliminada com o recurso do aumento da base de dados. Desta forma, a análise dos resultados teve como propósito simular através da computação o quantitativo de iterações com uma variação das condições iniciais do modelo em 10% para mais e para menos, acrescendo o intervalo de valores de entrada na simulação.

Os resultados alcançados na simulação representam uma amostra significativa da repetição do processo real em 100.000 vezes, comprovando assim as influências na pesagem de veículos em movimento, que poderão ser consideradas para a análise de confiabilidade dos instrumentos e processos de pesagens.

O modelo apresentado pode ser utilizado para a calibração dos instrumentos de pesagem, e identificação dos ajustes necessários ao melhor funcionamento dos sistemas de pesagens. Estes aspectos representam as possibilidades de uso do modelo em análises de confiabilidade para fins de escolha de instrumentos, conforme o desempenho em relação aos desvios e erros registrados, e para a aplicação no processo interno dos instrumentos na medição da massa dos veículos, melhorando a qualidade dos resultados obtidos nas pesagens.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como objetivo o controle de peso dos veículos de forma a evitar o desgaste excessivo do pavimento com a aplicação do modelo de análise de confiabilidade desenvolvido nessa pesquisa torna-se possível desenvolver a fiscalização com maior exatidão nas medições, provenientes dos instrumentos de pesagem. Verificam-se no ANEXO I dados relativos às multas aplicadas pela ANTT em postos de pesagem construídos especificamente para fiscalização do cumprimento da legislação que estabelece os limites de peso dos veículos rodoviários.

Porém, este modelo de análise também pode ser aplicado na utilização de instrumentos PEM no monitoramento do peso dos veículos, antes da aplicação de multas, em instrumentos que medem a massa do veículo em velocidades superiores à permitida nas praças de pesagem, ou seja, estimam a massa do veículo no fluxo normal na estrada ou em balanças chamadas seletivas, onde conforme o peso do veículo o direciona para outra balança com maior exatidão, instalada na praça de pesagem, para a medição em baixa velocidade.

Com relação aos aspectos do dimensionamento das rodovias verifica-se que as estradas estão construídas, de acordo com projetos, tendo como elementos: o solo, o número e o peso de veículos a formarem o tráfego previsto, condições ambientais, os níveis de erosão previstos e o trajeto especificado. Entretanto, com a modernidade da frota de veículos nacionais, o aumento da produção agrícola, acréscimo das exportações e do uso do transporte rodoviário, principalmente com a utilização de veículos de carga de sete eixos, legalmente autorizado, e o uso de veículos com até nove eixos em áreas restritas de utilização, de acordo a classificação na tabela do ANEXO IV e conforme a última legislação do DENATRAN no ANEXO V e tabela II.6, constata-se o desenvolvimento de um tráfego diferente do previsto na época da construção das estradas, registradas no ANEXO II.

O novo volume de veículos, especificado na contagem volumétrica de veículos nacionais, no ANEXO III, com peso e quantidade de caminhões superiores às condições iniciais de projeto das rodovias, danificam o pavimento e prejudicam o uso das estradas e rodovias importantes para o deslocamento da safra nacional e para o transporte em geral, gerando perdas e danos aos usuários e causando acidentes, devido aos buracos e a falta de segurança nas vias públicas. Sendo necessária às correções devidas nas estradas onde a realidade do tráfego é diferente do anteriormente previsto.

A análise de confiabilidade dos instrumentos de pesagem em movimento (PEM), conhecidos também como “balanças dinâmicas”, utilizados na fiscalização de limite de peso dos veículos nas estradas, em aplicações para baixa velocidade em locais apropriados para a medição da massa dos veículos, através da análise estatística e da avaliação de incertezas com uso de Monte Carlo, demonstram parâmetros importantes a serem considerados na verificação, ajuste e calibração destes instrumentos.

Nesta pesquisa, foram realizadas comparações entre a eficiência da pesagem em movimento, em baixa velocidade, para os diferentes veículos mais utilizados, representando a frota nacional de veículos de carga rodoviária, com carga sólida. As análises em cargas líquidas a granel foram apenas preliminares, sugerindo a pesquisa mais aprofundada para outra oportunidade, considerando a complexidade das diferentes situações a serem analisadas. Em destaque, foi analisado o desempenho do instrumento de pesagem portátil em pesagens de veículos de sete eixos chamados bitrens, os quais representam uma tendência de uso nas rodovias.

Através do modelo desenvolvido para a avaliação dos instrumentos referentes à reprodutibilidade e repetitividade dos valores, foram aplicadas as ferramentas de análise e confirmadas a hipótese de distribuição normal para as pesagens em movimento na velocidade de até 6km/h. No capítulo III estão os registros dos gráficos relativos à pesagem do PBT e com relação à carga por eixos de todos os veículos ensaiados.

Conforme o capítulo anterior, análises de resultados, os principais fatores de influência na pesagem em movimento são: o tipo de composição de tráfego local, a velocidade de utilização do instrumento de pesagem, os aspectos construtivos da instalação, os aspectos de operação e manutenção dos equipamentos, relacionados à capacidade de identificação da manipulação dos sistemas de suspensão de eixos, alteração da pressão dos pneus e verificação da correta passagem pelo instrumento de pesagem.

Verifica-se que a extensão do pavimento do posto de pesagem deve ser apropriada às dimensões dos veículos, no sentido de possibilitar a manobra e evitar influências do desnivelamento durante as pesagens. Os aspectos do maior erro relacionado ao veículo mais extenso, o bitrem, tem relação com a extensão especificamente preparada da pista de pesagem, onde se exige melhores condições de planicidade e nivelamento. Além do fato deste tipo de veículo possuir um número maior de eixos e articulações o que pode provar maior trepidação das plataformas de pesagens, ocasionando possíveis interferências na medição.

Nesta análise, conclui-se que os instrumentos de pesagem devem ser instalados em pistas de pesagem com o comprimento adequado para estabilizar o veículo, evitando vibrações excessivas, recomenda-se 60m anterior e 30m posteriormente a pesagem. Faz-se necessária a sinalização do sentido de deslocamento do veículo para a balança por eixo, orientando os veículos a passar no centro da balança rodoviária, de forma a evitar a pesagem parcial de um eixo ou as pesagens sucessivas nas extremidades dos sensores. Além de ser importante o controle da dilatação do conjunto formado pelo pavimento as plataformas de pesagens, onde se encontram os sensores de medição. Com relação aos aspectos de absorção de água do pavimento deve-se evitar o acúmulo de líquidos nos arredores dos sensores com possíveis interferências na eletrônica do sistema e a conseqüente erosão do pavimento.

Com relação à utilização da medição de velocidade durante os testes verificou-se que este processo merece um estudo específico, pois as medições preliminares realizadas nesta pesquisa, a qual teve o enfoque principal na medição da carga dos veículos, sinalizou possíveis erros na faixa de 7%. A instrumentação necessária para esta análise é complexa. Não estão disponíveis instrumentos de medição direta da velocidade de veículos rodoviários para baixa velocidade, menores que 20km/h. Portanto, a medição deve ser feita por instrumentos destinados a outras aplicações, adaptando-os a esta atividade, ou devem ser analisadas as medições de forma indireta, conciliando medições de outras grandezas.

Desta forma, está demonstrado que para um mesmo instrumento de pesagem existem diferentes comportamentos de funcionamento, devido as diferentes variáveis atuantes no processo, sendo fundamental que o instrumento de pesagem tenha capacidade de atuar de forma a atender um padrão de exatidão na pesagem. Os instrumentos de medição podem utilizar as diferentes formas apresentadas de tratamento dos sinais. Entretanto, a exatidão dos valores deve ser considerada para a correta utilização dos equipamentos. Além dos fatores construtivos dos instrumentos, deve-se considerar que os mesmos tenham programas de calibração eficientes, manutenção adequada, proporcional à utilização e sejam verificados pelo Inmetro dentro da periodicidade prevista na portaria de aprovação de modelo emitida pelo instituto e conforme o atual procedimento apresentado no ANEXO VI. Devem-se evitar fatores com relação à variação de pressão interna dos pneus, além da manipulação da suspensão que podem interferir negativamente na confiabilidade da pesagem dinâmica de veículos rodoviários. É imperativo que a manipulação dos instrumentos de pesagens seja feita por pessoal qualificado, de forma evitar a má utilização e ajude a manter a qualidade de funcionamento dentro das condições recomendadas pelo fabricante, e pela legislação relacionada ao tema.

Conforme verificado no capítulo II, as novas resoluções do CONTRAN incrementam a utilização de veículos com eixos espaçados, a fiscalização do peso e dimensões dos tipos de veículos; estabelecendo-se o limite de diferença da carga entre eixos duplos e triplos de 1.700kg, além da obrigatoriedade de tração dupla e variação do limite de acordo com a extensão do veículo. A prática do transbordo de mercadorias vem sendo utilizada para a retirada da carga excessiva, quando a redistribuição da mesma não sana a irregularidade.

O posicionamento estratégico dos instrumentos de pesagem para evitar a entrada dos veículos com excesso de peso nas rodovias e políticas de educação de trânsito aplicadas às empresas apresentam resultados satisfatórios na redução do desgaste do pavimento. A modernização das rodovias com sistemas de câmeras contribui para vigilância do trânsito de forma a possibilitar a identificação de prováveis infratores da legislação de trânsito. A formação de bancos de dados relacionados aos registros dos infratores em nível nacional possibilita a identificação de localidades onde a estratégia de controle de peso deve ser mais atuante.

Concluiu-se que existe a necessidade de regulamentação com o propósito de definir padrões de instalação, operação e manutenção dos instrumentos de controle de peso. Considerando-se o uso de sistemas integrados de controle de peso e outras finalidades, para a fiscalização referente à documentação do veículo, tipos de cargas transportadas, e itens de segurança. Uma complexa legislação que atenda à necessidade do setor de transporte deverá ser regulamentada interligando várias entidades. Entre as entidades consideradas na esfera governamental: o Inmetro no campo metrológico, o DNIT em infra-estrutura, a ANTT na fiscalização das concessões rodoviárias federais, a polícia rodoviária federal no policiamento de trânsito, o Ibama na fiscalização ambiental, entre outras. Além, de considerar a legislação estadual, principalmente, no referente às concessões de rodovias estaduais.

As novas tecnologias de instrumentos de pesagens instalados no próprio veículo, com emissão de resultados e monitoramento de trajetória via satélite representam um desafio para a análise de confiabilidade. As condições de uso e desgaste dos equipamentos deverão ser analisadas conforme as futuras aplicações.

Esta pesquisa apresenta o modelo de análise de confiabilidade capaz de ser aplicado com grande melhoria de exatidão na calibração e para identificação dos parâmetros de ajustes de funcionamento dos instrumentos de pesagem, em diferentes condições de uso, incluído as variações de tipos de instrumentos e locais de instalação. Além de poder vir a ser aplicado nas verificações metrológicas, desde que seja aplicado conforme a legislação pertinente, no que se refere aos limites de uso estabelecido e pessoal autorizado, entre outras determinações relacionadas à atividade governamental.

As melhores condições de utilização dos instrumentos de pesagem com resultados mais confiáveis contribuem para o melhor controle de peso dos veículos e aumento da vida útil do pavimento, dos veículos e redução de acidentes de trânsito. Portanto, a implantação de políticas públicas neste sentido é extremamente benéfica à sociedade.

A repetição deste método, em outras praças de pesagens com diferentes modelos de instrumentos de pesagem, pode proporcionar uma relação, ou um índice, de confiabilidade da pesagem dinâmica, ou pesagem em movimento de veículos rodoviários.

Outros temas de estudo relacionados aos instrumentos PEM podem ser objeto de novas pesquisas: a eficiência da pesagem de veículos com eixos espaçados, a programação de calibração, tendo em vista aspectos de durabilidade dos equipamentos e programas eficientes de manutenção destes sistemas de pesagem.

No ANEXO VII está o relato da pesquisa onde se verifica que para a realização de uma pesquisa na área de pesagem de veículos em movimento faz-se necessário o apoio das entidades de controle de peso governamentais. No ANEXO VIII estão os resumos dos registros das pesagens, com as identificações dos veículos e os valores de velocidade e PBT.

REFERÊNCIAS

AASTHO Interim Guide for Design of Pavement Structures, Appendices C (2.2), 1972, 1981.

AASTHO Guide for Design of Pavement structures, 1986,1993.

AASTHO LRFD bridge design specification, american association of state highway and transportation official, 3rd, Ed, Washington, DC, USA 2004.

ALBANO.J.F Efeitos da Variação da carga por eixo, pressão de inflação e tipo de Pneu na resposta Elástica de um Pavimento. Escola de Engenharia. Dissertação de Mestrado em engenharia programa de engenharia de Produção, UFRGS. Porto Alegre, 1998.

ALBANO.J.F Efeitos dos excessos de carga sobre a durabilidade de pavimentos, tese de Doutorado UFRGS. Porto Alegre, 2005.

ALENCAR, SOLANGE L. e MARTHA, PAULO J. B. Relatório técnico, Divisão de serviços metrológicos, Inmetro, Rio de Janeiro,1981.

ALVARENGA, A. C.; NOVAES, A. G. N.; *Logística Aplicada - Suprimento e Distribuição Física*, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 2000.

ANTT - Portal da Agência Nacional de Transporte Terrestre www.anntt.gov.br dia 19 de setembro de 2005.

ASTM–E1318, Standard Specification for Highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Methods, 2002.

BALLOU, R. H.; Logística Empresarial, Editora Atlas, São Paulo, 1995.

BIANCHI e CANESIN W Curso de simulação , Universidade de Braz Cubas, 2002, disponível em http://www2.brazcubas.br/professores1/arquivos/25_jbianchi/simulacao/SIMULACAO1.doc acessado em 04/07/06.

BROCHADO, M. R.; *Os corredores de Exportação na Organização do Espaço: O caso do corredor Cerrado/Rio de Janeiro/Porto de Sepetiba*, Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, PEP/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1996.

BRASIL - PROGRAMA DE AÇÃO ECONÔMICA DO GOVERNO - 1964 – 1966. Versão Preliminar. Brasília, Ministério do Planejamento, 1964.

CANTREL, C.D. Introduction to Monte Carlo methods 1995, disponível em <http://www.utdallas.edu/~cantrell/ee6481/MC.pdf> acessado em 04/07/06.

CANABRAVA, R e VITIELLO, S. A. Partícula em um poço de potencial infinito e o método variacional de Monte Carlo, Revista brasileira de ensino de física, vol 25, N1, 2003.

CARDINAL , balanças cardinal, www.cardinalscale.com , acesso em 25 de novembro de 2005.

CENTRAN – PDNEP Centro de excelência em engenharia de transportes, Plano diretor nacional estratégico de pesagem, 2006.

CTB - Código de trânsito brasileiro, Lei Federal, N° 9503, de 23 de setembro de 1997.

COUTO R. G. PAULO, DAMASCENO C. JAILTON, BORGES M. H. RENATA, Uncertainly estimation of mechanical assays by iso-gum 95 and Monte Carlo simulation – case study: tensile strength, torque and brinell hardness measurements, IMEKO – world congress, Rio de Janeiro 2006.

COST 323 – Especificação europeia sobre pesagem de veículos em movimento, 1997.

COX. M, HARRIS P. SIEBERT Evaluation of uncertainly based on the propagation of distributions using Monte Carlo simulation, Measurement Techniques, 2003.

CNT(a)– Boletim Estatístico – 2006, www.cnt.org.br acesso em 26-01-2007.

CNT(b) – Pesquisa Rodoviária – 2006, www.cnt.org.br acesso em 26-01-2007.

DANACI, “New approaches for high speed and Accurate Weight measurements”, IMEKO, Stambú, Turkey, 2001

DECKER J. E., STEELE, R.J. DOUGLAS, harnessing simulations for gum-complement evaluation of uncertainly in measurement, IMEKO – world congress, Rio de Janeiro 2006.

DENATRAN Estatística de Acidentes de Trânsito nas Rodovias Federais do país, acesso em 2 de outubro de 2005 a www.denatran.gov.br, referente ao ano de 2003.

DENATRAN Portaria N 86, de 20 de dezembro de 2006, acesso 13 de fevereiro de 2007. <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> Brasília, 2006.

DIAS, JOSÉ LUCIANO DE MATTOS, Medida Normalização e Qualidade; aspectos da historia da metrologia do Brasil, 1ª ed. Rio de Janeiro, Ilustrações, 1998.

DNER, Relatório técnico, Plano Diretor de pesagem, 10 anos de concepção e operação, 1985.

DNER, Manual de pavimentação, Ministério dos Transportes, 1996.

DER/MG, Monitoramento de Tráfico e Controle de Peso da BR-381/MG – 2005.

DNIT - Portal do departamento nacional de infra-estrutura de transporte <http://www.dnit.gov.br/menu/rodovias/pesagem> dia 13 de janeiro de 2007.

DNIT - Descrição dos veículos rodoviários, Portal do departamento nacional de infra-estrutura de transporte www.dnit.gov.br dia 10 de novembro de 2006.

DODOO, NII AMOO AND THORPE NEIL A New Approach for Allocating Pavement Damage between Heavy Goods Vehicles for Road-user Charging”, Elsevier, 2005.

DOWELL, MC FERNANDO Controle de peso condição de sobrevivências para as rodovias, IV Congresso Brasileiro de Concessões de Rodovias, Rio de Janeiro, 2005.

DORANCHO, CÉLIO – Contribuição à análise de qualidade de viagem e suas relações com a distribuição de defeitos em segmentos de rodovias – dissertação de mestrado - Escola de engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – 2001.

E – C079 – Transportation Research Circular, www.trb.org, Washington, D.C. 2005

FARUOLO, LUCIANO BRUNO, Avaliação do Sistema de Medição de Massa em Veículos em Movimento nas Estradas, ENQUALAB, São Paulo, 2005.

FARUOLO, L. B. E FERNADES, J. L. Medição de Massa em Movimento Utilizando Extensômetros, VIII COTEQ, Salvador, 2005(a).

FARUOLO, L. B. E FERNADES, J. L. A Importância do Ensino de Metrologia com Foco na Incerteza de Medição na Formação de Engenheiros, XXXIII Cobenge, Campina Grande, PB. 2005(b).

FARUOLO, L. B. FERNADES, J. L. BROCHADO, M.R. – Tendências para o controle de peso de veículos nas rodovias, ENQUALAB, São Paulo, 2006(a).

FARUOLO, L. B. FERNADES, J. L. BROCHADO, M.R. – key factors in road vehicles weigh-in-motion, XVII – IMEKO – World Congress, Rio de Janeiro, 2006(b).

FARUOLO, L. B. FERNADES, J. L. BROCHADO, M.R. – Análise do efeito do excesso de peso dos veículos nas estradas, XIV – Congresso pan-americano – engenharia, tráfego e transporte – Las Palmas de Gran Canária, Espanha, 2006(c).

FASEL, WALTER 2004 “On Line Traffic Surveillance” OIML – International Organization of Legal Metrology, Legal Bulletin Volume XLV- number 4.

FERNANDES JÚNIOR J.L. Investigação dos efeitos das solicitações do tráfego sobre o desempenho de pavimentos Escola de engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado São Carlos, 1994.

FILIZOLA , balanças filizola, www.filizola.com.br acesso em 15 de setembro de 2005

FUKUDA, KENGO; KOICHI KAMEOKA, TOSHIRO ONO, KOJI YOSHIDA Evaluations of a New Mass-estimation Method for Axle Weights of In-motion Vehicles Using Vehicle Models, IIMEKO, Istanbul, Turkey, 2001

GÖKTAN, A.; MITSCHKE, M. Road damage caused by heavy duty vehicles. *Journal of Vehicle Design*, v.16, n.1 p.54-70, 1995.

GUM - GUIA DE EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO, EAL-R2, INMETRO, 1999

HYUNZ-GYN JUN, THOMAS R. WAY, BJORN LOYGREN, MATS LANDSTROM, ALUIN C. Effects on contact pressures of a Forestry Forwarder Tire , *Journal of Terramechanics*, 2004.

HOFFMANN, KARL. Practical hints for the application of strain gauges, Hottinger Baldwin Messtechnik, HBM, 1979, 47 p.

HROMKOVIC, J Algoritmo for hard problems: introduction to combinatorial optimization, randomization, approximation, and heuristics [S.1] Springer-Verlag London Berlin Heidelberg New York, 2001. disponível em "http://pt.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_Monte_Carlo acessado em 16 de março de 2006.

INMETRO, www.inmetro.gov.br. Em 24 de maio de 2004.

ISO GUM – Supplement 1 – Numerical methods for the propagation of distributions, 2004

IBGE – Sistema cartográfico nacional, mapeamento sistemático, mapa físico do Brasil <http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/pesquisas/geo/posicaoextensao.html>, acessado em 10 de janeiro de 2007.

IBGE – Resultado das atividades dos transportes e serviços auxiliares dos transportes -2001, disponível em www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/comercioeservico , acessado em 22/09/2005.

MACARINI, J.P., A política econômica da ditadura militar no limiar do “milagre” brasileiro: 1967/69. Campinas, IE/ UNICAMP, 2000. Disponível em: <<http://www.eco.unicamp.br/publicacoes/textos/download/texto99.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2006.

MICHELIN <http://www.michelin/caminhões/conhecaseupneu> dia 13 de fevereiro de 2007

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES - Manual de cálculo de gastos com acidentes nas rodovias (2005)

MIRANDA, Vladimiro, Princípios de simulação de Monte Carlo. Disponível em: http://paginas.fe.up.pt/~cdm/SEE3/MC_VM.pdf.. acesso em 23 de fevereiro de 2007.

MOSCATI, G. , MEZZALIRA, L.G. E SANTOS, F.D. – Incerteza de medição pelo método de monte Carlo, no contexto do suplemento 1 do gum, ENQUALAB, São Paulo, 2004.

MOTTA, L.M.G. Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis, Critério de Confiabilidade e Ensaio de Cargas Repetidas, Tese de Doutorado, COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro, (1991)

NBR 7207/82 Norma brasileira de pavimentação, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1982.

NETO e SETTI o problema da sobrecarga na operação de veículos pesados em rodovias brasileiras, Transporte em Transformação, trabalhos vencedores do prêmio CNT de produção acadêmica, Markron books,1996.

NIEDZWIECKI, M e A WASILEWSKI, “Application Of Adaptive Filtering To Dynamic Weighing Of Vehicles” Pergamon,1996.

NOVAES, A. G. N.; *Sistemas de Transporte*, 3 volumes, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1986.

OLIVEIRA, LUIZ HENRIQUE PARAGUASSÚ, Medição de Massa Através da Análise da Frequência Natural Utilizando Balança Dinâmica – Rio de Janeiro, CEFET-RJ, Curso de Mestrado em Tecnologia,1996.

ONO T., K. FUKUDA, K. YOSHIDA, H. UOZUMI E H. TOTTORI. Mass-estimation Methods with linear regression models for In-motion Vehicles Using Axle Weighing System, IMEKO – International Measurement Confederation, Japão,1998.

ONO T., K. FUKUDA, K. YOSHIDA, H. UOZUMI E H. TOTTORI. Mass-estimation Methods for In-motion Vehicles Using Axle Weighing System, Viena, Áustria IMEKO, 2002.

PARK, Y. K., D.-I. KANG, KUMME, R. Dynamic Investigation of Multi-Component Force Sensors Using Harmonic Excitation. IMEKO, Viena, Áustria (2002).

PORTARIA INMETRO/DIMEL N 95, de 11 de agosto de 1993, referente ao instrumento de pesagem MXP-300.

PORTARIA INMETRO nº. 236/94 corresponde ao RTM para balanças para uso comercial.

PORTARIA INMETRO/DIMEL N 59/93, referente ao RTM sobre construção de tanques de veículos rodoviários.

PRF- Polícia rodoviária federal, Estatísticas de acidentes, acesso em 12 de setembro de 2003.

PRODONOFF, VITOR, “vibrações mecânicas e simulações e análise”, Marty comunicação, Rio de Janeiro 1996

RESOLUÇÃO CONMETRO – 11 – 98 – Estabelece a competência do Inmetro para aprovação de modelos, disponível em www.inmetro.gov.br

RESOLUÇÃO DO CONTRAN – 184 de 21 de outubro de 2005, disponível em <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm>

RESOLUÇÃO DO CONTRAN - 210 de 13 de novembro de 2006, disponível em <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm>

RESOLUÇÃO DO CONTRAN - 211 de 13 de novembro de 2006, disponível em <http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm>

RIBEIRO A SILVA, J. ALVES E SOUZA, C OLIVEIRA COSTA, M. PIMENTA DE CASTRO, Uncertainly propagation in multi-stage measurement using linear regression analysis and monte carlo simulation, IMEKO – world congress, Rio de janeiro, 2006.

ROIML R134, minuta , Automatic Instruments for Weighing Road Vehicles In-motion, Organização internacional de metrologia legal, França, 2006.

KUMME, ROLF The Determination of the Effective Dynamic Force for the Calibration of Force Transducers, Mith due Regard to the Distribution of Mass end Acceleration. IMEKO, 1996.

SÁ, MARIA DE FÁTIMA PEREIRA DE, contribuição ao estudo da influência do tráfego na infra-estrutura viária com misturas asfálticas para corredores de ônibus, Rio de Janeiro, tese de doutorado, engenharia de transportes, COPPE.

SCÂNIA, Manual do implementador disponível em, <http://www.scania.com.br/caminhoes/implementador/> dia 13 de fevereiro de 2007

SCHLISSLER, A.; BULL, A. Caminhos: um novo enfoque para a gestão e manutenção rodoviária. Brasília: CEPAL/Instituto Pan-americano de Carreteras, 1994. 246p.

SILVA, C. JADIR Monte Carlo simulation of nuclear logging detection systems, Brazilian Journal of Geophysics, vol, 19(3), 2001.

SPIEGEL, MURRAY RALF probabilidade e estatística, São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1978.

STEELE, A. G. e DOUGLAS, R. J. (2005) Simplification form simulation, NCSL International Workshop and Symposium, Ottawa Canada, 2005.

STEMPNIAK, CHARLES R., LANDGRAF WAGNER R, PAULA LEONARDO COSTA, Reduzindo a incerteza de medição com a ajuda de software, ENQUALAB, São Paulo, 2005.

STUCCHI, FERNADO O impacto dos CVC nas OAE, IV Congresso Brasileiro de Concessões de Rodovias, Rio de janeiro, 2005.

THOMSON, WILIAM T., Teoria da Vibração com Aplicações - Rio de Janeiro – Interciência, 1978.

TOLEDO Toledo do Brasil balanças, www.toledobrasil.com.br acesso em 10 de setembro de 2005

TDS - www.transportdatasystems.com/weigh-in-motion.htm , acesso em 10 de setembro de 2006

VIM Vocabulário Internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia, Brasília, portaria Inmetro 029 de 1995.

VIM LEGAL Portaria Inmetro n 163 – Vocabulário Internacional de termos de Metrologia Legal, de 06 de setembro de 2005.

WAVE Weigh-in-motion of Road Vehicle for Europe, Technical research center of Finland, 2000.

WIDMER, JOÃO ALEXANDRE Avaliação dos possíveis impactos da Resolução 164/2004 do Contran nas Condições de tráfego das rodovias brasileiras, IV Congresso Brasileiro de Concessões de Rodovias, Rio de Janeiro, 2005.

ANEXO I

Aplicação das multas

Segundo a ANTT, Agência Nacional de Transporte Terrestre, os resultados das atuações de fiscalização de excesso de peso nas rodovias sob concessão estão representados no relatório, divulgados em 2004.

Relatório de multas

Excesso de Peso

Resumo das multas de fiscalização do Excesso de Peso

Quantidade de multas aplicadas até dezembro de 2004: **23.590.**

. Quantidade de multas recebidas até dezembro de 2004: **9.136.**

Valor total recebido até dezembro de 2004: **R\$1.800.674,29.**

Valor a receber/em fase de cobrança: **R\$3.399.530,46.**

Fonte: Agência Nacional de Transporte Terrestre.

ANEXO II

Rede rodoviária nacional

REDE RODOVIÁRIA				
EXTENSÃO DAS RODOVIAS FEDERAIS PAVIMENTADAS				
REGIÃO E UNIDADE DA FEDERAÇÃO	1997	1998	1999	2000
	km			
NORTE	4.710	...	5.373	5.485
Rondônia	1.254	...	1.254	1.254
Acre	457	...	441	441
Amazonas	498	...	534	534
Roraima	688	...	828	820
Pará	845	...	1.185	1.189
Amapá	160	...	160	160
Tocantins	808	...	971	1.087
NORDESTE	16.866	...	17.510	17.734
Maranhão	2.373	...	2.921	3.145
Piauí	2.139	...	2.191	2.191
Ceará	2.066	...	2.066	2.066
Rio Grande do Norte	1.307	...	1.358	1.358
Paraíba	1.221	...	1.221	1.221
Pernambuco	2.476	...	2.475	2.476
Alagoas	723	...	723	722
Sergipe	319	...	319	319
Bahia	4.242	...	4.236	4.236
SUDESTE	13.042	...	13.475	13.437
Minas Gerais	9.547	...	9.980	9.944
Espírito Santo	767	...	767	765
Rio de Janeiro	1.582	...	1.582	1.582
São Paulo	1.146	...	1.146	1.146
SUL	10.237	...	10.377	10.276
Paraná	3.142	...	3.264	3.164
Santa Catarina	2.108	...	2.111	2.111
Rio Grande do Sul	4.987	...	5.002	5.001
CENTRO-OESTE	8.580	...	9.170	9.165
Mato Grosso do Sul	3.182	...	3.307	3.302
Mato Grosso	2.626	...	2.711	2.711
Goiás	2.610	...	2.946	2.946
Distrito Federal	162	...	206	206
TOTAL	53.435	...	55.905	56.097

FONTE: DNER.-
[GEIPOT]

EXTENSÃO TOTAL DAS RODOVIAS PAVIMENTADAS - 1996-00		km			
REGIÃO E UNIDADE DA FEDERAÇÃO					
	1996	1997	1998	1999	
NORTE	...	9.475	...	12.083	12.394
Rondônia	...	1.417	...	1.417	1.417
Acre	...	480	...	838	838
Amazonas	...	1.702	...	1.705	1.705
Roraima	...	746	...	908	900
Pará	...	3.417	...	3.725	3.840
Amapá	...	223	...	223	223
Tocantins	...	1.490	...	3.267	3.471
NORDESTE	...	41.763	...	44.693	45.232
Maranhão	...	4.210	...	4.926	5.407
Piauí	...	3.578	...	3.964	3.964
Ceará	...	6.270	...	6.622	6.622
Rio Grande do Norte	...	3.753	...	4.252	4.252
Paraíba	...	2.978	...	3.177	3.177
Pernambuco	...	5.405	...	5.549	5.549
Alagoas	...	2.230	...	2.252	2.252
Sergipe	...	1.719	...	1.849	1.849
Bahia	...	11.620	...	12.102	12.160
SUDESTE	...	52.574	...	54.216	54.184
Minas Gerais	...	19.075	...	19.266	19.234
Espírito Santo	...	3.015	...	3.090	3.090
Rio de Janeiro	...	5.178	...	5.483	5.483
São Paulo	...	25.306	...	26.377	26.377
SUL	...	29.820	...	32.441	32.364
Paraná	...	15.166	...	15.692	15.615
Santa Catarina	...	5.397	...	6.417	6.417
Rio Grande do Sul	...	9.257	...	10.332	10.332
CENTRO-OESTE	...	17.204	...	20.814	20.814
Mato Grosso do Sul	...	4.651	...	5.270	5.270
Mato Grosso	...	3.995	...	4.509	4.509
Goiás	...	7.822	...	10.295	10.295
Distrito Federal	...	736	...	740	740
TOTAL	...	150.836	...	164.247	164.988

FONTE: DNER.

NOTA: A fonte não realizou o levantamento dos dados nos anos de 1996 e 1998

ANEXO III

Pesquisa de Contagem de trafego - CENTRAN

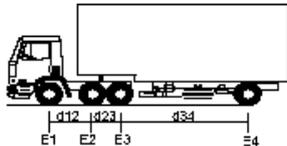
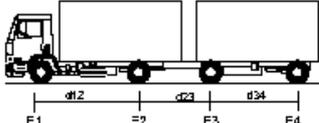
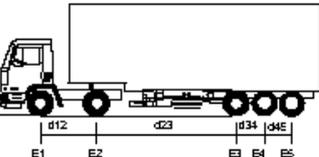
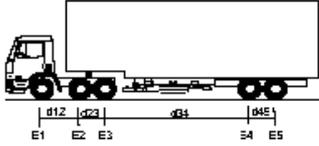
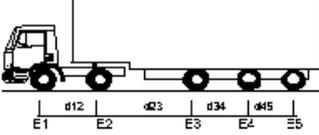
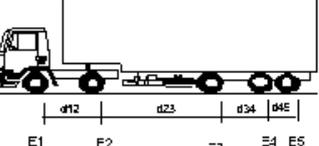
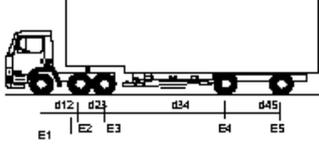
TIPO VEICULO POSTO / CLASSE	CAMINHÕES LEVES			MOTOS			ÔNIBUS			PASSADOS E LEVES			CAMINHÕES REBOQUES						CAMINHÕES SEMI-REBOQUES						CAMINHÕES SEMI-REBOQUES ESPECIAIS		
	C1	C2	C3	M	O1	O2	O3	P1	P2	P3	R1	R2	R3	R4	R5	R6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	SE1	SE2	SE3		
001	1.052	196	97	2	5.323	185	2.078	0	1	1	0	1	1	8	14	1	0	26	46	0	2	5	55	55	10	0	
002	180	65	27	5	630	5	459	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	0	0	2	8	1	4		
003	5.822	1.805	650	11	20.800	3.858	4.192	31	34	22	467	80	17	54	667	4.108	7	75	1.424	0	0	0	0	0	0	0	
004	1.339	700	722	8	3.863	778	1.182	8	31	0	27	4	4	40	973	5.592	17	65	1.550	0	0	0	0	0	0	0	
005	366	380	195	0	4.478	1.149	1.248	0	1	0	4	0	0	19	255	997	0	10	228	0	0	0	0	0	0	0	
006	3.770	1.842	851	5	16.798	2.148	3.391	16	47	5	11	5	18	30	314	1.964	24	145	3.125	0	0	0	0	0	0	0	
007	2.876	1.811	573	36	15.816	3.077	3.613	1	71	1	1	0	10	70	34	1.964	42	84	732	0	0	0	0	0	0	0	
008	2.762	2.274	584	24	22.922	3.207	5.862	0	10	0	4	0	0	12	630	3.853	0	24	1.349	0	0	0	0	0	0	0	
009	2.194	926	1.228	9	7.021	639	2.554	5	18	1	23	1	0	79	1.950	8.537	4	78	3.173	0	0	0	0	0	0	0	
010	772	153	312	1	2.359	346	878	0	0	0	2	2	2	6	4	55	986	2	12	423	0	0	0	0	0	0	
011	1.287	730	508	27	5.028	467	1.341	0	0	0	3	0	0	11	594	3.173	2	15	1.034	0	0	0	0	0	0	0	
012	481	111	126	2	779	25	551	0	0	0	0	0	0	1	7	130	0	2	59	0	0	0	0	0	0	0	
013	3.313	1.516	623	10	17.551	1.627	4.852	2	28	1	8	12	4	44	745	4.482	4	103	1.395	0	0	0	0	0	0	0	
014	942	375	191	3	2.094	165	521	0	7	0	1	0	0	20	401	1.686	2	29	608	0	0	0	0	0	0	0	
015	3.587	1.151	1.065	40	25.338	897	4.076	1	68	3	18	3	6	58	673	8.523	34	186	3.284	0	0	0	0	0	0	0	
016	4.105	1.026	388	28	24.830	901	5.102	0	3	0	3	2	0	0	119	1.826	0	10	508	0	0	0	0	0	0	0	
017	2.187	985	148	6	18.132	810	3.833	1	1	0	2	1	0	7	78	1.261	4	51	1.281	0	0	0	0	0	0	0	
018	1.186	903	824	6	8.874	282	4.499	2	4	2	7	2	2	13	77	1.226	6	15	425	0	0	0	0	0	0	0	
019	1.030	339	500	8	5.719	169	1.574	0	14	2	11	0	0	31	545	2.354	8	36	839	0	0	0	0	0	0	0	
020	3.510	984	1.109	14	21.455	371	4.596	1	8	3	8	0	0	2	80	380	2.815	20	102	1.130	0	0	0	0	0	0	
021	854	370	670	8	4.239	64	2.249	0	23	1	15	4	1	34	648	4.638	0	32	1.575	0	0	0	0	0	0	0	
022	2.812	1.441	713	8	13.463	303	4.593	7	40	5	49	11	0	20	5.073	6.804	22	245	2.908	0	0	0	0	0	0	0	
023	438	152	56	0	2.617	74	1.846	1	23	1	6	21	1	0	39	163	0	7	142	0	0	0	0	0	0	0	
024	2.510	2.219	501	11	20.854	2.553	6.442	2	9	2	1	0	0	0	20	230	2.037	14	41	585	0	0	0	0	0	0	
025	1.243	704	473	12	5.867	878	2.092	6	3	1	2	5	25	27	259	2.054	3	56	806	0	0	0	0	0	0	0	
026	1.127	1.559	378	8	14.613	1.133	4.690	1	2	7	5	70	18	23	195	1.751	14	150	707	0	0	0	0	0	0	0	
027	309	161	64	3	960	317	612	0	0	0	2	17	22	19	9	44	482	0	26	236	0	0	0	0	0		
028	1.174	710	467	2	4.149	424	1.488	0	4	2	7	0	1	7	242	2.074	0	18	767	0	0	0	0	0	0	0	
029	1.072	285	438	14	5.525	171	1.504	0	18	2	6	3	1	29	371	2.994	3	40	1.039	0	0	0	0	0	0	0	
030	5.293	1.812	1.011	19	46.861	1.885	6.834	0	37	3	15	0	0	66	1.038	11.984	3	47	2.591	0	0	0	0	0	0	0	
031	10.955	6.741	3.442	973	110.457	1.117	13.724	3	34	5	10	10	6	130	927	17.677	128	257	5.380	0	0	0	0	0	0	0	
032	3.346	1.892	441	47	24.548	956	2.702	0	17	0	17	23	4	30	696	5.896	8	54	1.252	0	0	0	0	0	0	0	
033	3.251	628	1.147	24	18.520	884	4.060	3	62	9	25	52	12	163	1.185	6.361	9	81	1.880	0	0	0	0	0	0	0	
034	2.862	761	1.343	8	15.016	540	3.463	2	28	1	14	2	1	11	618	5.547	2	42	1.342	0	0	0	0	0	0	0	
035	2.991	1.311	998	17	17.016	503	2.448	1	11	0	2	2	0	15	589	3.831	2	15	971	0	0	0	0	0	0	0	
036	2.825	1.368	1.150	4	21.448	579	4.157	0	15	2	3	6	2	3	171	676	4.073	24	75	1.548	0	0	0	0	0	0	
037	2.559	715	601	13	11.884	588	2.615	1	3	2	7	1	1	40	228	2.906	6	47	1.173	0	0	0	0	0	0	0	
038	2.197	387	488	4	7.579	344	2.819	0	19	2	32	4	2	112	618	5.515	15	85	3.336	0	0	0	0	0	0	0	
039	1.284	1.563	344	7	3.254	300	2.153	3	41	6	65	3	1	22	55	152	1.924	32	73	863	0	0	0	0	0	0	
040	2.517	260	226	11	13.361	450	3.481	1	4	7	0	1	2	3	1	21	242	1	13	98	0	0	0	0	0	0	
041	1.031	1.031	1.141	3	8.058	255	2.742	5	53	1	19	9	6	428	124	2.183	31	62	1.263	0	0	0	0	0	0	0	
042	1.455	454	368	8	3.058	255	2.742	3	83	3	44	3	2	211	63	962	25	42	340	0	0	0	0	0	0	0	
043	1.333	677	168	5	7.936	368	1.954	3	83	3	44	3	2	211	63	962	25	42	340	0	0	0	0	0	0	0	
044	3.589	1.102	1.331	112	19.005	1.072	2.718	0	1	0	6	21	4	22	853	4.400	3	84	1.518	0	0	0	0	0	0	0	
045	8.911	4.592	1.624	125	61.865	4.372	6.702	8	44	14	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	
047	7.187	1.633	1.496	79	30.403	1.328	5.504	1	92	4	14	6	8	168	5.022	14.459	2	71	4.395	0	0	0	0	0	0	0	

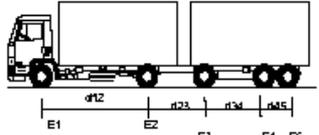
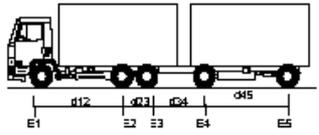
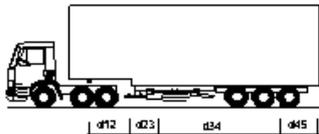
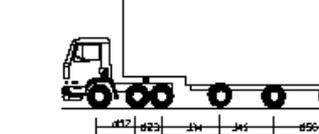
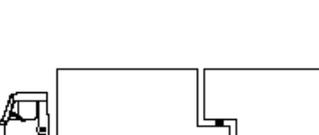
TIPO VEICULO POSTO/CLASSE	CAMINHÕES LEVES			MOTOS	ÔNIBUS			PASSEIO E LEVES			CAMINHÕES REBOQUES						CAMINHÕES SEMI-REBOQUES						CAMINHÕES SEMI-REBOQUES ESPECIAIS		
	C1	C2	C3		M	O1	O2	O3	P1	P2	P3	R1	R2	R3	R4	R5	R6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	SE1	SE2
048	1.094	1.828	2	1.411	534	585	7	10.687	229	5.255	0	3	0	1	0	0	28	111	1.191	7	26	895	3.263	56	0
049	1.350	3.370	8	370	342	689	41	7.619	341	4.194	0	6	4	4	0	3	43	540	2.979	18	321	2.612	7.860	182	8
050	749	2.547	4	460	225	173	4	4.806	70	3.335	1	1	1	24	5	7	92	379	1.175	10	190	869	1.276	41	6
051	880	2.704	4	844	278	751	10	8.690	164	3.464	0	2	2	6	2	0	24	176	2.671	4	188	1.932	2.778	15	2
052	1.272	3.084	8	1.862	537	508	10	6.307	470	4.313	1	3	9	9	3	1	48	1.050	1.593	79	678	1.536	1.871	76	5
053	1.590	3.641	1	1.147	310	1.017	3	8.765	474	5.270	0	5	0	3	4	1	12	546	3.910	4	87	3.431	11.532	583	6
054	914	1.865	32	222	344	412	7	3.876	293	2.235	0	3	1	1	0	0	17	89	1.761	5	67	1.583	6.052	428	18
055	582	1.892	18	1.277	574	313	6	3.219	387	1.639	1	12	1	7	36	20	14	411	3.141	92	69	1.042	671	40	7
056	4.137	5.829	27	1.661	1.147	635	17	36.251	1.264	5.225	1	13	2	3	1	2	30	391	3.513	2	51	790	669	107	4
057	4.141	4.638	14	4.256	2.262	411	0	29.331	1.236	6.187	0	3	0	2	0	0	21	160	1.314	1	11	336	311	31	2
058	2.883	4.876	29	3.352	1.769	406	36	16.339	1.370	3.602	4	22	1	21	20	3	106	758	4.029	97	227	1.549	1.364	45	0
059	1.306	3.314	8	277	1.85	341	14	2.087	720	903	1	11	2	1	0	3	16	462	2.507	20	31	1.041	892	14	6
060	5.781	5.976	16	3.795	2.005	881	15	49.269	1.920	7.073	2	5	1	8	0	0	11	280	1.754	9	57	524	383	102	2
061	1.878	3.355	11	10.043	458	368	12	11.122	752	2.922	0	6	2	12	0	0	8	138	1.525	0	21	713	902	81	1
062	1.871	3.255	6	821	599	577	7	4.825	2.154	2.052	0	20	6	7	4	0	9	390	2.261	152	19	869	818	35	0
063	1.459	3.157	7	1.017	382	415	17	4.497	560	1.524	2	5	0	17	0	1	19	222	1.665	3	42	720	1.200	103	8
064	1.126	2.303	8	842	671	402	20	3.441	200	1.644	0	11	3	7	0	1	22	193	1.092	8	43	438	740	101	11
065	1.531	3.590	21	1.243	945	583	13	6.109	708	3.555	0	0	0	4	0	1	9	253	1.950	16	28	554	749	99	9
066	4.348	22.582	12	412	766	1.960	140	16.656	808	2.884	2	57	8	76	2	11	225	4.773	24.124	9	425	9.300	2.944	242	19
067	2.198	6.850	2	2.330	678	416	10	22.411	519	3.488	1	18	2	44	52	6	25	798	5.924	2	65	3.258	1.025	80	4
068	2.332	5.225	3	883	979	590	27	17.260	917	4.470	0	4	3	60	25	13	10	286	3.375	13	83	2.455	3.643	43	0
069	4.933	5.692	20	2.732	2.239	1.995	15	46.050	1.744	8.563	0	0	2	1	0	0	34	240	3.622	18	162	2.206	5.061	17	0
070	1.085	1.303	2	1.042	223	1.125	13	8.755	351	1.789	0	1	0	3	0	1	65	355	386	4	23	69	129	3	0
071	7.190	18.785	4	1.923	879	1.967	160	57.665	1.770	7.136	2	41	9	66	59	2	185	3.356	18.635	22	284	7.735	5.183	251	16
072	2.570	5.815	4	594	765	292	14	11.340	608	2.419	0	4	4	13	19	0	86	344	3.249	25	143	2.899	1.309	60	2
073	5.024	5.452	22	1.086	1.928	622	47	34.151	1.359	2.878	0	9	10	20	22	1	36	714	4.276	13	75	1.005	561	104	32
074	4.728	12.067	25	1.150	3.653	2.154	128	31.142	1.659	4.654	4	134	20	470	39	29	64	722	6.517	15	152	2.619	871	109	8
075	9.058	24.896	325	1.873	4.855	3.400	539	67.079	4.369	5.673	11	112	10	65	21	22	366	3.982	22.085	35	419	5.584	1.939	125	13
076	950	821	29	387	628	128	19	7.274	428	939	0	0	0	0	1	1	13	36	225	3	16	80	35	3	0
077	1.771	5.266	9	397	1.150	737	40	8.225	402	812	0	1	2	1	0	1	98	694	4.675	35	79	1.116	460	7	1
078	5.323	4.761	9	5.301	3.177	676	8	54.438	2.304	9.675	1	16	7	89	14	15	29	491	2.265	107	104	715	565	107	22
079	1.000	770	4	1.143	522	87	11	5.144	404	1.660	0	2	0	0	0	0	15	31	180	3	3	61	43	7	0
080	1.831	3.717	6	367	400	375	3	9.696	614	2.222	0	6	1	0	0	1	20	265	1.526	3	60	585	469	78	4
081	1.588	1.965	4	3.948	493	533	1	8.420	288	3.922	0	4	0	0	0	0	2	10	115	0	5	78	123	3	2
082	4.083	3.890	4	2.393	3.097	301	8	26.081	1.067	2.950	0	84	25	41	16	40	173	2.583	3.486	19	415	1.117	4.095	383	22
083	1.655	1.735	3	1.070	600	454	13	8.172	335	2.440	0	0	1	3	1	0	2	61	845	1	28	625	956	12	1
084	2.231	2.937	4	1.617	746	335	18	21.350	606	4.482	0	46	11	22	0	1	30	146	1.273	3	85	922	704	12	7
085	1.944	2.793	80	952	1.438	754	20	13.669	745	2.628	24	41	27	168	53	63	257	887	3.196	50	386	1.238	403	81	9
087	1.049	2.440	3	260	414	505	18	5.971	302	1.663	2	79	25	65	26	0	17	326	2.425	12	214	967	426	26	1
088	791	833	2	377	210	246	10	4.702	202	2.889	1	33	14	9	7	0	19	287	1.731	2	136	440	139	8	0
089	500	976	40	212	148	101	12	3.128	170	1.020	2	78	6	10	2	28	22	66	332	10	44	187	227	21	0
090	2.356	5.134	10	3.200	1.243	298	10	19.048	737	3.763	2	29	26	15	6	5	41	444	5.176	15	223	3.057	796	90	3
091	529	875	15	476	302	132	16	2.945	101	1.321	1	20	0	10	2	7	34	124	1.861	18	91	778	292	64	0
092	8.158	19.150	12	3.368	1.202	1.905	153	61.126	2.271	8.321	1	45	15	83	71	5	371	3.396	18.547	76	319	7.352	5.172	262	14
093	13.264	18.202	38	14.829	3.052	2.811	190	148.154	4.735	13.938	6	47	20	62	37	5	124	2.437	12.593	18	309	5.631	2.396	228	9
094	5.519	13.371	2	2.824	1.313	1.264	86	39.886	1.495	5.105	2	28	18	33	19	13	163	2.088	12.514	133	338	5.329	2.203	276	15

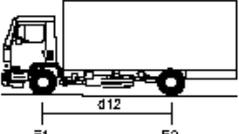
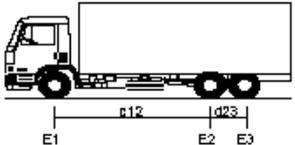
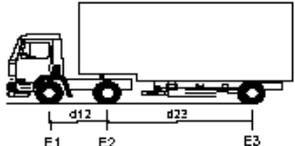
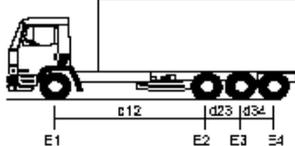
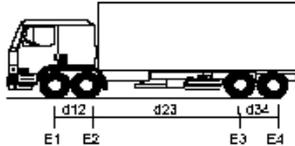
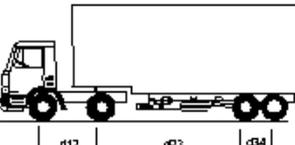
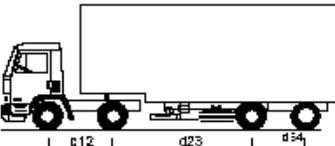
TIPO VEICULO POSTO / CLASSE	CAMINHÕES LEVES			MOTOS M	ÔNIBUS			PASSEIO E LEVES			CAMINHÕES REBOQUES						CAMINHÕES SEMI-REBOQUES						CAMINHÕES SEMI-REBOQUES ESPECIAIS			
	C1	C2	C3		O1	O2	O3	P1	P2	P3	R1	R2	R3	R4	R5	R6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	SE1	SE2	SE3	
095	4.684	11.707	220	7.763	1.486	1.004	158	44.153	1.518	6.634	1	35	21	26	6	1	55	1.945	8.743	87	311	3.432	1.589	186	10	
096	1.792	5.694	12	539	460	410	19	11.969	608	2.296	0	23	8	466	264	32	11	446	3.992	2	104	1.746	960	73	9	
097	2.458	3.682	69	1.214	557	411	160	11.391	457	1.986	0	1	4	6	69	3	85	242	3.274	52	103	2.611	1.167	35	2	
098	3.217	4.040	17	1.604	919	494	27	25.315	1.071	5.457	0	21	30	404	170	10	35	458	1.142	2	202	722	343	31	1	
099	1.878	2.244	7	881	318	190	11	8.758	418	1.892	1	0	0	32	24	4	2	44	462	1	37	634	369	4	0	
100	1.601	3.502	5	246	232	412	4	7.158	329	1.672	0	15	11	183	87	24	10	131	1.552	1	32	2.168	379	12	0	
101	5.405	8.549	1	1.783	3.417	824	40	33.863	1.274	7.024	11	37	4	14	9	1	58	1.172	6.274	106	86	1.788	2.133	162	30	
102	3.405	3.457	0	9.162	1.958	90	12	23.743	2.792	5.288	0	0	0	0	0	0	0	57	226	0	4	37	59	1	0	
103	19.346	32.960	147	6.631	9.225	4.723	682	125.416	6.529	12.219	18	97	29	206	27	67	2.485	9.780	26.914	396	1.081	5.809	1.950	276	14	
104	9.936	23.560	40	3.376	3.658	2.007	147	71.140	4.316	8.265	9	78	16	55	11	8	407	3.450	22.549	156	613	9.856	2.849	293	24	
105	1.298	3.053	3	405	280	329	18	7.627	125	1.872	222	7	2	28	1	2	59	219	2.368	1	50	1.666	1.370	483	50	
106	9.081	15.695	28	2.237	2.126	1.457	108	52.213	1.799	9.081	4	89	15	20	12	2	493	6.696	12.125	22	224	3.357	2.003	108	5	
107	952	2.894	23	1.512	791	531	14	5.147	357	2.053	0	19	0	16	6	11	41	663	4.039	21	179	1.682	1.665	183	4	
108	882	3.493	11	734	321	582	7	2.710	84	1.399	0	16	0	10	2	1	14	621	4.424	20	51	1.544	1.822	84	7	
109	720	3.614	35	74	279	637	30	2.676	64	1.079	3	18	0	15	7	3	27	575	4.427	6	50	1.569	1.683	57	6	
TOTAL CLASSE	323.321	621.366	2.136	195.002	130.291	81.800	5.207	2.212.592	110.726	402.459	490	2.886	571	4.077	1.694	753	9.424	94.274	503.293	2.688	13.116	193.590	158.019	10.631	3.568	
TOTAL TIPO	946.823			195.002	217.298			2.725.777			10.471						816.385						172.218			5.083.974
	18,62%			3,84%	4,27%			53,62%			0,21%						16,06%						3,39%			100%

ANEXO IV

Descrição dos veículos rodoviários

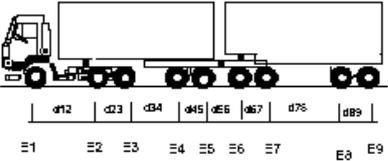
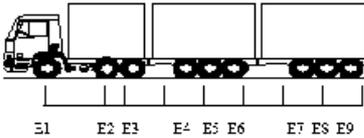
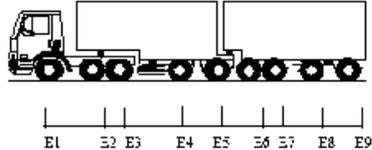
SILHUETA	PBT / CMT MÁX. (t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO
	4 33 (34,7)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d34 > 2,40 m 1,20 m < d23 ≤ 2,40 m	3S1	72
	4 36 (37,8)	CAMINHÃO + REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d23, d34 > 2,40 m	2C2	73
	5 41,5 (43,6)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3E4E5 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5 ton. d12, d23 > 2,40 m 1,20 m < d34, d45 ≤ 2,40 m	2S3	74
	5 40 (42)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45 ≤ 2,40 m	3S2	75
	5 46 (48,30) Res. Contran 184/2005 desde que atenda o critério do comprimento	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d23, d34, d45 > 2,40 m	2I3	82
	5 43 (45,2)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d23, d34 > 2,40 m 1,20 m < d45 ≤ 2,40 m	2J3	84
	5 43 (45,2)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d34, d45 > 2,40 m 1,20 m < d23 ≤ 2,40 m	3I2	81

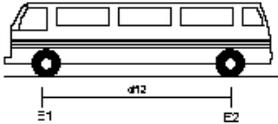
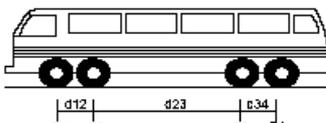
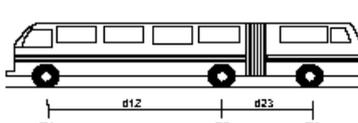
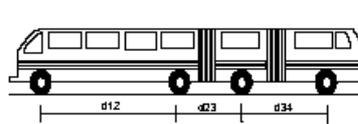
SILHUETA	PBT / CMT MÁX. (t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO
	5	CAMINHÃO + REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10,0 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10,0 ton. E4 E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d23, d34 > 2,40 m 1,20 m < d45 ≤ 2,40	2C3	76
	5	CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10,0 ton. E5 = eixo duplo; carga máxima 10,0 ton. d12, d34, d45 > 2,40 m 1,20 m < d23 ≤ 2,40	3C2	77
	6	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO+ SEMI REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 E5 E6 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5 ton. d12, d34 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d56 ≤ 2,40 m	3S3	78
	6	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO+ SEMI REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E6 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d34, d45, d56 > 2,40 m 1,20 m < d23 ≤ 2,40 m	3I3	83
	6	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5 E6 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d45 > 2,40 m 1,20 m < d23, d56 ≤ 2,40 m	3J3	85
	7	BI TREM ARTICULADO (caminhão trator trucado + dois semi reboques) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E6 E7 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d56 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d67 ≤ 2,40 m	3T4	91

SILHUETA	PBT / CMT MÁX. (t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO
	2	16 (16,8) CAMINHÃO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton ou a capacidade declarada pelo fabricante do pneumático. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d12 \leq 3,50$ m	2C	65 ou 66
	3	23 (24,2) CAMINHÃO TRUCADO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. $d12 > 2,40$ m $1,20 < d23 \leq 2,40$ m	3C	67
	3	26 (27,3) CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d12, d23 > 2,40$ m	2S1	68
	4	31,5 (33,1) CAMINHÃO SIMPLES E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3E4 = conjunto de eixos em tandem triplo; carga máxima 25,5 ton. $d12 > 2,40$ m $1,20 < d23, d34 \leq 2,40$ m	4C	69
	4	29 (30,5) CAMINHÃO DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais; carga máxima 12 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. $1,20 \text{ m} < d34 \leq 2,40$ m	4CD	70
	4	33 (34,7) CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. $d12, d23 > 2,40$ m $1,20 \text{ m} < d34 \leq 2,40$ m	2S2	71
	4	36 (37,8) CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d12, d23, d34 > 2,40$ m	2I2	80

Os veículos que necessitam de AET

SILHUETA	PBT / CMT MÁX. (t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO	
	6	50 (52,5)	CAMINHÃO TRUCADO + REBOQUE E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5E6 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d45 > 2,40 m 1,20 m < d23, d56 < 2,40 m	3C3	79
	6	50 (52,5)	ROMEU E JULIETA (caminhão truncado + reboque) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5E6 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d45 > 2,40 m 1,20 m < d23, d56 < 2,40 m	3D3	90
	7	57 (59,9)	ROMEU E JULIETA (caminhão truncado + reboque) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E6E7 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d56 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d67 < 2,40 m	3D4	88
	7	63 (66,2)	TREMNHÃO (caminhão truncado + dois reboques) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E5 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E6 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E7 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. d12, d34, d56, d67 > 2,40 m 1,20 m < d23 < 2,40 m	3Q4	92
	9	74 (77,7)	TRI TREM (caminhão trator truncado + três semi reboques) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E6E7 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E8E9 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d56, d78 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d67, d89 < 2,40 m	3T6	93

SILHUETA	PBT / CMT MÁX. (t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO
	9	RODOTREM (caminhão trator trucado + dois semi reboques com dolly) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E6E7 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E8E9 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. d12, d34, d56, d78 > 2,40 m 1,20 m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40 m	3T6	93
	9	TREMINHÃO DE 9 EIXOS (caminhão trucado + dois reboques) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4E5E6 = eixo triplo; carga máxima 25,5 ton. E7E8E9 = eixo triplo; carga máxima 25,5 ton.	3Q6	89
	9	ROMEU E JULIETA DE 9 EIXOS (caminhão trucado + reboque) E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E4 = eixo simples; carga máxima 10 ton. E5 = eixo simples; carga máxima 10 ton. E6E7 = conjunto de eixos em tandem duplo; carga máxima 17 ton. E8 = eixo simples; carga máxima 10 ton. E9 = eixo simples; carga máxima 10 ton.	3D6	94

SILHUETA	PBT / CMT MÁX. (t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE	CÓDIGO
	2 16 (16,8)	ÔNIBUS E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton ou a capacidade declarada pelo fabricante do pneumático. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d12 \leq 3,50$ m	2C	65 ou 66
	3 19,5 (20,5)	ÔNIBUS TRUCADO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. $d12 > 2,40$ m $1,20 < d23 \leq 2,40$ m	3CB	86
	4 25,5 (26,8)	ÔNIBUS DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais; carga máxima 12 ton. E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos; carga máxima 13,5 ton. $1,20$ m < $d34 \leq 2,40$ m	4CB	87
	3 26 (27,3)	ÔNIBUS URBANO ARTICULADO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d12, d23 > 2,40$ m	2S1	68
	4 36 (37,8)	ÔNIBUS URBANO BI-ARTICULADO E1 = eixo simples; carga máxima 6,0 ton. E2 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E3 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. E4 = eixo duplo; carga máxima 10 ton. $d12, d23, d34 > 2,40$ m	2I2	80

ANEXO V

Resolução CONTRAN 210/2006



MINISTÉRIO DAS CIDADES
CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO
RESOLUÇÃO Nº. 210 DE 13 DE NOVEMBRO DE 2006

Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres e dá outras providências.

O CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN, no uso da competência que lhe confere o artigo 12, inciso I, da lei nº. 9.503, de 23 de setembro de 1997, que instituiu o Código de Trânsito Brasileiro e nos termos do disposto no Decreto nº. 4.711, de 29 de maio de 2003, que trata da Coordenação do Sistema Nacional de Trânsito.

Considerando o que consta do Processo nº. 80001.003544/2006-56;

Considerando o disposto no art. 99, do Código de Trânsito Brasileiro, que dispõe sobre peso e dimensões; e

Considerando a necessidade de estabelecer os limites de pesos e dimensões para a circulação de veículos, resolve:

Art. 1º As dimensões autorizadas para veículos, com ou sem carga, são as seguintes:

I – largura máxima: 2,60m;

II – altura máxima: 4,40m;

III – comprimento total:

a) veículos não-articulados: máximo de 14,00 metros;

b) veículos não-articulados de transporte coletivo urbano de passageiros que possuam 3º eixo de apoio direcional: máximo de 15 metros;

c) veículos articulados de transporte coletivo de passageiros: máximo 18,60 metros;

d) veículos articulados com duas unidades, do tipo caminhão-trator e semi-reboque: máximo de 18,60 metros;

e) veículos articulados com duas unidades do tipo caminhão ou ônibus e reboque: máximo de 19,80;

f) veículos articulados com mais de duas unidades: máximo de 19,80 metros.

§ 1º Os limites para o comprimento do balanço traseiro de veículos de transporte de passageiros e de cargas são os seguintes:

I – nos veículos não-articulados de transporte de carga, até 60 % (sessenta por cento) da distância entre os dois eixos, não podendo exceder a 3,50m (três metros e cinquenta centímetros);

II – nos veículos não-articulados de transporte de passageiros:

a) com motor traseiro: até 62% (sessenta e dois por cento) da distância entre eixos;

b) com motor central: até 66% (sessenta e seis por cento) da distância entre eixos;

c) com motor dianteiro: até 71% (setenta e um por cento) da distância entre eixos.

§ 2º À distância entre eixos, prevista no parágrafo anterior, será medida de centro a centro das rodas dos eixos dos extremos do veículo.

§ 3º O balanço dianteiro dos semi-reboques deve obedecer a NBR NM ISO 1726.

§ 4º Não é permitido o registro e licenciamento de veículos, cujas dimensões excedam às fixadas neste artigo, salvo nova configuração regulamentada pelo CONTRAN.

Art. 2º Os limites máximos de peso bruto total e peso bruto transmitido por eixo de veículo, nas superfícies das vias públicas, são os seguintes:

§1º – peso bruto total ou peso bruto total combinado, respeitando os limites da capacidade máxima de tração - CMT da unidade tratora determinada pelo fabricante:

a) peso bruto total para veículo não articulado: 29 t

b) veículos com reboque ou semi-reboque, exceto caminhões: 39,5 t;

c) peso bruto total combinado para combinações de veículos articulados com duas unidades, do tipo caminhão-trator e semi-reboque, e comprimento total inferior a 16 m: 45 t;

d) peso bruto total combinado para combinações de veículos articulados com duas unidades, do tipo caminhão-trator e semi-reboque com eixos em tandem triplo e comprimento total superior a 16 m: 48,5 t;

e) peso bruto total combinado para combinações de veículos articulados com duas unidades, do tipo caminhão-trator e semi-reboque com eixos distanciados, e comprimento total igual ou superior a 16 m: 53 t;

f) peso bruto total combinado para combinações de veículos com duas unidades, do tipo caminhão e reboque, e comprimento inferior a 17,50 m: 45 t;

g) peso bruto total combinado para combinações de veículos articulados com duas unidades, do tipo caminhão e reboque, e comprimento igual ou superior a 17,50 m: 57 t;

h) peso bruto total combinado para combinações de veículos articulados com mais de duas unidades e comprimento inferior a 17,50 m: 45 t;

i) para a combinação de veículos de carga – CVC, com mais de duas unidades, incluída a unidade tratora, o peso bruto total poderá ser de até 57 toneladas, desde que cumpridos os seguintes requisitos:

1 – máximo de 7 (sete) eixos;

- 2 – comprimento máximo de 19,80 metros e mínimo de 17,50 metros;
- 3 – unidade tratora do tipo caminhão trator;
- 4 – estar equipadas com sistema de freios conjugados entre si e com a unidade tratora atendendo ao estabelecido pelo CONTRAN;
- 5 – o acoplamento dos veículos rebocados deverá ser do tipo automático conforme NBR 11410/11411 e estarem reforçados com correntes ou cabos de aço de segurança;
- 6 – o acoplamento dos veículos articulados com pino-rei e quinta roda deverão obedecer ao disposto na NBR NM ISO337.

§2º – peso bruto por eixo isolado de dois pneumáticos: 6 t;

§3º – peso bruto por eixo isolado de quatro pneumáticos: 10 t;

§4º – peso bruto por conjunto de dois eixos direcionais, com distância entre eixos de no mínimo 1,20 metros, dotados de dois pneumáticos cada: 12 t;

§5º – peso bruto por conjunto de dois eixos em tandem, quando à distância entre os dois planos verticais, que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40m: 17 t;

§6º – peso bruto por conjunto de dois eixos não em tandem, quando à distância entre os dois planos verticais, que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40m: 15 t;

§7º – peso bruto por conjunto de três eixos em tandem, aplicável somente a semi-reboque, quando à distância entre os três planos verticais, que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40m: 25,5t;

§8º – peso bruto por conjunto de dois eixos, sendo um dotado de quatro pneumáticos e outro de dois pneumáticos interligados por suspensão especial, quando à distância entre os dois planos verticais que contenham os centros das rodas for:

a) inferior ou igual a 1,20m; 9 t;

b) superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40m: 13,5 t.

Art. 3º Os limites de peso bruto por eixo e por conjunto de eixos, estabelecidos no artigo anterior, só prevalecem se todos os pneumáticos, de um mesmo conjunto de eixos, forem da mesma rodagem e calçarem rodas no mesmo diâmetro.

Art. 4º Considerar-se-ão eixos em tandem dois ou mais eixos que constituam um conjunto integral de suspensão, podendo qualquer deles ser ou não motriz.

§1º Quando, em um conjunto de dois ou mais eixos, a distância entre os dois planos verticais paralelos, que contenham os centros das rodas for superior a 2,40m, cada eixo será considerado como se fosse distanciado.

§2º Em qualquer par de eixos ou conjunto de três eixos em tandem, com quatro pneumáticos em cada, com os respectivos limites legais de 17 t e 25,5t, a diferença de peso bruto total entre os eixos mais próximos não deverá exceder a 1.700kg.

Art. 5º Não será permitido registro e o licenciamento de veículos com peso excedente aos limites fixado nesta Resolução.

Art. 6º Os veículos de transporte coletivo com peso por eixo superior ao fixado nesta Resolução e licenciados antes de 13 de novembro de 1996, poderão circular até o término de sua vida útil, desde que respeitado o disposto no art. 100, do Código de Trânsito Brasileiro e observadas as condições do pavimento e das obras de arte.

Art. 7º Os veículos em circulação, com dimensões excedentes aos limites fixados no art. 1º, registrados e licenciados até 13 de novembro de 1996, poderão circular até seu sucateamento, mediante Autorização Específica e segundo os critérios abaixo:

I – para veículos que tenham como dimensões máximas, até 20,00 metros de comprimento; até 2,86 metros de largura, e até 4,40 metros de altura, será concedida Autorização Específica Definitiva, fornecida pela autoridade com circunscrição sobre a via, devidamente visada pelo proprietário do veículo ou seu representante credenciado, podendo circular durante as vinte e quatro horas do dia, com validade até o seu sucateamento, e que conterá os seguintes dados:

- a) nome e endereço do proprietário do veículo;
- b) cópia do Certificado de Registro e Licenciamento do Veículo – CRLV;
- c) desenho do veículo, suas dimensões e excessos.

II – para os veículos cujas dimensões excedam os limites previstos no inciso I poderá ser concedida Autorização Específica, fornecida pela autoridade com circunscrição sobre a via e considerando os limites dessa via, com validade máxima de um ano e de acordo com o licenciamento, renovada até o sucateamento do veículo e obedecendo aos seguintes parâmetros:

- a) volume de tráfego;
- b) traçado da via;
- c) projeto do conjunto veicular, indicando dimensão de largura, comprimento e altura, número de eixos, distância entre eles e pesos.

Art. 8º Para os veículos não-articulados registrados e licenciados até 13 de novembro de 1996, com balanço traseiro superior a 3,50 metros e limitado a 4,20 metros, respeitados os 60% da distância entre os eixos, será concedida Autorização Específica fornecida pela autoridade com

circunscrição sobre a via, com validade máxima de um ano e de acordo com o licenciamento e renovada até o sucateamento do veículo.

Parágrafo único §1º A Autorização Específica de que trata este artigo, destinada aos veículos combinados, poderá ser concedida mesmo quando o caminhão trator tiver sido registrado e licenciado após 13 de novembro de 1996.

Art. 9º A partir de 180 dias da data de publicação desta resolução, os semi-reboques das combinações com um ou mais eixos distanciados contemplados na alínea “e” do parágrafo 1º do Art. 2º, somente poderão ser homologados e/ ou registrados se equipados com suspensão pneumática e eixo auto-direcional em pelo menos um dos eixos.

§ 1º - A existência da suspensão pneumática e do eixo auto-direcional deverá constar no campo das observações do Certificado de Registro (CRV) e do Certificado de Registro e Licenciamento (CRLV) do semi-reboque.

§ 2º Fica assegurado o direito de circulação até o sucateamento dos semi-reboques, desde que homologados e/ ou registrados até 180 dias da data de publicação desta Resolução, mesmo que não atendam as especificações do caput deste artigo.

Art.10 O disposto nesta Resolução não se aplica aos veículos especialmente projetados para o transporte de carga indivisível, conforme disposto no Art. 101 do Código de Trânsito Brasileiro – CTB.

Art.11 As Combinações de Veículos de Carga - CVC de 57 t serão dotadas obrigatoriamente de tração dupla do tipo 6X4 (seis por quatro), a partir de 21 de outubro de 2010.

Parágrafo único: Fica assegurado o direito de circulação das Combinações de Veículos de Carga – CVC com mais de duas unidades, sete eixos e Peso Bruto Total Combinado – PBTC de no máximo 57 toneladas, equipadas com unidade tratora de tração simples, dotado de 3º eixo, desde que respeitados os limites regulamentares e registradas e licenciadas até 5 (cinco) anos contados a partir de 21/10/2005.

Art.12 O não cumprimento do disposto nesta Resolução implicará nas sanções previstas no art. 231 do Código de Trânsito Brasileiro, no que couber.

Art. 13 Esta Resolução entrará em vigor na data de sua publicação, produzindo efeito a partir de 01/01/2007.

Art. 14 Ficam revogadas, a partir de 01/01/2007, as Resoluções CONTRAN 12/98 e 163/04.

Alfredo Peres da Silva

Presidente

Fernando Marques de Freitas

Ministério da Defesa – Suplente

Rodrigo Lamego de Teixeira Soares

Ministério da Educação – Titular

Carlos Alberto Ferreira dos Santos

Ministério do Meio Ambiente – Suplente

Valter Chaves Costa

Ministério da Saúde – Titular

Edson Dias Gonçalves

Ministério dos Transportes – Titular

ANEXO VI

Anexo a portara Inmetro 095/93 de aprovação de modelo

METODOLOGIA PARA VERIFICAÇÃO/ENSAIO DINÂMICO DO EQUIPAMENTO MXP-300

1- Esta metodologia se aplica exclusivamente para ensaio dinâmico (pesagem em movimento de caminhões com valor da pesagem conhecido) do modelo MXF-300, destinado a determinar a carga por eixo, conjunto de eixos e peso bruto total da veículos rodoviários a uma velocidade máxima de 8km/h.

2 - Equipamentos e acessórios

2.1 Coleção de pesos

Para aplicar cargas de ensaio até 20kg para verificação do posicionamento do zero.

2.2 – Balanças de controle

Para determinação do peso bruto total estático dos veículos de carga a serem utilizados no ensaio dinâmico. A balança de controle tem que ser de plataforma convencional, isto é, que permita a pesagem do caminhão apoiado totalmente sobre sua superfície, tem que estar previamente aferida a possibilitar a controle do peso bruto total do veículo) com um erro de $\pm 0,20\%$ no máximo.

A balança de controle tem que estar na proximidade do equipamento MXP-300, e durante a preparação e transporte do veículo de carga não se deve perder nenhuma parte do seu carregamento.

2.3 – Veículos de carga

O equipamento será verificado através do emprego de um ou mais veículos de carga, de qualquer classificação, destinados a aplicação de 3 (três) cargas de ensaio em valores cujos pesos brutos totais se situem entre 10 a 13t, 20 a 25t e 32 a 36t, respectivamente.

Tanto para as pesagens estáticas na balança de controle como para as pesagens dinâmicas no equipamento MXP-300 os veículos de carga devem estar com o tanque de combustível completo e munido dos mesmos acessórios.

O tipo de carregamento dos veículos deverá ser tal que não seja influenciado por fatores externos que provoquem variação de sua massa, bem como não permita variação no posicionamento da carga sobre o veículo durante as pesagens.

Os usuários do equipamento MXP-300 deverão providenciar os veículos de carga e respectivo carregamento, para a realização da verificação.

2.4 Perfil metálico

Para verificação do nivelamento a planicidade da pista. O perfil deverá ser retificado e possuir no mínimo 3m.

2.5 – Formulário de ensaio

3- Método

3.1 – Preparar os veículos de carga determinando o seu peso bruto total de referência na balança de controle, através de 3 (três) pesagens individuais, e calculando a média dos três resultados, da forma que cada veículo com seu respectivo quantitativo de carga fique com o peso bruto total no intervalo especificado no Subitem 2.3.

3.2 – Verificar se a instalação do equipamento MXP-300 está de acordo com o memorial descritivo/desenhos do instrumento, observando ainda as condições de nivelamento a planicidade da pista.

3.3 – Verificar a concordância do equipamento MXP-300 com o modelo aprovado conforme descrito na Portaria INMETRO/DINEL/Nº 091/91, controlando os seus dispositivos, conjunto de

teclas botões e inscrições obrigatórias. Junto ao equipamento deve estar disponível o seu respectivo manual de operação.

3.4 – Ajustar o posicionamento do zero do equipamento de acordo com o seu memorial descritivo.

3.5 – Anotar no formulário de ensaio as características do equipamento.

3.6 – Realizar para cada veículo de carga 5 (cinco) pesagens a velocidade de 2,4,6 e 8km/h, aproximadamente. Não serão considerados os resultados das pesagens em que ocorrer excesso de velocidade.

3.7 – Anotar no formulário de ensaio as indicações do equipamento.

4 – Cálculos e resultados

O equipamento estará aprovado caso satisfaça as seguintes condições:

4.1 – A média do Peso Bruto Total dinâmico (PBTdin) esteja contida no intervalo do Peso Bruto Total estático mais ou menos 1% ($PBTest \pm 1\% PBTest$).

4.2 – A média do Peso Bruto Total dinâmico (PBTdin) mais ou menos 2 vezes o desvio padrão, deverá estar contida no intervalo ($PBTest \pm 3\% PBTest$) a ainda que a média do peso por eixo/conjunto de eixos dinâmico (Xe) mais ou menos 2 vezes o desvio padrão, deverá estar contida no intervalo ($Xe \pm 3\% Xe$), isto é:

$$PBTest - 3\% PBTest \leq PBTdin \leq PBTest + 3\% PBTest$$

$$Xe - 3\% Xe \leq Xe \leq Xe + 3\% Xe$$

ANEXO VII

Relatório da pesquisa

Esta pesquisa foi desenvolvida através da cooperação das entidades governamentais INMETRO, IMEPI e ANTT sem as quais não seria possível a realização deste trabalho.

Tendo em vista a atividade do INMETRO de controle metrológico dos instrumentos de pesagens a nível nacional e em convênio com entidades estaduais, no caso do Piauí o IMEPI, estes institutos colaboraram para a coleta de dados através da pesquisa experimental na rodovia BR 316, em 2005.

A ANTT proporcionou o desenvolvimento de pesquisa tecnológica no apoio à realização de experimentos em campo na rodovia BR 040 concedida à CONCER em 2006 e 2007, tendo em vista a agência reguladora ser a responsável pela fiscalização de peso na rodovia.

ANEXO VIII

RESUMO DOS REGISTROS DAS MEDIÇÕES DA PRIMEIRA FASE

Planilha geral de medições para a praça de pesagem

Local: BR - 040	Km - 098	Sentido - Petropolis / Rio de Janeiro	Carreta - 253												Bitrem																							
			Caminhão - 3C				Carregado				Vazio				Carregado				Vazio				Carregado				Vazio											
			08:30		09:00		09:30		08:30		13:20		14:00		15:00		16:00		14:20		15:30		16:15		16:00		17:35		18:30		16:00		17:35					
Vel.	Medição	Vel.	Medição	Vel.	Medição	Vel.	Medição	Vel.	Medição	Vel.	Medição	Vel.	Medição	Vel.	Medição	Vel.	Medição	Vel.	Medição	Vel.	Medição	Vel.	Medição	Vel.	Medição	Vel.	Medição	Vel.	Medição	Vel.	Medição							
1	2,3	8.400	3,7	8.700	5,8	8.800	2,4	22.100	3,7	21.540	5,7	22.530	2,4	13.600	3,8	13.630	5,8	14.050	1,6	41.500	3,9	41.200	5,9	40.800	2,0	18.100	3,5	17.700	5,9	18.110	1,8	54.090	3,9	53.970	5,9	55.040		
2	2,5	8.400	4,1	8.600	5,8	8.800	2,4	22.130	3,8	21.560	5,7	22.220	2,2	13.500	3,9	13.680	6,0	13.930	2,1	41.700	3,7	40.800	5,4	40.800	1,9	18.990	4,2	18.500	5,7	19.540	1,8	53.800	4,3	54.190	5,7	54.340		
3	2,4	8.400	4,1	8.600	5,8	8.800	2,4	22.280	3,9	21.480	5,8	22.210	2,0	13.500	4,0	13.600	6,0	14.030	2,2	40.900	3,7	41.200	5,9	40.800	2,1	17.630	4,2	17.860	5,6	17.940	1,7	54.010	4,2	53.750	6,0	54.080		
4	2,3	8.400	4,1	8.700	5,7	8.900	2,5	22.080	4,4	21.920	5,7	22.330	2,4	13.500	3,9	13.500	5,5	14.050	2,5	40.700	3,8	41.000	5,5	40.800	2,3	18.330	4,5	19.340	5,9	19.860	1,7	54.190	4,4	53.790	5,8	54.410		
5	2,4	8.400	4,1	8.600	5,7	8.900	2,4	22.100	4,5	21.540	5,8	22.400	2,5	13.500	4,0	13.570	5,8	13.960	2,6	41.000	3,8	40.900	5,5	40.700	2,0	17.960	4,4	18.990	1,7	54.190	4,5	53.880	5,8	54.920				
6	2,0	8.500	4,1	8.700	5,7	8.900	2,3	21.950	4,3	21.520	5,7	22.500	2,1	13.500	4,0	13.580	5,5	14.050	1,7	41.700	3,5	40.800	5,4	40.800	1,8	18.170	4,3	17.940	5,9	18.610	1,9	54.420	4,3	53.810	5,9	54.380		
7	2,0	8.500	4,1	8.700	5,7	8.900	2,4	22.160	4,0	21.470	5,7	22.440	2,3	13.500	4,3	13.640	5,5	13.960	2,5	40.500	4,2	41.700	5,6	40.700	2,2	18.450	4,3	18.360	5,9	18.910	1,8	54.370	4,5	54.220	5,8	55.170		
8	2,0	8.500	4,0	8.700	5,5	8.900	2,4	22.180	4,3	21.810	5,8	22.930	2,5	13.600	4,0	13.600	5,6	13.970	2,3	41.600	3,9	41.200	5,8	40.600	2,2	17.990	4,3	17.790	5,7	18.420	1,7	54.490	4,5	54.220				
9	1,8	8.500	4,0	8.700	5,5	8.900	2,3	21.950	4,4	21.820	5,7	22.370	1,9	13.600	3,9	13.630	5,5	14.020	2,3	41.000	3,9	41.400	5,7	40.800	1,8	17.800	4,2	17.790	5,6	18.580	1,7	54.330	4,3	53.960	6,0	54.490		
10	1,9	8.500	4,1	8.600	5,7	8.900	2,3	22.080	3,8	21.540	5,6	22.670	1,9	13.600	3,9	13.680	6,0	13.870	2,5	40.700	3,8	41.500	6,0	40.800	1,7	17.890	4,1	18.140	5,8	18.700	1,6	55.050	4,5	54.900	5,8	54.680		
11	1,9	8.400	4,0	8.600	5,5	8.800	2,3	22.070	4,3	21.900	5,5	22.500	2,2	13.500	3,9	13.630	5,9	13.940	2,5	41.000	3,9	41.600	5,5	40.800	1,9	18.340	4,1	18.290	5,7	19.060	1,7	54.330	4,3	53.960	6,0	54.490		
12	1,9	8.400	4,0	8.600	5,5	8.800	2,4	22.110	4,5	21.750	5,5	22.450	2,2	13.500	4,0	13.560	6,0	14.120	2,4	41.200	3,7	41.100	6,0	40.800	1,8	18.340	4,1	18.260	6,0	18.290	1,7	54.050	4,4	53.980	5,9	54.820		
13	1,9	8.400	4,0	8.600	5,5	8.800	2,3	22.070	4,3	21.900	5,5	22.500	1,9	13.500	3,9	13.600	5,7	14.100	2,2	41.400	4,0	41.700	6,0	40.800	1,8	17.850	4,0	18.250	5,8	19.010	1,6	54.860	4,3	54.730	5,9	54.680		
14	1,5	8.300	4,0	8.700	5,5	8.900	2,5	22.150	3,8	21.530	5,7	22.450	2,3	13.500	3,8	13.510	5,8	13.970	2,4	40.900	5,4	41.900	5,4	40.400	1,6	18.050	4,2	18.270	5,9	19.040	2,0	53.270	3,5	53.720	5,9	54.620		
15	1,7	8.400	4,1	8.600	5,5	8.800	2,2	21.940	3,9	21.740	5,6	22.390	2,0	13.500	4,1	13.590	5,7	13.940	2,1	41.800	4,0	42.000	5,9	40.800	2,4	18.040	4,2	18.080	5,6	18.680	1,6	54.400	3,7	54.040	5,8	54.870		
16	1,8	8.400	3,9	8.600	5,7	8.900	2,2	21.950	4,1	21.780	5,9	22.980	1,8	13.500	4,1	13.720	5,5	13.920	2,4	40.900	4,2	42.000	5,7	41.000	5,7	40.600	2,5	17.640	4,2	17.870	6,1	18.330	1,9	54.700	3,8	53.960	6,0	54.730
17	1,8	8.400	4,2	8.700	5,6	8.900	2,3	22.180	4,5	21.780	5,7	22.340	2,3	13.500	4,0	13.570	5,8	14.010	2,4	40.900	4,5	41.000	5,7	40.600	2,5	17.640	4,2	18.170	5,9	19.010	1,8	54.700	3,8	53.960	6,0	54.730		
18	1,9	8.400	4,1	8.700	5,6	8.900	2,4	22.050	4,1	21.890	5,9	22.490	2,0	13.600	4,2	13.640	6,0	14.050	2,3	41.700	3,5	41.400	5,6	40.600	2,2	17.760	4,1	18.160	6,0	18.410	1,9	54.190	3,9	53.220	6,0	55.020		
19	2,1	8.400	4,0	8.700	5,8	8.900	2,4	22.100	4,3	21.840	5,8	22.730	2,4	13.600	3,9	13.650	5,7	13.960	2,2	41.700	4,1	41.400	5,7	40.500	1,8	18.540	4,1	18.060	6,0	18.450	1,8	54.200	4,1	54.420	6,0	54.990		
20	1,9	8.400	4,1	8.700	5,6	8.900	2,4	22.050	4,1	21.890	5,9	22.490	2,0	13.600	3,9	13.650	5,7	13.960	2,2	41.700	4,1	41.400	5,7	40.500	1,8	18.540	4,1	18.060	6,0	18.400	1,8	53.800	4,3	54.220	5,6	54.740		
21	1,7	8.400	3,9	8.500	5,7	8.900	2,3	22.070	4,3	21.840	5,6	22.560	2,1	13.600	4,1	13.730	5,8	14.160	2,5	40.500	5,4	41.000	5,9	40.800	2,4	18.040	4,2	18.070	5,8	18.390	1,9	54.500	4,3	54.000	6,0	55.570		
22	1,7	8.400	4,0	8.600	5,8	8.900	2,5	22.190	3,8	21.650	5,8	22.390	1,6	13.500	3,9	13.680	5,5	13.920	2,3	40.800	4,1	41.600	5,5	41.000	2,3	17.890	4,4	18.100	6,0	18.110	1,9	53.290	3,8	53.650	5,9	55.520		
23	2,0	8.500	4,4	8.700	5,6	8.900	2,3	22.200	3,9	21.610	5,5	22.500	1,6	13.500	3,8	13.670	5,5	13.960	1,6	41.000	4,0	41.400	5,5	40.600	2,3	18.180	4,2	17.920	5,8	18.610	1,8	54.060	4,3	54.000	5,7	54.700		
24	1,9	8.500	3,9	8.700	5,5	8.900	2,3	22.060	4,3	21.940	5,6	22.560	2,1	13.600	4,1	13.730	5,8	14.160	2,5	40.500	5,4	41.000	5,9	40.800	2,4	18.040	4,2	18.070	5,8	18.390	1,9	54.500	4,3	54.000	6,0	55.570		
25	1,9	8.400	3,9	8.500	5,7	8.900	2,3	22.070	4,3	21.840	5,6	22.560	2,1	13.600	4,1	13.730	5,8	14.160	2,5	40.500	5,4	41.000	5,9	40.800	2,4	18.040	4,2	18.070	5,8	18.390	1,9	54.500	4,3	54.000	6,0	55.570		
26	1,7	8.500	4,0	8.500	5,8	9.000	2,3	22.240	3,9	21.860	5,7	22.540	1,6	13.500	4,2	13.640	5,9	13.960	2,1	41.800	3,6	40.800	5,5	40.600	1,9	18.350	4,2	18.080	5,9	18.240	1,8	53.920	3,9	53.840	5,8	54.400		
27	1,5	8.400	4,1	8.500	5,8	8.900	2,3	22.000	4,3	21.660	5,9	22.330	1,9	13.400	4,0	13.650	5,8	14.050	2,1	41.900	4,4	41.800	5,6	40.800	2,5	17.780	4,1	18.390	6,0	18.160	1,5	53.270	3,9	53.950	5,9	55.160		
28	1,6	8.400	4,1	8.500	5,8	8.900	2,3	22.000	4,3	21.660	5,9	22.330	1,9	13.400	4,0	13.650	5,8	14.050	2,1	41.900	4,4	41.800	5,6	40.800	2,5	17.780	4,1	18.390	6,0	18.160	1,5	53.270	3,9	53.950	5,9	55.160		
29	1,6	8.300	4,0	8.500	5,8	8.900	2,4	22.210	4,3	21.820	5,9	22.510	1,6	13.500	4,1	13.550	5,7	13.950	2,5	40.800	3,8	41.400	5,6	40.500	2,2	17.890	4,4	17.730	5,8	18.800	1,9	54.230	3,9	53.040	5,7	54.790		
30	1,8	8.400	3,8	8.600	5,8	8.900	2,5	22.190	3,7	21.600	5,7	22.610	2,3	13.700	4,1	13.640	5,7	14.010	2,3	41.900	4,1	41.800	5,8	40.500														

RESUMO DOS REGISTROS DAS MEDIÇÕES DA SEGUNDA FASE

Planilha geral de medições para a praça de pesagem

Data:	Camimão - 3C										Carrista - 233										Bl-trem																			
	Vazio					Carregado					Vazio					Carregado					Vazio					Carregado														
Pisca:	16012006					17012007					15012007					15012007					16012007					16012007														
Veículo:	KVM-1357					LHF-8899					LEB-7155					LBI-3484					LNZ-4951					LNZ-4978														
Veículo:	Voivo - VM23					Mercedes Benz - 924					Voivo - NLI2					Voivo - NLI2					Voivo - FHI2					Voivo - FHI2														
Local: BR - 040	Km - 098					Sentido - Petropolis / Rio de Janeiro					Km - 098					Sentido - Petropolis / Rio de Janeiro					Km - 098					Sentido - Petropolis / Rio de Janeiro														
hora	14:40	15:15	15:40	16:15	16:40	17:10	17:40	18:00	18:35	19:00	19:30	20:00	20:30	21:00	21:30	14:20	14:50	15:20	15:50	16:20	16:50	17:20	17:50	18:20	18:50	19:20	19:50	20:20	20:50	21:20	14:10	14:40	15:10	15:40	16:10	16:40	17:10	17:40	18:10	18:40
Velocidade:	2 km/h	4 km/h	6 km/h	8 km/h	10 km/h	12 km/h	14 km/h	16 km/h	18 km/h	20 km/h	22 km/h	24 km/h	26 km/h	28 km/h	30 km/h	32 km/h	34 km/h	36 km/h	38 km/h	40 km/h	42 km/h	44 km/h	46 km/h	48 km/h	50 km/h	52 km/h	54 km/h	56 km/h	58 km/h	60 km/h	62 km/h	64 km/h	66 km/h	68 km/h	70 km/h	72 km/h	74 km/h	76 km/h	78 km/h	80 km/h
Pesagem	1	2,2	8,530	3,7	8,690	5,6	9,040	2,3	22,210	3,6	21,720	5,8	22,720	2,1	14,860	3,8	14,850	5,7	15,310	1,7	40,640	3,7	40,930	2,3	16,710	4,1	16,880	6,0	17,480	1,8	55,100	3,9	54,200	6,0	54,470					
2	8,590	3,7	8,770	5,6	9,060	1,6	21,660	3,7	21,650	5,6	22,260	2,3	14,860	3,5	14,870	5,7	15,410	1,9	40,960	3,6	40,550	5,9	40,860	2,4	16,670	4,4	16,770	5,8	17,110	1,7	54,960	4,0	54,400	6,0	54,260					
3	8,670	3,6	8,770	5,6	9,040	2,2	22,000	3,5	21,750	5,7	22,310	2,5	14,840	3,6	14,820	5,5	15,470	2,1	41,230	3,7	40,560	5,6	40,710	2,3	16,660	4,5	16,820	5,9	17,140	2,5	54,630	4,1	55,130	5,8	54,910					
4	8,680	3,5	8,760	5,6	9,090	2,3	22,020	3,7	21,970	5,6	22,270	2,5	15,000	3,9	15,170	5,5	15,620	2,2	41,600	3,7	40,520	5,9	40,810	2,3	16,730	4,3	17,090	5,8	17,780	2,5	54,870	4,3	55,000	5,9	54,960					
5	8,610	3,5	8,640	5,7	9,030	2,4	22,230	3,9	21,700	5,7	22,450	2,4	14,850	4,0	14,860	5,8	15,430	2,4	41,570	3,7	40,560	6,0	40,760	2,4	16,680	3,8	16,740	5,6	17,380	1,7	54,920	4,5	55,100	5,8	55,200					
6	8,630	3,5	8,660	5,7	9,080	1,9	22,150	3,8	21,690	5,5	22,450	2,5	14,980	3,8	14,980	5,8	15,440	2,3	41,430	3,6	40,530	6,0	40,660	2,5	16,980	4,0	16,940	5,7	17,300	1,7	54,960	3,7	54,270	6,0	55,450					
7	8,610	3,5	8,720	5,7	9,100	1,8	22,140	3,8	21,720	5,5	22,350	2,4	14,730	3,5	14,870	5,8	15,530	2,4	41,630	3,6	40,720	5,9	40,460	2,4	16,730	4,4	16,920	5,8	17,380	1,9	54,960	4,3	54,960	5,8	55,730					
8	8,710	3,5	8,680	5,6	9,060	2,1	22,060	3,9	21,740	5,5	22,440	2,4	14,810	4,2	15,170	5,8	15,570	2,4	41,620	3,6	40,600	5,9	40,580	2,2	16,700	4,2	16,960	6,0	17,430	2,0	54,960	4,3	54,520	6,0	55,880					
9	8,550	3,7	8,740	5,7	9,000	1,7	21,990	3,7	21,840	5,5	22,420	2,5	14,880	4,4	15,050	5,8	15,520	2,5	41,730	3,6	40,500	6,0	40,300	2,2	16,540	4,5	17,080	5,8	17,560	2,4	55,080	4,1	54,760	5,8	55,020					
10	8,490	3,7	8,700	5,6	8,960	2,1	22,220	3,8	21,740	5,7	22,310	2,4	14,770	4,2	14,950	5,5	15,700	2,0	41,840	3,7	40,720	5,9	40,700	2,5	16,700	4,1	17,030	5,8	17,310	2,3	54,960	3,7	54,880	5,4	55,680					
11	8,580	3,6	8,550	5,6	8,960	1,7	21,940	3,9	21,680	5,5	22,350	2,4	14,920	4,0	15,100	5,8	15,630	2,5	41,580	3,6	40,560	6,0	41,000	2,4	16,640	4,3	17,130	5,8	17,510	2,1	54,300	4,0	54,500	5,8	55,710					
12	8,480	3,7	8,510	5,8	8,940	1,8	22,040	3,8	21,760	5,6	22,270	2,3	14,860	4,2	15,060	5,6	15,480	2,4	41,550	3,6	40,500	5,9	40,800	2,5	16,770	4,2	17,060	5,8	17,540	2,1	55,230	3,7	54,820	6,0	55,210					
13	8,610	3,6	8,770	5,6	9,120	1,9	22,040	3,7	21,820	5,5	22,370	2,5	14,820	4,0	14,920	5,5	15,300	2,5	41,770	3,7	40,630	5,7	40,460	2,4	16,780	4,3	17,190	5,9	17,260	2,2	54,780	3,7	54,760	5,8	55,450					
14	8,550	3,6	8,820	5,7	9,110	1,8	22,150	3,7	21,800	5,6	22,340	2,3	14,850	4,5	15,210	5,8	15,560	2,5	41,730	3,6	40,500	6,0	40,300	2,2	16,540	4,5	17,080	5,8	17,560	2,4	55,080	4,1	54,760	5,8	55,020					
15	8,530	3,7	8,770	5,6	8,920	2,0	22,220	3,7	21,830	5,6	22,420	2,4	14,840	4,5	15,150	5,6	15,470	2,5	41,500	3,6	40,410	6,0	40,600	2,3	16,640	4,3	16,880	5,7	17,480	2,3	54,790	3,5	54,260	5,5	55,310					
16	8,510	3,7	8,900	5,7	9,120	2,0	22,080	3,9	21,670	5,5	22,340	1,9	14,530	4,4	14,910	5,7	15,480	2,4	41,560	3,6	40,390	5,9	40,470	2,4	16,640	3,8	16,860	5,9	17,390	2,2	54,820	3,8	54,470	5,8	55,560					
17	8,500	3,7	8,860	5,6	8,920	1,7	22,090	3,8	21,650	5,6	22,250	1,9	14,780	4,2	14,900	5,6	15,430	2,5	41,500	3,6	40,290	5,8	40,360	2,5	16,580	3,9	16,800	6,0	17,240	2,4	55,120	3,6	54,520	5,7	55,910					
18	8,550	3,6	8,780	5,7	9,100	1,8	21,970	3,8	21,790	5,5	22,460	2,1	14,860	4,1	14,970	5,7	15,370	2,5	41,470	3,6	40,250	5,8	40,560	2,4	16,290	3,9	16,910	5,9	17,380	2,4	54,860	4,1	54,480	6,0	55,340					
19	8,490	3,5	8,890	5,6	9,210	1,6	21,880	3,7	21,730	5,6	22,500	2,0	14,690	4,4	14,890	5,7	15,460	2,5	41,410	3,6	40,220	5,9	40,740	2,4	16,550	3,8	16,710	5,8	17,270	2,5	54,870	4,2	54,570	6,0	54,960					
20	8,480	3,6	8,750	5,7	9,080	2,4	22,480	3,8	21,640	5,6	22,450	2,0	14,730	4,2	14,930	5,7	15,360	2,4	41,420	3,6	40,190	5,8	40,620	2,5	16,860	3,9	16,850	5,8	17,470	2,5	55,070	4,1	54,460	6,0	55,010					
21	8,690	3,6	8,690	5,8	9,110	2,5	22,300	3,8	21,680	5,5	22,430	2,3	14,920	4,3	14,830	5,5	15,390	2,5	41,340	3,5	40,210	5,9	40,350	2,4	16,760	4,0	16,990	5,8	17,410	2,5	54,720	4,0	54,560	5,4	55,520					
22	8,490	3,7	8,720	5,7	8,970	2,2	22,300	3,8	21,660	5,5	22,330	2,1	14,730	4,3	14,930	5,6	15,380	2,5	41,340	3,5	40,210	5,9	40,350	2,4	16,760	4,2	16,940	5,6	17,540	2,0	54,800	4,3	54,740	5,7	54,410					
23	8,500	3,7	8,710	5,6	8,940	1,9	21,980	4,0	21,620	6,0	22,830	2,0	14,650	4,2	15,170	5,8	15,400	2,4	41,230	3,6	40,150	5,9	40,670	2,5	16,780	4,1	16,890	5,9	17,280	2,1	54,750	3,7	54,140	6,0	54,240					
24	8,520	3,7	8,790	5,6	9,030	1,9	22,050	4,0	21,600	6,0	22,610	2,1	14,610	4,1	14,860	5,7	15,370	2,4	41,550	3,6	40,160	6,0	40,630	2,5	16,800	4,1	16,890	5,8	17,430	2,2	55,980	3,9	53,810	5,9	55,420					
25	8,520	3,7	8,720	5,7	9,050	2,1	22,120	4,0	21,630	5,9	22,650	2,3	14,790	4,2	15,120	5,7	15,430	2,4	41,400	3,6	40,130	5,9	40,400	2,5	16,760	4,0	16,790	5,8	17,310	2,5	54,630	4,0	54,560	6,0	55,290					
26	8,520	3,7	8,750	5,6	8,960	1,8	21,960	3,7	21,710	6,0	22,890	2,4	14,660	3,6	14,830	6,0	15,420	2,5	41,150	3,5	40,090	6,0	40,370	2,4	16,820	4,0	16,810	5,7	17,130	2,3	55,260	4,1	54,760	5,7	54,930					
27	8,530	3,6	8,760	5,7	8,990	2,2	22,310	3,8	21,680	5,9	22,350	2,0	14,640	3,8	14,810	5,7	15,550	2,5	41,210	3,6	40,260	6,0	40,640	2,5	16,700	3,9	16,830	6,0	17,030	2,5	54,720	4,0	54,310	5,8	55,560					
28	8,530	3,6	8,850	5,6	8,980	2,2	22,300	3,9	21,780	5,8	22,490	2,1	14,670	4,3	14,970	5,7	15,570	2,5	41,340	3,6	40,340	5,8	40,310	2,5	16,730	4,0	16,730	5,7	17,140	2,4	55,080	3,7	54,230	6,0	54,230					
29	8,510	3,6	8,830	5,6	8,920	2,0	21,940	3,8	21,710	5,6	22,430	2,2	14,730	3,9	14,970	5,8	15,510	2,5	41,360	3,6	40,160	5,9	40,520	2,4	16,750	4,1	17,230	5,8	17,330	2,5	54,790	4,5	55,090	5,7	54,530					
30	8,510	3,6	8,830	5,6	8,920	2,0	21,940	3,8	21,710	5,6	22,430	2,2	14,730	3,9	14,970	5,8	15,510	2,5	41,360	3,6	40,160	5,9	40,520	2,4	16,750	4,1	17,230	5,8	17,330	2,5	54,790	4,5	55,090	5,7	54,530					
media	8,554	3,6	8,758	5,6	9,060	2,2	22,108	3,8	21,727	5,6	22,410	2,4	14,790	4,3	14,978	5,6	15,469	2,5	41,487	3,6	40,403	6,0	40,595	2,4	16,705	4,1	16,911	5,8	17,338	2,5	54,849	4,5	54,542	5,5	55,192					
Sx	73,98	86,38	71,20	79,20	154,31	77,52	114,92																																	

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA-CEFET/RJ

DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COORDENADORIA DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA

DISSERTAÇÃO

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DA PESAGEM DINÂMICA DE VEÍCULOS
RODOVIÁRIOS

Luciano Bruno Faruolo

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA.

Data da defesa: 22/03/2007

Aprovação:

José Luiz Fernandes, Ph.D.

Marina Rodrigues Brochado, D.Sc.

Antônio José Caulliriaux Pithon, D.Sc.

Adriana da Cunha Rocha, Ph.D.

Paulo Roberto Dias Morales, M.Sc.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)