

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

João Fortini Albano

**EFEITOS DOS EXCESSOS DE CARGA SOBRE A
DURABILIDADE DE PAVIMENTOS**

Porto Alegre, 2005.

João Fortini Albano

**EFEITOS DOS EXCESSOS DE CARGA SOBRE A
DURABILIDADE DE PAVIMENTOS**

**Tese para obtenção do título de doutor em engenharia civil
apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Área de
concentração: Sistema de Transportes e Logística.**

**Orientador: Professor PhD
Luis Antonio Lindau**

Porto Alegre, 2005.

A presente tese de autoria de **João Fortini Albano**, intitulada EFEITOS DOS EXCESSOS DE CARGA SOBRE A DURABILIDADE DE PAVIMENTOS, elaborada para obtenção do título de doutor em Engenharia Civil, área de concentração Sistema de Transportes e Logística, foi apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em 26/01/2005 e examinada pela banca constituída pelos professores: Dr. **Jorge Augusto Pereira Ceratti** (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS), Dr^a **Liedi Bariani Bernucci** (Escola Politécnica da USP) e PhD **Luiz Afonso dos Santos Senna** (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFRGS). Após a apresentação e procedidas as verificações a banca considerou o trabalho aprovado.

Porto Alegre, 26 de janeiro de 2005.

De acordo:

Prof. PhD Luis Antonio Lindau
Orientador, PPGEP da UFRGS

Prof. Dr Jorge Augusto Pereira Ceratti
Instituição: PPGEC da UFRGS

Prof. Dr^a Liedi Bariani Bernucci
Instituição: Escola Politécnica da USP

Prof. PhD Luiz Afonso dos Santos Senna
Instituição: PPGEP da UFRGS

Dedico esta tese:

*À memória de meus pais: João Pitanguy Albano e Anerys Fortini Albano
e de meu avô Archimedes Fortini.*

*Dedico também à Suzana, Filipe, Fábio e Marcelo de Medeiros Albano, meus atuais
companheiros.*

Agradecimentos:

Aos orientadores, colaboradores e apoiadores:

Allan Alex B. Nunes; Carla Ten Caten; Daiani Trisch, Daniel Sergio Presta García; Daniel Rech; Emir Masiero; Helmesona Santana; Ingrid Rosa da Silva; Ivo de Azevedo; João Rosa Neto; Jorge Augusto Pereira Ceratti; José Luis Duarte Ribeiro; June Magda Rosa Scharnberg; Lélío Antônio Teixeira Brito; Liedi Bariani Bernucci; Luis Antonio Lindau; Nélio Tombini; Rafael Lerch; Rodrigo Fachini; Washington Perez Nunes.

Às entidades:

Batalhão de Polícia Rodoviária Estadual – BPRE; Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem – DAER; Departamento de Engenharia de Produção e Transportes – DEPROT; Laboratório de Sistemas de Transportes – LASTRAN; Polícia Rodoviária Federal; Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP; Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

Finalmente,

à Deus por me proporcionar um pouco de luz e saúde para realizar esta tarefa.

RESUMO

Na presente tese desenvolve-se um estudo que relaciona o transporte rodoviário de cargas com o desempenho e a durabilidade prevista para pavimentos. Pretende-se demonstrar que o excesso de carga praticado por parte dos transportadores é uma das maiores causas da deterioração dos pavimentos. Recentes levantamentos indicam que 75,0% da rede pavimentada brasileira apresenta deficiências para deslocar os 60,5% do total de cargas produzidas no país. Poucas rodovias apresentam bons resultados quanto à qualidade, segurança e satisfação dos usuários. Estimulado por este contexto decidiu-se investigar e quantificar os efeitos do excesso de carga sobre pavimentos com a finalidade de conscientizar e alertar autoridades, concessionárias e usuários para o vulto dos custos e transtornos decorrentes. Objetiva-se também ressaltar a importância da fiscalização por pesagem em rodovias pavimentadas. O trabalho está constituído por três focos inter-relacionados. O primeiro está constituído por uma pesquisa experimental desenvolvida na Área de Pesquisas e Testes da UFRGS/DAER na qual utilizou-se um simulador de tráfego. Em função das variações da deflexão superficial e do Fator de Equivalência de Cargas, determinaram-se as influências dos fatores carga por eixo, espessura e pressão de inflação dos pneus no desempenho estrutural dos pavimentos. O principal resultado da pesquisa experimental indica que, para 20,0% de excesso de carga por eixo, há uma redução da vida prevista em cerca de 48,0% no pavimento espesso estudado. A segunda abordagem da tese é uma continuação da primeira. Programou-se a execução de uma pesquisa de campo para determinar os efeitos da falta de pesagem sobre a integridade dos pavimentos. Determinou-se a frota de veículos de carga e a quantidade que trafega vazio através de contagens volumétricas nas rodovias BR/386, BR/290, BR/287 e BR/285. Definiram-se também hipóteses de carregamento da frota com e sem pesagem. Adotou-se a variação do Fator de veículo e do número N como indicativos do desempenho e durabilidade dos pavimentos. Concluiu-se que, quando não há pesagem e o excesso de carga por eixo é 20,0%, a redução da vida prevista para os pavimentos das rodovias estudadas é em média 23,0%. Desenvolveu-se também uma avaliação funcional e econômica com a utilização do programa HDM 4. Conclui-se que para a estratégia de conservação definida na tese, a inexistência de pesagem aumenta em 33,0% os gastos de manutenção. A terceira parte da tese é uma pesquisa de opinião desenvolvida para detectar a percepção dos grupos: motoristas, empresários e técnicos sobre questões ligadas com a pesagem de caminhões. A pesquisa de opinião apontou, entre outros quesitos, que há um consenso dos grupos entrevistados (65,0% em média) sobre a inexistência ou as poucas vantagens em trafegar sobrecarregado. Esta condição está a recomendar maiores esclarecimentos sobre os danos provocados por excessos de carga.

Palavras-chave: transporte rodoviário de carga, excesso de carga, pressão de inflação dos pneus, pavimento, durabilidade do pavimento, veículo de carga, fiscalização por pesagem, pesquisa de opinião.

ABSTRACT

This thesis presents a study relating the road transport of cargo to the performance and expected durability of pavements. The purpose of the study is to demonstrate that the load excess practiced by freighters is one of the major causes of pavement deterioration. Recent surveys indicate that 75.0% of the paved highway network in Brazil presents deficiencies in the transportation of 60.5% of the total of cargo produced in the country. Few highways present good results in terms of quality, safety and user satisfaction. This situation led to the decision to investigate and quantify the effects of excess loads on pavements with the purpose of raising awareness and alerting authorities, concessionaires and users about the resulting financial costs and problems. The study also aims at highlighting the importance of weighting control on paved highways. The work is made up of three interrelated parts. The first one is an experimental research project developed at the UFRGS/DAER's Research and Testing Area, using a traffic simulator. Due to the variations in superficial deflection and equivalent single axle load (ESAL), the influence of the factors was determined by: load per axle, thickness and pressure of tires on the structural performance of the pavement. The main results of the experimental research indicate that, for 20.0% of load excess per axle, there is a 48.0% reduction in the expected life of the thick pavement studied. The second part of the study is a continuation of the first one. Field research was programmed in order to determine the effects of lack of weighting on the integrity of pavements. The number of loaded and empty vehicles was determined through volumetric counting on highways BR/386, BR/290, BR/287 and BR/285. Hypotheses were also made of the transported cargo with weighting and without weighting. The variation of the Vehicle Factor and number of ESALs were adopted as indicators of the performance and durability of pavements. The conclusion was that when there is no weighting and the load excess per axle is 20.0%, the reduction of the expected life of the pavements of the roads analyzed is 23.0%, on average. A functional and economic evaluation was also made using the HDM 4 program. The conclusion was that, for the conservation strategy established in the thesis, the absence of weighting increases maintenance costs by 33.0%. The third, very important, part of the study is an opinion survey undertaken in order to detect the perceptions of drivers, entrepreneurs and technicians about issues connected to truck weighting. The opinion survey indicated that there is a consensus among the groups interviewed (65.0% on average) about the few advantages of transporting excess loads. This points to the need to provide drivers, entrepreneurs and technicians more information about the damage caused by excess loads.

Key words: freight truck transportation, load excess, tire pressure, pavement durability, freight vehicle, weighting control, opinion survey.

Lista de abreviaturas e siglas

American Association of State Highway and Transportation Officials	AASHTO
Analysis of Variance	ANOVA
Associação Brasileira de Normas Técnicas	ABNT
Associação Nacional de Fabricantes de Veículos	ANFAVEA
Autorização Especial de Tráfego	AET
Banco Interamericano de Desenvolvimento	BID
Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento	BIRD
California Division of Highways	CDH
Capacidade Máxima de Tração	CMT
Carga por eixo	Ce
Código de Trânsito Brasileiro	CTB
Comissão Econômica para a América Latina e Caribe	CEPAL
Composição de Veículos de Carga	CVC's
Concreto Asfáltico	CA
Concreto Betuminoso Usinado a Quente	CBUQ
Confederação Nacional dos Transportes	CNT
Conselho Monetário Nacional	CMN
Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial	CONMETRO
Conselho Nacional de Trânsito	CONTRAN
Contrato de Restauração e Manutenção de Rodovias	CREMA
Contribuição de Intervenção do Domínio Econômico	CIDE
Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos	CE
Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem	DAER
Departamento de Engenharia de Produção e Transportes	DEPROT
Departamento de Estradas de Rodagem	DER
Departamento Estadual de Trânsito do Rio Grande do Sul	DETRAN RS
Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes	DNIT
Elastic Layered System	ELSYM5
Empresa Transportadora de Cargas	ETC
Encontro Nacional de Conservação Rodoviária	ENACOR

Falling Weigh Deflectometer	FDW
Fator de Cargas	FC
Fator de Eixos	FE
Fator de Equivalência de Cargas	FEC
Fator de Veículo	FV
Federal Highway Administration	FHWA
Highway Development and Management System	HDM 4
Índice de Suporte Califórnia	ISC
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	IBGE
Instituto de Pesquisas Rodoviárias	IPR
International Roughness Index	IRI
Laboratório de Sistemas de Transportes	LASTRAN
Número Estrutural	SN
Número Estrutural Corrigido	SNc
Organization for Economic Co-Operation and Development	OECD
Parceria Público-Privada	PPP
Peso Bruto Total	PBT
Peso Bruto Total Combinado	PBTC
Pressão de Inflação	Pe
Produto Interno Bruto	PIB
Rate of Dynamic Force	RDF
Sindicato da Indústria da Construção de Estradas, Pavimentação e Obras de Terraplenagem em Geral	SICEPOT
Sindicato de Empresas de Transporte de Cargas do Estado do Rio Grande do Sul	SETCERGS
Statistical Package for the Social Sciences	SPSS
Transportation Research Board	TRB
Transporte Rodoviário de Cargas	TRC
Unidade de Normas e Pesquisas	UNP
Unidade Hidráulica	UH
Universidade de São Paulo	USP
Universidade Federal do Rio de Janeiro	UFRJ
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	UFRGS

Volume diário médio	VDM
Volume diário médio durante 24 horas	VDM₂₄
Volume diário médio anual	VDM_a
Weight-in-Motion	WIM

Sumário

1. Introdução

<i>1.1 O contexto rodoviário brasileiro</i>	13
<i>1.2 O transporte rodoviário de cargas</i>	21
<i>1.3 Justificativas e motivações para o desenvolvimento da tese</i>	24
<i>1.4 Objetivos</i>	27
<i>1.5 Organização e método</i>	29

2. Revisão

<i>2.1 Limites de carga e legislação</i>	33
<i>2.2 O Fator de Equivalência de Cargas como indicador das condições estruturais do pavimento</i>	46
<i>2.3 A deflexão superficial recuperável como variável de resposta de um pavimento flexível</i>	53
<i>2.4 Excesso de carga, vida útil e danos nos pavimentos</i>	56
<i>2.5 Efeitos da pressão de inflação dos pneus e da espessura do pavimento</i>	68
<i>2.6 Pesquisa de opinião sobre pesagem</i>	74
<i>2.7 Fiscalização por pesagem</i>	75

3. Efeitos dos fatores carga por eixo, pressão dos pneus e espessura no desempenho dos pavimentos: uma pesquisa experimental

<i>3.1 Descrição do experimento</i>	91
<i>3.2 Análise das deflexões</i>	103
<i>3.3 Hierarquia entre os fatores e previsão da deflexão</i>	113
<i>3.4 Verificação da durabilidade do pavimento,</i>	117
<i>3.5 Durabilidade do pavimento segundo parâmetros da AASHTO e do modelo ELSYM5</i>	121

4. Excesso de carga e a necessidade de pesagem: uma pesquisa de campo

<i>4.1. Antecedentes</i>	128
<i>4.2. Método, programação e execução das contagens volumétricas</i>	129
<i>4.3. Veículos da categoria 2U, expansão anual e VDMA</i>	135
<i>4.4. Hipóteses de carregamento da frota</i>	140

4.5. Correção do VDMa devido à pesagem	142
4.6. Cálculo do Fator de Eixo e do Fator de Carga (FE) e (FC)	146
4.7. Fator de Veículo (FV)	148
4.8. Evolução do tráfego nas rodovias estudadas	150
4.9. Avaliação funcional e econômica	156
4.10. Comentários sobre os resultados do estudo	163
5. A percepção do controle de carga pelos agentes do sistema: uma pesquisa de opinião	
5.1 Planejamento da pesquisa	166
5.2 Coleta de dados	171
5.3 Questionário aberto	173
5.4 Questionário fechado	177
5.5 Respostas ao questionário fechado	180
5.6 Interpretação e análise dos resultados	181
5.6.1 Através das médias calculadas	181
5.6.2 Comparações entre os grupos pesquisados	184
5.6.3 Análise e comentários	189
6. Conclusões e Recomendações	
6.1 Principais conclusões	194
6.2 Recomendações	201
Referências	202
Anexo A	
1. Grupo dos motoristas	212
2. Grupo dos técnicos	219
3. Grupo dos empresários	226

1. Introdução

1.1 O contexto rodoviário brasileiro

O Estado brasileiro com uma área de 8.514.876,599 km² e população estimada em 182.027.058 (IBGE, 2004) continua enfrentando dificuldades de infra-estrutura viária para sua integração e desenvolvimento social e econômico. À primeira vista, parece incompreensível a maior importância atribuída às rodovias em detrimento das ferrovias e hidrovias face ao vulto da extensão territorial onde os trechos de longo percurso a serem cobertos são inúmeros. O Brasil, com alguma vantagem sobre outros países em integrar rodovia-ferrovia com as hidrovias, tem amplos motivos para justificar o desenvolvimento de outros modais além do rodoviário. O transporte de longo, médio e pequeno percurso, poderia ser complementado com certa facilidade (Rodrigues, 2000).

Em 1926, o presidente Washington Luís adotou o lema “governar é abrir estradas”. Em seu governo, com verbas do Fundo Especial (taxa adicional sobre a importação de gasolina, automóveis, caminhões, câmaras e pneus) construiu 61 km da rodovia Rio – Petrópolis e 121 km do tronco sul-oeste da Rio – São Paulo. Este foi apenas o começo de muitas outras obras viárias levadas adiante pelos governos após 1930. Em meados da década de 40, o Brasil contava com 423 km de rodovias pavimentadas entre federais e estaduais. Dez anos mais tarde, eram 968 km e nos anos 80 podiam ser computados 47 mil km somente de rodovias federais pavimentadas.

Na verdade, a definição da estratégia governamental de concentrar os investimentos em rodovias está associada ao incremento da indústria automobilística, especialmente após 1950, com a implantação de subsidiárias de grandes empresas multinacionais. A indústria automobilística passou a constituir a base do modelo de desenvolvimento econômico brasileiro.

Atualmente, de acordo com dados oficiais do DNIT (2004b) as rodovias pavimentadas constituem extensões de: 57.741,3 km federais (62,4% da rede federal); 101.304,7 km

estaduais (38,3% da rede estadual) e 22.716,8 km municipais (1,6% da rede municipal), totalizando uma rede pavimentada de 181.762,8 km (10,5% da rede existente). Este total inclui 9.708,59 km de rodovias (federais e estaduais) concedidas à iniciativa privada em sete Estados da União que operam através da cobrança de pedágio para operações de manutenção e/ou ampliação (ABCR, 2004).

A fronteira de uma extensão de rodovias que satisfaça às necessidades de crescimento da nação ainda está longe de ser atingida. De acordo com o resultado de estudo divulgado pelo Sindicato da Indústria da Construção Pesada do Estado de São Paulo, o Brasil ocupa a 33ª posição entre 60 países, com 202 km de estradas a cada mil quilômetros quadrados de área. Em 1960, o Brasil ocupava a 25ª posição. A extensão da malha viária, que cresceu 4,8% ao ano entre 1950 e 1985, passou a crescer apenas 1,3% ao ano entre 1985 e 2000. A extensão da malha pavimentada que crescia 12,8% entre 1950 e 1985, passou a crescer apenas 2,4% entre 1985 e 2000. O mesmo estudo indica alta ineficiência econômica decorrente da maneira como o Estado investe na infra-estrutura viária, sem planejamento adequado nem racionalidade na execução das obras, com inadimplência no pagamento dos contratos e interrupção das obras (Guia do TRC, 2004b).

Pelas estradas brasileiras são movimentadas 60,5% das cargas transportadas no país. Esta massa corresponde a 794 bilhões de TKU (tonelada-quilômetro-útil), segundo o GEIPOT (2001).

Quanto a qualidade da malha pavimentada existem problemas reconhecidos pelo próprio governo de acordo com o boletim do Ministério dos Transportes distribuído aos participantes do 9º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) (Ministério dos Transportes, 2004). A referida fonte destaca que “estamos convivendo com problemas que se acumulam há vários anos”, citando as seguintes questões como básicas: infra-estrutura degradada, com perdas nas condições operacionais; restrição de capacidade das vias, principalmente nas regiões mais desenvolvidas; e extensão insuficiente da malha nas regiões com potencial de desenvolvimento.

No sítio do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT) em outubro de 2002 (DNIT, 2002b) havia informações que espelhavam a situação das rodovias

federais, segundo levantamentos conduzidos pelo próprio Governo: condições ótimas ou boas 37,0%, deficientes/ruins/péssimas 31,0%. Em recente manifestação, o atual Ministro dos Transportes declarou, após visitar rodovias em 12 Estados, que “cerca de 55% estão sem condições de trafegabilidade” (Nascimento, 2004a).

A Confederação Nacional dos Transportes (CNT) realiza desde 1997 uma pesquisa rodoviária anual (em 1998 não houve a pesquisa) que considera os principais eixos rodoviários federais e estaduais da malha viária pavimentada. Este trabalho além do estado geral da via avalia também as condições do pavimento, sinalização, geometria, situação da superfície de rodagem, etc.

Segundo informação colhida na edição especial da Revista CNT (2004), as pesquisas realizadas refletem o cenário de toda rede rodoviária brasileira. Os dados demonstram que o último triênio da década passada foi sintomático, pois os números mostram que em 1997, 92,3% da extensão apresentava deficiência no estado geral de conservação, em 1999 a extensão baixou para 77,5% e em 2000 os trechos com deficiência de conservação aumentaram para 80,3% da extensão inspecionada.

Por outro lado, em 2000, apenas 19,5% da extensão pesquisada encontrava-se em estado geral de conservação variando de bom a ótimo. Esse resultado comparado com o de 1999 mostra uma queda de 3,0 pontos percentuais, confirmando uma maior deterioração no estado geral de conservação da malha.

Em 2001, a situação não mudou muito, pois 31,2% das estradas foram classificadas como ótimas ou boas, contra 68,8% classificadas como deficientes/ruins/péssimas. Já em 2002, as estradas ótimas e boas somaram 40,8% e as deficientes/ruins/péssimas 59,2%. No ano de 2003 obteve-se 17,2% de condição ótima ou boa e 82,8% de deficiente/ruim/péssima.

Focando-se alguns resultados da pesquisa rodoviária CNT 2003, percebe-se claramente a existência de um desbalanceamento qualitativo regional amplamente favorável às regiões Sudeste e Sul, em detrimento principalmente da região Nordeste. Além da concentração de deficiências no nordeste, uma segunda indicação da pesquisa é que, em todo

país, a maioria dos problemas de infra-estrutura são graves e encontra-se em patamares elevados.

Outra característica marcante encontrada nos principais corredores rodoviários é a elevada taxa de alternância de condições viárias. No conjunto de estradas coabitam trechos comparáveis aos de países de 1º mundo com trechos totalmente destruídos, com evidente prejuízo à economia e, mais grave, à própria segurança dos usuários.

A prova de que a continuidade de investimento gera situações operacionais mais favoráveis pode ser verificada com a avaliação da quase totalidade dos trechos de rodovias sob gestão terceirizada. As avaliações confirmaram quantitativamente as significativas melhoras observadas nos trechos concessionados. Sob a ótica dos critérios utilizados na Pesquisa CNT 2003, os resultados destes trechos mostraram-se bem mais favoráveis aos usuários que aqueles sob gestão estatal.

A Pesquisa Rodoviária CNT 2004 avaliou 100% da malha rodoviária federal pavimentada, e também os principais trechos sob gestão estadual e administração terceirizada. Nesta nona edição da pesquisa, que abrangeu todo cenário rodoviário nacional, continua nítida a situação desfavorável levantada nos anos anteriores. Constatou-se que 74,7% da extensão pesquisada apresenta graus de imperfeição deficiente/ruim/péssimo. Praticamente repetem-se as constatações levantadas em 2003, principalmente o desequilíbrio qualitativo entre as malhas das regiões nordeste e sul/sudeste. O detalhamento das variáveis da pesquisa relata alguns índices comprometedores, como por exemplo: 65,3% da extensão apresenta sinalização em estado inadequado (CNT, 2004).

O governo federal, diante desta realidade, criou no início de 2004 o Programa de Restauração e Manutenção de Rodovias Federais, também chamado Plano de Emergência, cujo objetivo é restaurar 70.000 km e conservar 35.000 km ainda em 2004 bem como restaurar mais 4.225 km até abril de 2005, beneficiando todas as regiões e priorizando trechos importantes para o escoamento da safra agrícola (Construção/RN, 2004).

Com recursos de verbas orçamentárias, de empréstimos, das concessões e por meio de Parceria Público – Privada (PPP), estão previstas também a realização das seguintes obras prioritárias:

- BR-101 Sul: duplicação Palhoça – Osório;
- BR-101 Nordeste: duplicação Natal – Feira de Santana;
- BR-101 RJ: construção do arco rodoviário do Rio de Janeiro;
- BR-319 AM/RO: construção do trecho Manaus – Porto Velho e,
- BR-364 MT: construção do trecho Diamantino – Sapezal – Comodoro.

Outras ações do Governo para amenizar o colapso potencial da infra-estrutura viária é a concessão de mais sete trechos de rodovias federais cujos contratos devem ser assinados até o início de 2005 com duração de até 25 anos. O critério de leilão, promovido pela Bovespa, será o de menor tarifa de pedágio. Além das concessões, o Ministério dos Transportes realizará a sinalização de 15.000 km e a instalação de 17 postos de controle de peso dos veículos de carga (Nascimento, 2004b).

A situação precária das rodovias gera maiores custos para todo sistema produtivo. Recentes trabalhos realizados pela Comissão Econômica para a América Latina e Caribe (CEPAL), demonstram que o atual sistema de conservação rodoviária exauriu-se e, em decorrência de sua ineficiência, ocasiona enormes prejuízos às nações. Pelo menos um terço da rede rodoviária dos países da América Latina e Caribe apresenta-se em péssimas condições por falta de conservação adequada. Trafegar nestas rodovias acarreta um aumento de 45,0% no custo operacional dos veículos, exige o dobro do tempo de viagem e resulta em um acréscimo substancial no custo final dos produtos transportados (Tizzot, 2004).

A mesma fonte comenta que não conservar, deixar deteriorar e reconstruir leva a um gasto de três a seis vezes maior do que se gastaria com a conservação adequada. Para cada real não aplicado na conservação se gasta R\$ 3,00 para restaurar ou reconstruir as estradas que não foram conservadas. Em relação ao Brasil, isto significa um prejuízo anual da ordem de R\$ 10 bilhões. Este valor não leva em conta os prejuízos advindos de mais de 33.000 mortes e cerca de 400.000 feridos e inválidos por ano (DENATRAN, 2004) em acidentes motivados, entre outras causas, pela precariedade da malha, pela falta de recursos para um melhor policiamento, controle e educação para o trânsito.

Sem recursos torna-se impossível investir em infra-estrutura viária. Para fazer frente ao quadro de degradação das rodovias brasileiras foi discutida e aprovada no Congresso Nacional a emenda Constitucional 33 (Lei nº. 10.336 de 19 de dezembro de 2001), a Contribuição de Intervenção do Domínio Econômico (CIDE), encarada inicialmente pelo setor como a tábua de salvação para os problemas já descritos que caracterizam o contexto rodoviário brasileiro, que desde meados da década de 1980 está carente de maiores investimentos. Os recursos arrecadados por meio da CIDE devem ser destinados: ao pagamento de subsídios a preços ou transporte de álcool combustível, gás natural, derivados do petróleo, ao financiamento de projetos ambientais relacionados com a indústria do petróleo e gás e ao financiamento de programas de infra-estrutura de transporte.

A CIDE incide sobre a importação e comercialização de gasolina, diesel, querosene de aviação e outros querosenes, óleos combustíveis, gás liquefeito de petróleo, inclusive o derivado de gás natural e de nafta e álcool etílico combustível. O valor da contribuição era de R\$ 0,18 por litro de gasolina e R\$ 0,07 por litro de álcool em meados de 2004. Desde 2001 a CIDE proporcionou uma arrecadação de R\$ 18 bilhões, estando prevista uma arrecadação de R\$ 5,6 bilhões para 2004 (Revista CNT, 2004).

Infelizmente, contrariando a finalidade para a qual foi criada a CIDE, os recursos estão sendo alocados para outros grupos de despesas, com forte redução de investimentos em infra-estrutura de transportes. Por exemplo, no orçamento de 2003, R\$ 4,24 bilhões foram para a reserva de contingência. Parte dos recursos também está sendo direcionada para pagamento de pessoal e encargos sociais, incluído na rubrica Seguridade Social para Pagamento de Aposentadorias e Pensões dos Servidores Civis. Outro desvio gritante é o pagamento de juros, encargos e amortização do estoque de todas dívidas anteriores do setor, inclusive as do antigo DNER e as do Fundo de Marinha Mercante, embora existam recursos próprios, definidos em lei.

O Supremo Tribunal Federal, em decorrência de ação promovida pela CNT, decidiu que o Governo somente poderá aplicar os recursos da CIDE em investimentos para os quais foi criada. Para tal fim, concedeu um prazo até novembro de 2004 para cumprimento da sentença.

No esforço de buscar mais recursos, o DNIT assinou em 2001 um contrato de financiamento com o Banco Mundial para o programa de Contrato de Restauração e Manutenção de Rodovias (CREMA). A intenção é recuperar 11 mil km de rodovias federais com os US\$ 274 milhões oriundos do Banco Mundial e mais US\$ 50 milhões do Banco Interamericano de Desenvolvimento.

O contrato garante uma concessão ao grupo vencedor para restaurar e manter trechos rodoviários por um período de cinco anos. O preço dos serviços é fixado no contrato e não pode ser alterado durante esse período. O CREMA surgiu da idéia de oferecer concessões de rodovias federais e estaduais em trechos de menor volume de tráfego, inviáveis para a cobrança de pedágio. Técnicos do Governo observam que o CREMA facilita a fiscalização por parte do Ministério dos Transportes e diminui os custos de manutenção das estradas. As empresas recuperam as rodovias nos primeiros dois ou três anos e a conservam nos demais (Transportes, 2001).

Por último, o Governo está apostando na regulamentação das chamadas parcerias público-privadas (PPP). Ao contrário das privatizações, o Estado se limita, basicamente, à regulação e à supervisão das atividades desenvolvidas pelo setor privado. Nos programas de PPP o Estado assume a liderança e busca alianças com o setor privado, para que este participe em uma ou mais etapas de um processo de investimento.

Uma outra questão a considerar no contexto rodoviário brasileiro é a necessidade de aprimorar a geometria de nossos traçados. As Normas do DNIT para projeto de rodovias foram atualizadas em 1999 e as do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Rio Grande do Sul (DAER) em 1991 sem discussões com representantes de montadoras e fabricantes de implementos rodoviários para avaliar a evolução da indústria, compatibilizar e mesmo limitar exageros que estão surgindo no desenho dos veículos de carga. O Brasil tem estradas antigas, construídas há muitos anos, adequadas para o “Fusca” ou o caminhão “FNM”, predominantes nos anos 60 do século passado.

Outra questão que precisa ser considerada no contexto de nossa realidade rodoviária é a Resolução nº. 164 do Contran (2004) que dispensa a Autorização Especial de Tráfego

(AET) para veículos com Peso Bruto Total (PBT) entre 45t e 57t. Trata-se, na verdade, de uma desburocratização da circulação do bitrem, veículo com dois semi-reboques acoplados a um cavalo mecânico. Este fato novo, em princípio, deverá motivar transportadores a adquirirem este tipo de veículo devido à maior produtividade dos fretes, podendo-se alterar ainda mais as condições de segurança, dos pavimentos e das pontes existentes. É um assunto para ser discutido com seriedade e cautela.

No campo do dimensionamento de pavimentos ainda há uma intensa utilização de métodos empíricos, desenvolvidos para condições de solos e climas diferentes de nosso meio físico tropical. Observam-se estudos em andamento para modernização de métodos de dimensionamento, como vem sendo feito particularmente na Universidade de São Paulo (USP) e na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Pode-se referir que somente em dezembro de 1994 foi oficializado um método de projeto de reforço com base na análise de modelos elásticos, o DNER-PRO 269/94 (DNER, 1995), que considera as propriedades resilientes de solos do subleito e materiais granulares do pavimento, reciclagem do concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), modelos de fadiga de misturas betuminosas brasileiras e cálculo de tensões e deformações através da teoria da elasticidade não-linear.

Deve-se registrar o uso de simuladores de tráfego no Brasil como fonte de obtenção de dados empíricos da maior importância. A tendência nacional e internacional volta-se para a utilização de simuladores de tráfego móveis e facilmente transportáveis para qualquer local da estrada para testar o pavimento sobre sensores previamente instalados que medem as tensões, deformações e deslocamentos no interior do pavimento. Os dados obtidos no campo servem de entrada para modelos matemáticos do estado de tensões e deformações de sistemas estratificados desenvolvidos pela mecânica dos pavimentos. A retroanálise dos módulos de resiliência a partir das deflexões obtidas com defletógrafos de impacto, de grande rendimento, também é uma ferramenta cada vez mais utilizada.

A reversão do cenário descrito nesta seção irá exigir dos gestores públicos e privados um planejamento estruturado de forma a permitir que a readequação das rodovias nacionais ocorra em ritmo bem mais intenso do que o atualmente verificado. Isto porque, além dos trechos já comprometidos, é também elevado o percentual de trechos em estado de depreciação. É necessário proporcionar melhores condições de trafegabilidade, segurança,

capacidade viária e fluidez para que as rodovias brasileiras atinjam patamares de eficiência satisfatórios e compatíveis com o desenvolvimento que se espera do país.

Os dados e informações apresentadas indicam que a falta de investimentos e modernização da rede viária constituem alguns dos maiores problemas de nossa realidade rodoviária. Pretende-se também demonstrar, através do presente trabalho, que uma adequada fiscalização por pesagem é uma ação necessária para manter o estado da rede rodoviária em condições razoáveis.

1.2 O transporte rodoviário de cargas

Não se pode questionar nem minimizar a importância do transporte rodoviário de cargas. Sem o transporte rodoviário, produtos essenciais não chegariam às mãos dos consumidores, indústrias não produziriam e o comércio externo seria mínimo. Qualquer nação fica praticamente paralisada se houver interrupção dos serviços prestados pelo setor. No Rio Grande do Sul, a dependência da economia ao transporte rodoviário é ainda maior.

A Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística (NTC, 2004), com base em informações de 2001 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), fornece uma série de dados que permitem traçar um perfil do transporte rodoviário de cargas: Quantidade de empresas transportadoras de cargas (ETC) 47.588; Transportadores de carga própria 50.000; Transportadores autônomos de cargas 402.000; Participação do transporte de cargas e passageiros no Produto Interno Bruto (PIB) 5,3%; Participação do transporte rodoviário de cargas no PIB 1,6%; Produção anual de caminhões 71.400; Quantidade de veículos de carga 1,8 milhões; Faturamento bruto do transporte rodoviário de cargas R\$ 20,4 bilhões e, Empregos diretos nas empresas de transporte rodoviário de cargas 389.421.

Apesar da grandeza dos dados acima, nos últimos anos os transportadores têm enfrentado uma crise financeira e operacional cujas conseqüências provocam o fechamento de empresas e uma redução no número de autônomos. O sistema de transporte rodoviário de cargas tem enfrentado problemas cuja causa principal, certamente, é a grande competitividade que decorre de uma economia globalizada, onde a redução de custos, muitas vezes comprime o valor dos fretes. Destaca-se também a recente alteração do paradigma da demanda por

transporte rodoviário, onde a procura está focada em transportadores organizados que sejam capazes de oferecer um preço conveniente, estocar, transportar rapidamente, fornecer no tempo solicitado e, se for o caso, até comprar os insumos encomendados.

Esta situação tem obrigado muitas empresas a amplas reformulações, adotando técnicas avançadas de logística como forma de crescimento e mesmo sobrevivência. Preço razoável, qualidade e tecnologia avançada juntamente com investimentos em conhecimento e informação têm mantido e desenvolvido algumas transportadoras em mercados cada vez mais competitivos.

Os Sindicatos e Federações de transportadores têm reivindicado medidas oficiais de regulamentação como possibilidade de contornar as dificuldades (inspeção veicular, responsável técnico, limitação de tempo de direção, etc.). Mesmo na presença de alguma regulamentação como no caso do limite máximo de peso por eixo e PBT, a fiscalização tende a ser inoperante ou mesmo inexistente, tornando o esforço regulatório ineficaz.

A produtividade do transporte de cargas no Brasil é deficiente, atingindo segundo a CNT e a Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Administração (COPPEAD) da UFRJ (CNT e COPPEAD, 2002), apenas 22% daquela registrada no sistema de transporte dos Estados Unidos. Algumas empresas e associações de pequenos e médios empresários, na busca de melhores resultados, estão começando a trabalhar quase que exclusivamente com composições de veículos de carga (CVC's), particularmente, bitrens eletrônicos, com maior capacidade de carga, maior potência, motores mais duráveis e menor consumo de combustível.

Os maiores desdobramentos dessas questões provocaram várias paralisações de caminhoneiros promovidas por diversos sindicatos do setor. A de maior repercussão ocorreu em julho de 1999 com alguns reflexos no abastecimento de produtos e mercadorias.

Além do baixo preço dos fretes, as maiores queixas dos transportadores, principalmente dos autônomos, relacionam o mau estado de trafegabilidade das rodovias, os custos adicionais com o pedágio e as pesadas multas pagas em operações de fiscalização de veículos em pontos da malha.

A pesquisa intitulada “O caminho para o transporte no Brasil” (CNT e COPPEAD, 2002) revela que 51,5% dos caminhoneiros autônomos, para fazer frente às dificuldades, trabalham entre 13 e 19 horas e 10,4% declararam trabalhar mais de 20 horas por dia. A pesquisa aponta, ainda, que 56,8% dos entrevistados trabalham em média sete dias por semana e outros 20,5% trabalham seis dias por semana.

Parte do setor, além da jornada excessiva, trafega com excesso de carga e manutenção inadequada do veículo. Os excessos de carga, o uso de maior jornada e maiores velocidades de percurso aumentam ainda mais a capacidade de oferta instalada, levando, pelas leis do mercado, a uma redução ainda maior no preço dos fretes.

Segundo a pesquisa CNT e COPPEAD, citada anteriormente, a frota brasileira de carga, no final de 2002, possuía uma idade média de 18 anos. Os cálculos indicam que em função da quantidade de veículos novos adquiridos a cada ano, seriam necessários mais de trinta anos para substituir os veículos de carga com idade média tão avançada.

Outro assunto que afeta dramaticamente o transporte rodoviário de carga é o roubo de cargas. O número de ocorrências por ano cresceu de 3.000 para um valor próximo de 8.000 entre os anos de 1994 e 2001. Em 2002 foram registradas precisamente 11.951 ocorrências, o que significa, em valores um prejuízo de R\$ 575 milhões. Os números após 2002 mostram uma tendência à estabilização, segundo informações fornecidas pelo consultor Paulo Roberto de Souza (2004). Refere, ainda que 83,7% dos roubos de cargas ocorrem na região sudeste e 80,6% acontecem nos Estados do Rio de Janeiro e São Paulo. Uma das principais causas dos roubos é a condição de que a receptação das cargas é crime com pena leve. Desta forma, com os benefícios da lei e a possibilidade de conversão da pena, o máximo que o receptador fica na cadeia é quatro meses. O crime, neste caso, parece compensar. Por outro lado, a fonte consultada indica também que as empresas que investiram em gerenciamento de riscos diminuíram a sinistralidade e conseguiram redução no seguro de 30 a 40%.

Uma iniciativa governamental para beneficiar o setor do transporte rodoviário de carga foi a criação do Modercarga que é um programa de financiamento para aquisição de veículos de cargas destinado a pessoas físicas e empresas de transporte (micro, pequena e média). O

valor liberado pelo Conselho Monetário Nacional (CMN) chega a R\$ 2 bilhões, dos quais R\$ 600 milhões são destinados à aquisição de veículos usados. De acordo com a Resolução 3.166/03 do CMN o financiamento cobre apenas 70,0% do bem a ser adquirido. Aparentemente o Modercarga parece não ter despertado muito entusiasmo entre os transportadores, pois a taxa de 17,0% ao ano, não traz vantagens em relação aos juros praticados no mercado (Carga Pesada, 2004a).

Nos últimos dez anos ocorreram dois períodos de notado crescimento da demanda por caminhões de carga, fazendo com que os pedidos fossem superiores à oferta. No segundo semestre de 1994 e durante 1995, segundo Luft (1995), as montadoras não conseguiram entregar as encomendas no prazo, chegando a atrasos de até 120 dias. Este aquecimento do setor deveu-se ao ritmo de crescimento da economia brasileira, bastante superior à reposição da frota. Na época, os empresários do setor também reclamavam da má conservação das estradas e da falta de financiamento para a compra de veículos.

Somente em 2004, a venda de caminhões voltou a crescer. Em março foram vendidos no mercado interno 7.306 caminhões nacionais e importados, número 42,5% superior ao do mesmo período de 2003 e 34,5% maior do que em fevereiro, segundo a Associação Nacional de Fabricantes de Veículos (ANFAVEA). A principal causa do aquecimento foi atribuída ao aumento da demanda por transporte oriunda do setor agrícola, estimulada por uma grande safra.

Deve-se ressaltar que com a utilização mais intensa dos bitrens a capacidade de carga dos caminhões atuais é muito maior do que os de 20 anos atrás, sobretudo dos utilizados no transporte da safra. Em 2003, mais da metade das vendas de caminhões foi de bitrens e 48,0% foram para o transporte de grãos (Carga Pesada, 2004b).

1.3 Justificativas e motivações para o desenvolvimento da tese

Na busca de soluções para as atuais questões e objetivando a redução de custos dos investimentos em pavimentação rodoviária, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e o DAER celebraram, em 1992, um protocolo de colaboração técnico-científica

para estudos de alternativas econômicas para pavimentação de rodovias coletoras e o desenvolvimento de pesquisas na área de pavimentação. A partir deste convênio, foram construídos um simulador de tráfego e uma Área de Pesquisas e Testes, localizados no Campus do Vale da UFRGS, em Porto Alegre cujos detalhes construtivos e operacionais estão descritos por Núñez (1997).

As facilidades de utilização dos recursos da Área de Pesquisas e Testes e do simulador de tráfego, através dos quais pode-se quantificar os efeitos nocivos decorrentes do aumento descontrolado da carga por eixo em pavimentos de diferentes espessuras e o desenvolvimento de análises estatísticas através da variação da carga por eixo e da pressão de inflação dos pneus no simulador, foi uma condição estimulante e motivadora na escolha do assunto e no desenvolvimento da tese.

As investigações e estudos sobre este tema iniciaram com a elaboração da dissertação de mestrado do autor “Efeitos da variação da carga por eixo, pressão de inflação e tipo de pneu na resposta elástica de um pavimento”, apresentada em agosto de 1998 (Albano, 1998). As principais conclusões indicam que a pressão de inflação dos pneus está 25,0% maior do que aquela praticada nas décadas de 60 e 70, quando foram concebidos os principais métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis, muitos ainda vigentes. Constatou-se também que os excessos de pressão de inflação dos pneus colaboram na deterioração dos pavimentos delgados. A referida dissertação comprova cientificamente que um dos principais agentes da destruição de pavimentos é o excesso de carga por eixo. Excessos de 20% sobre o valor da carga máxima por eixo, permitida pelo Código de Trânsito Brasileiro - CTB, indicam reduções na vida útil prevista para um pavimento delgado em até 80%.

O estado precário das rodovias e a falta de manutenção adequada da rede estão a exigir uma conscientização maior das autoridades e dos usuários. Por muitas razões, recursos investidos na ampliação e conservação da rede rodoviária não têm retornado na forma de rodovias confortáveis e seguras à população em geral. Estas situações também serviram de convite a esta iniciativa.

O transporte de cargas e a sua relação com a longevidade das rodovias pavimentadas também são causas que inspiraram a investigação pretendida por este trabalho. A colaboração

do DAER e das empresas concessionárias de rodovias constituíram grandes facilidades para o desenvolvimento da tese.

O DNIT e praticamente todos os Departamentos de Estradas de Rodagem (DER's) do Brasil, tendo em vista a importância da malha rodoviária no desenvolvimento da economia, em muito boa hora, estão definindo objetivos mais concretos na política de extensão e conservação de suas redes. Assim, junto com a adoção de tecnologias baseadas na aplicação de novas misturas de materiais e novas técnicas de construção, estes órgãos voltam-se para o controle de tráfego e o controle de peso dos veículos de carga, na busca de uma maior durabilidade da rede pavimentada, redução dos custos de conservação e operação e também para a obtenção de dados mais reais para o dimensionamento e restauração de pavimentos. Este estudo pretende ajudar como um apoio técnico para estas ações.

A questão da pesagem também preocupa o Ministério dos Transportes que informa que os excessos de carga transportados pelos caminhões nas rodovias causam prejuízos anuais de R\$ 1,5 bilhão aos cofres do Governo. Segundo a mesma fonte, este dinheiro daria para terminar a duplicação da rodovia Fernão Dias (BR 381) que liga São Paulo a Belo Horizonte ou concluir 79% do trecho sul do Rodoanel, na capital paulista, calculado em torno de R\$ 1,9 bilhão (Ministério dos Transportes, 2004).

Nos últimos anos, o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e o Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD), têm assinado vários contratos de empréstimos para aplicação de recursos na reconstrução e manutenção de infra-estrutura pública, aos quais, em contrapartida, deverão ser cumpridas exigências quanto aos investimentos viários, particularmente no que diz respeito ao planejamento das obras, ao controle de peso e à segurança de trânsito, objetos do presente estudo.

No Brasil pouco se leva em consideração a opinião do usuário do sistema viário quando se projetam alterações na operação das vias. Somente nos últimos anos algumas ações de planejamento têm sido baseadas em pesquisas para elaborar os planos e programas de gerenciamento e questões de interface com o usuário. Assim, ao programar um levantamento das opiniões, comportamentos e avaliar o grau de sensibilidade que os transportadores e técnicos têm quanto à necessidade de um sistema de pesagem e ponderar a importância que é

dada a cada elemento detectado, irão surgir novos elementos cuja determinação e conhecimento também são motivadores do trabalho. Os resultados obtidos com a pesquisa de opinião, seguramente, deverão influenciar a programação e a implantação de sistemas de pesagem de veículos de carga.

Por fim, doses de idealismo e patriotismo também ajudaram a encontrar disciplina e determinação para a elaboração do estudo.

1.4 Objetivos

Diante das condições precárias da rede de rodovias pavimentadas, da situação de crise vivida pelo transporte rodoviário de cargas (TRC) e, considerando as justificativas, facilidades e motivações que apoiaram o trabalho, decidiu-se desenvolver a presente tese com o objetivo principal de estudar os efeitos provocados por excesso de carga sobre pavimento e a relação existente com a durabilidade prevista para os mesmos. Com a mesma finalidade, resolveu-se avaliar também os efeitos da variação da pressão de inflação dos pneus e da espessura dos pavimentos flexíveis.

Com a finalidade de encaminhar soluções para os problemas comentados nas seções anteriores, observa-se que muitos órgãos rodoviários pretendem implementar, entre outras providências, uma sistemática contínua de pesagem de veículos de carga para preservar o patrimônio rodoviário implantado. Assim, pretende-se também, com o trabalho, fornecer informações, justificativas, argumentos e orientações gerais para todas organizações interessadas em iniciar ou reformular planos de fiscalização por pesagem em rodovias em âmbito nacional ou internacional.

Pretende-se, ainda, com o desenvolvimento da tese, através da ampliação do conhecimento existente, conscientizar autoridades e usuários do sistema sobre a importância e a necessidade de implementação de fiscalização por pesagem, colaborando com a boa prática de operação das rodovias.

Discriminam-se também objetivos específicos, listados a seguir:

- a) Reunir e comentar a legislação brasileira, inclusive Resoluções do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), sobre assuntos de interesse do transporte rodoviário de cargas, especialmente referentes a questões de excesso de peso, limites e tolerâncias;
- b) Pesquisar e descrever as principais tecnologias de pesagem disponíveis, comentando o funcionamento, vantagens e desvantagens da utilização de cada uma;
- c) Determinar as significâncias dos fatores espessura do pavimento, carga por eixo e pressão de inflação dos pneus e suas interações sobre a deflexão superficial recuperável;
- d) Desenvolver um *ranking* com a hierarquia entre os fatores utilizados no experimento, definindo-se uma escala de valores da influência de cada um sobre a variável de resposta e, por conseqüência, sobre a integridade dos pavimentos estudados;
- e) Propor um modelo de previsão da deflexão superficial recuperável em função das variáveis independentes influentes no processo de deterioração dos pavimentos;
- f) Comparar medições e resultados experimentais obtidos nos pavimentos da Área de Pesquisas e Testes com os deslocamentos e Fatores de Equivalência de Cargas (FEC) calculados através do programa ELSYM5, normalmente utilizado para sistemas de camadas elástico-lineares;
- g) Determinar os percentuais de redução da vida útil prevista para os pavimentos através da variação de FEC empírico-mecanísticos;
- h) Determinar os efeitos da falta de fiscalização por pesagem em rodovias da malha viária arterial do Rio Grande do Sul através do desenvolvimento de uma pesquisa com base na frota de veículos de carga das rodovias BR/386, BR/290, BR/287 e BR/285;
- i) Executar uma avaliação funcional e econômica das conseqüências da inexistência de pesagem em rodovias através do programa *Highway Development and Management System* (HDM 4);
- j) Realizar uma pesquisa de opinião com amostras representativas de motoristas, técnicos e empresários para avaliar a percepção dos mesmos quanto aos possíveis inconvenientes, benefícios e importância da pesagem. Os dados da pesquisa poderão servir de indicadores para implantação de planos de pesagem e, por último,
- k) Chamar a atenção e conscientizar usuários e autoridades rodoviárias quanto aos prejuízos financeiros, econômicos e a redução da segurança viária decorrente dos excessos de cargas que são praticados.

1.5 Organização e método

Para atingir os objetivos propostos em 1.4, organizou-se um projeto de pesquisa complementado por um cronograma de trabalho definido com o orientador e discutido com especialistas desta área de conhecimento.

O desenvolvimento do trabalho contou com o apoio dos colegas e da chefia do Departamento de Engenharia de Produção e Transportes (DEPROT), da Coordenação e integrantes do Laboratório de Sistemas de Transportes (LASTRAN) da Escola de Engenharia da UFRGS, da Diretoria de Operação e Concessões do DAER e da Coordenação e integrantes da Área de Pesquisas e Testes da UFRGS/DAER.

Optou-se por aprofundar o detalhamento dos métodos e procedimentos adotados no desenvolvimento da tese ao longo de cada Capítulo (capítulos 3 a 5). Apresenta-se, a seguir, uma síntese dos capítulos e métodos adotados.

O primeiro passo foi o desenvolvimento de uma ampla revisão para tomar conhecimento dos principais estudos semelhantes. Para tal finalidade utilizaram-se muitos sítios na Internet de organizações especializadas, informações digitalizadas na forma de CD-ROM, livros, anais de congressos, revistas, boletins e, principalmente, periódicos nacionais e estrangeiros.

O Capítulo 2 da tese intitulado Revisão está organizado por abordagem individualizada dos seguintes assuntos: Limites de carga e legislação; O fator de equivalência de cargas como indicador das condições estruturais do pavimento; A deflexão superficial recuperável como variável de resposta de um pavimento flexível; Excessos de carga, vida útil e danos nos pavimentos; Efeitos da pressão de inflação dos pneus e da espessura do pavimento e Fiscalização por pesagem.

As seções relativas ao fator de equivalência de cargas e à deflexão superficial apresentam, além de uma abordagem conceitual e teórica, um aprofundamento em assuntos de interesse metodológico. Nas demais seções, descrevem-se o estado-da-arte dos fatores: carga

por eixo, pressão de inflação e espessura e suas relações com a longevidade de pavimentos, tecnologias de pesagem e os aspectos legais constantes na legislação.

O Capítulo 3 descreve a realização de um experimento fatorial cruzado com três fatores, realizado na Área de Pesquisas e Testes da UFRGS/DAER. O experimento foi programado para testar a significância dos fatores carga por eixo, pressão de inflação e espessura do pavimento e suas interações sobre a deflexão superficial recuperável. Os resultados foram avaliados com o auxílio de uma análise de variância e gráficos interpretativos.

Foram ensaiados dois pavimentos: um delgado cujos valores da variável de resposta (deflexão) foram importados da dissertação do autor (Albano, 1998) e outro espesso com valores da deflexão obtidos através do Simulador de Tráfego com equipamentos adequados. A condição de enquadramento em um padrão de espessura foi associada ao número estrutural do pavimento.

Na seqüência, utilizando-se os dados do experimento em um modelo de regressão múltipla, definiu-se a hierarquia de importância entre os fatores e interações intervenientes no processo e uma equação de previsão da deflexão recuperável para auxiliar na verificação do desempenho pavimentos a partir dos fatores carga por eixo e número estrutural.

Com os dados do experimento e com base em fundamentos da mecânica dos pavimentos e tradicionais parâmetros empíricos, determinaram-se os fatores de equivalência de cargas para as combinações entre os fatores. Considerando-se incrementos de 20% sobre a carga máxima permitida, calculou-se a redução da vida inicialmente prevista para os pavimentos estudados através da variação no valor dos FEC's. Para efeito de comparação com os elementos experimentais, utilizou-se também o programa de camadas elástico-lineares Elastic Layered System (ELSYM5) para a verificação da redução da durabilidade prevista dos pavimentos.

Na verdade as projeções de redução da vida prevista dos pavimentos estudados no Capítulo 3 expressam indicações de durabilidade, pois decorrem de ensaios desenvolvidos em verdadeira grandeza, porém com a ação do tráfego representada pelo deslocamento de um

semi-eixo simples de rodado duplo do simulador. Então, com a finalidade de ampliar o estudo, decidiu-se partir para uma determinação dos efeitos sobre os pavimentos determinados pela ação de toda frota de veículos de carga nas situações de presença de pesagem e com a inexistência desta.

Com estes objetivos, desenvolveu-se uma pesquisa de campo descrita no Capítulo 4. A frota comercial foi levantada por contagens volumétricas qualificadas. Contou-se também, de forma seletiva, os veículos carregados e vazios. As hipóteses de carga da frota foram estabelecidas com base em valores aconselhados por especialista do Banco Mundial e dados disponíveis na literatura. Com os dados ajustados calculou-se o Fator de Veículo e a projeção do tráfego através da evolução do número N , para um horizonte de projeto de 10 anos. Variando-se a carga da frota de acordo com as hipóteses de existência ou não de fiscalização por pesagem, determinaram-se incrementos nos danos provocados aos pavimentos e a redução da durabilidade prevista. Por fim, ainda no Capítulo 4, desenvolveu-se uma análise funcional e econômica dos pavimentos através da utilização do programa HDM 4, do Banco Mundial.

Os Capítulos 3 e 4, sintetizados anteriormente, procuram demonstrar e quantificar danos e alterações na durabilidade prevista dos pavimentos. Este é o problema! A solução desta questão passa pela maior conscientização de transportadores, embarcadores e autoridades governamentais e o encaminhamento de ações efetivas de fiscalização por pesagem em pontos estratégicos da malha.

Por estes motivos, decidiu-se desenvolver, no Capítulo 5, uma pesquisa de opinião para levantar a percepção de motoristas, técnicos e empresários sobre o universo da pesagem. Procurou-se detectar o pensamento dos partícipes responsáveis por este subsistema de operação da via. Programou-se também uma comparação entre os grupos pesquisados. A pesquisa foi planejada para utilizar métodos qualitativos tradicionais, técnicas usuais de estratificação de amostras e elementos de estatística descritiva.

Os planos e ações de fiscalização por pesagem, doravante desenvolvidos por órgãos rodoviários, poderão considerar os resultados desta pesquisa e obter maiores indicações para o sucesso em seus empreendimentos.

As principais conclusões estão exaradas em 24 itens do Capítulo 6, dentre as quais destacam-se: Comprovação da alta significância dos fatores carga por eixo e espessura do pavimento no desempenho estrutural dos mesmos; A pressão de inflação dos pneus é significativa no valor da deflexão superficial somente no pavimento delgado, sendo praticamente desprezível no espesso; Quando a carga por eixo simples de rodado duplo do simulador de tráfego utilizado passa de 100 kN para 120 kN (20% de excesso), calcula-se uma redução de 48,3% da durabilidade prevista do pavimento espesso ensaiado. No pavimento delgado, considerando-se as mesmas condições, porém com os pneus inflados a uma pressão de 689 kPa, a redução da vida útil prevista é da ordem de 67,3%; A hipótese de pesagem nas rodovias estudadas indica um aumento médio de 4,0% no VDMA; Os estudos desenvolvidos com base nas hipóteses de carregamento da frota indicam que a inexistência de pesagem provoca uma redução na durabilidade prevista dos pavimentos em cerca de 23,0%; Constatou-se que para um período de análise de 20 anos, quando existe pesagem são necessárias duas operações de recapeamento, ao passo que quando não existe fiscalização dos limites de carga, dentro dos mesmos critérios e condições são necessários três recapes e os custos de manutenção do pavimento aumentam cerca de 33,0%; Com relação a vantagens ou compensações obtidas ao trafegar com sobrecargas 67,6% dos motoristas, 64,8% dos técnicos e 62,5% dos empresários julgam que não existem vantagens ou as mesmas são poucas e, por último, 66,9% dos motoristas, 100,0% dos técnicos e 80,0% dos empresários atribuem grande importância e indicam a necessidade de fiscalização por pesagem nas rodovias.

As conclusões da tese estão restritas aos limites dos equipamentos e métodos utilizados, aos pavimentos ensaiados, à variação dos fatores, das contagens, da composição das frotas e demais hipóteses e parâmetros adotados. Maiores projeções além das conclusões devem ser feitas com cautela e reservas.

2. Revisão

2.1 Limites de carga e legislação

Em 23 de setembro de 1997, após longa tramitação no Congresso Nacional, foi sancionada pelo Presidente da República a Lei que institui o Código de Trânsito Brasileiro (CTB). O mesmo entrou em vigor em 22 de janeiro de 1998, transcorridos 120 dias após a sua publicação no Diário Oficial da União (Brasil. Lei nº 9.503, 1997).

Esta alteração da configuração legal, que ordena as relações e regras de trânsito no país, atualmente completando quase sete anos, ainda está em processo de adaptação pela população de usuários do sistema através de mudanças nos hábitos dos condutores de veículos, pedestres e autoridades, seguramente direcionados no sentido uma necessária diminuição dos conflitos existentes.

No que se refere à área de legislação, particularmente sobre o transporte de cargas, encontra-se uma literatura técnica ampla dentre a qual destacam-se, além do texto da Lei 9.503/97, as seguintes publicações com informações e comentários: Coletânea de Legislação de Trânsito (Portão, 2000) e Código de Trânsito Brasileiro (2001). No sítio da empresa concessionária Nova Dutra (2004) há uma síntese da legislação que regula o funcionamento das balanças.

Os artigos do CTB de maior interesse na área do transporte rodoviário de cargas e da presente tese são os seguintes:

Art. 20. Compete à Polícia Rodoviária Federal, no âmbito das rodovias e estradas federais:

...

III – aplicar e arrecadar as multas impostas por infrações de trânsito, as medidas administrativas decorrentes e os valores provenientes de

estada e remoção de veículos, objetos, animais e escolta de veículos de carga superdimensionadas ou perigosas;

“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 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 metodologia e na periodicidade estabelecidas pelo CONTRAN, ouvido o órgão ou entidade de metrologia legal.

Art. 100. Nenhum veículo ou combinação de veículos poderá transitar com lotação de passageiros, com peso bruto total, ou peso bruto total combinado com peso por eixo, superior ao fixado pelo fabricante, nem ultrapassar a capacidade máxima de tração da unidade tratora.

Art. 101. Ao veículo ou combinação de veículos utilizados no transporte de cargas indivisível, que não se enquadre nos limites de peso e dimensões estabelecidos pelo CONTRAN, poderá ser concedida, pela autoridade com circunscrição sobre a via, autorização especial de trânsito, com prazo certo, válida para cada viagem, atendidas as medidas de segurança consideradas necessárias.

Art. 117. Os veículos de transporte de carga e os coletivos de passageiros deverão conter, em local facilmente visível, a inscrição indicativa de sua tara, do peso bruto total, do peso bruto total combinado ou capacidade máxima de tração e de sua lotação, vedado o uso em desacordo com sua classificação.

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. 231. Transitar com o veículo:

V - Com excesso de peso, admitido percentual de tolerância quando aferido por equipamento, na forma a ser estabelecida pelo CONTRAN:

Infração - média;

Penalidade - multa (80 Ufir) 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 mil quilogramas - 20 (vinte) UFIR;
- d) De um mil e um a três mil quilogramas - 30 (trinta) UFIR;
- e) De três mil e um quilogramas 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;

Art. 257. As penalidades serão impostas ao condutor, ao proprietário do veículo, ao embarcador e ao transportador, salvo os casos de cumprimento de obrigações e deveres impostos a pessoas físicas ou jurídicas expressamente mencionadas.

Art. 275. O transbordo da carga com peso excedente é condição para que o veículo possa prosseguir viagem e será efetuado às expensas do proprietário do veículo, sem prejuízo da multa aplicável.

Parágrafo único. Não sendo possível desde logo atender ao disposto neste artigo, o veículo será recolhido ao depósito, sendo liberado após sanada a irregularidade e pagas as despesas de remoção e estadia.

Art. 278. Ao condutor que se evadir da fiscalização, não submetendo o 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.

Art. 327. A partir da publicação deste Código, somente poderão ser fabricados e licenciados veículos que obedeçam aos limites de peso e dimensões fixados na forma desta Lei, ressalvados os que vierem a ser regulamentados pelo CONTRAN.

Considera-se excesso de peso de um veículo, quando este veículo transitando em uma rodovia transmitir ao pavimento, através de seus pneumáticos uma massa maior do que aquela prevista para o modelo do veículo fixado pelo fabricante.

Apresenta-se na Tabela 1 uma discriminação do Art. 231 item V, com o cálculo do valor das multas por excesso de carga com base no valor da Ufir de R\$ 1,0641, congelado desde novembro de 2002. Construiu-se também a Figura 1 com a evolução do valor das multas em reais. A linha de tendência é uma polinomial de 2ª ordem. A equação da regressão e o coeficiente de determinação constam junto ao gráfico. Os valores fornecidos são os praticados pelo DAER do Rio Grande do Sul nas operações de fiscalização por pesagem nas rodovias estaduais.

Tabela 1 – Cálculo do valor da multa por excesso de carga

Faixa de Excesso kg PBT	Art. 231 V, Letra	Fator de Multiplicação em Ufir	Frações 200 kg	Acréscimo em Ufir	Básico multa ufir	Valor final Ufir	Valor em Reais
001-200	A	5	1	5	80	85	90,45
401-600	A	5	3	15	80	95	101,09
801-1000	C	20	5	100	80	180	191,54
1201-1400	D	30	7	210	80	290	308,59
1601-1800	D	30	9	270	80	350	372,44
2001-2200	D	30	11	330	80	410	436,28
2401-2600	D	30	13	390	80	470	500,13
2801-3000	D	30	15	450	80	530	563,97
3201-3400	E	40	17	680	80	760	808,72
3601-3800	E	40	19	760	80	840	893,84
4001-4200	E	40	21	840	80	920	978,97
4401-4600	E	40	23	920	80	1000	1064,10
4801-5000	E	40	25	1000	80	1080	1149,23
5201-5400	F	50	27	1350	80	1430	1521,66
5601-5800	F	50	29	1450	80	1530	1628,07
6001-6200	F	50	31	1550	80	1630	1734,48
6401-6600	F	50	33	1650	80	1730	1840,89
6801-7000	F	50	35	1750	80	1830	1947,30

Fonte: Art. 231 do CTB (BRASIL. LEI Nº 9.503, 1997).

Segundo informações divulgadas no sítio Guia do Transporte Rodoviário de Cargas (2004a), cabem os seguintes comentários sobre as responsabilidades pelo pagamento das multas devido ao excesso de carga, de acordo com o Art. 257 do CTB:

- Embarcador – O embarcador é responsável pela infração relativa ao transporte de carga com excesso de peso nos eixos ou PBT, quando simultaneamente for o único remetente da carga e o peso declarado na nota fiscal, fatura ou manifesto for inferior aquele aferido;

- Transportador – O transportador é o responsável pela infração relativa ao transporte de carga com excesso de peso nos eixos ou quando a carga proveniente de mais de um embarcador ultrapassar o PBT;
- Embarcador e transportador – O Transportador e o embarcador são solidariamente responsáveis pela infração relativa ao excesso de PBT, se o peso declarado na nota fiscal, fatura ou manifesto for superior ao limite legal e,
- Motorista – O motorista responde, apenas, pelas infrações decorrentes de atos praticados na direção do veículo, que são aqueles que contrariam as normas de circulação, estabelecidas no CTB em seus artigos 25 a 50.

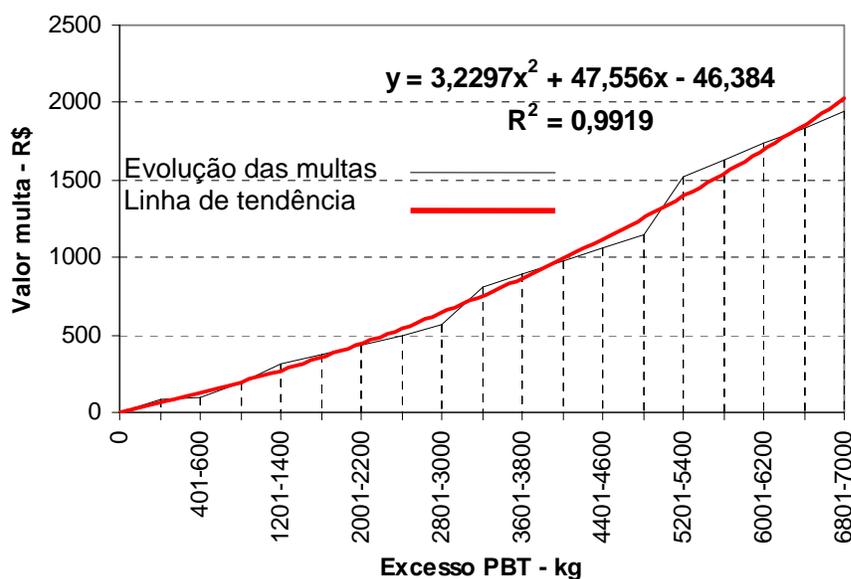


Figura 1 – Evolução do valor das multas por excesso de carga

O artigo 314 do capítulo XX do CTB intitulado Disposições Finais e Transitórias, estabelece um prazo (240 dias) a partir da publicação do Código para o Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN expedir as Resoluções necessárias à melhor compreensão e execução desta nova Lei. Deve também o CONTRAN revisar as Resoluções anteriores.

As Resoluções de maior interesse para o transporte rodoviário de cargas são as seguintes:

- Resolução Nº 12, de 6 de fevereiro de 1998. Estabelece limites de peso e dimensões para veículos que transitam por vias terrestres (CONTRAN, 1998a);
- Resolução Nº 62, de 21 de maio de 1998. Regulamenta o uso de pneus extralargos em eixos tandem de semi-reboques e reboques dotados de suspensão pneumática (CONTRAN, 1998b);
- Resolução Nº 68 de 23 de setembro de 1998. Estabelece os requisitos de segurança necessários à circulação de CVC's (CONTRAN, 1998c);
- Resolução Nº 102, de 31 de agosto de 1999. Estabelece a tolerância máxima de 7,5% sobre o peso bruto transmitido por eixo de veículos à superfície das vias públicas (CONTRAN, 1999a);
- Resolução Nº 104, de 21 de dezembro de 1999. Dispõe sobre a tolerância máxima de peso bruto de veículos e estabelece o critério do PBT para aplicação de multas (CONTRAN, 1999b);
- Resolução Nº 108 de 21 de dezembro de 1999. Dispõe sobre a responsabilidade pelo pagamento de multas. (CONTRAN, 1999c);
- Resolução Nº 114, de 5 de maio de 2000. Complementa a Resolução 104/99. Autoriza uma tolerância de 5,0% sobre o peso bruto declarado na Nota Fiscal (CONTRAN, 2000);
- Resolução 164 de 10 de setembro de 2004. Ficam dispensados da AET os veículos com PBT, superior a 45t e até 57 toneladas. Os órgãos com circunscrição sobre a via deverão proceder as devidas adequações até no máximo 15 de dezembro de 2004 (CONTRAN, 2004).

Uma das características do Código de Trânsito Brasileiro que tem recebido maior destaque nas discussões da sociedade, principalmente nos primeiros anos de vigência, é em relação ao rigor das penalidades, não só pelo valor pecuniário das multas, mas também por outras conseqüências, como a pontuação que pode implicar na suspensão do direito de dirigir. Segundo Araújo (2000), o rigor desta Lei tem dois ângulos importantes, pois se de um lado coíbe a ocorrência de infrações, por outro pode servir de estímulo à corrupção por agentes que se utilizam deste rigor para “persuadir” o usuário a resolver o problema.

Pode-se admitir que o CTB ainda está em processo de aperfeiçoamento, necessitando maiores discussões por especialistas e pela sociedade. Como exemplo pode-se citar a necessidade de regulamentação e implementação da inspeção veicular. A missão do CTB é

boa, pois sem legislação nada se pode fazer no sentido de melhorar o sistema. Observa-se, na exposição de motivos ao Presidente da República feita pelo Ministro da Justiça (BRASIL, 1993) quando do encaminhamento do projeto de Lei, que o novo Código, além de dar novas atribuições, poderes e responsabilidades aos órgãos responsáveis pelo trânsito, visa a segurança uma vez que está focado no seguinte princípio: “o trânsito seguro passa a ser um direito da cidadania”.

A legislação aponta os seguintes conceitos e limites de carga com interesse para a presente tese:

- Peso Bruto Total é o peso máximo que o veículo pode transmitir ao pavimento, considerando a tara mais a lotação (carga máxima útil);
- Peso Bruto Total Combinado (PBTC) e/ou Capacidade Máxima de Tração (CMT) é o peso máximo que pode ser transmitido ao pavimento pela combinação de um caminhão trator mais seu semi-reboque ou de caminhão trator mais seu reboque;
- São considerados eixos tandem, dois ou mais eixos que constituam um conjunto integral de suspensão, podendo ou não qualquer deles ser motriz;
- O limite máximo do PBT ou PBTC é de 450 kN (45 tf);
- O limite máximo de peso bruto por eixo simples isolado, equipado com rodado duplo é de 100 kN (10 tf);
- O limite máximo de peso bruto por eixo simples isolado, equipado com rodado simples é de 60 kN (6 tf);
- O limite máximo de peso bruto por eixo tandem duplo, quando a distância entre dois planos verticais que contenham os centros das rodas for superior a 1,20 m ou inferior (ou igual) a 2,40 m é de 170 kN (17 tf);
- O limite máximo do peso bruto por eixo tandem triplo (aplicável somente para semi-reboques), quando a distância entre os três planos verticais que contenham os centros das rodas for superior a 1,20 m e inferior (ou igual) a 2,40 m é de 255 kN (25,5 tf);
- Os limites máximos de carga por eixo tandem equipado com pneu extralargo são de 160kN e 240kN, respectivamente para eixos em tandem duplo e triplo;
- Nenhum veículo ou combinação de veículo poderá transitar com PBT ou PBTC superior ao fixado pelo fabricante, nem ultrapassar a capacidade máxima de tração da unidade tratora;

As Resoluções 102/99 e 104/99 do CONTRAN são nocivas à integridade dos pavimentos. A tolerância de 7,5% de excesso de carga por eixo decorreu de negociações entre Governo e caminhoneiros, após uma paralisação nacional em julho de 1999. Não se tem conhecimento de estudos técnicos que embasem esta decisão. Investigações executadas no LASTRAN da UFRGS, relativas ao aumento do número N devido ao acréscimo de tolerância de carga por eixo, indicam que há uma redução de 10 a 15% na vida útil dos pavimentos. Sobre este assunto Albano (2001) manifesta que: “Já é hora de se repensar na revogação ou mesmo anulação dessas Resoluções, tendo em vista a maior durabilidade dos pavimentos viários”.

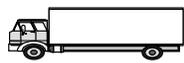
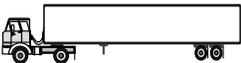
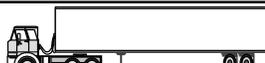
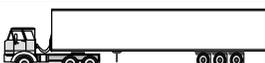
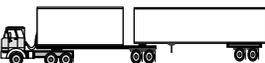
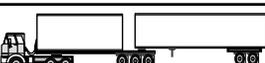
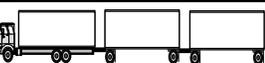
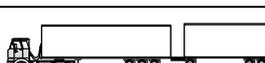
O DAER (1992), através de sua Comissão de Circulação Viária, divulgou uma tabela com o resultado de um trabalho de levantamento de dados junto aos fabricantes, contendo os limites de peso por marca e modelo de veículos de carga como instrumento de apoio nas operações de fiscalização. O levantamento executado pelo DAER detectou que alguns veículos de carga estão saindo de fábrica com capacidade superior àquela permitida pelo CTB. Todos os programas dos computadores que integram os equipamentos de pesagem possuem os limites máximos de peso por cada marca e modelo de veículo de carga.

Apresenta-se no Quadro1 a configuração dos principais veículos e combinações e os limites legais máximos de carga por conjunto de eixos isolados e o PBT estabelecidos pela legislação brasileira.

As limitações e o controle do peso dos veículos não são muito fiscalizados no Brasil, principalmente devido à falta de iniciativas do DNIT e à ausência de uma cultura de preservação do patrimônio rodoviário por parte dos DER's. Felizmente, nos últimos anos parece que tanto o DNIT como os DER's estão tomando algumas medidas no sentido de preservar a malha viária e otimizar o investimento de recursos públicos através de ações como planos de pesagem e implementação dos mesmos.

Por outro lado, em muitos países da Europa, Estados Unidos, Canadá e Austrália esta questão é levada a sério. Apresentam-se, na Tabela 2 as limitações de carga existentes em alguns países da Europa:

QUADRO 1 – Classificação e limites de carga dos principais veículos da frota brasileira

Tipos de Veículos	Classificação DNIT	Peso máximo por conjunto de eixos kN						PBT
		CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	CE6	
	2U	60	100					160
	3U	60	170					230
	2S1	60	100	100				260
	2S2	60	100	170				330
	2S3	60	100	255				415
	3S2	60	170	170				400
	3S3	60	170	255				485
	2UR2	60	100	100	100			360
	3UR2	60	170	100	100			430
	3UR3	60	170	100	170			500
	3UR4	60	170	170	170			570
	3S2B2	60	170	170	170			570
	3S3B2	60	170	255	170			655
	3UR2R2	60	170	100	100	100	100	630
	3S2A1S2	60	170	255	100	170		755

Nos Estados Unidos, controla-se os limites de carga de eixos tandem, duplos ou triplos desde a publicação, em 1964, através da *Secretary of Commerce*, da tabela de cargas brutas permissíveis para proteger as estruturas de pontes. A referida tabela foi confeccionada com

base na chamada Fórmula B (*Federal Bridge Formula*) que considera o limite de peso em função das tolerâncias admissíveis, da distância entre grupos de eixos consecutivos e ainda do número de eixos. A limitação para eixos simples é definida pelo efeito provocado pelas cargas sobre a estrutura dos pavimentos (National Research Council, 1990). Em alguns Estados, os limites estabelecidos estão registrados na Tabela 3:

Tabela 2 – Limites de Carga em países da Europa

País	Carga por Eixo (kN)			PBT ou PBTC (kN)			
	Eixo diant.	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

Fonte: GÖKTAN E MITSCHKE, 1995.

Tabela 3 – Alguns limites estaduais de cargas desde janeiro de 1988 nos EUA

Estado	Carga Máxima por Eixo (kN)			Carga Bruta Total (kN)
	Simple	Duplo	Triplo	
California	89	151,3	151,3	356
Florida	97,9	195,8	293,7	356
Georgia	99,4	151,3	189,1	356
New York	89	151,3	189,1	356
Oregon	89	151,3	186,9	356
Texas	89	151,3	186,9	356
Wisconsin	89	151,3	186,9	356

Fonte: National Research Council, 1990.

Na Tabela 4, montada a partir das tabelas anteriores, apresenta-se uma comparação entre os limites de carga máximas autorizadas nos EUA e Europa com os do Brasil.

Tabela 4 - Comparação entre os Limites de Carga do Brasil com EUA e Europa

Situação	Brasil (kN)	EUA ¹ (kN)	Europa ² (kN)
Eixo Simples Dianteiro	60	-	100
Eixo Simples Rodado Duplo	100	89	100
Eixo Tandem Duplo	170	151,3	160
PBT	450	356	440

Apresentam-se na Tabela 5 os limites máximos de carga por eixo e as tolerâncias vigentes na Argentina, nosso maior parceiro comercial no Mercosul. A mesma fonte consultada indica que as tolerâncias nos demais países integrantes do Mercosul são menores do que as da Argentina.

Tabela 5 – Limites de pesos na Argentina

Eixo	Limite (kN)	Tolerância (kN)	Tolerância (%)
Eixo isolado	105	10	9,5
Tandem duplo	180	15	7,8
Tandem triplo	255	20	7,8
PBTC	450	5	1,1
Com suspensão pneumática			+ 5,0%

Fonte: NTC (2004)

Muitas sugestões foram encaminhadas ao Denatran, através de grupo de trabalho especialmente designado para estudar o transporte de cargas, no sentido de unificar os pesos máximos no Mercosul, porém até agora se observa que não há disposição das autoridades em acolher este pleito, pois haveria um aumento dos limites máximos de carga no território brasileiro, situação que seria, sem dúvida, desastrosa para a integridade dos pavimentos existentes.

A importância da existência e do controle dos limites é evidente. Porém nos deparamos com uma situação de conflito entre a Resolução 104/99 do Contran (CONTRAN, 1999b) que regulamenta a aplicação de multas no transporte de carga e indica o PBT como referência e os métodos de dimensionamento de pavimentos que consideram os efeitos do tráfego em termos das cargas por eixo e tipos de eixos.

¹ Na maioria dos Estados.

² Na maioria dos países.

Nos últimos 25 anos houve uma grande evolução tecnológica dos equipamentos rodoviários, tais como: CVC's com 7 a 9 eixos; novas suspensões pneumáticas com a substituição do feixe mecânico de molas; os novos pneus radiais substituindo os de lonas ou diagonais e, ainda, os pneus extra-largos que substituem o rodado duplo.

Com a evolução da fabricação dos veículos de carga, no Brasil e em outros países, criou-se uma maior capacidade de suportar cargas e pressões de inflação. Por estes motivos, tem ocorrido pressão dos operadores no sentido da elevação dos limites de carga. De acordo com Fernandes Jr. *et al.* (1995), há vantagens financeiras imediatas para quem trafega sobrecarregado e, conseqüentemente, a deterioração dos pavimentos torna-se acentuada e os custos de operação crescem. No caso do Brasil, os maiores custos operacionais decorrentes da sobrecarga consomem parte dos lucros face à competição do mercado ou, quando possível, são simplesmente repassados ao valor dos fretes. Esta questão envolve também o comprometimento de pontes e viadutos, o conforto e a segurança do usuário da rede viária.

As discussões sobre tolerâncias e limites de valor do PBT e da carga máxima por eixo começaram formalmente no Brasil em 1985 quando a tolerância foi revisada através da Lei Nº 7.408, em decorrência de ações judiciais impetradas por transportadores (Godoy e Machado, 1993) concedendo-se uma tolerância de 5,0%, alegando a falta de precisão das balanças. Após, a Resolução Nº 102/99 do CONTRAN (1999a) elevou esta tolerância para 7,5% por eixo, mantendo os 5,0% sobre o PBT.

Por outro lado argumenta-se que o aumento dos limites de carga, além de ensejar o acréscimo da produtividade da indústria de transporte, possibilita um consumo menor de energia por unidade de carga transportada. Deve ser considerado também que o menor consumo de combustível é importante do ponto de vista da redução de poluentes, melhorando a qualidade do ar. O aumento dos limites de carga também colabora com a redução de veículos pesados no fluxo de tráfego, diminuindo o número N de aplicações do eixo padrão (Göktan e Mitschket, 1995).

A questão do excesso de carga e os decorrentes danos provocados aos pavimentos vêm sendo discutidos há bastante tempo. O Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) (1979) desenvolveu uma pesquisa intitulada Influência da Carga por Eixo nas Rodovias. Este trabalho investigou as conseqüências de mudanças nos limites legais de carga por eixo e PBT

de caminhões com base em estatísticas e na experiência nacional e internacional. Fernandes Jr. (1994) desenvolveu um estudo bastante conclusivo sobre os impactos econômicos que a sobrecarga e os fatores de tráfego acarretam à economia do país. Nos Estados Unidos, o National Research Council (1990), apresenta uma ampla análise sobre os efeitos de possíveis alterações nos regulamentos dos limites de cargas rodoviárias. Todos os trabalhos mencionados concluem sobre a nocividade da elevação dos limites de peso estabelecidos e sobre o excesso de carga na rede pavimentada.

Na verdade, esta questão não pode prosperar sem uma equilibrada discussão técnica e econômica na defesa de interesses que envolvem custos de manutenção e possíveis adaptações da rede rodoviária, custos de transporte e condições ambientais.

2.2 O Fator de Equivalência de Cargas como indicador das condições estruturais do pavimento

O tráfego que se desloca sobre o pavimento é o carregamento a ser considerado nos métodos de dimensionamento sejam eles empíricos ou mecânicos. Portanto, existe uma importante necessidade de se modelar o tráfego, pois na realidade, o mesmo apresenta-se de forma bastante complexa: veículos diferentes, cargas aleatórias, várias configurações de eixos e rodas, velocidades variáveis, etc.

Por estes motivos é usual representar o espectro total do tráfego e suas cargas transportadas por um número que expressa um tráfego virtual que apresenta o mesmo efeito destrutivo do tráfego real. Trata-se do número N.

Definiu-se a partir dos estudos desenvolvidos pela *AASHTO Road Test* no final dos anos 1950, um eixo padrão que é um eixo simples de rodado duplo com carga de 18.000 lb ou 82 kN (8,2tf) e 552 kPa (80psi) de pressão de inflação dos pneus. Os efeitos destrutivos de cargas quaisquer por eixo sobre pavimentos podem ser referidos, comparativamente, ao provocado por um determinado número de passagens do eixo padrão. Pode-se relacionar cada tipo de eixo ou conjunto de eixos ao eixo padrão através do Fator de Equivalência de Cargas.

Desta forma, o tráfego previsto, para um pavimento é definido em função do número equivalente de operações do eixo padrão, durante o período de projeto. Esta quantidade de passagens do eixo padrão é o tradicional número N.

Atualmente, principalmente a partir do Guia da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) (1993), o desempenho dos pavimentos tem sido avaliado por uma visão conjunta de dois enfoques:

- a) Características funcionais que se referem especificamente sobre as condições de degradação superficial e deformações em perfil, medidas, por exemplo, pelo Índice de Serventia Atual. No Brasil, são utilizados os métodos DNER PRO 07/94 - Avaliação Subjetiva da Superfície do Pavimento (DNER, 1994b), DNER PRO 08/78 - Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos (DNER, 1994c) e também, segundo Gontijo *et al.* (1994) pela especificação DNER ES 128-83 – Levantamento da Condição de Superfície de Segmentos Testemunha de Rodovias de Pavimentos Flexíveis ou Semi-Rígidos para Gerência de Pavimentos em Nível de Rede e,
- b) Características estruturais que dependem da maneira como o pavimento responde aos esforços impostos pela ação do tráfego. A avaliação mecânica de um pavimento requer, necessariamente, o conhecimento de praticamente todas variáveis intervenientes (cargas por eixo, respostas estruturais, espessuras, materiais etc.).

Muitos autores informam que o FEC tem sido largamente utilizado como medida de desempenho estrutural de pavimentos porque, comparativamente, mede os efeitos que os excessos de carga por eixo provocam nos pavimentos flexíveis. No Brasil destaca-se o trabalho de Pereira (1985). Os FEC obtidos da equação geral de comportamento das pistas da AASHTO e do Corpo de Engenheiros do exército dos USA (CE) são influenciados pela estrutura do pavimento do caso da AASHTO e pela estrutura do pavimento e suporte do subleito no caso do CE. Pinto e Preussler (2001) comentam que os FEC da AASHTO baseiam-se na variação da serventia, dependem do tipo de pavimento e do número estrutural (SN) e que os FEC oriundos do CE avaliam os efeitos do carregamento considerando a deformação permanente.

O *Transportation Research Board* (1997) indica que a chamada lei da quarta potência, derivada das equações empíricas da AASHTO para cálculo do FEC, não é muito confiável para o trato do surgimento de trincas no revestimento betuminoso do pavimento.

As maiores críticas ao cálculo do N ocorrem devido aos procedimentos altamente empíricos sobre os quais está fundamentada a determinação do FEC expresso em dano relativo à configuração de um eixo padrão de 82 kN (Timm e Newcomb, 2002). Os autores afirmam que pesquisas desenvolvidas em inúmeras pistas experimentais indicam que o FEC é dependente do tipo de pavimento (flexível ou rígido), espessura, tipo do conjunto de eixos e do valor da carga por eixo, pressão de inflação e condições ambientais.

A publicação de Pereira (1985) explica que o número genérico N_i de solicitações de uma carga de eixo W_i é equivalente a um número N_p de solicitações de outra carga de eixo W_p tomada como referência ou padrão, quando as N_i solicitações da carga W_i provocam a mesma deterioração que as N_p solicitações da carga W_p , sobre a mesma estrutura de um pavimento. Desta forma, na relação:

$$\mathbf{FEC} = \frac{\mathbf{N_p}}{\mathbf{N_i}} \quad (1)$$

O FEC representa o fator de equivalência da carga W_i , referido à carga de eixo W_p , assumida como padrão.

Os números de solicitações comparadas acarretam a mesma deterioração ou falha na mesma estrutura, sendo que, em cada caso, o conceito de falha está implícito na equação de dimensionamento adotada. Os estudos de Pereira (1985) demonstram ainda que, para certas equações de dimensionamento como é o caso da utilizada na Califórnia, a razão N_p/N_i é invariável e independente das características do pavimento e do subleito, definindo-se FEC como:

$$\mathbf{FEC} = \frac{\mathbf{N_p}}{\mathbf{N_i}} = \left(\frac{\mathbf{W_i}}{\mathbf{W_p}} \right)^{m/n} \quad (2)$$

Onde m e n são constantes. Por outro lado, reitera-se que os FEC obtidos de outras equações de dimensionamento como a equação geral de comportamento das pistas da AASHTO e a do CE, são influenciados pela estrutura do pavimento, no caso da primeira, e

pela estrutura do pavimento e o suporte do subleito no segundo caso. Os fatores de equivalência derivados dos procedimentos citados têm sido utilizados em métodos oficiais adotados no Brasil pelo DNIT:

- Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNIT, versão de 1966 com FEC do CE;
- Método DNER PRO 159/85 com FEC baseados na equação geral de comportamento da AASHTO e,
- Método DNER PRO 10/79 com FEC californianos.

Os estudos desenvolvidos pela AASHTO indicam que o FEC varia entre outros fatores, em função da carga por eixo, segundo uma relação elevada a expoentes próximos de quatro (National Research Council, 1990). Outras organizações, como o CE, adotam expoentes ainda maiores:

$$\mathbf{FEC}_i = \left(\frac{\mathbf{W}_i}{\mathbf{W}_p} \right)^{\mathbf{b}} \quad (3)$$

Sendo:

W_i : carga por eixo genérica;

W_p : carga por eixo tomada como padrão 82 kN (18.000 lb) e,

b : expoente, definido pela AASHTO como próximo de 4,0 e pelo CE como próximo de 6,0.

No Brasil existem dois grupos de FEC utilizados tradicionalmente para calcular o número N :

1°. Os adotados pelo DNIT (DNER, 1979) com origem no trabalho de Turnbull et al (1962) para eixo simples e duplo. São os fatores do CE. A referência do dano no pavimento é o afundamento plástico no subleito, considerado a 70 cm de profundidade (Pereira, 1985), tendo como limite o padrão de uma polegada de afundamento. Atualmente, os valores são fornecidos em forma de equações no Manual de Reabilitação de Pavimentos asfálticos (DNER, 1998) e também em (Pinto e Preussler, 2001), conforme pode ser observado na Tabela 6:

Tabela 6 – Valores do FEC adotados pelo DNIT (CE)

Tipo de eixo	Cargas tf	Equações (P em tf)
Eixo simples	0,0 – 8,0	$FEC = 2,782.10^{-4}.P^{4,0175}$
	$\geq 8,0$	$FEC = 1,8320.10^{-6}.P^{6,2542}$
Tandem duplo	0,0 – 11,0	$FEC = 1,5920.10^{-4}.P^{3,472}$
	$\geq 11,0$	$FEC = 1,5280.10^{-6}.P^{5,484}$
Tandem triplo	0,0 – 18,0	$FEC = 8,0359.10^{-5}.P^{3,3549}$
	$\geq 18,0$	$FEC = 1,3229.10^{-7}.P^{5,5789}$

2º. Os FEC que compõem o método de projeto DNER PRO 159/85, que quase sempre são chamados como da AASHTO, cujas expressões tem origens distintas (Queiróz, 1981 e 1982):

Tabela 7 – Valores do FEC do DNER PRO 159/85 (AASHTO)

Tipo de eixo	Equações (P em tf)	Origem
Eixo simples de rodado simples	$FEC = (P/7,77)^{4,32}$	(GEIPOT, 1977)
Eixo simples de rodado duplo	$FEC = (P/8,17)^{4,32}$	(ASSHTO, 1972)
Eixo tandem duplo	$FEC = (P/15,08)^{4,14}$	(ASSHTO, 1972)
Eixo tandem triplo	$FEC = (P/22,95)^{4,22}$	(Treybig e Von Quintus, 1976)

Soares e Motta (2001) esclarecem a diferença entre Fator de Equivalência de Cargas e Fator de Cargas (FC): FEC trata da correspondência entre um único conjunto de eixos, simples duplo ou triplo e o eixo padrão e FC expressa uma correspondência entre todos os conjuntos de eixos de uma determinada frota e o eixo padrão.

Com a evolução das ferramentas da informática, tem se tornado mais usual, nos meios rodoviários brasileiros, o emprego de métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis baseados na análise de tensões, deformações e deslocamentos originados da evolução da Mecânica dos Pavimentos. Estes métodos requerem a utilização de FEC mecanísticos, derivados de equações que expressam o número de solicitações de carga por eixo necessárias

para produzir falha no pavimento. Geralmente a equação básica é uma função potencial do inverso da resposta elástica da estrutura associada ao critério de falha considerado (Pereira, 1992). De uma maneira geral, o modelo apresentado a seguir representa esta visão:

$$N_{falha} = a \cdot \left(\frac{1}{r_m} \right)^b \quad (4)$$

Onde N_{falha} é o número de solicitações de uma carga de eixo necessária para provocar ocorrência de falha na estrutura do pavimento, r_m é a resposta mecânica da estrutura à ação da carga por eixo e a e b são parâmetros determinados através de ensaios de laboratório ou de levantamentos de dados experimentais em pavimentos.

Com base nas fórmulas anteriores e nos estudos desenvolvidos em sua dissertação de mestrado, Pereira (1992) apresenta a seguinte expressão para o fator de equivalência de cargas:

$$FEC = \left[\frac{(r_m)_i}{(r_m)_p} \right]^b \quad (5)$$

Que define o fator de equivalência mecânico de uma carga de eixo genérica i em relação à carga de eixo padrão p , definido por uma potência da razão entre as respostas mecânicas da estrutura do pavimento às referidas cargas por eixo.

Os FEC mecânicos aplicáveis a pavimentos flexíveis baseiam-se em vários critérios vinculados à resposta estrutural considerada. Os mais usuais são os que adotam:

- Critério da máxima deformação específica horizontal de tração na fibra inferior do revestimento de concreto asfáltico (CA) (ϵ_{ht});
- Critério da máxima deformação específica vertical de compressão no topo do subleito (ϵ_{vc}) e,
- Critério da máxima deflexão recuperável na superfície do pavimento (δ_1).

Utilizam-se no Capítulo 3 do presente trabalho FEC baseados no critério da máxima deflexão recuperável, em função dos recursos e equipamentos disponíveis na Área de Pesquisas e Testes da UFRGS/DAER na época do experimento. Já foram utilizados naquelas pistas experimentais sensores de deformação, do tipo *strain gauges*, que viabilizam, rapidamente o desenvolvimento de estudos e pesquisas com outras respostas estruturais.

Pereira (1992) também apresenta uma extensa abordagem sobre fatores de equivalência empírico-mecanísticos e informa que a hipótese de ocorrência de linearidade entre cargas atuantes e deflexão recuperável correspondente foi comprovada na maioria das seções de pavimentos flexíveis estudadas pela *California Division of Highways* (CDH) (atual CALTRANS). A constatação de uma sensível proporcionalidade entre carga de eixo e deflexão recuperável também foi verificada pelo citado autor. Refere ainda, considerando a deflexão recuperável como resposta estrutural e a proporcionalidade entre cargas e deflexões para eixos simples com rodado duplo, que o FEC pode ser expresso como:

$$\mathbf{FEC} = \left(\frac{\mathbf{W}_i}{\mathbf{W}_p} \right)^{5,959} = \left(\frac{\mathbf{D}_i}{\mathbf{D}_p} \right)^{5,959} \quad (6)$$

Sendo D_i a deflexão recuperável devido a ação de uma carga genérica W_i e D_p a deflexão recuperável provocada por uma carga padrão W_p , de 82 kN.

Schmidt e Ceratti (1987), com base na proposição da linearidade entre cargas por eixo e deflexões recuperáveis correspondentes e com apoio em indicações intrínsecas aos procedimentos PRO-10 e PRO-11 do atual DNIT, sugerem a adoção de expoentes próximos a 6,0. Os autores reconhecem que o assunto é controvertido, pois muitas entidades conceituadas preconizam valores em torno de 4,2. Os expoentes sugeridos são intermediários entre os da AASHTO e os do CE, estando mais próximos destes. Alguns insucessos verificados após 1984, quando o então DNER substituiu o emprego dos fatores do CE pelos da AASHTO no projeto de reforço, estimularam esta recomendação, mais cautelosa e conservadora.

Assim, diante dos estudos de Schmidt e Ceratti (1987), confirmados por Pereira (1992), resolveu-se desenvolver a abordagem dos FEC a partir da formulação mecânica de Djalma Pereira, ampliada para o estudo em pauta que pretende verificar o desempenho de pavimentos em função da variação conjunta da carga por eixo (C_e), da pressão de inflação (P_e) e da espessura do pavimento. Propõe-se, então, a seguinte expressão genérica para o FEC:

$$\mathbf{FEC} = \left(\frac{\mathbf{D}_{ij}}{\mathbf{D}_{pp}} \right)^{5,959} \quad (7)$$

Onde:

D_{ij} é a deflexão máxima recuperável provocada por uma carga de eixo (Ce)_i e uma pressão de inflação (Pe)_j e,

D_{pp} é a deflexão máxima recuperável provocada por uma carga padrão de 82 kN e uma pressão de inflação padrão de 522 kPa (80 psi).

2.3 A deflexão superficial recuperável como variável de resposta de um pavimento flexível

A movimentação de cargas através do tráfego comercial sobre pavimentos flexíveis e semi-rígidos provoca deformações recuperáveis e permanentes. As deformações ou deflexões recuperáveis deixam de existir alguns instantes após a passagem do carregamento e constituem um indicativo do comportamento elástico da estrutura do pavimento. A deflexão medida em um pavimento caracteriza o efeito sobre as camadas estruturais no que se refere à consequência do carregamento. Quando uma carga é aplicada sobre uma área da superfície, todas as camadas do pavimento ficam arqueadas devido às tensões e deformações geradas.

O valor da deflexão, além da magnitude da carga, depende também das características elásticas do conjunto das camadas do pavimento. Diminui em função da profundidade e do afastamento do ponto de aplicação da resultante da carga e é afetado pela geometria do carregamento e pela pressão de inflação dos pneus.

O valor máximo da deflexão é um importante indicativo do futuro comportamento do pavimento, pois, por exemplo, as trincas por fadiga das camadas asfálticas ou cimentadas são função da deformação máxima de tração - ϵ_t na superfície inferior das mesmas, a qual está diretamente vinculada ao valor da deflexão. Os pavimentos melhores ou mais “íntegros” sob o ponto de vista estrutural, deformam-se menos que os mais debilitados ou deteriorados. A diferença na resposta entre as duas situações indica o desempenho estrutural. Portanto, o conhecimento da deflexão recuperável máxima constitui um dado básico para a compreensão do comportamento estrutural do pavimento. Quanto maior o valor, mais elástica ou resiliente é a estrutura e maior é o seu comprometimento. Quanto menor o valor admite-se que existem melhores condições de suportar um maior número de solicitações do tráfego.

O DNER PRO 10/79 (DNER, 1994d) admite que, em pavimentos bem projetados e construídos, as deformações permanentes decorrem do acúmulo de deformações verticais específicas provocadas por tensões verticais no topo do subleito, suposto homogêneo. O citado procedimento também valoriza a consideração de que, para que não surjam trincas por fadiga no revestimento, é necessário manter a deflexão abaixo de um valor máximo admissível - D_{adm} e o raio de curvatura - R acima de um valor mínimo. Estas condições garantem que a tensão de tração σ_t , causadora da deformação ϵ_t , na face inferior do revestimento, não ultrapasse um determinado valor, acima do qual a camada de concreto asfáltico romperá por fadiga.

Por seu turno, o procedimento DNER PRO 11/79 (DNER, 1994e) define que, para pavimentos flexíveis com revestimento de concreto betuminoso sobre base granular, o valor da D_{adm} em 0,01 mm é dado pela expressão apresentada a seguir, correspondente a deflexões medidas com carga padrão de 82 kN por eixo simples de rodado duplo:

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \log N \quad (8)$$

Pinto e Preussler (2001) explicam que se uma carga de roda dupla estática é aplicada sobre um pavimento, a área próxima à carga sofre uma deformação recuperável cuja forma em projeção horizontal assemelha-se a uma elipse cujo eixo maior é paralelo ao eixo da rodovia. Esta superfície leva o nome de bacia de deformação. Um corte longitudinal na bacia de deformação gera uma linha chamada de deformada, de acordo com a Figura 1. Os citados autores indicam como fonte primária de informações o Manual de reabilitação de pavimentos asfálticos editado pelo IPR/DNER em 1998.

É importante salientar que estruturas distintas de pavimentos podem apresentar a mesma deflexão máxima, porém com deformadas diferentes. Portanto, dado às limitações da deflexão, para o entendimento completo do comportamento estrutural e da distribuição de tensões e deformações no interior do pavimento, o raio de curvatura - R é utilizado como elemento complementar dos levantamentos deflectométricos para indicar a capacidade de um pavimento em distribuir as tensões e cargas do tráfego DNER PRO 10/79 (DNER, 1994d).

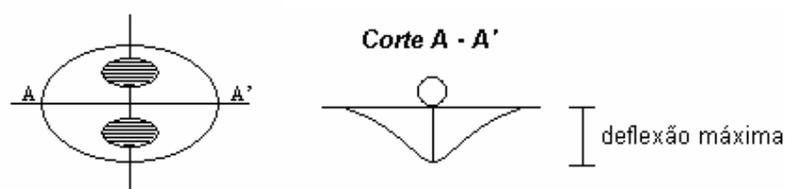


Figura 2 – Bacia de deformação

Normalmente, calcula-se o raio de curvatura associando-se a forma da bacia de deflexão a uma parábola do 2º grau, conforme procedimento introduzido pelo Método PRO-11-70 (DNER, 1994e):

$$R_c = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})} \quad (9)$$

Onde:

R_c = raio de curvatura em (m);

D_0 = deflexão máxima no ponto de aplicação da carga, (0,01mm);

D_{25} = deflexão a 25cm do ponto de aplicação da carga, (0,01mm).

Marcon (1996) explica que R é o raio do círculo que melhor se ajusta à curvatura da bacia de deflexão próximo ao local de maior deflexão. Quanto menor o raio de curvatura mais fechada é a bacia de deflexão e, como consequência, maiores deteriorações deverão ocorrer, pois a área solicitada pela carga é menor.

Os mais tradicionais procedimentos de análise normalizados pelo atual DNIT levam em conta o chamado critério da deformabilidade, o qual define as características estruturais de um pavimento exclusivamente através da interpretação dos valores individuais das deflexões recuperáveis máximas. A justificativa para aceitação desta hipótese baseia-se na admissão de uma correlação quase perfeita entre a magnitude das deflexões e o surgimento de falhas no pavimento. Gontijo *et al.* (1994) abordam este assunto com abrangência.

Medina *et al.* (1994) indicam que há cerca de 30 anos os serviços de avaliação estrutural têm sido feitos com o auxílio da Viga Benkelman. Ultimamente, um equipamento de impacto, conhecido como *Falling Weight Deflectometer* (FWD), tem tido boa aceitação no meio rodoviário brasileiro. Os autores recomendam que cuidados devem ser tomados na generalização da correlação entre valores medidos pela Viga Benkelmann e pelo FWD, pois

há uma dependência da estrutura em análise. Sobre a mesma questão, Duarte *et al.* (1996), apresentam uma correlação entre valores de deflexão recuperável medidos através dos dois processos e recomendam os valores na aplicação dos métodos de projeto de restauração de pavimento do DNIT e do modelo HDM, do Banco Mundial.

Ullidtz (1998) comentando as equações para o cálculo de tensões, deformações e deslocamentos derivados dos estudos desenvolvidos por Boussinesq iniciados 1885, destaca que a deterioração dos pavimentos está mais relacionada com tensões e deformações nas camadas individuais, o citado autor conclui que a deflexão é um mau substituto destas na análise da capacidade estrutural dos pavimentos. Porém, reconhece que dadas às facilidades práticas de determinação, a deflexão superficial é ainda largamente utilizada na avaliação dos pavimentos.

2.4 Excesso de carga, vida útil e danos nos pavimentos

Nas rodovias circulam veículos de passeio e comerciais. Os veículos comerciais são os caminhões e ônibus, cujo efeito sobre os pavimentos é mais pronunciado devido ao maior efeito das cargas deslocadas. As cargas são transmitidas aos pavimentos por rodas pneumáticas simples ou duplas arranjadas em eixos simples e tandem, duplos ou triplos. A ação do tráfego, não só pelo peso transportado, mas também pela frequência com que solicita o pavimento, provoca o consumo e a deterioração do mesmo.

Infelizmente no Brasil os limites legais de cargas não são observados por parte dos transportadores, por alguns dos fabricantes de veículos nem pelas autoridades responsáveis em aprovar projetos de novos veículos. Fernandes Júnior et al (1995) indicam que os fabricantes de implementos admitem a construção de reforços nos veículos, produzindo capacidade de carga acima dos limites legais para se tornarem mais competitivos no mercado. Este procedimento chega a encarecer em até 15,0% o custo unitário dos veículos de carga. Esta informação foi constatada pelo autor da presente tese em 2003 na ocasião de uma visita a uma indústria de implementos rodoviários. Pode-se verificar na Figura 3, obtida em um sítio de fabricante de caminhões, que os limites do conjunto de eixos traseiros e do PBT estão acima dos valores máximos estabelecidos na legislação vigente.

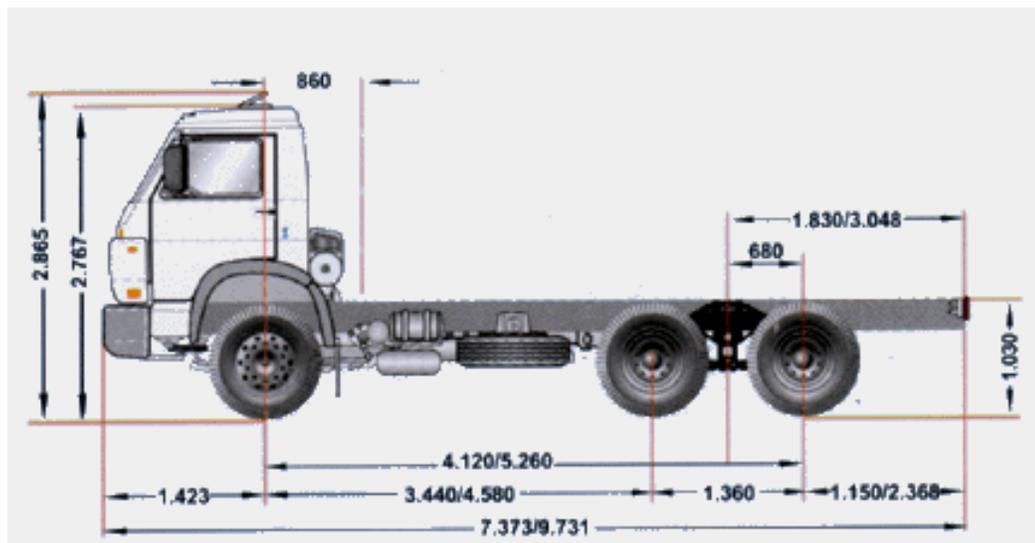


Figura 3 – Veículo fabricado com capacidade de carga acima da permitida

Capacidade técnica por eixo dianteiro: 6000; Capacidade técnica por eixo traseiro 20200; Capacidade técnica por eixo total admissível 26200; Peso Bruto Total (PBT) – homologado 23000; Peso Bruto Total Combinado (PBTC) – homologado 45000; Capacidade Máxima de Tração (CMT) 45000.

Com relação aos tipos de defeitos que ocorrem nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos, encontra-se em Balbo (1997) uma completa descrição com a morfologia e as possíveis causas da ocorrência. O citado autor apresenta fotos elucidativas e uma listagem com a nomenclatura dos defeitos adotada pelo DNIT e empregada em métodos de avaliação de qualidade de pavimentos no Brasil. O defeito é denominado tipicamente pela forma com a qual se apresenta. Reproduz-se na Tabela 8, a relação dos defeitos e o código utilizado pelo DNIT.

A bibliografia consultada, [(Balbo, 1997), (Ceratti, 1997) e (Fernandez Jr. *et al.*, 1999)], comenta a complexidade do estabelecimento das causas ou gênese dos defeitos. Porém, entre outras, a ação do tráfego (especialmente eixos com sobrecargas) está presente como causa específica de determinados tipos de trincas: fadiga ocasionada por repetição de cargas, escorregamentos ocasionados por esforços de frenagem e aceleração, trincas de reflexão podem ser aceleradas pelo tráfego, etc. e deformações permanentes: trilhas de rodas resultantes do efeito do tráfego pesado e deformações plásticas ou fluência acelerada até por tráfego médio.

Tabela 8 – Defeitos nos pavimentos e códigos nas Normas do DNIT

Tipo de defeito		Código DNIT
Fissura	Fendas	FI
Trinca transversal curta		TTC, TR
Trinca transversal longa		TTL, TR
Trinca longitudinal curta		TLC, L
Trinca longitudinal longa		TLL, L
Trinca de retração		TRR
Trinca irregular		I
Couro de jacaré sem erosão		J, CR
Couro de jacaré com erosão		JE, CR
Trinca de bloco sem erosão		TB, B
Trinca de bloco com erosão		TBE, B
Afundamento plástico local	Afundamentos	ALP, A
Afundamento de consolidação local		ALC, A
Afundamento plástico em trilha de roda		ATP, A
Afundamento de consolidação em trilha de roda		ATC, A
Corrugação ou ondulação	Corrugação	O, ON
Escorregamento	Escorregamento	E
Exsudação	Exsudação	EX
Desgaste	Desgaste	D
Panela	Painelas	P
Remendo		R
Remendo profundo		RP

Fonte: Balbo, 1997.

O desgaste e as painelas ocasionam incômodos aos usuários, porém estão localizados superficialmente podendo ser facilmente diagnosticados e recuperados com custos relativamente baixos. Do elenco de danos provocados pela ação do tráfego os mais importantes são os defeitos internos, mais difíceis de detectar e mais abrangentes em termos de efeito, pois afetam a estrutura do pavimento. Ambos, o trincamento da superfície de concreto asfáltico, provocado pela fadiga do material e o afundamento da trilha de roda que, além da irregularidade superficial, possibilitam a infiltração e o acúmulo de água da chuva, exigem ações mais radicais e de maior custo para correção. Estes defeitos, ocasionados por veículos pesados, ocorrem muitas vezes prematuramente devido a excessos de peso praticados por transportadores.

A deterioração de um pavimento por fadiga caracteriza-se pelo rompimento da camada de CA quando esta é solicitada continuamente por cargas que provocam tensões menores do que a resistência à tração do revestimento. As trincas surgem inicialmente na fibra inferior da

camada de CA e propagam-se progressivamente para a superfície, dando a impressão, num estágio final de evolução, semelhantes ao couro de crocodilo.

KIM *et al.* (1989) descrevem que o número N_f de repetições de uma carga necessário para produzir ruptura por fadiga é dado pela equação:

$$N_f = k \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_t} \right)^m \quad (10)$$

Onde:

k é coeficiente e m expoente;

ε_t é a deformação específica horizontal produzida por tensões de tração na fibra inferior do CA.

Com relação à formação de trilha de rodas, os citados autores apresentam a equação:

$$N_c = a \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} \right)^b \quad (11)$$

Onde:

N_c : número de aplicações de uma carga;

ε_c : é a deformação vertical específica ocasionada por tensões verticais de compressão que ocorrem no topo do subleito;

a : coeficiente e,

b : expoente.

A publicação *Truck Weight Limits* (National Research Council, 1990), contém uma análise do efeito de veículos pesados sobre a durabilidade dos pavimentos. Esse trabalho destaca que as condições e o desempenho dos pavimentos não dependem unicamente do número de veículos pesados e da carga por eixo que os pavimentos estão sujeitos. Outros fatores também devem ser considerados:

- Adequação das espessuras das diversas camadas constituintes do pavimento;
- Qualidade dos materiais empregados na construção;
- Procedimentos construtivos adotados;
- Condições de manutenção da rodovia;

- Propriedades do subleito existente e,
- Condições ambientais, destacando-se a precipitação pluviométrica, umidade do ar e o valor e a variação da temperatura.

Nos últimos anos, outros fatores têm sido utilizados para monitorar o desempenho funcional e estrutural de pavimentos. Um indicador que está sendo utilizado para avaliar a qualidade do percurso é a quantidade de deslocamentos verticais experimentados pelos veículos em movimento (*Rate of Dynamic Force* – RDF). Liu et all (1998) indicam que se pode demonstrar que o valor da energia dissipada no interior de um pavimento, na maioria dos casos, é proporcional ao quadrado do RDF.

Os citados autores referem que a deterioração de um pavimento também é ocasionada pela vibração causada pela quantidade de forças dinâmicas verticais e horizontais sobre a estrutura do pavimento. Ainda sobre a questão das forças dinâmicas e o efeito do tipo de suspensão dos veículos sobre os pavimentos, a *Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD) (1998) organizou uma pesquisa que concluiu que as suspensões mecânicas, constituídas por feixes de molas, são pelo menos 15,0% mais rígidas do que as pneumáticas e que estas produzem forças dinâmicas com cerca da metade da magnitude das provocadas por suspensões do tipo mecânica.

No Brasil adota-se com bastante freqüência o *International Roughness Index* (IRI) que foi desenvolvido pelo Banco Mundial nos anos 80. O IRI é utilizado para definir as características do perfil longitudinal da faixa de rolamento, determinado com base nos deslocamentos verticais das rodas de um veículo e constitui uma medida padrão de irregularidade.

Pelo uso continuado, número e severidade dos fatores intervenientes, torna-se evidente que a durabilidade de um pavimento é limitada. Logo, depois de transcorrido algum tempo, o pavimento deverá sofrer uma ação de “rejuvenescimento” que pode ser uma operação tapa-buracos, um recapeamento ou mesmo uma restauração. WATSON (1989) explica que, segundo estudos desenvolvidos na Inglaterra, o melhor momento para a intervenção ocorre quando são detectadas trilhas de roda com profundidade de 10 mm ou fissuras sobre as trilhas de roda, mesmo antes de ocorrer esta profundidade. Define que a vida útil, para um projeto de pavimento novo, é o período de tempo provável no qual deverá ocorrer esta condição crítica.

Conclui relatando que quando são considerados os custos de construção e manutenção, um período de vida útil de 20 anos é o de adoção mais adequada.

A consideração de vida útil como sendo o tempo de uso transcorrido até a restauração ou entre duas restaurações, foi ampliada pela AASHTO (1993). Por recomendação do *Guide for Design of Pavement Structures* o que era chamado de período de projeto (expectativa da vida útil) é agora entendido como período de análise, ou seja, o tempo transcorrido coberto pela estratégia de projeto do pavimento. A mesma fonte, com base em estudos de custos totais e estratégias de manutenção eficientes, recomenda a adoção de períodos de análise de maior duração, incluindo um ou mais recapeamentos. Como orientação geral são indicados de 30 a 50 anos para vias urbanas de alto volume diário médio de veículos (VDM) (± 50.000), 20 a 50 anos para rodovias rurais com alto VDM (> 10.000) e 15 a 25 anos para rodovias rurais pavimentadas com baixo VDM (1000 a 1500 veículos/dia).

Timm e Newcomb (2002) comentam que projetar pavimentos para mais de 20 anos não é interessante por ser um período muito longo. Durante este tempo poderão ocorrer desenvolvimentos na fabricação e nos implementos dos veículos de carga. As autoridades e os transportadores poderão negociar mudanças nos limites máximos legais de carga. Irão ocorrer alterações nas taxas de crescimento da população e dos veículos. Modificações em uma série de fatores deverão alterar as características do fluxo de tráfego previsto. Desta forma, afirmam os autores, projeções inadequadas poderão ser a causa do surgimento prematuro de defeitos no pavimento.

No Brasil, o Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis do DNER (DNER, 1979) considera que um pavimento será dimensionado em função do número equivalente N de operações de um eixo padrão, durante um período de projeto escolhido. Em geral, os órgãos rodoviários definem períodos de projeto de 10 anos. No caso de dimensionamento de camadas de reforço também há uma relação entre vida útil do pavimento e o decorrente número N. Por exemplo, a norma rodoviária DNER-PRO 11/79 (DNER, 1994e) fornece elementos para o cálculo da espessura do reforço necessário para um o número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão durante o período considerado (um novo N). O procedimento DNER-PRO 269/94 (DNER, 1995) evoluiu para a definição de vida de fadiga N_t , que é o número de solicitações do eixo padrão de 82 kN, que leva o revestimento asfáltico à fase de trincamento por fadiga.

As rodovias, principalmente por ação do tráfego, passam por um ciclo de contínua deterioração. Schliesser e Bull (1994) descrevem que, para uma estrada típica da América Latina, o curto ciclo de vida de uma rodovia pavimentada revestida com concreto asfáltico é, muitas vezes, considerado normal, face à pouca atenção que é dada à manutenção. Afirmam os autores que quando os defeitos estão disseminados, cabe somente reconstruir completamente o pavimento, a um custo que pode equivaler entre 50 a 80% do valor de um pavimento completamente novo.

Dados levantados junto a Associação Brasileira de Departamentos de Estradas de Rodagem (Santos, 2000) dão conta de que o custo da conservação rotineira oscila em torno de R\$ 6.000,00/km.ano. Já o Banco Mundial (The World Bank, 1988) indica que nos países em desenvolvimento o custo de uma manutenção de rotina é variável entre US\$ 300 e US\$ 5.000/km.ano. No Rio Grande do Sul, de acordo com informações colhidas no DAER, os custos médios de recapeamentos e restaurações variam ao redor dos valores de R\$ 90.000,00/km e R\$ 150.000,00/km, respectivamente (referências e detalhes no Capítulo 4).

A comprovação de que o excesso de carga por eixo é uma das maiores causas dos defeitos em pavimentos é simples de ser demonstrada. Por exemplo, utilizando a equação para cálculo do FEC para eixo simples com rodado duplo constante na Tabela 7 (AASHTO, 1972), considerada por muitos como conservadora, calcula-se para uma carga de 107,5 kN (10,75 tf) (carga máxima mais a tolerância) um FEC de 3,27. Um FEC de 3,27 significa que a passagem de um eixo com 107,5 kN (10,75 tf) sobre um pavimento tem o mesmo efeito (provoca o mesmo dano) do que 3,27 passagens sobre o mesmo pavimento do eixo padrão carregado com 82 kN. Sendo a carga máxima mais a tolerância um valor legal pressupõe-se que o pavimento está dimensionado para estes limites. Observe-se que ao ocorrer um deslocamento de uma carga com 120 kN (20,0% além do limite máximo sem considerar a tolerância), o FEC correspondente assume o valor de 5,26. Há, portanto uma relação entre os FEC's de 1,61 que pode ser interpretado como a ocorrência de um "consumo" da ordem de 60,0% maior do que o máximo suportável (certamente com o surgimento de defeitos prematuros), condição que, evidentemente, deverá reduzir a durabilidade prevista para o pavimento considerado.

Se por um lado o excesso de carga por eixo aumenta a produtividade e os lucros da indústria de transporte, por outro lado, produz, como se viu, um efeito indesejável, qual seja o

de deteriorar aceleradamente a camada de revestimento e a estrutura dos pavimentos da rede viária.

Ultrapassar os limites legais de carga por eixo ou PBT constitui uma ação criminosa que obriga o Governo a desviar pesados recursos de outros setores para a manutenção e a restauração viária. Privam-se os usuários do uso de rodovias em boas condições, diminuindo o conforto, a segurança e aumentando o tempo médio de viagem. Por último, são ainda afetados os próprios transgressores, pois nem sempre o lucro imediato é compensado pelo alto risco de acidentes, pela depreciação rápida do veículo e por multas cobradas pela eventual fiscalização por pesagem nas rodovias.

Martins e Miranda (1995) referem que a conseqüência imediata da destruição da rede pavimentada, com base em levantamentos no Estado de Mato Grosso, é o aumento imediato dos custos de transporte, estimado em até 58% no excesso do consumo de combustível, 30% no desgaste da frota e 100% no tempo de percurso. Os autores exemplificam o excesso de carga com dados colhidos no posto de pesagem dinâmica da BR/174 em Cáceres e na BR/163. No primeiro identificou-se um excesso de carga em 20% nos eixos pesados e no segundo 30% dos eixos apresentavam excesso em valores variados.

Na rodovia concedida BR/290 Osório – Eldorado do Sul, com o início das pesagens no final do primeiro semestre de 1999, verificou-se que 30% dos veículos pesados trafegavam sobrecarregados. Após algumas semanas com fiscalização por pesagem continuada, verificou-se uma estabilização dos excessos no intervalo entre 4,0 e 5,0% (Concepa, 2000).

Fernandes Jr. (1994), referindo a Pesquisa sobre o inter-relacionamento dos Custos Rodoviários desenvolvida entre 1976 e 1981 pela Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes (GEIPOT), relata que foram levantados os seguintes dados:

Tabela 9 – Excesso de peso por eixo praticado no Brasil

Tipo de Eixo	Veículos com Excesso de Peso (%)	Valor da Sobrecarga	
		Excesso/Limite Legal (kN)	% de Excesso
Dianteiro	3,0	3,0 /60,0	5,0
Simplex (roda dupla)	25,0	20,0 /100,0	20,0
Tandem Duplo	15,0	85,0 /170,0	50,0
Tandem Triplo	30,0	115,0 /225,0	45,0

De acordo com dados obtidos em outras pesquisas executadas pelo GEIPOT (Fernandes Jr. *et al.*, 1995) e informações publicadas pelo DNIT (DNER, 2000), estima-se que nas rodovias brasileiras os caminhões trafegam com sobrecargas de 10 a 30%.

Mais recentemente, Demarchi e Pierin (2002), ao estudarem o desempenho de caminhões canavieiros em rampas ascendentes na região de Ribeirão Preto SP, flagraram uma altíssima quantidade de veículos com excessos de carga:

Tabela 10 – Excesso de carga em caminhões canavieiros – SP

Veículo	Veículos com Excesso %	Valor acima da carga máxima %
Caminhão truque de 23 tf	97,5	30,0
Reboques com peso legal maior do que 43 tf	99,3	16,0
Treminhão com peso legal maior do que 63 tf	100,0	14,0

O relatório mensal do setor de fiscalização do Departamento de Estradas de Rodagem de Roraima (DER/RR) comprova que boa parte dos caminhões que transportam cargas na BR/174, vindos de Manaus para Boa Vista ou para a Venezuela, está acima do peso permitido pelas normas do Ministério dos Transportes. Tomando como base o mês de janeiro de 2004, a equipe de fiscalização do DER/RR que cuida da balança instalada na barreira do Jundiá (Rorainópolis), registrou a passagem de 514 caminhões e carretas, sendo que desse total, 161 veículos (ou 31,32%) transportavam carga em excesso (Estradas, 2002).

Informações divulgadas por Soares e Motta (2001) indicam que em pesagens feitas no Estado de Pernambuco foram constatados os seguintes excessos de carga por eixo: ônibus 4,3%; caminhão médio 20,8%; caminhão pesado 16,3%; reboques e semi-reboques 49,1%.

A Secretaria de Transportes do Estado do Paraná informa que durante o mês de março de 2002, nos 19 postos de pesagem em funcionamento, houve uma autuação de 4,7 mil dos 246,8 mil veículos fiscalizados, condição que indica um percentual de apenas 1,9% do total (NTC, 2002a). No Estado de Santa Catarina, no segundo semestre de 2001, o antigo DNER/SC realizou a pesagem de 250,8 mil veículos no trecho norte da BR/101. As notificações por excesso de carga foram de 4,2 mil (1,7%) (NTC, 2002b).

Na Tabela 11, discriminam-se os dados relativos ao excesso de peso de veículos nos postos fixos entre os meses de janeiro a outubro de 2000, operados pelo DNIT:

Os valores e resultados de pesagens realizadas após a vigência da Resolução 104/99 do Contran devem ser analisadas como excessos de peso sobre o PBT. Então, na verdade, a condição para a integridade do pavimento é pior porque os dados sobre excesso de carga por eixo não são registrados nem produzem notificações.

Quando as rodovias são submetidas a um controle sistemático do tráfego pesado, chega-se a ciclos de recapeamento três vezes maior do que rodovias sem controle de peso, de acordo com os padrões do DERSA. Oliveira Jr. *et al.* (1995) informam que a Rodovia dos Bandeirantes, inaugurada em 1978, teve seu primeiro recapeamento no ano de 1992, com 14 anos de vida útil sem manutenção corretiva. Citam também a Rodovia dos Trabalhadores, inaugurada em 1981 com o primeiro recapeamento em 1994, resultando um período de 13 anos.

Tabela 11 – Pesagens do DNIT em 2000

Código do posto de pesagem	Quantidade de veículos fiscalizados	% de veículos notificados
06.04	426.403	1,26
06.10	202.900	1,17
06.12	148.758	0,49
06.13	148.655	1,41
06.14	168.098	0,41
08.05	388.788	0,42
08.06	212.120	0,74
09.08	114.186	0,19
11.02	146.179	0,49
12.01	131.637	1,63
17.02	283.743	0,75
Totais	2.630.366	1,02

Fonte: DNIT, 2002a.

Com relação aos custos de construção, Neves (2002) conclui que para construir pavimentos para suportar as várias hipóteses de carregamento das frotas estudadas, há um aumento entre 7,0% e 14,0% nos custos de construção de uma rodovia quando não há pesagem. O citado autor comenta também a importância das fugas de veículos para outras rodovias e o aumento do número de viagens no caso de implantação de balanças.

O excesso de carga não é só um problema brasileiro e latino-americano. Os Estados Unidos, onde as punições dos delitos são mais rigorosas, também sofre as consequências da burla à fiscalização. Fernandes Jr. (1994) pesquisando autores norte-americanos refere que 20% dos veículos de carga operam nas rodovias interestaduais com excesso de carga por eixo. Chega-se a estimar que apenas uma em cada 400 violações é detectada na maioria dos estados americanos e que os custos provocados por veículos sobrecarregados chegam a 1 bilhão de dólares por ano.

O *Texas Department of Transportation* apoiou uma pesquisa realizada por Harrison *et al* (1998) cujo objetivo foi o de coletar e analisar as informações sobre o tipo predominante de veículo de carga e o valor das cargas por eixo no transporte rodoviário na fronteira México – Estado do Texas (EUA) Os dados foram coletados através de um sistema *Weigh-in-motion* (WIM). Foram instalados e calibrados sensores no piso do pavimento dos postos de fronteira localizados nas cidades de *El Paso* e *Laredo*. Constatou-se que o veículo 3S2 é o predominante na frota de carga e que as quantidades de veículos com excesso de carga foram as seguintes:

Tabela 12 – Veículos com excesso de carga por eixo na fronteira México – EUA

Local	Excesso 3S2 (%)	Excesso 3S3 (%)
El Paso	25,0	80,0
Laredo	35,0	87,0

Face aos altos valores dos excessos de carga, o *Texas Department of Transportation* confinou o tráfego dos veículos 3S3 a estradas de uma determinada região e iniciou a aplicação de multas. Em pouco tempo os excessos reduziram-se a níveis mínimos.

A questão que ora está sendo discutida sob o ponto de vista de efeitos dos excessos de carga sobre os pavimentos tem outro importante ângulo de abordagem que é o da segurança

viária. Segundo o DNIT (2004a), a sobrecarga é uma das principais causas de acidentes com caminhões nas estradas. O peso excessivo provoca falhas mecânicas e dificulta o controle da direção. Em meados de junho de 2004, a Polícia Rodoviária Federal lançou um plano para intensificar a fiscalização contra o excesso de carga. A mesma fonte fornece também as seguintes informações:

- Os caminhões participam de 27% dos 180.000 acidentes rodoviários que ocorrem por ano;
- Seis em cada dez caminhões envolvidos em acidentes têm sobrecargas;
- Dois em cada dez caminhões que passam pela pesagem infringem os limites legais e,
- Nos quase 58.000 quilômetros de estradas federais há apenas 23 balanças (13 funcionando). Haverá 50 até 2005 (segundo a fonte). Seriam necessárias 73 para garantir o cumprimento da lei.

O encaminhamento da solução deste problema está, sem dúvida, no trinômio: legislação - fiscalização - conscientização. Há esperanças que o CTB possa cumprir a sua parte no que se refere à legislação. Por seu turno é importante que no Brasil, desenvolva-se a consciência da importância de que o controle de cargas é vital para a durabilidade dos pavimentos. Balanças fixas, móveis e sistemas de pesagem em movimento são equipamentos que, quando bem operados e aferidos, produzem bons resultados. Os equipamentos existentes estão cada vez mais sofisticados e disponíveis. Sistemas automatizados de pesagem conjugados com contagem de veículos, segundo VIEIRA *et al.* (1993), operam com eficiência desde 1993. Na verdade, parece que está faltando maior vontade política das autoridades para encaminhar soluções para esta questão.

Por outro lado, não se pode generalizar quanto ao desinteresse das autoridades rodoviárias. Observam-se movimentos de implantação de fiscalização por pesagem em pontos isolados de nossa rede viária. Esta questão preocupa desde o início da década de 60. Medina (1991) relata que o engenheiro *F. N. Hveem* da Califórnia, considerado um dos precursores da Mecânica dos Pavimentos, recomendou ao Diretor Geral do DNER em maio de 1961, entre outros itens, a valorização da conservação de pavimentos e o controle de cargas excessivas dos caminhões.

É importante insistir na importância de um melhor gerenciamento de pavimentos e em uma adequada sistemática de pesagens dos veículos comerciais para otimizar os recursos

investidos pelo Governo e seus concessionários que são custos desembolsados por toda população.

2.5 Efeitos da pressão de inflação dos pneus e da espessura do pavimento

Os pneus utilizados no *AASHO Road Test* eram representativos daqueles que estavam em uso no final dos anos 50. Eram os tradicionais pneus de lonas com pressões de enchimento da ordem de 517 a 552 kPa (75 a 80 psi). Desde então os construtores de pneus estão introduzindo no mercado os pneus radiais com melhores condições de suportar maiores pressões e cargas (National Research Council, 1990). A referida fonte informa sobre um levantamento de campo desenvolvido por C. A. Bartholomew, realizado entre 1984 e 1986 em sete Estados dos EUA, nos quais constatou-se que de 75 a 80% dos pneus usados em caminhões eram do tipo radial e que a pressão de enchimento média era de 689 kPa (100 psi).

Souza (1980), relaciona valores de pressões de inflação para pneus de lonas, comuns no final da década de 70, indicadas para cargas máximas de rodado simples e duplo, menores do que as existentes hoje em dia, devido ao crescimento do número de pneus radiais na frota.

Tabela 13 - Cargas máximas e pressões de enchimento

Tamanho do Pneu	Número de Lonas	Carga Máx. – kN (kgf)	Pressão - kPa (psi)
9.00 x 20	10	18,00 (1.800)	482 (70)
9.00 x 20	12	20,35 (2.035)	586 (85)
10.00 x 20	12	20,80 (2.080)	517 (75)
10.00 x 20	14	23,70 (2.370)	620 (90)
10.00 x 22	12	22,15 (2.215)	517 (75)
10.00 x 22	14	23,80 (2.380)	586 (85)

Fonte: SOUZA, 1980.

A evolução do uso de pneus radiais e de maiores pressões de enchimento nos EUA também foi constatada por KIM *et al.* (1989) na rodovia interestadual nº. 5 em Oregon. Os dados levantados mostram que 87% dos pneus eram radiais com média de pressão de 703 kPa (102 psi) nos radiais e 565 kPa (82 psi) para os de lonas.

Albano e Lindau (1998) executaram uma pesquisa de campo junto ao posto do Pedágio da RS/240, no município de Portão, Rio Grande do Sul. Foram levantadas uma série

de informações dentre as quais a pressão de enchimento dos pneus integrantes de uma amostra representativa de 275 caminhões de onde foram coletados dados de 1815 pneus. Os valores obtidos confirmam as tendências de aumento da pressão de inflação. Os principais resultados são os seguintes: pressão média na amostra de pneus dianteiros 655 kPa (95 psi) e 717 kPa (104 psi) na amostra de pneus não-dianteiros. Constatou-se no conjunto de pneus uma incidência de 62% de pneus de construção radial.

Por seu turno, Middleton *et al.* (1986) realizaram um levantamento de dados de veículos de carga em rodovias do Texas. Os autores relacionaram uma série de variáveis independentes com a pressão dos pneus. Como resultado, concluíram que o tipo de construção de pneu foi o item mais significativo. Observaram também que os pneus radiais tem, em média, uma pressão de 83 a 145 kPa (12 a 21 psi) mais elevada do que os pneus de lonas. Por ordem, os outros fatores mais significativos foram tipo de veículo e a profundidade dos sulcos na banda de rodagem (a carga por eixo não foi considerada).

As investigações sobre o efeito do incremento da pressão de inflação no desempenho de pavimentos aprofundaram-se nos últimos anos, principalmente em função do desenvolvimento de equipamentos de maior precisão tais como transdutores, medidores piezo-elétricos de deformações e tensões, células de carga, programas para microcomputadores, bem como a utilização de simuladores de tráfego em pistas experimentais. Atualmente, no Brasil, destacam-se os estudos sobre a interação veículo-pavimento desenvolvidos na Escola de Engenharia de São Carlos da USP.

O Guia da AASHTO (1993) comenta que a pressão de inflação, utilizada em veículos pesados, está aumentando na medida que os construtores de pneus estão melhorando a tecnologia de fabricação. Destaca também que as montadoras estão avaliando as potenciais vantagens da adoção de maiores pressões de inflação nos pneus. Conclui, de forma cautelosa, que ainda não se conhece qual o efeito concreto das maiores pressões de enchimento dos pneus sobre os pavimentos.

KIM *et al.* (1989) sustentam que o transporte de carga tem apresentado uma tendência de crescimento do PBT dos caminhões. Assim, com o aumento da carga por eixo, o uso de maiores pressões nos pneus tem se tornado mais usual no âmbito do transporte pesado. Na verdade, de um conjunto de circunstâncias, destacam-se dois fatores simultâneos: a atração

pelo aumento de carga por eixo é respaldada pelas melhores características dos pneus radiais. Sendo assim, o transportador aumenta a pressão de enchimento dos pneus.

Os fabricantes de pneus fornecem tabelas com o valor da pressão recomendado em função da carga atuante por roda simples e dupla e para cada tamanho de pneumático.

Vários estudos teóricos e experimentais anteriormente desenvolvidos têm confirmado que a pressão de contato não é igual à pressão de enchimento nem se distribui uniformemente sobre uma superfície circular. Fernandes Jr. (1994) informa que a superfície de contato aproxima-se da elipse (pneus de lonas) ou retângulo (pneus radiais) a medida que a carga por eixo aumenta ou a pressão diminui. Segundo Souza (1980), a área de contato entre um pneu carregado e uma superfície pavimentada é aproximadamente elíptica para pneus novos com pressão de enchimento e carga máxima recomendadas e, para pneumáticos usados com cargas além da máxima recomendada, a área de contato é aproximadamente retangular.

A forma, o valor e a distribuição da pressão de contato é uma questão com certo grau de complexidade e de difícil generalização. Muitos fatores influenciam as determinações: carga por eixo, pressão de enchimento, tipo, tamanho e estado do pneu, velocidade, etc.

A maioria dos autores pesquisados adota o FEC para medir os efeitos da variação da pressão de enchimento sobre o desempenho dos pavimentos. Via de regra, quando se utiliza o critério do trincamento da camada de revestimento por fadiga, deve-se considerar como resposta estrutural a deformação específica horizontal na fibra inferior do CA provocada por tensões de tração. No critério da deformação permanente devido às trilhas de rodas, a resposta do pavimento é a deformação vertical no topo do subleito provocada por tensões de compressão.

Considerando a fadiga do revestimento asfáltico, ao aumentar-se a pressão de inflação de 563 kPa (80 psi) para 844 kPa (120 psi), pode haver uma variação de até duas vezes no FEC, ou seja, a vida de um pavimento reduz-se à metade (Fernandes Jr, 1994). Outros estudos desenvolvidos pelo citado autor utilizando o programa HDM 3, revelam que o mesmo acréscimo de pressão de enchimento ocasiona uma elevação da ordem de 6,0% nos custos de manutenção e construção de pavimentos.

O periódico *Truck Operating Characteristics*, publicado pelo *Transportation Research Board*, comenta que elevadas pressões de inflação contribuem para a redução da vida de um pavimento. Em pavimentos rígidos o efeito da pressão de inflação sobre a fadiga é muito pequeno, porém nos flexíveis o efeito é muito grande. Um acréscimo de 140 kPa (20 psi) na pressão de enchimento pode aumentar os danos devido à fadiga em torno de 200 a 300% (Transportation Research Board, 1997).

Pesquisas desenvolvidas entre 1987 e 1988 indicam que para um eixo simples com rodado duplo, carregado com 89 kN (20.000 lb) atuando sobre um pavimento espesso, característico da maioria das rodovias dos EUA, há um aumento de 15% no FEC quando varia somente a pressão de inflação de 517 kPa (75 psi) para 689 kPa (100 psi) (National Research Council, 1990).

No experimento desenvolvido para a dissertação de mestrado de Albano (1998) observou-se que para um pavimento delgado (com 23,5cm) e considerando o tráfego representado por um eixo simples com rodado duplo no simulador de tráfego DAER/UFRGS, ocorreram variações de 15,0% até 100,0% nos FEC em função de alterações na pressão de enchimento dos pneus. Nos limites do experimento, considerando a deflexão recuperável como resposta do pavimento flexível estudado, determinou-se que para uma carga de 82 kN (8,2tf), quando a pressão de inflação varia de 552 kPa (80 psi) para 620 kPa (90 psi), o FEC correspondente aumenta cerca de 20,0% e a vida útil prevista pode reduzir em até 20,0%.

A pressão de inflação tem efeito significativo no valor crítico da deformação específica de tração na base do CA, sendo a mesma determinante não só para o valor mas também na localização da deformação máxima de tração relativa à largura da área de contato do pneu com o piso. Pneus inflados ao máximo produzem maiores deformações próximas ao eixo do pneu e pressões baixas provocam deformações máximas junto às bordas laterais. Nos revestimentos espessos (de 5 a 10 cm) o efeito da pressão de enchimento não é significativo na deformação por compressão no topo do subleito e, conseqüentemente, na formação da trilha de roda (Marshek, 1986).

Por se turno, Gökten e Mimstschke (1995) concluem em seus estudos que, quanto maior for a pressão de contato, mais rapidamente configuram-se as trilhas de rodas provocadas por veículos pesados.

KIM *et al.* (1989) concluem que o maior defeito em pavimentos provocado pelo aumento da pressão de inflação é o trincamento por fadiga. Os autores calculam que um aumento na pressão de inflação de 552 kPa para 690 kPa (80 para 100 psi) pode representar um acréscimo de 40 a 60% no FEC. Referem também que a percentagem de aumento na deformação permanente da camada asfáltica é aproximadamente a mesma do aumento da pressão de inflação nos pneus dos veículos pesados.

Entretanto, pesquisa desenvolvida na *Federal Highway Administration* (FHWA), *Pavement Testing Facility*, mostra que a pressão de enchimento tem pequeno efeito nas respostas do pavimento ensaiado em vários níveis. O aumento da pressão de 524 kPa (76 psi) para 965 kPa (140 psi) repercute somente em 2 a 10% de aumento na deflexão superficial e deformação de tração na base da camada de CA (Bonaquist *et al.*, 1989). Posteriormente, em agosto de 1993, o *Turner-Fairbank Highway Research Center* (TFHRC, 2004) operado pela *Office of Infrastructure Research and Development* da FHWA conduziu uma pesquisa utilizando um simulador de tráfego linear através da qual constatou que a pressão de inflação dos pneus provoca maiores danos em pavimentos flexíveis, porém os efeitos são menos significantes do que a carga por eixo e a temperatura do pavimento.

Existe um consenso entre os construtores de pneus e engenheiros rodoviários de que a alta pressão nos pneus reduz a área de contato com o revestimento, de modo que o peso por roda é distribuído sobre uma área menor. O incremento das pressões de inflação ajuda a reduzir a vida do pavimento, aumentando a incidência de trincas e de deformações permanentes provocadas por trilhas de roda. Por este motivo o *Transportation Research Board* (1997) indica que nos Estados Unidos há uma forte tendência de iniciar o controle dos limites da pressão de inflação.

Durante o uso, o rolamento dos pneus sobre o revestimento e outros atritos provocados por ação dos freios ocasionam a elevação da temperatura que, por sua vez, eleva a pressão de inflação. Pneus de lonas aquecidos podem ter pressões de 69 kPa a 138 kPa (10 a 20 psi) maiores do que a normal. Para pneus radiais quentes, a pressão pode elevar-se de 35 kPa a 104 kPa (5 a 15 psi) (*National Research Council*, 1990).

A bibliografia examinada está a indicar que há um acréscimo generalizado na pressão de enchimento dos pneus praticada por transportadores, particularmente se o pneu é de fabricação radial. Desta forma, os FEC, derivados da *AASHO Road Test*, com valores de pressão de inflação de 517 a 552 kPa (75 a 80 psi), adotados nos EUA e Brasil estão, provavelmente, inadequados e necessitando uma revisão.

Atualmente verifica-se uma tendência de utilização de métodos empírico-mecanísticos no dimensionamento de pavimentos. Timm e Newcomb (2002) comentam que ao invés de utilizar o número N para representar a ação do tráfego, adota-se o “espectro de carga” (distribuição das cargas por eixo nos veículos da frota). Este procedimento considera cada tipo de carga por eixo individualmente e o efeito que a mesma provoca no pavimento. Assim, podem-se considerar diferentes pressões de inflação, configurações de eixo, etc. A resposta do pavimento calculada é utilizada para prever o número de repetições que o pavimento pode resistir antes que surjam defeitos. Em outras palavras, verifica-se se o pavimento dimensionado tem capacidade para suportar o volume de tráfego previsto.

Segundo os citados pesquisadores é relativamente simples construir o “espectro de cargas”. Definem-se os principais veículos-tipo da frota e utilizam-se dados de pesagem ou de WIM de uma região como uma estimativa razoável dos valores das cargas sobre o pavimento, ajustando após os resultados para o volume de tráfego levantado. Argumentam que a utilização do “espectro de carga” elimina alguns elementos empíricos considerados na determinação do FEC, ressaltam também a vantagem de computar melhor as respostas do pavimento sem a necessidade de pesadas coletas de dados.

Uma pesquisa desenvolvida por Raad *et al.* (1998) demonstra que a influência da pressão nos pneus decresce quando a espessura do revestimento asfáltico aumenta. Informam os citados autores, que um decréscimo na pressão de inflação pode ser significativo na redução de danos no pavimento quando a espessura do revestimento é 5,0cm, porém, mostra-se insignificante para a integridade de pavimentos cuja espessura do revestimento é maior do que 15,0cm.

As informações encontradas no material pesquisado sobre a influência da espessura do pavimento na durabilidade do mesmo foram escassas e um pouco óbvias, como do tipo: a durabilidade de um pavimento depende, entre outros elementos, da espessura e da qualidade

das camadas. Porém no *Synthesis of Highway Practice 241* do *Transportation Research Board* (1997) existem indicações de que a espessura das camadas do pavimento e a resistência do subleito têm forte influência sobre o surgimento de trincas por fadiga e na formação de trilhas de roda. Observa que variações maiores na espessura podem afetar sensivelmente o surgimento de danos de uma forma até 20 vezes maior. Conclui, afirmando que a deficiência de espessura nas camadas do pavimento é o único fator comparável em magnitude ao efeito da carga por eixo no surgimento de trincas por fadiga.

2.6 Pesquisa de opinião sobre pesagem

No Brasil, infelizmente, muitas ações governamentais são implementadas sem planejamento e discussão prévia com os participantes e interessados no processo. Um dos exemplos mais significantes deste comportamento na área de transportes foi no início da concessão de rodovias através da cobrança de pedágio. Ocorreram muitos problemas de compreensão e aceitação dos novos procedimentos decorrentes desta nova estratégia do Governo. Muitas críticas surgiram e até hoje persistem. A explicação parece ser simples: os agentes do sistema não foram previamente ouvidos, não participaram das discussões, não opinaram, principalmente embarcadores, transportadores, técnicos, motoristas e usuários em geral.

Conforme ficou expresso nas seções anteriores, os excessos de carga existentes e os efeitos danosos sobre a segurança, desempenho e durabilidade dos pavimentos estão a exigir das autoridades providências no sentido de implementar dispositivos de fiscalização por pesagem em pontos judiciosamente escolhidos. Órgãos do Governo como DER's e DNIT afirmam que estão se organizando para esta finalidade. É uma providência há tempo exigida pela comunidade de usuários de rodovias, inclusive pela Confederação Nacional do Transporte – CNT, através da reportagem “O peso do abandono” que descreve o quadro precário das pesagens no Brasil, onde expressa o firme apoio dos transportadores a urgentes ações para o funcionamento das balanças (Hemétrio, 2004).

A importância deste contexto serviu de motivação para a inserção nesta tese de uma pesquisa de opinião (possivelmente inédita no Brasil) para levantar a percepção dos usuários

sobre pesagem, a partir da qual foram auscultados motoristas, técnicos e empresários representantes importantes dos segmentos integrantes do processo de pesagem de veículos de carga.

Apesar da intensa procura por referências em periódicos e na *WEB*, particularmente em sítios oficiais na Austrália, Canadá, Espanha e Estados Unidos nada foi encontrado sobre pesquisa de opinião sobre pesagem. Porém, a busca demonstrou que é grande a utilização de técnicas de pesquisas de opinião, principalmente em planejamento de transportes. Como exemplo cita-se a publicação “*Public Involvement Techniques for Transportation Decision-Making*”, considerada referência no desenvolvimento de pesquisas de opinião na área de transportes (FHWA, 2002).

O apoio para o desenvolvimento da pesquisa proposta deu-se através do conteúdo e trabalhos desenvolvidos na disciplina de Métodos Quantitativos do curso de doutorado do PPGEF e do conteúdo da publicação *Trabalhando com Dados Qualitativos* (Ribeiro, 2001).

Os resultados do trabalho serão disponibilizados às autoridades e usuários do sistema que poderão considerar as opiniões e tendências colhidas e incluir estas considerações nos atuais e futuros planos e gerenciamentos de pesagens, tanto nas esferas federal e estadual de Governo bem como para as rodovias sob regime de concessão.

2.7 Fiscalização por pesagem

A bibliografia consultada, sintetizada nas seções anteriores, indica que o excesso de carga por eixo é uma das maiores causas da deterioração prematura dos pavimentos. Torna-se, então, evidente, que para obter-se maior desempenho e durabilidade dos pavimentos é necessário a implementação de uma eficiente fiscalização por pesagem dos veículos de carga através de balanças posicionadas em pontos estratégicos da rede rodoviária.

Na verdade, o efeito nocivo do excesso de peso é de conhecimento público, em especial dos próprios infratores que observam na estrada e nos veículos a evolução das conseqüências desta ação. Talvez a informação que está faltando divulgar é a magnitude dos danos físicos e financeiros causados aos pavimentos pelo excesso de cargas.

Sobre a consciência existente quanto aos danos decorrentes, assim se manifestou o transportador autônomo Sergio Humberto da Silva de Frutal, MG: “Não concordo com a atitude dos meus irmãos caminhoneiros de ficarem parados antes da balança da Rodovia dos Bandeirantes, em Jundiá, para esperar a balança fechar de madrugada e assim transportar excesso. Eles deveriam andar com o peso certo de cada caminhão, pois o “bruto” daria menos manutenção, sobrariam mais cargas e, logicamente, o frete também teria um aumento de preço” (Carga Pesada, 2002).

Na Figura 4, observa-se uma placa de sinalização do tipo educativa localizada na rodovia RS/407, no litoral norte do Rio Grande do Sul cuja finalidade é conscientizar os condutores de veículos a respeito da necessidade de não exceder os limites máximos previstos na legislação vigente.

O DNIT através do ex-ministro Eliseu Padilha (2000), anunciou que iria implantar um programa para controle de peso nos caminhões de carga em todas as rodovias brasileiras. “A medida seria viabilizada mediante concessão do sistema de pesagem e intensificação do controle por parte da Polícia Federal”. Afirmou ainda: “Os infratores serão penalizados com pesadas multas”.



Figura 4 – Placa de sinalização educativa na RS/407

Apenas 13 postos estão em operação nos 58 mil quilômetros de rodovias federais pavimentadas. A intenção do governo é reforçar o número de balanças em pontos estratégicos

dos principais corredores do País, evitando que os motoristas fujam das fiscalizações por meio de rodovias estaduais e municipais. Para isso, o Ministério dos Transportes criou um plano diretor para recuperar e modernizar 30 balanças até o início de 2005. No total, serão 150 balanças fixas e móveis (Ministério dos Transportes, 2004).

Do total da malha rodoviária pavimentada do Rio Grande do Sul, o Estado e a União são responsáveis diretos por 76,0%. Nesses trechos não existem postos de pesagem e o controle de carga é feito de forma precária por verificação da nota fiscal, de acordo com a resolução 104/99 do Contram. Nos 24,0% de rodovias concedidas, as concessionárias atuam em fiscalização por pesagem em apenas cinco balanças móveis. Segundo informações de Masiero e Ledermann (2004) o DAER necessita de 17 balanças e o DNIT solicitou a inclusão de 14 em uma licitação que deveria estar concluída até o final de 2004.

Existem disponíveis e em operação dois tipos principais de pesagem: a estática e a dinâmica. Procura-se descrever sinteticamente cada uma e apresentar os esquemas com o fluxo de veículos.



Figura 5 – Lixo e destruição formam o cenário de um posto de pesagem desativado

- **Pesagem Estática**

Nos postos de pesagem estática, primeiramente o veículo passa por uma balança seletiva, a uma velocidade entre 10 a 100 km/h, caso haja excesso, o veículo é desviado para uma balança de precisão onde fica totalmente paralisado. Toda operação é controlada por um

sistema para controle de peso de caminhões. Pode-se observar uma configuração típica na Figura 6.

- **Pesagem Dinâmica**

A pesagem através de balanças com veículos em movimento, consagrada pela designação WIM, cresceu durante os últimos anos como tentativa de aumentar o desempenho e precisão no controle de peso além de reduzir os custos. Estes equipamentos podem ser usados isoladamente, ou em conjunto com um posto de pesagem estática onde pode funcionar como elemento classificador dos veículos com excesso, desviando-os para a pesagem estática, se for o caso. Na Figura 7 pode-se observar um esquema de pesagem dinâmica.

Nas rodovias onde não existem postos de pesagem estática, pode-se criar um ponto de pesagem dinâmica, em uma pista de no mínimo 40m de comprimento, nivelada conforme orientação oficial. Se o ponto de pesagem estiver em condições e o equipamento devidamente aferido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial e os Institutos de Pesos e Medidas (INMETRO/IPENS), as multas ali lavradas tornam-se efetivas.

Atualmente verifica-se uma maior utilização de pesagem dinâmica nas operações de fiscalização por pesagem devido a uma série de vantagens:

- Permite o controle de peso e dimensões de todos os veículos de transporte de carga que transitam pelo lugar sem produzir filas ou demoras desnecessárias aos veículos não sobrecarregados;
- Permite a medição do PBT e da carga por eixo com o veículo em movimento. Conhecendo-se o comprimento total e a separação entre eixos, determina-se a classificação e o controle dos limites;
- Ganho de tempo do usuário que não está com excesso de peso. Os veículos podem retornar à rodovia com apenas uma mudança de marcha, sem paradas e outros inconvenientes, e
- Cumpre funções de estatística diária e mensal de todos os veículos que passam pelo posto, referindo-se a pesos e também a velocidades e classificação dos veículos.

A publicação *Equipment for collecting traffic load data* do *Transportation Research Board* (TRB) (2004) informa que todos sensores de utilizados normalmente nos Estados Unidos medem forças transitórias aplicadas por pneus a medida que os veículos circulam sobre a rodovia. Os sistemas utilizados devem ser capazes de medir a carga por eixo e classificar os veículos em pelo menos 13 categorias de acordo com o padrão da FHWA.

Os sensores utilizados para a medição da carga podem ser placas ou chapas delgadas colocadas diretamente sobre a superfície dos pavimentos ou em estruturas especiais construídas no interior das camadas do pavimento ou ainda instalados nas estruturas das pontes ou viadutos. Para a escolha adequada de uma tecnologia específica para a pesagem dinâmica devem ser considerados os seguintes fatores: custo dos sensores e sua instalação; localização onde uma determinada tecnologia pode ser instalada com êxito; sensibilidade do sensor a vários fatores tais como temperatura, dinâmica do veículo, volume de tráfego e velocidade; expectativa de durabilidade do sensor e robustez da instalação.

O maior problema para uma coleta precisa de dados de pesagem em movimento é a correta escolha ou preparação do piso de modo a minimizar os efeitos das forças dinâmicas desenvolvidas pelos veículos em pesagem devido às ondulações no perfil do piso de rodagem. Outro importante cuidado requerido para minimizar os efeitos dinâmicos do movimento é providenciar a aferição no próprio local das pesagens, pois em laboratório é impossível detectar tais efeitos.

Atualmente estão em operação corriqueira dois tipos básicos de pesagem WIM: pesagem móvel (ou portátil) e pesagem permanente ou fixa (TRB, 2004).

a) Tecnologias de pesagem WIM móvel

Existem somente três tecnologias usualmente utilizadas em pesagem móvel ou também chamada de portátil nos Estados Unidos: *capacitance mats*, *piezoelectric sensors* e *bridge WIM systems*. Esta última utilizada apenas em alguns Estados a partir do início dos anos 1990.

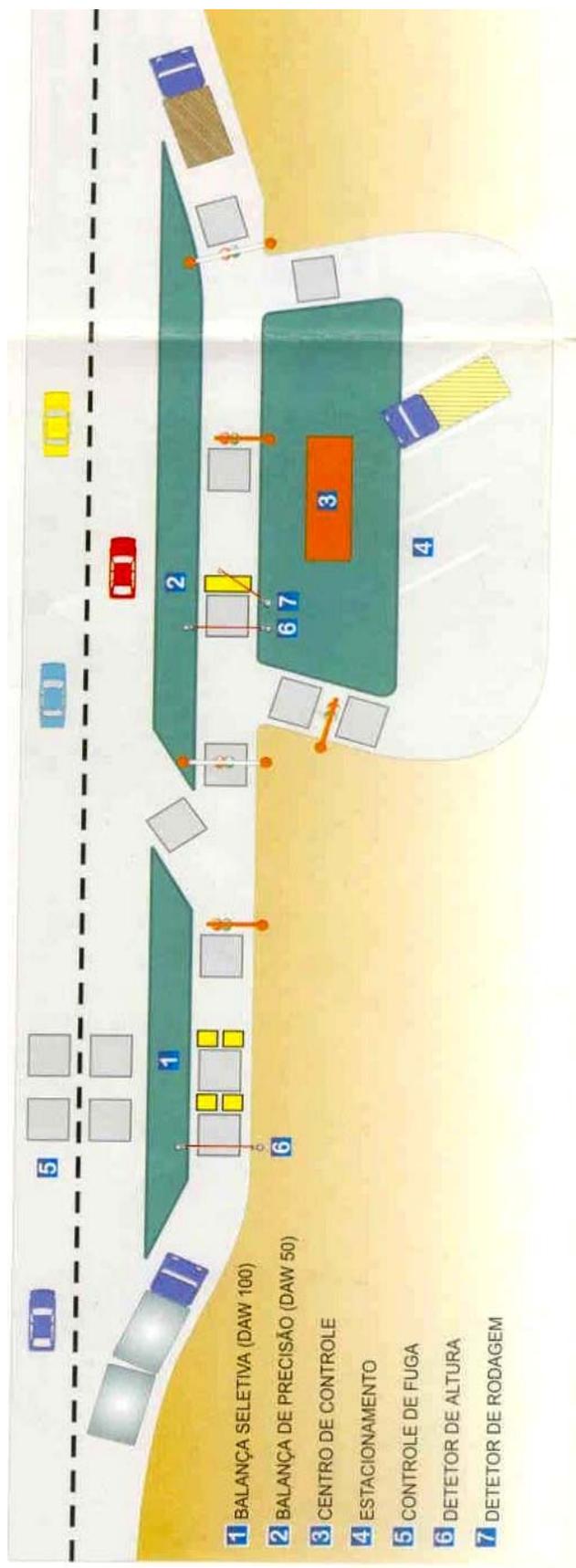


Figura 6 - *Layout* de um posto de pesagem estática

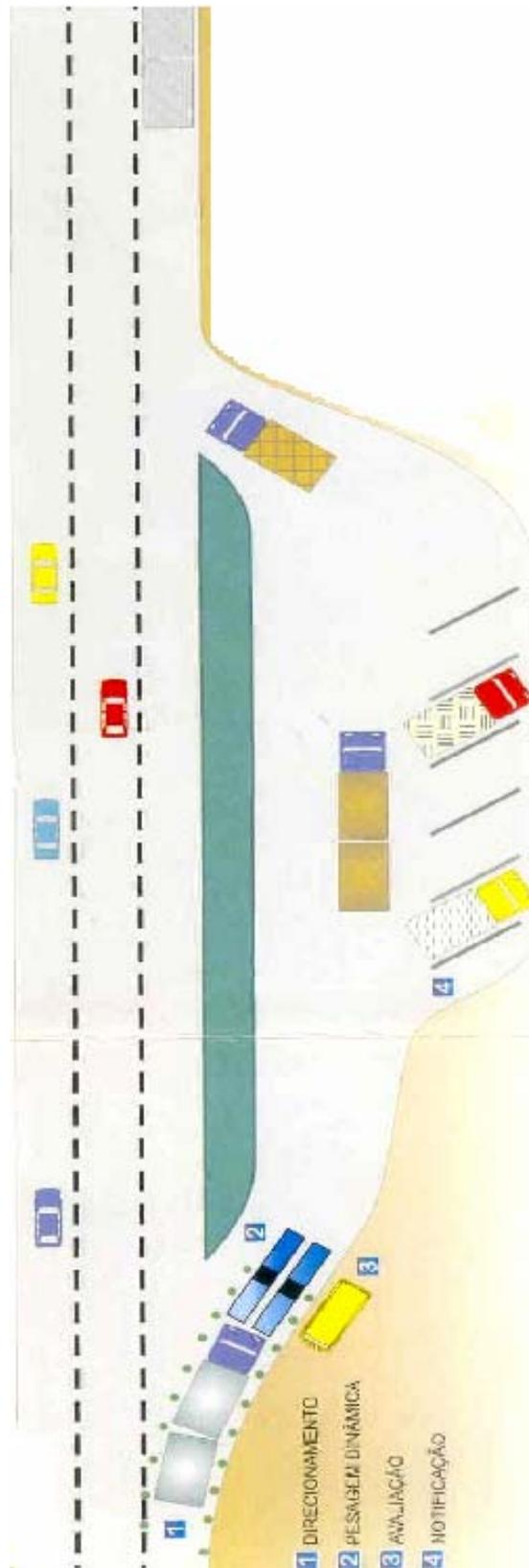


Figura 7 – *Layout de uma paisagem dinâmica*

Uma balança do tipo *capacitive mat* consiste basicamente em duas chapas metálicas sobrepostas separadas por um material dielétrico. Uma camada externa envolve os sensores e protege as placas permitindo que os sensores possam ser posicionados sobre a superfície do pavimento. Uma diferença de potencial é aplicada sobre as duas placas metálicas e, quando o veículo passa sobre o sistema de placas, ele provoca uma redução na distância entre as mesmas ocasionando um aumento na capacitância do sistema. Medições feitas na frequência de ressonância do circuito instalado permitem a associação com os valores das cargas por eixo que são aplicadas ao sistema de sensores.

Um típico sistema de pesagem móvel constituído por *capacitive mats* pode cobrir apenas uma metade da faixa de rolamento e mede o peso de um semi-eixo. Este sistema possui boa credibilidade quando ocorre a seguinte combinação: revestimento asfáltico com mais de 5,7cm e placa metálica de aço. Outros circuitos que complementam este sistema de pesagem móvel têm a finalidade de detectar a presença do veículo e medir sua velocidade. A tecnologia *capacitive mats* de pesagem móvel são sistemas de WIM projetados tipicamente para baixas velocidades que atuam em locais durante um certo tempo. Os equipamentos são portáteis e facilmente removíveis.



Figura 8 – Sensores apoiados em esteiras sobre a superfície nivelada da rodovia

Outra alternativa tecnológica para pesagem em movimento é conhecida como *Piezoelectric sensors*, constituída por um sistema de chapas estreitas sobre toda a largura da faixa de rolamento. O princípio básico de funcionamento é simples: quando uma força mecânica é aplicada ao mecanismo piezoelétrico, ele produz uma voltagem causada por cargas elétricas de polaridade opostas que surgem nas faces paralelas do material cristalino piezoelétrico. A medida da voltagem é proporcional ao peso de uma roda ou conjunto de

rodas que provocam a diferença de potencial. O efeito piezoelétrico é dinâmico, isto é as cargas são geradas somente quando as forças atuantes variam. Por este motivo os sensores piezoelétrico só podem ser utilizados quando os veículos passam em velocidades superiores a 16km/h. Esta condição contra indica o uso destes sensores para baixas velocidades e movimentos de para-e-anda do tráfego.

Usualmente dois sensores são posicionados um adiante do outro e, através da diferença de tempo de passagem de um eixo entre os sensores, mede-se a velocidade e os espaçamentos entre eixos necessários para proceder a classificação dos veículos. Uma balança equipada com sensores piezoelétricos possui fácil regulagem e aferição. Os sensores piezoelétricos custam menos do que os do tipo *capacitive mat*, porém nas operações de pesagens móveis são bastante limitados por uma série de razões, principalmente porque são sensíveis à variação de temperatura e sofrem interferência de altas frequências de rádio.

Normalmente os sensores piezoelétricos proporcionam boas leituras para classificação de veículos para estudos estatísticos, medida de velocidade, sistemas de máquina fotográfica com infravermelhos e medidas de peso de veículos em alta velocidade.



Figura 9 – *Piezoelectric sensors* em operação

O sistema conhecido como *Bridge WIM* consiste na instrumentação da plataforma de pontes e viadutos por sensores para leitura das cargas. A tecnologia utilizada consiste na medida das respostas (principalmente a deflexão) provocadas pela ação do tráfego em sensores do tipo *strain gauges* instalados na longarina da estrutura. Uma série de países

européus está utilizando este sistema. Na Austrália há um sistema semelhante com os sensores instalados nas galerias de escoamento de águas superficiais da obra de arte. Este sistema tem a vantagem de possuir uma plataforma de pesagem bastante larga que é a própria ponte, porém sofre as limitações provocadas pelos efeitos das cargas dinâmicas e interferências quando passam mais de um veículo sobre a estrutura.

b) Tecnologias de pesagem WIM permanente

Esta questão implica na instalação permanente dos equipamentos de pesagem, pois, atualmente, em muitos Estados do Brasil e nos Estados Unidos, executa-se fiscalização dos excessos de carga através de dispositivos WIM fixos. Os sensores ficam previamente montados e aferidos e as operações de pesagem podem ser programadas de forma rotineira ou aleatória pelos operadores sem a necessidade de maiores transtornos. Permanentemente instalados sobre locais nivelados e drenados de acordo com as normas, os sensores podem apresentar maior durabilidade e precisão. Estes mecanismos permanentes devem ser constantemente protegidos de fatores externos tais como: descargas elétricas, variação de temperatura, umidade, poeira, insetos e outras causas que podem interferir no bom funcionamento dos equipamentos.

As tecnologias existentes além das já descritas *Capacitive mats* e *Bridge WIM systems* que também podem ser utilizadas de forma permanente são as seguintes: *piezoceramic sensors*; *piezopolymer sensors*; *piezoquartz sensors*; *blending plates* e *hydraulic load cells*.

As tecnologias de sistemas do tipo *piezoceramic* e *piezopolymer sensors* apresentam-se de várias formas, mas possuem o mesmo princípio básico de funcionamento do *piezoelectric sensors* descrito anteriormente. Possuem as mesmas vantagens e desvantagens. O *piezoceramic sensor* foi o primeiro sensor a ser fabricado nos Estados Unidos que utilizou esta tecnologia que consiste na utilização de um pó de cerâmica comprimido, formando um sólido núcleo coberto por um condutor de cobre. Este cabo tem praticamente a seção do tamanho de um cabo coaxial convencional. Para ser usado de forma permanente em pesagens WIM estes sensores são colocados dentro de um conduto de alumínio preenchido com resina epóxi ou outro material similar. É usual colocar dois *piezoceramic sensors* para permitir, além da pesagem, a medida da velocidade e a classificação do veículo.

O *piezopolymer* é semelhante ao *piezoceramic sensors*. A principal diferença é que este último utiliza um polímero piezoelétrico nas bordas cobrindo a chapa metálica plana. Este sensor é normalmente conhecido como *BL sensor* e fica posicionado diretamente sobre a superfície do pavimento para operações de pesagem dinâmica portáteis ou não permanentes. No caso da instalação permanente, similarmente ao *piezoceramic sensor* ele é inserido em um conduto de alumínio preenchido com resina epóxi.

Estas duas tecnologias possuem coleta de dados de pesagem considerada de média qualidade. São mais utilizados como equipamentos para classificação dos veículos da frota de carga. Estes mecanismos estão sujeitos a três limitações significantes: suscetibilidade a variação da temperatura, dependência das condições estruturais do pavimento e forma muito estreita para captação da força transmitida pelos pneus.

Por seu turno, a *piezoquartz sensors* é uma tecnologia de uso mais recente e difere das duas últimas basicamente pelo material piezoelétrico (quartzo) utilizado na fabricação do sensor que é acomodado em um corte feito no pavimento, geralmente menor do que 5,0cm de largura. Ainda que este sensor seja mais caro do que os outros sensores piezoelétricos o sensor de quartzo distingue-se pela vantagem de ser mais insensível às variações de temperatura e possuir maior precisão do que os outros piezos sensores. Na verdade, a interferência da temperatura na pesagem, deve-se às alterações na temperatura interna da camada do revestimento do pavimento onde está inserido o sensor. Esta tecnologia oferece melhores resultados em pavimentos rígidos, constituídos por placas de concreto de cimento *portland*. Cada sensor tem o comprimento de um metro, por este motivo são colocados quatro sensores para cobrir toda largura da faixa de rodagem. A instalação consiste em duas piezo linhas para melhor avaliar a pesagem dos veículos, pois cada linha faz uma medida independente da carga por eixo, adotando-se a média como valor efetivo da pesagem.

A experiência mundial com *piezoquartz sensors* está em contínuo crescimento, inclusive nos Estados Unidos, mas este tipo de sensor surge oferecendo maior precisão quando instalado em um sistema conhecido como *blending plate*, no interior da estrutura de um pavimento espesso.

A tecnologia *bending plate* utiliza placas metálicas providas de sensores do tipo *strain gages* na parte de baixo de uma cava especial no pavimento feita para instalar o equipamento.

Os eixos passam sobre as placas e o sistema mede a tensão sobre a superfície da placa e calcula o peso necessário para produzir aquele nível de tensão. Geralmente cada placa possui dimensões de 70,0 x 40,0cm e são posicionadas transversalmente ao fluxo de veículos, perfeitamente niveladas com o piso.

Em alguns casos as placas são instaladas alinhadas em uma mesma trilha de roda ou para balancear a medida, as placas são instaladas, na maioria das vezes, em diferentes pontos, uma em cada trilha de roda. Um típico local que utiliza a tecnologia *bending plate* também inclui dois circuitos indutivos para detectar a aproximação do veículo, o espaço entre veículos consecutivos e a medida da velocidade. Dispositivos *blending plates* são montados em armações de aço colocados no interior do pavimento. Uma estrutura de aço separa a placa e o sensor da estrutura do pavimento, aumentando assim a precisão da pesagem em comparação aos grupos *capacitance mat* e *piezoelectric sensors*.

Balanças equipadas com tecnologia *blending plate* são muito utilizadas no Uruguai e Brasil. No Rio Grande do Sul, estão em operação nos trechos concedidos ao Consórcio Univas e Concepa *Free Way*. Obrigatoriamente estas placas são aferidas no próprio local pelo INMETRO para que as multas possam cumprir sua missão educativa e punitiva.



Figura 10 – Um exemplo de balança com tecnologia *blending plate* em funcionamento

No âmbito das tecnologias de pesagem em movimento de alta velocidade em uso nos Estados Unidos a mais utilizada está constituída por um sistema equipado com *hydraulic load-cell*. A versão mais comum opera transferindo a carga da roda aplicada sobre a plataforma de pesagem sobre um ou mais cilindros hidráulicos contendo óleo especial. As

alterações na pressão hidráulica são correlacionadas com a carga por eixo. A forma mais comum de balança utiliza duas plataformas de pesagem colocadas uma ao lado da outra, cobrindo toda largura da faixa. As plataformas operam independentes e fornecem o peso estimado pela soma dos conjuntos de pneus, constituindo a carga por eixo. O sistema possui outros sensores e circuitos indutivos que fornecem a aproximação do veículo, a classificação e a velocidade. O sistema *hydraulic load-cell* é geralmente considerado como de maior precisão para medições WIM de carga por eixo em alta velocidade. Ele é considerado pouco sensível a variações de temperatura e funciona bem para pesagem de veículos também em baixas velocidades. Entretanto no que se refere ao preço de aquisição e instalação este sistema é o mais caro de todos. A instalação é totalmente feita dentro de uma estrutura de aço colocada no interior da espessura do pavimento.

Outras tecnologias de pesagem em movimento estão em desenvolvimento em centros de pesquisa sendo que algumas já estão produzidas testadas e utilizadas. A maioria das modernas tecnologias é desenvolvida para suprir as limitações das existentes no que se refere particularmente a custos, desempenho e flexibilidade. As mais importantes em andamento são: *fiber-optic* (Estados Unidos), *capacitance strip sensors* (Inglaterra), *subsurface strain-gauge frame* (Estados Unidos) e *multi-sensor WIM* (países da Europa) (TRB, 2004).



Figura 11 – Balança com tecnologia *hydraulic load-cell*

Com relação a precisão destes sistemas, de acordo com a manifestação de Ríos (2000), balanças com tecnologias para pesagem em alta velocidade possuem um erro de até 10% sobre o PBT e até 15% sobre a carga por eixo. Ressaltou que este tipo de pesagem é mais adequado para obter dados estatísticos do uso da rede viária em termos de intensidade de tráfego, velocidade e peso dos veículos. No caso de pesagem WIM de baixa velocidade (6,0km/h) a precisão fica da ordem de $\pm 2,0\%$ do peso estático do veículo. Encerrou comentando que as pesagens estáticas utilizadas na Espanha tem uma precisão de $\pm 20,0\text{kg}$. Fornecedores de balanças para as rodovias brasileiras indicam uma precisão de $\pm 5,0\%$ para balança seletiva de alta velocidade (até 60,0km/h).

As balanças utilizadas em rodovias no controle de excesso de peso devem ser submetidas ao controle metrológico anual compulsório, exercido pelos IPEM's. As instalações e consertos devem ser realizados por empresas autorizadas, envolvendo nos serviços prestados apenas aspectos técnicos, não isentando o instrumento do controle metrológico oficial. A base legal está expressa através da Portaria nº. 257, de 12/11/1991 e na Regulamentação Metrológica aprovada pela Resolução nº. 11 de 12/10/1988 do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO).

Todos equipamentos de pesagem estática ou dinâmica são acoplados a um computador com um *software* que permite a interligação e armazenagem das informações geradas e transmitidas pelas unidades de pesagem. Estes programas permitem a entrada de dados em janelas na tela de um *notebook* e a imediata impressão de um conjunto de dados, normalmente os seguintes: senha do agente operador, senha do agente autuador, nome e localização do posto, data e hora, placa do veículo, marca e modelo do veículo, classificação do veículo, número da pesagem, origem e destino do veículo, peso por eixo, somas dos pesos, PBT, limite de carga por eixo, limite do PBT, somatório dos excessos nos eixos e PBT, valor do transbordo e valor da autuação. Apresenta-se na Figura 12 *tickets* de pesagens realizadas em rodovias do Brasil e Estados Unidos.

Outras questões importantes que devem ser observadas em planos de pesagem referem-se à localização dos postos e a integração entre as esferas estadual e federal de Governo. No tocante à localização Oliveira Jr. *et al.* (1995), em um estudo de pesagem para o Estado do Ceará, estabeleceram dois critérios básicos para localização de postos fixos: cobrir

o maior número possível de rotas de tráfego pesado e interceptar o caminhão na maior proximidade possível da origem.

```

Orsao :
SULVIAS
ROD: BR386 KM: 340
Operador:
RODRIGO
Nr. Pesagem: 127
Placa: IJM8936
Codiso do Veiculo: 99

LIM.PBT : 37800 kg
EXC.PBT : 0 kg
EXC.EIX : 2150 kg
EXC.TOT : 2150 kg
M: *
Peso Eixo
E 1: 5610 kg
E 2: 12900 kg *
E 3: 7650 kg
E 4: 8630 kg
PBT: 34790 kg

Veloc. : 4,3 km/h
Desbalanc : 21,0 %

15:42:11 24.09.03
Ass.:

```

(a)

```

(a(30665) LANE RT-LN1 CLASS 19 GVW 141.4 kips LENGTH 85 ft.18-K
ESAL=9.651 SPEED 65 mph MAX GVW 137.8 kips Tue Jan 20 11:25:58.46 2004

```

```

|<===== 75.0ft =====>|
* * * * * * * * * * *
19.9 19.2 17.9 17.3 16.9 19.8 19.3 11.3

```

AXLE	SEPARATION (ft)	WEIGHT (kips)	ALLOWABLE (kips)
1	OVER GVW	11.3	12.1
2*	15.7	19.3	18.7
3*	4.6	19.8	18.7
4*	20.5	16.9	16.9
5*	5.0	17.3	16.9
6*	5.0	17.9	16.9
7*	19.1	19.2	18.7
8*	5.0	19.9	18.7

Warning: Overweight

Warning: Over Gvw

(b)

Figura 12 – (a) (b) Exemplos de fichas de impressão com as informações da pesagem

De acordo com um plano piloto realizado pelo DAER (1995) estabeleceu-se uma hierarquia de critérios para localização dos postos de pesagem: maior VDM da rodovia; consideração dos pontos de convergência de rodovias; existência de possibilidade de fugas; existência de estrutura de apoio da Polícia Rodoviária; balanças já instaladas ou planejadas pelo DNIT; postos de pedágio instalados ou planejados; balanças já instaladas na rede estadual, e, por último, local fora de zona urbana.

Encaminhando o encerramento da Revisão, julga-se importante registrar como ilustração, o depoimento do motorista Vitor Santos Cardoso de Criciúma de Santa Catarina que parece traduzir a importância do tema em pauta: “Dirijo uma carreta e gosto muito da profissão. O que me deixa triste é a má conservação das estradas, que têm muitos buracos e má sinalização. Para termos estradas melhores, precisamos de balanças nas rodovias estaduais e federais com militares tomando conta, porque tem muito guarda levando dinheiro para deixar passar caminhão com sobrepeso. Os transportadores dizem que os pneus não prestam, mas nós sabemos que carretas de 27 toneladas carregam até 45 toneladas” (Carga Pesada, 2003).

Finalizando, destaca-se uma das conclusões de estudo sobre os efeitos da falta de fiscalização por pesagem, desenvolvido para a rodovia BR/287, trecho Venâncio Aires – Tabai no Rio Grande do Sul, no qual Albano e Masiero (2003) concluem sobre a importância da implementação de programas de pesagem dos veículos de carga para preservação da serventia, da maior durabilidade da rede viária, aumento da segurança dos usuários e da otimização de aplicação dos escassos recursos públicos.

3. Efeito dos fatores carga por eixo, pressão dos pneus e espessura no desempenho dos pavimentos: uma pesquisa experimental

3.1 Descrição do Experimento

Uma das motivações para o desenvolvimento do presente assunto no contexto da tese foi a possibilidade de utilização do simulador de tráfego existente na Área de Pesquisas e Testes de Pavimentos da UFRGS/DAER para execução de um experimento fatorial em continuação aos estudos desenvolvidos na dissertação de mestrado do autor de (Albano, 1998). Naquela ocasião foram verificadas as significâncias dos fatores pressão de inflação, carga por eixo, e tipo de pneu sobre a resposta elástica de um pavimento delgado. Pretende-se agora, medindo as deformações recuperáveis em um pavimento espesso, investigar o comportamento das deflexões e a significância sobre esta resposta estrutural, quando se analisa além da pressão de inflação e a carga por eixo, a espessura do pavimento.

Assim, os objetivos do experimento foram focados na determinação da significância dos fatores carga por eixo, pressão de enchimento dos pneus e espessura do pavimento sobre as deflexões superficiais recuperáveis. Com os dados obtidos pretende-se hierarquizar os efeitos dos fatores segundo o critério de maior dano provocado ao pavimento, propor um modelo de previsão das deflexões e, por fim, avaliar o efeito das condições críticas de carregamento sobre a durabilidade prevista para os pavimentos delgado e espesso ensaiados.

A presente análise experimental foi programada para a utilização do Simulador de Tráfego UFRGS/DAER. Todos os detalhes e informações construtivas do equipamento estão descritos por Nuñez (1997), porém destaca-se que o projeto foi desenvolvido pelo Grupo de Projeto Mecânico e Automação Industrial do Departamento de Engenharia Mecânica da UFRGS e a construção deu-se entre os anos de 1992 e 1994 na oficina central do DAER na cidade de Guaíba, na região metropolitana de Porto Alegre, sob supervisão dos projetistas e da coordenação do projeto.

O Simulador de Tráfego UFRGS/DAER, visualizado nas Figuras 13 e 14, tem as seguintes dimensões: 15,0m de comprimento, 2,5m de largura e 4,3m de altura. O equipamento apresenta as seguintes características básicas:

- Curso de atuação da carga sobre o pavimento: 9,0m;
- Curso de aceleração e desaceleração: 3,0m;
- Carga sobre o pavimento: regulável entre 0,0 e 65,0 kN (equivalentes a cargas de 0,0 a 130,0 kN por eixo);
- Princípio de aplicação da carga: hidráulico;
- Aplicação da carga: linear, unidirecional e não tracionada;
- Sistema de rodado: simples ou duplo, articulado e regulável;
- Velocidade de deslocamento: aproximadamente 5,0 km/h
- Princípio de acionamento geral: elétrico



Figura 13 – Simulador de Tráfego UFRGS/DAER

A carga é sempre aplicada com o deslocamento do rodado em um único sentido, sendo que o retorno é feito com o rodado suspenso para reproduzir as condições do tráfego em uma rodovia. O rodado também possui um movimento transversal regulável, condição que permite evitar a canalização do tráfego sobre uma única trilha de roda.

O equipamento é operado à distância através de um quadro de comando elétrico desenvolvido especialmente para esta função. Com o auxílio de um microprocessador, podem-se acionar todos os sistemas do Simulador de Tráfego.



Figura 14 – Outra visão do Simulador de Tráfego UFRGS/DAER

A variação da pressão de inflação foi executada com o auxílio de um compressor de ar de 10 CV, marca Schulz, modelo MSV 40/380 acionado por um motor elétrico trifásico de 10 CV, marca Kolbach, modelo KT 132M10N.

Para a calibragem dos pneus nos diferentes níveis estabelecidos foi utilizado um manômetro marca Schrader com escala 0/170 psi devidamente aferido em setembro de 2002 na Casa dos Manômetros, Indústria e Comércio de Aparelhos de Precisão Ltda. em bomba de pressão por comparação em linha com manômetro padrão marca Record, Classe A2, com incerteza na medição de $\pm 0,5\%$, n° de série 9505, certificado junto a RBC sob o n°. 1737, atendendo às Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Foi atribuído o número de registro 099/02 para o certificado de aferição, cujos valores constam nos arquivos magnéticos da Casa dos Manômetros nomeados com o mesmo número do certificado. Pode-se observar a operação de alteração da pressão de inflação na Figura 15.

A unidade hidráulica, através da qual a carga é aplicada, foi devidamente aferida antes de iniciarem as medições do presente trabalho. A Figura 16 mostra um dos momentos de alteração da carga por eixo no comando da unidade hidráulica do Simulador.

A determinação das deflexões deu-se através de uma Viga Benkelmann, operada por pessoal especializado da Unidade de Normas e Pesquisas (UNP) do DAER, de acordo com o Manual de Operação da Viga Benkelmann (DAER, 2001), adaptado para o Simulador de Tráfego. A viga utilizada no experimento é constituída basicamente por uma parte fixa e outra

móvel. A parte fixa é apoiada ao piso por meio de três pés reguláveis. A viga móvel é acoplada à fixa por meio de uma articulação, ficando a ponta de prova em contato com o piso do pavimento, no local de medição da deflexão. Na outra extremidade fica o extensômetro, que acusa qualquer movimento vertical da ponta de prova. A parte fixa possui um vibrador acoplado cuja função é reduzir o atrito entre todas peças móveis durante a operação. A Viga Benkelmann foi previamente aferida pela UNP de acordo com o procedimento DNER-PRO 175/94. (DNER, 1994f). A Figura 17 permite uma visão da operação da viga.



Figura 15 – Alterando a pressão de inflação



Figura 16 – Alterando a carga por eixo

Compatibilizando os trabalhos em andamento na Área de Testes com os objetivos da tese, programou-se executar a segunda fase do experimento sobre a pista nº 13, cujo pavimento pode ser considerado espesso. A primeira fase do experimento foi realizada sobre a

pista 3, com pavimento delgado. A constituição do pavimento da pista 13 está discriminada na Tabela 14 e na Figura 18.



Figura 17 – Operando a Viga Benkelmann

TABELA 14 - Constituição do pavimento espesso (pista 13)

Camada	Tipo	Espessura (cm)
Revestimento 1	Camada superior de CA	5,0
Revestimento 2	Camada inferior de CA	4,0
Revestimento 3	TSD com capa selante	2,5
Base	Brita graduada	12,0
Sub-base	Macadame seco com basalto decomposto – BD	16,0
Subleito	Argila vermelha de comportamento laterítico	3 camadas de 20,0cm

A espessura total do pavimento da pista 13 é de 39,5cm. O número estrutural corrigido (SNc), indicador da capacidade estrutural do pavimento ensaiado, está compreendido entre 4,3 e 4,7, de acordo com cálculos e informações obtidas na dissertação de Viera (2002).

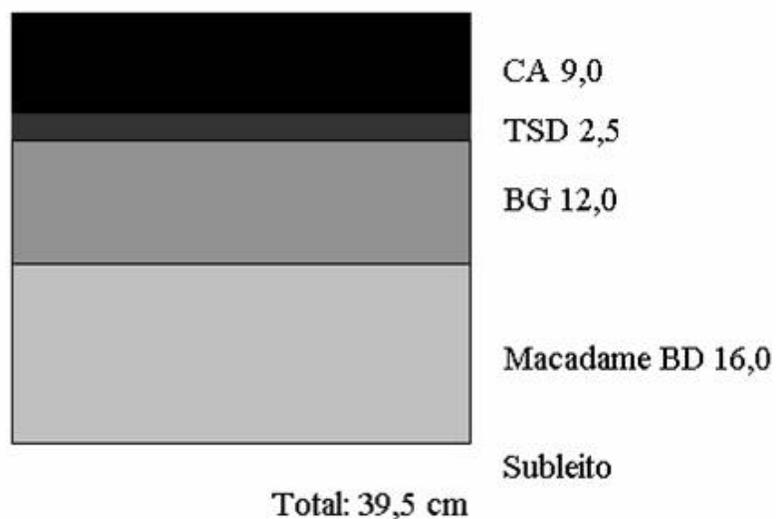


Figura 18 – Pavimento espesso da Pista 13

O Procedimento DNER PRO 159/85 (DNER, 1985) propõe o cálculo do número estrutural corrigido que considera a contribuição do subleito na estrutura em função do valor do Índice de Suporte Califórnia (ISC).

Apresenta-se, na Tabela 15, e na Figura 19 a constituição e as espessuras das camadas da pista 3, do pavimento delgado com uma espessura total de 23,5cm.

TABELA 15 - Constituição do pavimento delgado. Pista 3

Camada	Tipo	Espessura (cm)
Revestimento	TSD com capa selante	2,5
Base	Macadame seco com BD	21,0
Subleito	Argila vermelha de comportamento laterítico	3 camadas de 20,0cm

O intervalo que contém o SNc, calculado para a estrutura do pavimento da pista 3 é variável entre 2,3 a 2,7.

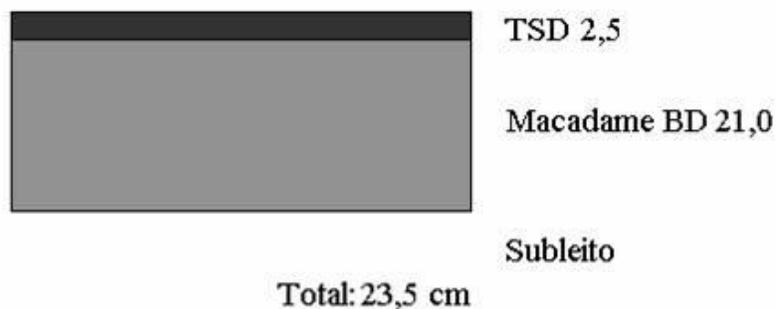


Figura 19 – Pavimento delgado da Pista 3

A definição da espessura do pavimento entre espesso e delgado é uma questão que envolve a capacidade do mesmo em resistir a ação do tráfego que pode ser materializada através do número estrutural (SN). Segundo Ullidtz (1998) pavimentos com SN igual a 2,5 podem ser considerados fracos e pavimentos com SN igual a 5,0 podem ser considerados fortes. Nesta tese designam-se pavimentos delgados e espessos, dentro de uma conotação de menor ou maior capacidade estrutural dos mesmos.

Johnston (2001) comenta que o número estrutural é um parâmetro indicativo da espessura de um pavimento capaz de resistir um número total de passagens de eixos padrões equivalentes, com determinadas combinações de capacidade de suporte do subleito, serventia final e clima. Este número foi criado a partir das pistas da AASHTO sendo determinado através de coeficientes característicos do material de cada camada, do valor da espessura das camadas e de coeficientes de drenagem.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 + \dots + a_i D_i m_i \quad (12)$$

Onde:

a_i é o coeficiente da i -ésima camada do pavimento;

D_i é a espessura em polegadas da i -ésima camada do pavimento e,

m_i é o coeficiente de drenagem da i -ésima camada do pavimento.

Para o cálculo do SN do pavimento delgado da pista 3 considerou-se o revestimento mais a base como uma única camada com coeficiente $a = 0,12$ e fator de drenagem $m = 1,0$.

A pista 13 da Área de Testes está dividida em dois setores ou faixas A e B, sobre os quais o rodado do Simulador executa o deslocamento. A faixa A possui uma largura de 0,70m

e a B 1,0m. A pista experimental está dividida transversalmente em 8 seções que delimitam sete subtrechos. Programou-se, para o presente trabalho, utilizar a Seção 4 da faixa B. A Figura 20 ilustra a configuração da Pista 13 e a localização definida para a execução das medições.

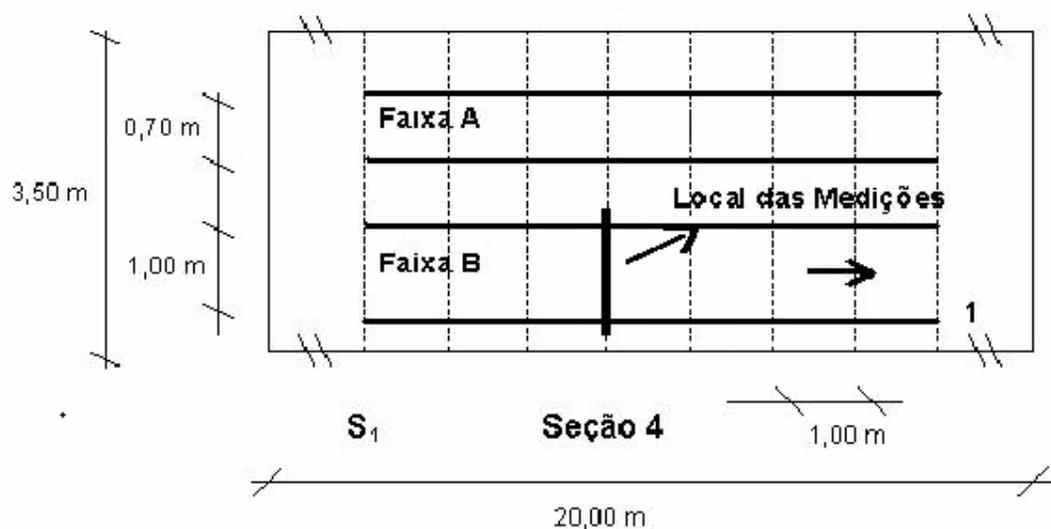


Figura 20 – Planta baixa da pista 13 (sem escala)

Durante as medições foram anotadas a temperatura ambiente e a temperatura da camada de revestimento betuminoso (a uma profundidade de 5,0cm), para posterior análise e correção do valor das deflexões em função da temperatura. Utilizou-se um termômetro digital marca Gul Term 180, fabricado pela Gulton do Brasil Ltda (Figura 21). Seguiu-se uma orientação padrão vigente na Área de Testes de não medir deflexões quando a temperatura do revestimento é maior do que 38°C e também de não executar medições com ocorrências de chuvas.

Desenvolveu-se, então, o experimento fatorial cruzado com três fatores de acordo com procedimentos estatísticos descritos em Ribeiro e Caten (2003), cujos elementos estão detalhados adiante.



Figura 21 – Termômetro digital utilizado

Fatores Controláveis:

a) Carga por Eixo (C_e) – Para análise de uma possível não-linearidade, definiu-se três níveis obtidos por regulação da Unidade Hidráulica (UH) do Simulador de tráfego:

$C_1 = 82 \text{ kN}$ (8,2 tf): Carga correspondente ao eixo padrão de 18.000 lb. Regulou-se a UH para obter 41 kN (4,1 tf) sobre o rodado duplo do Simulador. Carga considerada BAIXA;

$C_2 = 100 \text{ kN}$ (10,0 tf): Carga máxima por eixo simples equipado com rodado duplo permitida pela legislação. Regulou-se a UH para obter 50kN (5,0 tf). Carga NORMAL;

$C_3 = 120 \text{ kN}$ (12,0 tf): Carga 20% acima da máxima permitida. Regulou-se a UH para 60 kN (6,0 tf). Carga ALTA.

b) Pressão de Enchimento dos Pneus (P_e) – Da mesma forma, decidiu-se utilizar três níveis de pressão de inflação. Os valores dos níveis foram escolhidos com base na pesquisa de campo realizada por Albano (1998) e recomendações constantes em catálogos de fabricantes. A inflação e a calibragem dos pneus foi obtida através dos procedimentos descritos anteriormente. Os níveis adotados foram os seguintes:

$P_1 = 552 \text{ kPa}$ (80 psi): Pressão padrão utilizada nas pistas da AASHTO e normalizada para determinação da deflexão, conforme o ME 24/94 do DNER

(DNER, 1994a). Pressão BAIXA;

$P_2 = 620$ kPa (90 psi): Pressão considerada MÉDIA;

$P_3 = 689$ kPa (100 psi): Pressão ALTA.

O rodado do Simulador estava equipado com dois pneus de lonas marca Firestone, tamanho 9.00x20, CAP 14 lonas nas duas pistas ensaiadas. Devido ao tamanho dos pneus utilizados no experimento e atendendo recomendações dos fabricantes, quanto ao risco de possíveis rupturas, optou-se por não usar níveis mais altos do que 689 kPa (100 psi) na pressão de inflação, garantindo assim a segurança dos operadores.

c) Espessura do pavimento (E) – Utilizou-se no experimento dois níveis, ou seja, dois pavimentos flexíveis, um espesso (E1) com 39,5cm (pista 13) e SNC entre 4,3 e 4,7 e o outro delgado (E2) com 23,5cm (pista 3) e SNC entre 2,3 e 2,7, conforme descrição anterior.

Fatores Constantes:

- a) Tipo de pneu – Como ficou demonstrado em Albano (1998), o tipo de pneu não tem significância sobre os valores das deflexões recuperáveis quando se utiliza o Simulador Linear. A literatura consultada indica que ocorrem diferenças em função do tipo de pneu em segmentos de curva de concordância horizontal. Por este motivo, para as comparações pretendidas, foram consideradas as deflexões medidas na pista 3 com o uso de pneus de lonas e executadas novas medições na pista 13 somente com pneus de lonas, anteriormente descritos;
- b) Clima – Sem chuvas e com temperatura no interior da camada de revestimento menor do que 38°C e,
- c) Local das medições – As medidas de deflexões na pista 13 foram totalmente executadas sobre a seção 4 da faixa B, de acordo com a Figura 20.

Variável de Resposta:

A variável de resposta que define o desempenho do pavimento estudado, de acordo com os objetivos propostos, é a máxima deformação superficial recuperável ou deflexão

descrita anteriormente e na seção 2.3 da Revisão. Este parâmetro foi medido com uma viga Benkelmann.

Para cada combinação dos níveis dos fatores foram feitas quatro repetições de deflexões recuperáveis, quantidade considerada satisfatória. Sendo assim, ocorrem $3 \times 3 \times 2 = 18$ combinações de fatores e $3 \times 3 \times 2 \times 4 = 72$ leituras na viga ou determinações de deflexões. O Quadro 2 apresenta a matriz experimental com as combinações dos fatores e as respectivas repetições.

QUADRO 2 – Matriz experimental com as leituras da deflexão no experimento

Pressão P	Espessura do pavimento					
	Espesso E ₁			Delgado E ₂		
	Carga C ₁	Carga C ₂	Carga C ₃	Carga C ₁	Carga C ₂	Carga C ₃
P ₁	Y ₁₁₁₁ , Y ₁₁₁₂ ,	Y ₁₂₁₁ , Y ₁₂₁₂ ,	Y ₁₃₁₁ , Y ₁₃₁₂ ,	Y ₁₁₂₁ , Y ₁₁₂₂ ,	Y ₁₂₂₁ , Y ₁₂₂₂ ,	Y ₁₃₂₁ , Y ₁₃₂₂ ,
	Y ₁₁₁₃ , Y ₁₁₁₄	Y ₁₂₁₃ , Y ₁₂₁₄	Y ₁₃₁₃ , Y ₁₃₁₄	Y ₁₁₂₃ , Y ₁₁₂₄	Y ₁₂₂₃ , Y ₁₂₂₄	Y ₁₃₂₃ , Y ₁₃₂₄
P ₂	Y ₂₁₁₁ , Y ₂₁₁₂ ,	Y ₂₂₁₁ , Y ₂₂₁₂ ,	Y ₂₃₁₁ , Y ₂₃₁₂ ,	Y ₂₁₂₁ , Y ₂₁₂₂ ,	Y ₂₂₂₁ , Y ₂₂₂₂ ,	Y ₂₃₂₁ , Y ₂₃₂₂ ,
	Y ₂₁₁₃ , Y ₂₁₁₄	Y ₂₂₁₃ , Y ₂₂₁₄	Y ₂₃₁₃ , Y ₂₃₁₄	Y ₂₁₂₃ , Y ₂₁₂₄	Y ₂₂₂₃ , Y ₂₂₂₄	Y ₂₃₂₃ , Y ₂₃₂₄
P ₃	Y ₃₁₁₁ , Y ₃₁₁₂ ,	Y ₃₂₁₁ , Y ₃₂₁₂ ,	Y ₃₃₁₁ , Y ₃₃₁₂ ,	Y ₃₁₂₁ , Y ₃₁₂₂ ,	Y ₃₂₂₁ , Y ₃₂₂₂ ,	Y ₃₃₂₁ , Y ₃₃₂₂ ,
	Y ₃₁₁₃ , Y ₃₁₁₄	Y ₃₂₁₃ , Y ₃₂₁₄	Y ₃₃₁₃ , Y ₃₃₁₄	Y ₃₁₂₃ , Y ₃₁₂₄	Y ₃₂₂₃ , Y ₃₂₂₄	Y ₃₃₂₃ , Y ₃₃₂₄

O valor genérico y_{ijkl} representa uma deflexão medida para um nível i do fator pressão de inflação, j da carga por eixo e k da espessura do pavimento. O índice l indica o número de ordem da repetição do ensaio para uma mesma combinação entre os níveis dos fatores.

A ordem de determinações dos valores da deflexão sobre a pista 13, para cada combinação prevista, foi feita de forma totalmente aleatória. A aleatorização é importante para o desenvolvimento do experimento, pois, segundo Werkema e Aguiar (1996), ela permite que os efeitos de fatores não controlados que afetam a variável de resposta e que podem estar presentes durante a realização do experimento, sejam balanceados entre todas as medidas. Organizaram-se dois blocos com igual número de ensaios, porém com ordens diferentes de execução das leituras. Em cada bloco procederam-se duas determinações para cada combinação de pressão e carga. A ordem programada para a execução dos ensaios para cada bloco foi a seguinte:

1º Bloco:

Seqüência 1:	Pressão 1	Carga 1	Carga 3	Carga 2
Seqüência 2:	Pressão 3	Carga 2	Carga 1	Carga 3
Seqüência 3:	Pressão 2	Carga 3	Carga 2	Carga 1

2º Bloco:

Seqüência 4:	Pressão 3	Carga 1	Carga 2	Carga 3
Seqüência 5:	Pressão 1	Carga 2	Carga 3	Carga 1
Seqüência 6:	Pressão 2	Carga 1	Carga 3	Carga 2

Foram executadas 36 determinações da deflexão recuperável para o pavimento espesso e utilizadas as outras 36 determinações feitas sobre o pavimento delgado nas mesmas condições por ocasião da dissertação de mestrado do autor.

Todas as medições sobre a pista 13 do experimento programado foram realizadas no dia 26 de março de 2003 na Área de Pesquisas e Testes de Pavimentos no Campus do Vale da UFRGS no município de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. No período não ocorreram chuvas e a temperatura ambiente tomada na sombra variou de 22,0 a 26,9°C, de acordo com os valores da Tabela 16.

Tabela 16 – Temperaturas medidas durante o experimento

Hora	Ambiente °C	A 5,0cm de profundidade °C
9h25m	22,0	23,3
11h25m	26,5	32,8
13h50m	26,7	33,1
16h00m	26,9	30,9

Durante os trabalhos foram procedidas verificações de possíveis alterações na pressão de enchimento dos pneus devido a elevação da temperatura ambiente. Constatou-se que não houve nenhuma modificação nos valores da pressão.

Procurou-se manter a máxima rotina e uniformidade na realização dos procedimentos de determinação das deflexões. Por exemplo, nos limites previstos pelo Método de Ensaio

DNER ME-24/94 (DNER, 1994a), para permitir a completa acomodação e reacomodação elástica do pavimento, acionava-se o vibrador da viga Benkelman depois de transcorrido um minuto de carregamento estático e, feito novo carregamento, somente depois de quatro a cinco minutos da última leitura.

As leituras das deflexões foram anotadas em uma planilha planejada para a coleta de dados, de acordo com o modelo utilizado, apresentado na Figura 22. Os dados com os valores das deflexões, após análise de consistência e correção para a temperatura padrão de 20°C (AASHTO, 1993), foram anotados no Quadro 3.

3.2 Análise das deflexões

Com base no valor das medidas de deflexões apresentadas no Quadro 3, executou-se uma análise de variância para constatar a significância dos fatores e suas interações sobre a variável de resposta.

O modelo estatístico é o seguinte:

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (13)$$

Onde:

μ é a média geral;

τ_i é o efeito do i-ésimo valor da pressão P, com i variando de 1 a 3

β_j é o efeito do j-ésimo valor da carga C, com j variando de 1 a 3

γ_k é o efeito do k-ésimo valor da espessura E, com k variando de 1 a 2

$(\tau\beta)_{ij}$ é o efeito da interação PC

$(\tau\gamma)_{ik}$ é o efeito da interação PE

$(\beta\gamma)_{jk}$ é o efeito da interação CE

$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$ é o efeito da interação PCE

ε_{ijkl} é o erro aleatório, com l variando de 1 a 4

Coleta de Dados do Experimento Fatorial

João Fortini Albano

Leitura e Cálculo da Deflexão Superficial Recuperável

PPGEP/UFRGS

Local: Área de Testes de Pavimentos – UFRGS	Data: 26/3/2003	Temp.1:	Temp.2:	Temp.3:
Condições do Clima: <input type="checkbox"/> sol <input type="checkbox"/> nublado <input type="checkbox"/> chuva	Auxiliares de pesquisa: Ivo, Silvio e Daniel.			

1º Bloco: Deflexões em 0,01 mm, Pressão em kPa (psi) e Carga por Semi-Eixo em kN

Pressão	Carga	L _i	L _f	D ₀	L _i	L _f	D ₀
552 (80)	41						
	60						
	50						
689 (100)	50						
	41						
	60						
620 (90)	60						
	50						
	41						

2º Bloco:

Pressão	Carga	L _i	L _f	D ₀	L _i	L _f	D ₀
689 (100)	41						
	50						
	60						
552 (80)	50						
	60						
	41						
620 (90)	41						
	60						
	50						

Figura 22 – Modelo de planilha utilizada na coleta de dados

QUADRO 3 - Valores das deflexões (0,01 mm) corrigidas

Pressão	Espessura do pavimento					
	Espesso (2ª fase)			Delgado (1ª fase)		
	Carga/Eixo (kN)			Carga/Eixo - (kN)		
	82	100	120	82	100	120
552 kPa (80 psi)	41	49	54	55	71	73
	47	47	50	56	69	76
	40	42	46	52	67	75
	44	43	44	54	70	77
620 kPa (90 psi)	44	44	53	53	72	82
	36	49	48	57	70	79
	37	42	54	56	73	76
	37	40	53	54	70	74
689 kPa (100 psi)	37	47	51	50	62	77
	42	43	47	54	65	80
	39	49	57	51	63	71
	40	52	54	51	62	76

Supõe-se que $\varepsilon_{ijkl} \rightarrow N(0, \sigma)$, ou seja, os valores ocorrem segundo uma distribuição normal com média zero e desvio padrão σ . Foram consideradas as seguintes hipóteses a serem testadas:

Para fator Pressão P:	$H_0: \tau_i = 0$ efeito de P não existe
	$H_1: \tau_i \neq 0$ existe efeito significativo para algum valor de P
Para fator Carga C:	$H_0: \beta_j = 0$ efeito de C não existe
	$H_1: \beta_j \neq 0$ existe efeito significativo para algum valor de C
Espessura pavimento E	$H_0: \gamma_k = 0$ efeito de E não existe,
	$H_1 \neq 0$ existe efeito significativo para algum valor de E,
Interação PC:	$H_0: \tau\beta_{ij} = 0$ efeito da interação PC não existe
	$H_1: \tau\beta_{ij} \neq 0$ existe efeito significativo para algum valor combinado de P e C,
Interação PE:	$H_0: (\tau\gamma)_{ik} = 0$ efeito da interação PE não existe
	$H_1(\tau\gamma)_{ik} \neq 0$ existe efeito significativo para algum valor combinado de P e E,
Interação CE:	$H_0: \beta\gamma_{jk} = 0$ efeito da interação CE não existe,
	$H_1: \beta\gamma_{jk} \neq 0$ existe efeito significativo para algum valor combinado de C e E
Interação PCE:	$H_0: \tau\beta\gamma_{ijk} = 0$ efeito da interação PCE não existe,
	$H_1: \tau\beta\gamma_{ijk} \neq 0$ existe efeito significativo para algum valor combinado de P, C e E.

Os cálculos estatísticos de soma dos quadrados, graus de liberdade e médias quadradas foram desenvolvidos com o auxílio do software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS), versão 10.1 *for Windows*. Com os parâmetros calculados com auxílio do programa, montou-se a tabela *Analysis of Variance* (ANOVA), organizados na Tabela 17. A comparação $F_{\text{calc}} > F_{\text{tab}}$ indica que o efeito do fator ou interação é significativo sobre o valor da variável de resposta, acolhendo-se a hipótese H_1 e rejeitando-se, por consequência, H_0 .

Tabela 17 – Análise de variância, tabela ANOVA

Fonte	Soma dos quadrados	Grau de Liberdade	Média dos quadrados	F calculado	F tabelado	Significância
P	23,528	2	11,764	1,332427	3,17	Não
C	3365,444	2	1682,722	190,5903	3,17	Sim
E	7421,681	1	7421,681	840,6027	4,02	Sim
PC	76,639	4	19,16	2,170121	2,55	Não
PE	118,361	2	59,181	6,703024	3,17	Sim
CE	478,111	2	239,056	27,07623	3,17	Sim
PCE	82,472	4	20,618	2,335259	2,55	Não
Erro	476,75	54	8,829			
Total	235935	72				
Total.corrigido	12042,986	71				

A comparação entre os valores de F calculado e tabelado indica a significância dos fatores carga por eixo, espessura do pavimento e as interações pressão x espessura e carga x espessura sobre a deflexão superficial.

As Tabelas 18 e 19, a seguir apresentadas, reproduzem os valores médios da deflexão para cada combinação de fatores, calculados para os pavimentos espesso e delgado.

Tabela 18 – Deflexões médias (em 0,01mm) medidas no pavimento espesso

Pressão kPa (psi)	Carga por eixo (kN)		
	82	100	120
552 (80)	43,00	45,25	48,50
620 (90)	38,50	43,75	52,00
689 (100)	39,50	47,75	52,25

Tabela 19 – Deflexões médias (0,01mm) medidas no pavimento delgado

Pressão kPa (psi)	Carga por eixo (kN)		
	82	100	120
552 (80)	54,25	69,25	75,25
620 (90)	55,00	71,25	77,75
689 (100)	51,50	63,00	76,00

A análise do conteúdo das Tabelas 17, 18 e 19 permite as seguintes constatações e interpretações:

- Em todas as situações, quanto maior é o nível de carga por eixo, mais pronunciado é o valor da deflexão para cada nível de pressão de inflação considerado. Fica, portanto, evidenciada, através do presente trabalho, a conhecida influência da carga por eixo sobre os pavimentos, pois quanto maior a carga maior é a deflexão e, por conseqüência, a potencialidade do surgimento de danos no pavimento. Observa-se também uma boa proporcionalidade entre carga/eixo e deformação correspondente. As Figuras 23 e 24 permitem uma visualização gráfica do crescimento da deflexão em função da carga por eixo para o pavimento espesso e delgado, respectivamente.
- A variação da deflexão entre os diversos níveis de pressão de inflação para cada nível de carga por eixo é pequena. No caso do pavimento espesso as variações são ainda menores. Para os dois níveis de espessura de pavimento estudados, no caso do nível de carga/eixo de 120kN, a variação entre os valores da deflexão é mínima para todos os níveis de pressão de inflação. Os pesquisadores Sebaaly e Tabatabaee (1989), estudando os efeitos de pneus radiais e convencionais (lonas), rodado duplo e banda de rodagem extra larga para diversos níveis de carga por eixo e pressão de enchimento, indicam que “a pressão de inflação tem efeito mínimo sobre a deflexão superficial para camadas asfálticas com espessuras de 5 e 20 cm”. As Figuras 23 e 25 também permitem uma visualização desta constatação.

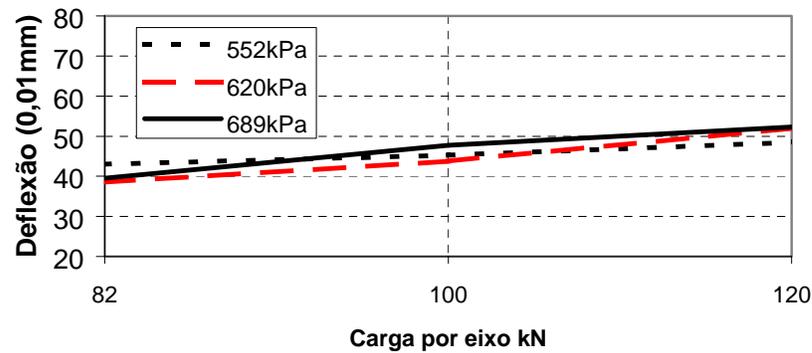


Figura 23 – Aumento da deflexão devido a carga/eixo no pavimento espesso

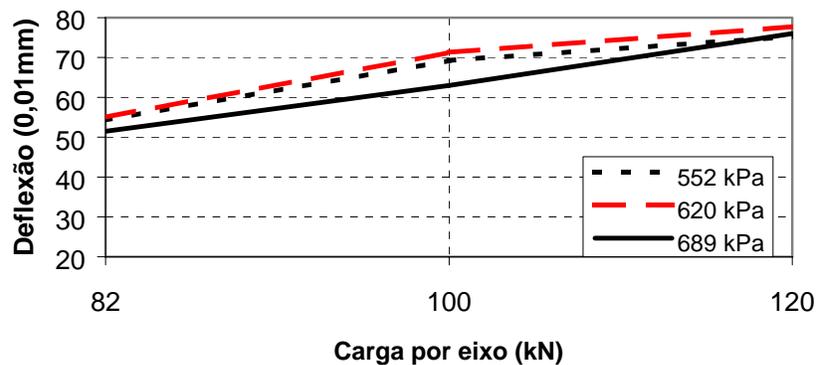


Figura 24 – Aumento da deflexão devido a carga/eixo no pavimento delgado

- A observação da variação da deflexão devido a pressão de inflação (Tabela 19) indica que, para todos os níveis de carga por eixo usados no pavimento delgado há um crescimento no valor da deflexão até 620 kPa (90 psi) e, após um decréscimo para o nível de 689 kPa (100 psi) da pressão de enchimento. Na dissertação de mestrado de Albano (1998) desenvolveu-se uma análise deste comportamento das deflexões através de um relacionamento entre pressão de contato e pressão de inflação. Os estudos indicaram que este comportamento pode ser entendido pela condição de que pressões de inflação mais altas provocam, inicialmente, o desenvolvimento de tensões de tração nos flancos dos pneus, aliviando as pressões de contato da banda de rodagem sobre a superfície do

pavimento. Huang (1993) e Medina (1997) confirmam esta conclusão. Pesquisas semelhantes desenvolvidas por Bonaquist *et al.* (1989) nas quais foram adotadas como respostas do pavimento a deflexão medida com um equipamento conhecido como *Linear Variable Differential Transformer* - LVDT e a deformação específica na fibra inferior da camada de CA, apresentaram variações da deflexão superficial similares às obtidas no experimento sobre o pavimento delgado da pista 3, conforme indica a Figura 25.

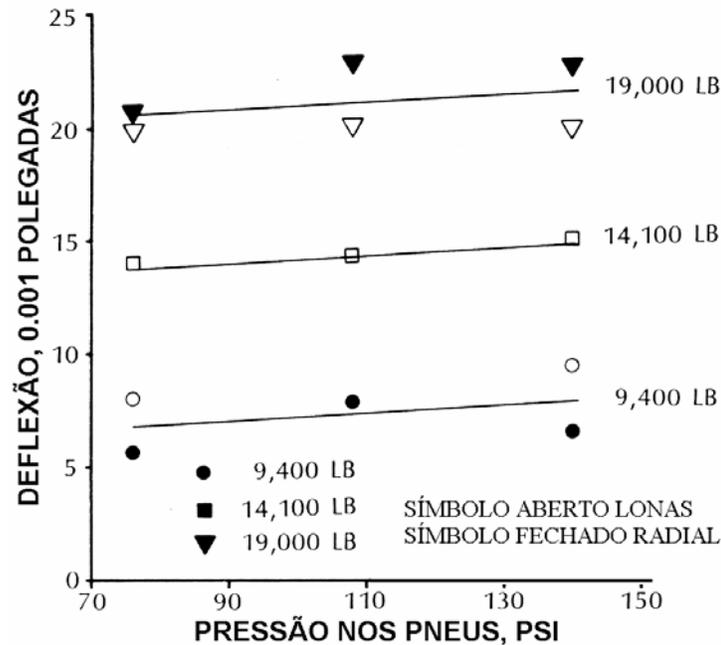


Figura 25 - Efeito da pressão de inflação sobre a deflexão superficial
Fonte: BONAQUIST *et al.*, 1989.

- Apesar do efeito da pressão de inflação no experimento não ser significativo, procura-se comentar brevemente a influência deste fator. Considerando todos os níveis de carga por eixo, observa-se que existem variações distintas entre as deflexões obtidas nos pavimentos delgado e espesso. De acordo com a Tabela 18, para os níveis de carga por eixo de 82 e 100 kN/eixo, a deflexão medida decresce quando os níveis de pressão de inflação passam de 552 para 620 kPa (80 para 90 psi), crescendo, após, quando a pressão de enchimento aumenta para 689 kPa (100 psi). Para a carga/eixo de 120 kN, os valores da deflexão são crescentes para todas as combinações com os níveis de pressão de inflação utilizados no experimento.

- Na dissertação de Albano (1998), os cálculos estatísticos desenvolvidos indicaram a significância da pressão de inflação sobre a deflexão no pavimento da pista 3, classificado como delgado. No presente estudo, verificou-se a significância da espessura do pavimento e da carga por eixo. Constatou-se, através da tabela ANOVA, que o efeito principal da pressão de inflação não é significativo sobre a deflexão. Por outro lado, existe efeito da interação entre pressão de inflação e espessura, como se pode observar no gráfico de dois fatores da Figura 26 onde a variação da pressão de inflação é praticamente desprezível no pavimento espesso, mantendo-se levemente mais pronunciada no pavimento delgado. Assim, a interpretação sugerida para o fato é a de que o efeito da pressão de inflação é desprezível no pavimento espesso e pequeno no delgado.

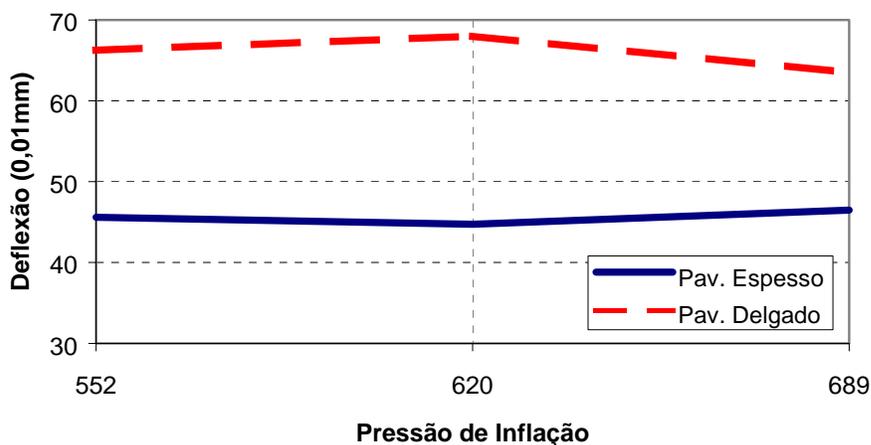


Figura 26 – Gráfico de dois fatores: espessura x pressão de inflação

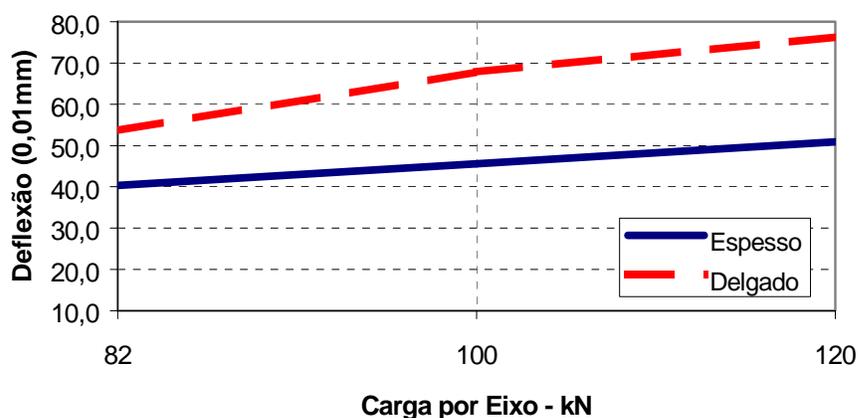
- A Tabela 17 (ANOVA) e o conjunto das médias da deflexão superficial apresentados nas Tabelas 18 e 19 permitem ainda observar e destacar a grande significância do fator espessura do pavimento. A Tabela 20 apresenta os valores percentuais de aumento dos valores da deflexão entre o pavimento espesso e o delgado, quando se comparam os valores médios oriundos das Tabelas 18 e 19 entre as mesmas combinações dos fatores. Observa-se, de uma maneira geral, que maiores cargas por eixo produzem maiores acréscimos na deflexão recuperável.

Tabela 20 – Aumentos da deflexão devido à espessura do pavimento

Aumento % da deflexão (espesso para delgado)			
Pressão kPa (psi)	Carga por eixo (kN)		
	82	100	120
552 (80)	26,2	53,0	55,1
620 (90)	42,9	62,9	49,5
689 (100)	30,4	31,9	45,4

Sobre a importância da espessura, Fancher e Gillespie (1997) comentam que a espessura das camadas do pavimento e a resistência do subleito possuem uma influência muito grande sobre a ocorrência de trincas por fadiga e formação de trilha de roda. Afirmam também que variações típicas na espessura de um pavimento (por exemplo, de espesso para delgado) podem aumentar em 20 vezes a possibilidade de ocorrência de danos no pavimento.

- A Figura 27 ilustra graficamente o efeito de interação entre espessura do pavimento e carga por eixo sobre a variável de resposta deflexão superficial apresentado na Tabela 17 (ANOVA). Como se pode observar, o efeito da carga por eixo sobre a deflexão superficial é maior quando a espessura do pavimento é delgada.

**Figura 27** – Gráfico de dois fatores: espessura x carga/eixo

- As Figuras 23, 24 e 27 indicam uma boa linearidade entre cargas por eixo e deflexões recuperáveis correspondentes.

3.3 Hierarquia entre os fatores e previsão da deflexão

O conceito clássico de desempenho de um pavimento está ancorado na possibilidade de atendimento das demandas do tráfego em condições de conforto, segurança e economia. Esta base conceitual é derivada do AASHTO (1993). Atualmente, conforme discriminado em 2.2 o desempenho dos pavimentos tem sido avaliado por uma visão conjunta de dois enfoques: o desempenho funcional e o desempenho estrutural. No caso do presente capítulo, os valores das deflexões recuperáveis medidos estão associados ao desempenho ou *performance* dos pavimentos ensaiados no que se refere aos aspectos estruturais dos mesmos.

Sendo a carga por eixo (C) e a espessura do pavimento (E) bem como as interações PE e CE significantes na determinação da deflexão recuperável e tendo a pressão de enchimento efeitos mais notados sobre o pavimento delgado, procura-se, doravante, discutir quais as conseqüências mais importantes relativas ao comportamento dos pavimentos utilizados no experimento quando ocorrem combinações críticas dos fatores estudados. Apresentam-se, com base no critério da deformabilidade, modelos que relacionam a variável dependente deflexão recuperável com as variáveis regressoras carga por eixo, espessura do pavimento e as interações significantes.

Em decorrência dos resultados da análise de variância desenvolvida no item anterior, adotou-se o seguinte modelo estatístico de regressão múltipla:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_1 X_3 + \beta_5 X_2 X_3 + \varepsilon \quad (14)$$

Onde Y é a variável dependente, no caso a deflexão recuperável, X_1 , X_2 , X_3 , $X_1 X_3$ e $X_2 X_3$ são, respectivamente, pressão de inflação, carga por eixo, espessura do pavimento, interação pressão-espessura e interação carga-espessura, caracterizadas como variáveis independentes ou regressoras. O termo ε é a perturbação ou erro aleatório que representa outros efeitos possíveis além de X_1 , X_2 e X_3 e interações. Pressupõe-se que os valores de ε ocorrem segundo uma distribuição normal com média 0 e variância desconhecida σ^2 . A

constante β_0 é o intercepto e $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ e β_5 são os coeficientes das variáveis independentes que podem ser estimados pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários.

Inicialmente, com a finalidade de demonstrar a hierarquia existente entre os efeitos das variáveis independentes, procedeu-se a uma codificação dos níveis dos fatores. Considerou-se um intervalo de variação entre -1 e $+1$ para todos níveis dos fatores, de acordo com a Tabela 21:

Tabela 21 – Codificação dos níveis dos fatores

Pressão – kPa(psi)	Nível	Carga/Eixo - tf	Nível	Espessura	Nível
552 (80)	-1	82	-1	Delgado	-1
620 (90)	0	100	-0,0526	Espesso	1
689 (100)	1	120	1		

A conversão de níveis reais (NR) em níveis codificados (NC) pode ser feita através da fórmula (15), apresentada em Ribeiro e Caten (2003):

$$NC = \frac{NR - MI}{(LSI - LII)/2} \quad (15)$$

Onde:

MI representa a média do intervalo investigado;

LSI representa o limite superior do intervalo investigado e,

LII representa o limite inferior do intervalo investigado

Com auxílio do programa MS Excel 2000 e com base nas 72 determinações da deflexão recuperável para diferentes combinações dos fatores medidos no experimento, procurou-se construir um modelo de regressão múltipla testando-se várias possibilidades, inclusive, a utilização de parcelas com o quadrado dos fatores. Para todos os possíveis modelos considerou-se um nível de confiança de 95% para previsão dos valores da deflexão (0,01mm) com a utilização dos níveis codificados. O modelo que apresentou melhores resultados foi o seguinte:

$$D = 55,91 + 8,3C - 10,21E - 0,92PE - 3,01CE \quad (16)$$

A validade estatística e o potencial do modelo podem ser avaliados pelos valores a seguir apresentados:

Tabela 22 – Estatísticas da regressão com níveis codificados

R múltiplo = 0,965	
$R^2 = 0,931$	
R^2 ajustado = 0,926	
F = 225,037	$F_{crit.} = 4,65E-38$
Valor P (interseção) = 3,18E-83	Valor $P_{crit.} = 0,05$
Valor P (C) = 5,16E-25	
Valor P (E) = 3,4E-35	
Valor P (PE) = 0,076403	
Valor P (CE) = 1,23E-07	

A análise das estatísticas apresentadas indica que o modelo é adequado (com leve restrição ao efeito da interação pressão de inflação-espessura). Como os níveis de todos fatores, neste caso, variam de -1 a $+1$, os valores dos coeficientes encontrados são diretamente proporcionais aos efeitos dos fatores, pode-se então hierarquizar a magnitude dos mesmos como:

- 1°. Espessura do pavimento
- 2°. Carga por eixo
- 3°. Interação CE
- 4°. Interação PE
- 5°. Pressão de inflação dos pneus

Com a finalidade de ampliar a visualização da questão e facilitar a aplicação prática do modelo, propõe-se agora outra forma para a equação de previsão da deflexão recuperável nos pavimentos estudados onde serão considerandos os níveis reais dos fatores. Na construção desta formulação optou-se representar os níveis do fator espessura do pavimento por variáveis dummy como forma de viabilizar a inclusão deste fator não-quantitativo na regressão. O pavimento delgado é representado por -1 e o espesso por $+1$. Testando-se várias formulações e utilizando os mesmos critérios e recursos computacionais citados anteriormente, obteve-se o modelo a seguir apresentado para calcular os valores da deflexão recuperável:

$$D = 11,78 + 0,44C + 5,81E - 0,16CE \quad (17)$$

Com os parâmetros de validação estatística apresentados na Tabela 23:

Tabela 23 – Estatísticas do modelo proposto

R múltiplo = 0,963	
$R^2 = 0,927$	
R^2 ajustado = 0,924	
F = 289,43	$F_{crit.} = 1,21E-38$
Valor P (interseção) = 6,7E-05	Valor $P_{crit.} = 0,05$
Valor P (C) = 8,27E-25	
Valor P (E) = 3,99E-02	
Valor P (CE) = 3,72E-07	

Como no caso anterior, os valores das estatísticas da regressão desenvolvida para o modelo validam e qualificam a equação proposta, porém torna-se importante destacar e recomendar que o modelo somente é válido para valores dentro dos intervalos de variação das variáveis independentes. A tentativa de construir uma equação sem interseção (ou intercepto) apresentou um modelo menos ajustado do que o proposto.

Na equação (17) D é a deflexão em 0,01mm, C o valor da carga por eixo em tf e E é a espessura do pavimento tomada igual a -1 quando o pavimento é delgado e +1 quando é espesso. O enquadramento da espessura em espessa ou delgada dá-se através do número estrutural SNc próximo aos calculados para os pavimentos das pistas 3 e 13 da Área de Testes da UFRGS/DAER.

A utilidade do modelo apresentado configura-se como interessante para as ações de conservação de rodovias, tanto para empresas concessionárias como para os órgãos públicos, pois conhecendo o valor da carga por eixo e o número estrutural do pavimento pode-se avaliar rapidamente o potencial desempenho do pavimento. Atualmente, com a possibilidade existente de utilização simulador de tráfego móvel (ADITAL, 2003), pode-se, sem maiores problemas, construir um modelo similar ao que ora está sendo apresentado específico para cada segmento homogêneo de determinada rodovia em estudo.

Sobre a evolução das deformações Paiva e Caussim (2000) comentam que o processo de degradação de um pavimento pode ser acompanhado pelo aumento das deformações recuperáveis, podendo-se então, ao avaliar estas deformações, fazer um planejamento prévio dos reparos ou manutenções necessários antes que o pavimento entre em estágio final de vida útil.

Também se deve salientar como vantagem de uso do modelo, o rápido conhecimento e a possibilidade de previsão das condições de desempenho estrutural do pavimento verificadas sem o aparato, instalação, montagem e uso continuado da viga Benkelmann ou outros dispositivos de medida da deflexão superficial.

3.4 Verificação da durabilidade do pavimento

Em seqüência ao experimento fatorial, definiu-se que os valores das deflexões obtidas nas pistas experimentais seriam utilizados como base de dados para verificação da durabilidade prevista na hipótese de projeto dos pavimentos pesquisados.

Adotou-se a variação do FEC como medida de redução da durabilidade. Os aspectos conceituais, teóricos e metodológicos deste estudo também estão apoiados nas considerações desenvolvidas na seção 2.2 do capítulo Revisão.

No presente trabalho, constatou-se que C e E, além das interações PE e CE, são significantes no valor da deflexão superficial. Verificou-se também, em conjunto com as conclusões constantes na dissertação de Albano (1998), que a pressão de inflação afeta a deflexão medida sobre os pavimentos delgados. Por estes motivos, decidiu-se desenvolver a avaliação da durabilidade prevista para pavimentos flexíveis em duas etapas, a saber: sobre o pavimento espesso e sobre o delgado, incluindo neste último o efeito da pressão de inflação dos pneus. Considera-se a durabilidade prevista como sendo um valor função de um número N de aplicações do eixo do simulador (padrão) calculado a partir do FEC. No caso do pavimento espesso calculou-se o FEC através da expressão empírico-mecanística (18), apresentada e comentada no capítulo Revisão:

$$\text{FEC} = \left(\frac{D_i}{D_p} \right)^{5,959} \quad (18)$$

Onde:

D_i é a deflexão máxima recuperável (0,01mm) provocada por uma carga de eixo *i*,

D_p é a deflexão máxima recuperável (0,01mm) provocada por uma carga padrão de 82 kN.

Desta forma, com os valores da deflexão recuperável relativos ao pavimento espesso (Quadro 3), calcularam-se os valores médios para cada nível de carga por eixo. Para o nível de carga por eixo de 82kN a média calculada torna-se D_p e para os demais níveis, D_i. Dividindo-se as médias assim obtidas por D_p e elevando os quocientes a um expoente de 5,959 obtém-se a evolução dos FEC para os diversos níveis de carga de acordo com (18). Os resultados constam na Tabela 24.

Tabela 24 – Evolução dos FEC para o pavimento espesso

	Carga/eixo – kN		
	82	100	120
FEC	1,0	2,073	4,009

O CTB indica que a carga máxima permitida para a configuração do eixo padrão é de 100 kN, excetuando-se a tolerância de 7,5% autorizada pela Resolução 102/99 do CONTRAN (1999a). Este nível de carga por eixo é o valor que deveria ser considerado no dimensionamento dos pavimentos quando há fiscalização por pesagem e é o limite a partir do qual passa a ocorrer excesso de carga. Assim, quando a carga por eixo passa de 100 kN para 120 kN (aumento de 20,0%) e considerando-se o mesmo número N de aplicações do eixo do simulador (eixo padrão) para cada uma das cargas consideradas, calcula-se a partir da Tabela 24, uma redução da vida útil para **51,7%** do valor inicialmente previsto, provocando uma redução de **48,3%**. A evolução do FEC pode ser observada na Figura 28.

Em seqüência, propõe-se que a verificação da durabilidade do pavimento delgado seja calculada através variação do FEC, calculada pela expressão (7).

$$\text{FEC} = \left(\frac{\mathbf{D}_{ij}}{\mathbf{D}_{pp}} \right)^{5,959} \quad (19)$$

Onde:

D_{ij} é a deflexão máxima recuperável provocada por uma carga de eixo i e uma pressão de inflação j,

D_{pp} é a deflexão máxima recuperável provocada por uma carga padrão de 82 kN e uma pressão de inflação padrão de 552 kPa (80psi).

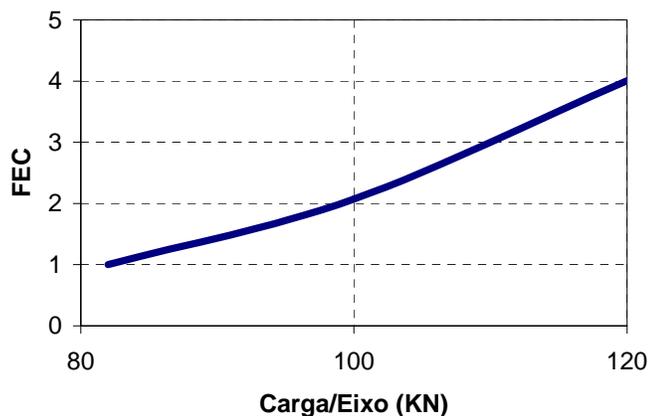


Figura 28 – Variação do FEC no pavimento espesso

Para avaliação da durabilidade do pavimento delgado, considerou-se como crítico o nível de pressão de inflação de 689kPa (100psi) que de acordo com pesquisa de campo desenvolvida por Albano (1998) pode ser aceito como o valor usual existente nos pneus de lonas da frota dos veículos de carga no Rio Grande do Sul (ver Tabela 26). Desta forma, para este nível de pressão de inflação, calcularam-se as médias das deflexões para cada um dos níveis de carga por eixo (Quadro 3). Estes valores foram divididos pela média das deflexões para uma pressão de inflação padrão de 552kPa (80psi) e uma carga por eixo de 82kN (D_{pp}). Os quocientes foram elevados a um expoente de 5,959 obtendo-se os FEC de acordo com a Tabela 25 e cuja evolução pode ser verificada na Figura 29.

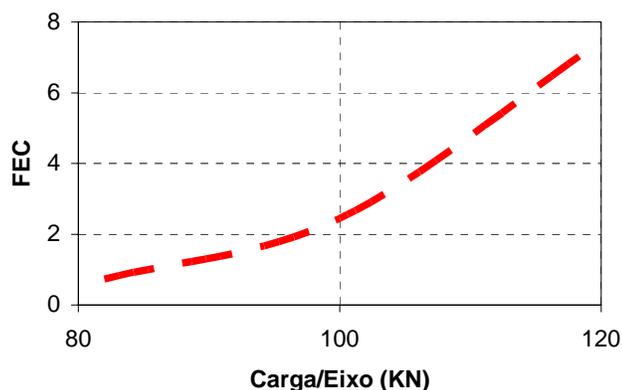
Tabela 25 – Evolução dos FEC para o pavimento delgado

Pressão kPa (psi)	Carga por eixo – kN		
	82	100	120
689 (100)	0,73	2,44	7,46

Tabela 26 – Valores da pressão de inflação de pneus não dianteiros

Amostra	Pressão Média kPa (psi)	Desvio Padrão	Tamanho Amostra
Pneus de Lonas	668 (97)	101 (14,7)	393
Pneus Radiais	744 (108)	81 (11,7)	844
Total de Pneus	717 (104)	94 (13,6)	1237

Fonte: Albano, 1998.

**Figura 29** – Variação do FEC no pavimento delgado (com pressão de inflação de 689 kPa)

Neste caso, quando a carga por eixo passa de 10,0 para 12,0tf com os pneus inflados a 689kPa (100psi) há uma diminuição na vida útil do pavimento para um valor de 32,7% da prevista, correspondendo a uma redução de 67,3%.

Em ambos os casos estudados, a recomposição das condições operacionais de conforto e segurança adequadas ao tráfego representa o custo pago pela sociedade para corrigir os defeitos que poderiam ser amenizados com a implementação de balanças para o controle dos excessos de carga. A Tabela 27 sintetiza as conclusões considerando um período de vida útil prevista de 10 anos para os pavimentos estudados.

Tabela 27 – Redução % da vida de projeto prevista no estudo

Pavimento	Quando a carga por eixo aumenta de 10 para 12 t	A vida prevista passa de 10 anos para:
Espesso	48,4%	5,1 anos
Delgado	67,3%	3,3 anos

3.5 Durabilidade do pavimento segundo parâmetros da AASHTO e do modelo ELSYM5

Buscando maiores possibilidades de análise e comparações com a variação dos FEC empírico-mecanísticos e a durabilidade prevista dos pavimentos ensaiados, desenvolvidos na seção anterior, procura-se agora determinar outro conjunto de valores dos FEC utilizando as fórmulas (18) e (19), porém com o expoente b modificado para 4,32 obtido do formulismo para cálculo dos FEC da AASHTO para eixo simples de roda dupla (Pinto e Preussler, 2001). Sobre o mesmo assunto é importante destacar que Pereira (1992) apresenta um valor muito próximo ($b = 4,298$) para cargas por eixo simples de rodado duplo entre 80 e 120 KN, índice de serventia $IS = 2,0$ e número estrutural SN entre 2,0 e 3,0.

Assim, utilizando os valores médios das deflexões recuperáveis medidas no experimento (Tabelas 18 e 19), os mesmos critérios e fórmulas, porém com o expoente $b = 4,32$, calcularam-se outros valores para os FEC os quais, doravante, serão caracterizados como FEC (AASHTO). Os resultados constam nas tabelas 28 e 29.

Tabela 28 – Evolução dos FEC (AASHTO) para o pavimento espesso

	Carga/eixo – KN		
	82	100	120
FEC (AASHTO)	1,0	1,697	2,738

Tabela 29 – Evolução dos FEC (AASHTO) para o pavimento delgado

Pressão kPa (psi)	Carga por eixo – kN		
	82	100	120
689 (100)	0,799	1,908	4,290

A evolução gráfica dos FEC (AASHTO) para os pavimentos espesso e delgado pode ser visualizada através da Figura 30.

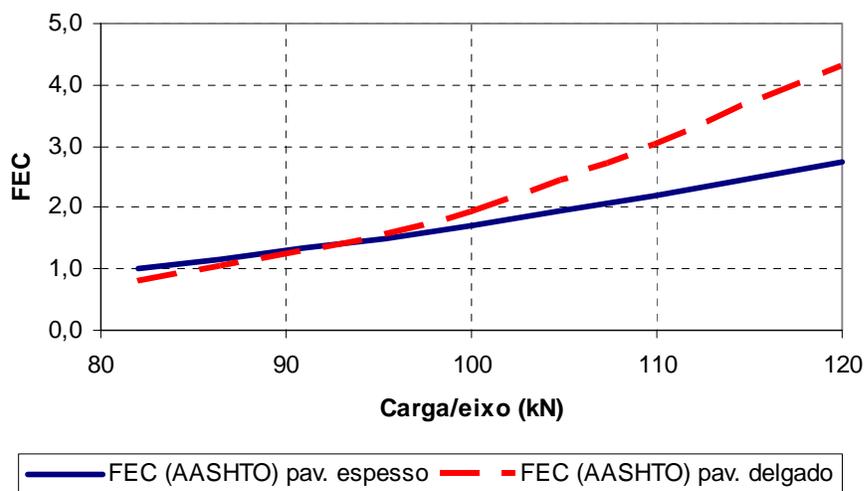


Figura 30 – Evolução dos FEC (AASHTO)

Com relação ao pavimento espesso, considerando-se os FEC (AASHTO) correspondentes aos níveis de carga de 100 kN e 120 kN, conforme os dados da Tabela 28, calcula-se uma que a durabilidade do pavimento cai para 62,0% da vida útil inicialmente prevista ou, em outras palavras, há uma redução de 38,0%.

Para o pavimento delgado, de acordo com os dados da Tabela 29, quando a carga por eixo cresce de 100 para 120 kN com os pneus inflados a uma pressão de enchimento de 689kPa (100psi), a vida útil do pavimento diminui para um valor de 44,5% do previsto, correspondendo a uma redução de 55,5%.

Na Tabela 30 apresenta-se um resumo da variação da durabilidade prevista para os pavimentos estudados considerando-se o cálculo dos FEC empírico-mecanísticos calculados com o expoente b utilizado pela AASHTO.

Tabela 30 – Redução % da vida de projeto prevista considerando os FEC (AASHTO)

Pavimento	Quando a carga por eixo aumenta de 10 para 12 t	A vida prevista passa de 10 anos para:
Espesso	38,0%	6,2 anos
Delgado	55,5%	4,4 anos

Para complementar a análise de variação da durabilidade prevista dos pavimentos flexíveis proposta na presente tese, decidiu-se adicionalmente, fazer a determinação dos FEC empírico-mecanísticos com a deflexão superficial calculada através do programa computacional ELSYM5. O referido programa, atualmente de uso generalizado, é utilizado para o cálculo de tensões, deformações e deslocamentos em um sistema de camadas elástico-lineares. O pressuposto comportamento elástico-linear das camadas do pavimento viabiliza a possibilidade da superposição de efeitos, isto é, permite que os fatores utilizados no experimento sejam analisados simultaneamente.

No presente trabalho é utilizada uma versão que aceita a inserção de unidades mais usuais no meio tecnológico brasileiro (comprimento em milímetros, carga em Newton e pressão em Megapascal). O programa foi desenvolvido por *SRA Technologies, Inc.* contratado pela FHWA. Maiores informações sobre propriedades e potencial do programa estão descritas em Koppermam et al. (1985).

Calcularam-se, através do programa, as deflexões superficiais simulando-se as mesmas condições que foram procedidas nas determinações com a viga Benkelman, ou seja, no topo do pavimento, entre os pneus do rodado duplo do simulador de tráfego. Para cada combinação dos níveis dos fatores pressão de inflação, carga por eixo e espessura do pavimento determinou-se um valor para a deflexão correspondente. Desta forma, procederam-se $3 \times 3 \times 2 = 18$ rodadas do programa. Os dados relativos aos materiais utilizados nas camadas dos pavimentos das pistas 13 e 3 da Área de Pesquisas e Testes da Ufrgs/Daer foram os seguintes³:

Pavimento espesso (pista 13):

Revestimento CBUQ: Coeficiente de Poisson = 0,25; módulo de resiliência $M_r = 3055$ MPa.

Base granular: Coeficiente de Poisson = 0,35; Módulo de resiliência $M_r = 150$ MPa.

Sub-base granular: Coeficiente de Poisson = 0,35; Módulo de resiliência $M_r = 77$ MPa.

³ Informações obtidas com o professor Washington Peres Nuñez do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da UFRGS em dez 2003.

Subleito de argila: Coeficiente de Poisson = 0,45; Módulo de resiliência $M_r = 253\text{Mpa}$.

Pavimento delgado (pista 3):

Revestimento com TSD e Base granular: Coeficiente de Poisson = 0,35; Módulo de resiliência $M_r = 77\text{MPa}$.

Subleito de argila: Coeficiente de Poisson = 0,45; Módulo de resiliência $M_r = 253\text{Mpa}$.

Os valores das deflexões determinados pelo programa ELSYM5 estão discriminados nas Tabelas 31 e 32, apresentadas a seguir:

Tabela 31 – Deflexões (0,01mm) calculadas com o ELSYM5 para pavimento espesso

Pressão kPa (psi)	Carga por eixo (kN)		
	82	100	120
552 (80)	41,3	50,1	59,8
620 (90)	41,4	50,3	60,0
689 (100)	41,4	50,4	60,2

Tabela 32 – Deflexões (0,01mm) calculadas com o ELSYM5 para pavimento delgado

Pressão kPa (psi)	Carga por eixo (kN)		
	82	100	120
552 (80)	53,8	68,6	87,3
620 (90)	52,7	66,9	84,0
689 (100)	51,9	65,3	81,7

A observação dos valores constantes nas duas últimas tabelas apresentadas enseja os seguintes comentários:

- No pavimento espesso, os valores da deflexão são praticamente iguais nos diferentes níveis de pressão de inflação para a mesma carga por eixo. Esta constatação feita através do modelo comprova as determinações estatísticas realizadas experimentalmente sobre a falta de significância da pressão de inflação sobre o pavimento espesso;

- Verifica-se no pavimento delgado, em todos os níveis de carga por eixo, um leve decréscimo nos valores da deflexão para maiores níveis da pressão de inflação. Esta constatação também comprova a significância estatística determinada para o fator pressão de inflação sobre o valor da deflexão no pavimento delgado verificada experimentalmente e,
- No pavimento espesso, com exceção da deflexão calculada para a combinação 552 kPa (80psi) e 82 kN, os valores da deflexão recuperável são maiores do que os medidos experimentalmente (pista 13). No caso do pavimento delgado (pista 3) os valores da deflexão recuperável, com exceção da deflexão calculada para a combinação 689 kPa (100psi) e 100 kN, são menores do que os medidos para os níveis de carga por eixo de 82 e 100 kN e maiores para o nível de carga por eixo de 120 kN em todos os níveis de pressão de inflação considerados. De uma maneira geral, a maioria das deflexões apresentadas pelo modelo, são maiores do que as determinações reais.

Com os valores das deflexões recuperáveis calculadas através do ELSYM5 para os pavimentos espesso e delgado (Tabelas 31 e 32), utilizando as fórmulas (18) e (19) e os mesmos critérios para o cálculo dos FEC anteriormente descritos, determinam-se agora os FEC considerando o expoente b valendo 5,959 sugerido por Pereira (1992) e $b = 4,32$ oriundo da AASHTO, avaliado como mais otimista.

Tabela 33 –FEC do pavimento espesso

Carga por eixo – kN					
82	100	120	82	100	120
Com $b = 5,959$			Com $b = 4,32$		
1,0	3,195	9,170	1,0	2,321	4,985

Tabela 34 –FEC do pavimento delgado

Carga por eixo kN					
82	100	120	82	100	120
Com $b = 5,959$			Com $b = 4,32$		
0,807	3,172	12,056	0,856	2,309	6,079

Quando se consideram os FEC calculados com expoente $b = 5,959$ e quando a carga por eixo aumenta de 100 kN para 120 kN (20%) no rodado duplo do simulador de tráfego utilizado, determina-se que a vida de projeto sofre uma redução de 65,2% do valor inicialmente previsto no pavimento espesso e 73,7% no pavimento delgado. Quando os FEC são calculados com $b = 4,32$, para o mesmo aumento da carga por eixo, a vida prevista do pavimento espesso reduz 53,4% e a do pavimento delgado 62,0% da inicialmente prevista. A variação da durabilidade dos pavimentos está resumida na Tabela 35, a seguir apresentada:

Tabela 35 – Redução % da vida prevista do pavimento (deflexões obtidas com ELSYM5)

Pavimento	Quando a carga/eixo passa de 10,0 para 12,0t	
	FEC calculado com $b = 5,959$	FEC calculado com $b = 4,32$
Espesso	65,2	53,4
Delgado	73,7	62,0

Apresenta-se, finalmente, na Tabela 36 um resumo das reduções da vida de projeto previstas dos pavimentos estudados em todas as possibilidades investigadas no presente capítulo.

Tabela 36 – Resumo das reduções % da durabilidade prevista dos pavimentos estudados

Pavimento	Deflexões medidas FEC $b = 5,959$	Deflexões medidas FEC $b = 4,32$	Deflexões calculadas com ELSYM5 FEC $b = 5,959$	Deflexões calculadas com ELSYM5 FEC $b = 4,32$
Espesso	48,4	38,0	65,2	53,4
Delgado	67,3	55,5	73,7	62,0

A análise da Tabela 36 viabiliza as seguintes considerações:

- A redução da durabilidade dos pavimentos é maior quando a deflexão recuperável é calculada através do programa ELSYM5. Em outras palavras, o modelo construído com base na teoria da elasticidade é mais pessimista do que a realidade levantada no Simulador de Tráfego;
- Em todas as circunstâncias o expoente 4,32 oriundo da AASHTO enseja o cálculo de FEC que indicam maior durabilidade para os pavimentos estudados e,

- No pavimento delgado, os valores reais e os apresentados pelo ELSYM5, projetados para a durabilidade dos pavimentos estão mais próximos.

Assim, considerando os resultados, pode-se quantificar dentro de certos limites a ordem de grandeza do efeito dos fatores pressão de inflação, carga por eixo e espessura sobre a durabilidade dos pavimentos estudados. Há, portanto, uma comprovada degradação prematura dos pavimentos flexíveis que pode ser combatida através de um correto dimensionamento e da fiscalização por pesagem. Os valores e inconveniências decorrentes da maior frequência dos serviços de recapeamento e restauração necessários para que os pavimento retornem às condições iniciais, no caso da ocorrência das situações críticas descritas, significa o custo pago pela sociedade pela falta de controle, principalmente dos excessos de carga.

A seção 4.9 no capítulo 4 da presente tese apresenta uma análise econômica com valores dos gastos adicionais de manutenção devido ao excesso de carga.

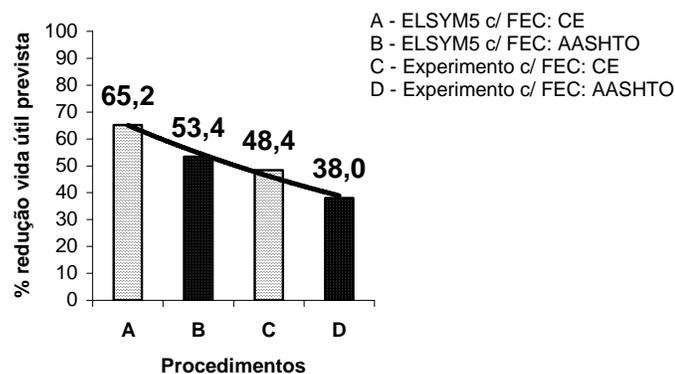


Figura 31 – Resumo da redução (%) da vida prevista de um pavimento

4. Excesso de carga e a necessidade de pesagem: uma pesquisa de campo

4.1 Antecedentes

O Capítulo anterior descreve uma investigação sobre a significância e a hierarquização dos fatores carga por eixo, pressão de inflação e espessura dos pavimentos sobre a durabilidade prevista para os mesmos. Apresentam-se modelos para determinação da deflexão recuperável e calcula-se a redução percentual da duração dos pavimentos estudados por vários procedimentos, tendo como base alterações nos FEC's determinados através de ferramentas empírico-mecanísticas utilizando-se um simulador linear de tráfego e o programa ELSYM5.

As conclusões obtidas são válidas, mas expressam indicações de variação na vida prevista dos pavimentos, pois dentre as limitações do estudo, destaca-se que o experimento foi desenvolvido com a ação do tráfego representada por um semi-eixo simples de rodado duplo do simulador de tráfego utilizado.

Assim, o próximo passo da tese procura responder a seguinte indagação: o que acontece com a durabilidade prevista para um pavimento de uma rodovia com a ação do tráfego expressa através da circulação de todo espectro de tipos de veículos e conjuntos de eixos em operação?

O assunto despertou o interesse da Diretoria de Operação e Concessões do Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER) que decidiu conveniar com o Laboratório de Sistemas de Transportes (Lastran) da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para desenvolver um estudo com a finalidade de determinar a influência do excesso de cargas sobre os pavimentos das principais rodovias arteriais da rede rodoviária gaúcha (Albano e Masiero, 2003).

4.2 Método, programação e execução das contagens volumétricas

Avaliou-se que a pesquisa deveria ser desenvolvida em curto espaço de tempo e com custos reduzidos. Assim, com base nestes pressupostos, foram definidos os procedimentos para detectar a influência dos excessos de carga sobre o pavimento da seguinte forma:

- a) Medir alterações no desempenho dos pavimentos através da variação no valor do Fator de Veículo (FV) nas situações da frota de carga com e sem pesagem;
- b) Avaliar a redução na vida útil prevista para os pavimentos para tráfego com e sem pesagem em função de modificações no número N, caracterizado pelo número de aplicações equivalentes ao eixo padrão de 82 kN e,
- c) Estudar o desempenho funcional e a repercussão financeira quando não há fiscalização por pesagem.

O cálculo dos valores de FV e N executados na presente tese levou em conta os fatores de equivalência de cargas considerados pelo CE que se baseiam nos efeitos de deformação permanente (afundamento nas trilhas de roda) provocado pela ação do tráfego sobre a estrutura dos pavimentos flexíveis (DNER, 1998).

Foram definidas quatro rodovias arteriais da rede sob jurisdição do DAER para desenvolvimento da pesquisa. Os critérios de escolha dos trechos foram os seguintes: não existir fiscalização por pesagem, locais com facilidades para coleta de dados; disponibilidade de rápido recrutamento e treinamento de auxiliares de pesquisa e, rodovias com fluxos significantes de veículos de carga no contexto rodoviário do Rio Grande do Sul. A relação e a localização dos trechos definidos podem ser observadas na Tabela 37 e Figura 32.

Tabela 37 – Trechos definidos para o estudo

Rodovia	Trecho	Quantidade de veículos comerciais em 2001	Volume de tráfego em 2001
BR 386	Estrela – Entr. RST/287	1.151.214	Alto
BR 290	Eldorado do Sul – Pântano Grande	809.638	Médio
BR 287	Santa Cruz do Sul – Tabai	801.525	Médio
BR 285	Carazinho – Passo Fundo	497.916	Baixo

Posteriormente, foram contados veículos que trafegavam vazios e total ou parcialmente carregados. Com estes dados oriundos do campo, formularam-se hipóteses de carregamento e definido o crescimento da frota dos veículos de carga. Após, calcularam-se os parâmetros FV e N para cada trecho estudado com e sem a existência de fiscalização por pesagem na frota de veículos de carga. Finalmente, avaliaram-se os efeitos sobre os custos de manutenção das rodovias.

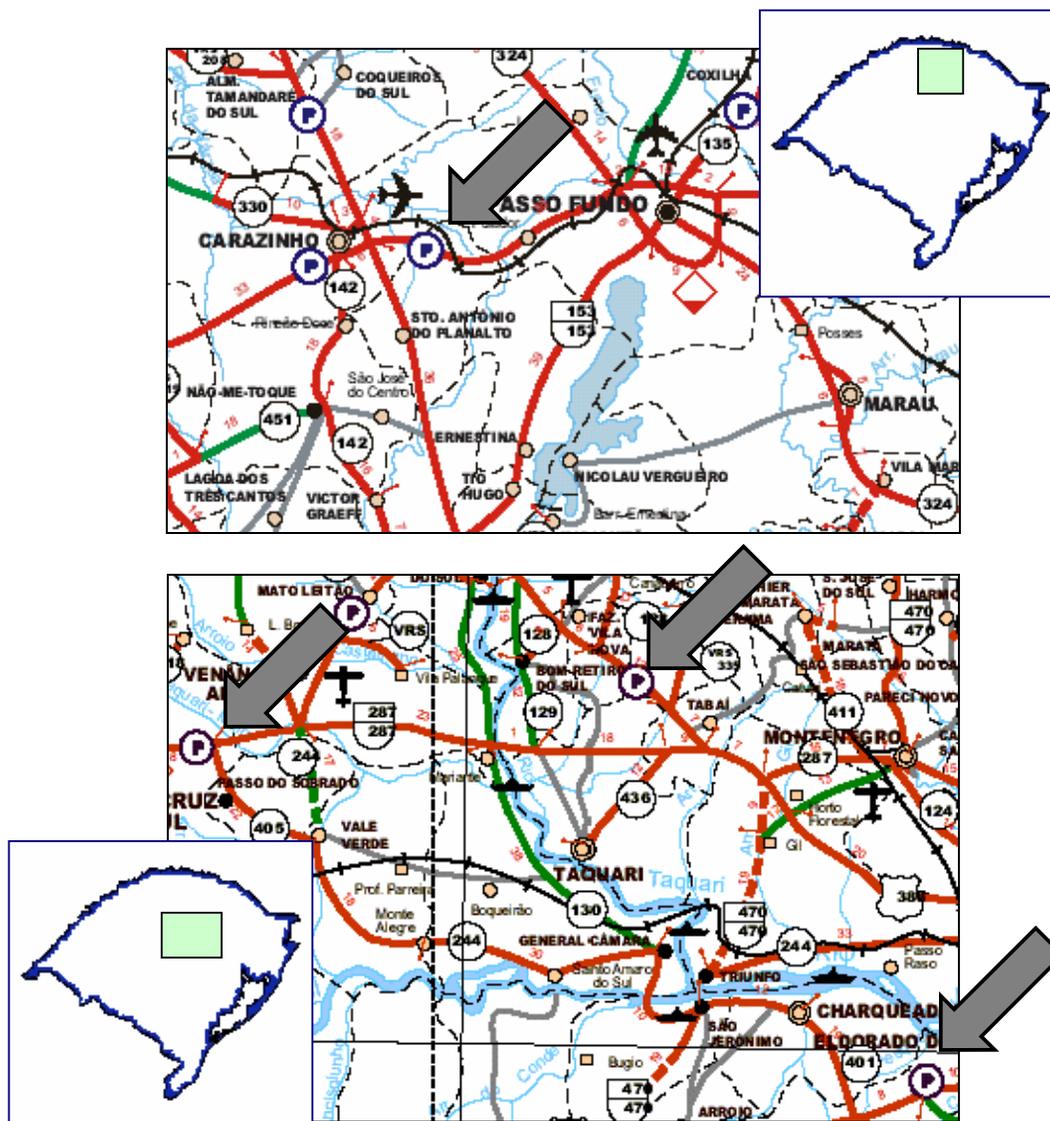


Figura 32 – Postos de Contagem nas rodovias BR/386, BR/290, BR/287 e BR/285

Tendo em vista os critérios estabelecidos, definiu-se que os dados do trabalho seriam coletados nas praças de pedágio das rodovias escolhidas, supervisionadas pela Diretoria de Operação e Concessões do DAER.

Os dados relativos ao fluxo e tipo de veículos historicamente gerados nos postos de pedágio do sistema não puderam ser utilizados de forma integral neste estudo. Esta condição fica mais evidente quando se pretende associar a quantidade e a categoria dos veículos de carga com o desempenho de pavimentos, pois as cargas sobre as estruturas de pavimentos são avaliadas por pesos praticados por veículos classificados de acordo com os conjuntos de eixos (Soares e Motta, 2001) ao contrário de eixos individuais que se referem mais às questões operacionais e financeiras relativas à operação das rodovias concedidas.

Para o andamento dos trabalhos de campo ficou estabelecido o cumprimento dos seguintes quesitos:

- Os auxiliares de pesquisa para o levantamento seriam recrutados nos quadros das empresas concessionárias;
- As instruções deveriam ser repassadas e executado um treinamento prévio com os auxiliares de pesquisa tendo em vista o correto andamento das contagens de campo;
- A frota comercial de veículos foi definida como constituída por veículos de carga leve, média, pesada (truque), ultrapesado (carretas) e CVC's. O tipo e a quantidade de modelos de CVC's (reboque, bitrem, tritrem e rodotrem) foram selecionados de acordo com os modelos autorizados e constantes no Anexo I da Resolução 68 do CONTRAN. Outras composições autorizadas, mas de circulação inexpressiva nas estradas gaúchas foram descartadas para o presente levantamento;
- Para não interferir nas operações das praças de pedágio, decidiu-se que a quantidade de veículos da categoria 2U, de carga leve e média, seria avaliada de forma indireta. Para esta finalidade contaram-se os veículos 3U com eixos levantados;
- As contagens volumétricas foram realizadas no período de 04 a 10 de novembro de 2002 e,
- Programou-se a contagem dos veículos carregados e vazios para o período de 01 a 07 de agosto de 2003, durante 24 horas por dia.

Desta forma, com base na programação estabelecida, os dados de campo foram levantados dentro de condições consideradas normais. Realizou-se uma inspeção nos locais de coleta de dados, oportunidade em que foram esclarecidos detalhes e fornecidas instruções complementares, particularmente no que diz respeito à consolidação, tabulação dos dados e prazos para encaminhamento do material.

As planilhas de contagem com os dados oriundos do campo foram revisadas e as informações foram devidamente consolidadas.

Nos dias 05/11/2002 (terça-feira) e 08/11/2002 (sexta-feira), as contagens volumétricas foram executadas durante 24 horas. Nos demais dias os levantamentos foram realizados entre às 06 e 22 horas. Para cada categoria de veículo de carga foi calculado um índice de expansão com base nos levantamentos executados na terça e na sexta-feira. Para o índice de expansão final de cada categoria foi determinada a média aritmética entre os índices de terça-feira (fluxo baixo) e o de sexta-feira (fluxo alto). Os índices de expansão calculados estão discriminados na Tabela 38.



Figura 33 – Inspeção no posto de contagem da BR/386 (praça de pedágio)

Tabela 38 – Índice de expansão do VDM para 24 horas por categoria

Categoria	BR/386	BR/290	BR/285
3U	1,11	1,18	1,19
2S1	1,00	1,00	1,00
2S2	1,15	1,26	1,04
2S3	1,10	1,34	1,25
3S2	1,27	1,07	1,50
3S3	1,08	1,34	1,16
2UR2	1,56	2,50	1,00
3UR2	1,33	5,67	1,00
3UR3		1,05	1,00
3UR4	3,07	1,24	1,44
3S2B2	1,10	1,04	1,10
3S3B2		1,00	
3S2A1S2	1,00	1,00	1,00

Não foi necessária a correção do VDM para 24 horas no posto de Venâncio Aires na BR/287, uma vez que os auxiliares de pesquisa da empresa concessionária executaram as contagens volumétricas durante 24 horas por dia, todos os dias.

Apresenta-se na Figura 34 a planilha utilizada para a contagem de veículos carregados (total ou parcialmente) e vazios.

Na seqüência, os dados levantados no campo foram corrigidos para 24 horas, multiplicando-se os volumes obtidos em contagens de 16 horas pelo índice de expansão determinado. Os valores do VDM_{24} calculados estão apresentados na Tabela 39.

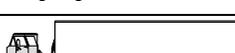
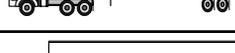
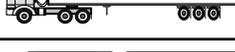
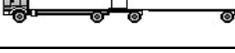
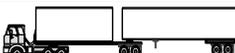
		CONTAGEM VEÍCULOS CARREGADOS			
CONVÊNIO DAER-UFRGS					
Trecho:		Praça de Pedágio:		Página ____ de ____	
				Data: _____	
				Hora Início: _____	
				Hora Final: _____	
Tipos de Veículos	Código DAER	Código Geral	N.º de Veículos Carregados	N.º de Veículos Descarregados	
	2	2U			
	3	3U			
	3	2S1			
	4	2S2			
	5	2S3			
	5	3S2			
	6	3S3			
	4	2UR2			
	5	3UR2			
	6	3UR3			
	7	3UR4			
	7	3S2B2			
	8	3S3B2			
	7	3UR2R2			
	9	3S2A1S2			
Outros Tipos de CVCs					

Figura 34 – Planilha de contagem de veículos com e sem carga

Tabela 39 – Valores do VDM₂₄ calculados

Categoria	BR 386	BR 290	BR 285
3U	1102,62	440,07	281,08
2S1	4,29	7,71	2,71
2S2	41,50	21,68	25,81
2S3	524,06	371,28	319,39
3S2	8,96	31,22	5,57
3S3	264,43	112,50	118,18
2UR2	10,14	4,00	1,00
3UR2	3,65	21,86	0,00
3UR3	0,00	2,61	0,43
3UR4	4,71	12,68	13,56
3S2B2	54,81	8,96	14,56
3S3B2	0,00	4,57	0,00
3S2A1S2	1,14	2,14	0,43

4.3 Veículos da categoria 2U, expansão anual e VDMa

O número de veículos de carga do tipo 2U, conhecido popularmente como “toco”, foi obtido de forma indireta. Calculou-se, inicialmente o número diário de veículos da categoria 3U contados com os eixos suspensos. Após, este valor foi utilizado para correção do número diário de veículos da categoria “2” obtido dos registros de volume de tráfego nas praças de pedágio do DAER entre os meses de janeiro e agosto de 2002.

Procedeu-se também a uma discriminação do total dos veículos da categoria 2U em duas classes: carga leve e carga média. Os veículos 2U do tipo carga leve são, normalmente, os caminhões de encomendas e entregas, característicos de regiões urbanas e suburbanas. Possuem PBT máximo de até 8,0 t. As unidades do tipo carga média possuem PBT máximo de 16 t, variando de acordo com o modelo e o fabricante.

O cálculo dos percentuais das classes de veículos 2U foi efetuado com base em contagens volumétricas classificadas feitas pela Equipe de Engenharia de Tráfego do DAER para o Programa de Restauração (DAER, 2001) em rodovias localizadas nas áreas de influência das rodovias estudadas. Utilizaram-se, também, contagens de tráfego de rodovias arteriais similares às do presente trabalho como a BR/101 e a BR/116. Os cálculos efetuados indicam uma discriminação média da categoria 2U em: 39,85% para a classe 2U(16) e 60,15% para a 2U(22).

Tabela 40 – VDM₂₄ para a categoria 2U

Categoria	BR/386	BR/290	BR/287	BR/285
2U (16)	372,42	295,69	339,58	160,40
2U (22)	562,13	446,31	512,57	242,11

O fluxo de veículos de carga varia com a sazonalidade. Por este motivo, foi necessário corrigir o VDM₂₄ cujos dados foram coletados em novembro de 2002, para que o N decorrente represente o tráfego incidente sobre as rodovias estudadas de forma representativa ao longo do ano. Para esta finalidade, pesquisaram-se informações oriundas de postos de contagem do DNIT nas proximidades dos locais das contagens. A variação mensal dos VDM's permitiu o cálculo de um índice para a correção pretendida. Na falta de uma referência para a correção anual do VDM₂₄ na BR/287, adotou-se, pela proximidade e características similares do fluxo, as informações proporcionadas pelos dados do posto de contagem n° 43 do DNIT, também utilizado para a correção do tráfego da BR/386. Os índices estão discriminados na Tabela 41.

Tabela 41 – Correção anual para o VDM₂₄

Rodovia	Referência	Índice de correção	VDM _a
BR/386	Posto DNIT: n° 43 Km 386,6 BR/386	1,127	3330,07
BR/290	Posto DNIT: n° 45 Km 113,4 BR/290	1,197	2134,59
BR/287	Posto DNIT: n° 43 Km 386,6 BR/386	1,127	1996,73
BR/285	Posto DNIT: n° 39 Km 340,6 BR/285	1,207	1430,59

A seguir, apresenta-se por categoria de veículo de carga o valor determinado para VDM_{24} , e o VDM_a :

Tabela 42 – Resumo do VDM na BR/386

Categoria	VDM_{24}	VDM_a	% VDM_a
2U (16)	372,42	419,72	12,60
2U (22)	562,13	633,52	19,02
3U	1102,62	1242,65	37,32
2S1	4,29	4,83	0,15
2S2	41,51	46,79	1,40
2S3	524,06	590,62	17,74
3S2	8,94	10,08	0,30
3S3	264,41	297,99	8,95
2UR2	10,14	11,43	0,34
3UR2	3,63	4,10	0,12
3UR3	0,00	0,00	0,00
3UR4	4,67	5,27	0,16
3S2B2	54,82	61,79	1,86
3S3B2	0,00	0,00	0,00
3S2A1S2	1,14	1,29	0,04
Totais	2954,81	3330,07	100,00

Tabela 43 – Resumo do VDM na BR/290

Categoria	VDM₂₄	VDM_a	% VDM_a
2U (16)	295,69	353,94	16,58
2U (22)	446,31	534,23	25,03
3U	440,07	526,77	24,68
2S1	7,71	9,23	0,43
2S2	21,68	25,95	1,22
2S3	371,28	444,42	20,82
3S2	31,22	37,38	1,75
3S3	112,50	134,66	6,31
2UR2	4,00	4,79	0,22
3UR2	21,86	26,16	1,23
3UR3	2,61	3,13	0,15
3UR4	12,68	15,17	0,71
3S2B2	8,96	10,72	0,50
3S3B2	4,57	5,47	0,26
3S2A1S2	2,14	2,57	0,12
Totais	1783,28	2134,59	100,00

Tabela 44 – Resumo do VDM na BR/287

Categoria	VDM₂₄	VDM_a	% VDM_a
2U (16)	339,58	382,71	19,17
2U (22)	512,57	577,66	28,93
3U	475,43	535,81	26,83
2S1	6,00	6,76	0,34
2S2	39,71	44,75	2,24
2S3	252,43	284,49	14,25
3S2	10,14	11,43	0,57
3S3	111,86	126,07	6,31
2UR2	6,86	7,73	0,39
3UR2	2,14	2,41	0,12
3UR3	0,29	0,33	0,02
3UR4	9,43	10,63	0,53
3S2B2	5,29	5,96	0,30
3S3B2	0	0,00	0,00
3S2A1S2	0	0,00	0,00
Totais	1771,72	1996,73	100,00

Tabela 45 – Resumo do VDM na BR/285

Categoria	VDM₂₄	VDM_a	% VDM_a
2U (16)	160,40	193,61	13,53
2U (22)	242,11	292,23	20,43
3U	281,08	339,26	23,71
2S1	2,71	3,28	0,23
2S2	25,81	31,16	2,18
2S3	319,39	385,50	26,95
3S2	5,57	6,72	0,47
3S3	118,18	142,65	9,97
2UR2	1,00	1,21	0,08
3UR2	0,00	0,00	0,00
3UR3	0,43	0,52	0,04
3UR4	13,56	16,37	1,14
3S2B2	14,56	17,58	1,23
3S3B2	0,00	0,00	0,00
3S2A1S2	0,43	0,52	0,04
Totais	1185,24	1430,59	100,00

4.4 Hipóteses de carregamento da frota

Para o desenvolvimento de um estudo completo sobre os efeitos da falta de fiscalização por pesagem sobre pavimentos de rodovias, seria necessária a programação de uma ampla seqüência de pesagens da frota dos veículos de carga. Para contornar estas dificuldades de tempo e custos, decidiu-se, além das contagens volumétricas, programar e executar uma contagem de veículos carregados e vazios nas rodovias definidas para o estudo. Após, foram estabelecidas as hipóteses de carregamento da frota incidente sobre o percentual de veículos carregados. Estas condições foram desenvolvidas partindo-se das indicações formuladas por Neves (2002) para veículos de carga deslocando-se com e sem fiscalização por pesagem.

Tabela 46 – Contagem “carregados e vazios”

Rodovia	% Carregados	% Vazios
BR/386	75,6	24,4
BR/290	69,5	30,5
BR/287	64,6	35,4
BR/285	72,7	27,3

Ficou estabelecida a partir de informações exaradas na seção 2.4 da Revisão, a hipótese de que 60,0% dos veículos carregados trafegam com carga máxima mais a tolerância de 7,5% estabelecida pela legislação (CONTRAN, 1999a). Os restantes 40,0% dos veículos carregados circulam com excesso de carga sendo o valor do excesso de 10,0% além dos limites máximos para os eixos dianteiros e 20,0% nos demais.

Assim, a hipótese de carregamento da frota pode ser discriminada conforme consta na Tabela 47, a seguir apresentada:

Tabela 47 – Discriminação do carregamento da frota - %

Rodovia	Vazios	Com carga máxima	Com excesso	Total
BR/386	24,4	45,4	30,2	100,0
BR/290	30,5	41,7	27,8	100,0
BR/287	35,4	38,8	25,8	100,0
BR/285	27,3	43,6	29,1	100,0

Quando existe fiscalização por pesagem pressupõe-se que os excessos são inexpressivos e, por consequência, o carregamento da frota nos trechos considerados pode ser discriminado conforme os valores da Tabela 46. Quando não existem operações de pesagem ocorrerão excessos de acordo com as condições expressas na Tabela 47.

Por último, decidiu-se adotar um crescimento linear da frota no valor de 3,0% ao ano, normalmente adotados por órgãos rodoviários, particularmente, DAER e DNIT.

4.5 Correção do VDMa devido à pesagem

A hipótese levantada no presente estudo considera que quando é implementada uma operação de pesagem na rodovia os veículos comerciais passam a trafegar sem excessos de carga. Esta nova situação gera um excedente de carga que precisa ser transportada por outros veículos em face da demanda do mercado que não pode ser modificada. Aliás, esta condição deveria ser melhor entendida por boa parte dos transportadores pois se todos atuassem dentro dos limites de carga permitidos, haveria maior disponibilidade de fretes, amenizando os efeitos da crise do setor.

Calculou-se o excedente de carga e procedeu-se uma redistribuição proporcional do mesmo nos outros caminhões da frota menos para os do tipo 2U (carga leve e média), pois os mesmos transportam cargas diferenciadas daquelas transportadas por veículos maiores.

Assim, após a correção devida ao efeito da pesagem, apresenta-se o VDMa corrigido nas Tabelas 49 a 52.

Deve-se registrar que a implementação de fiscalização por pesagem ao longo da vida útil de uma rodovia provoca um aumento próximo a 4,0% no tráfego, conforme pode ser observado nas tabelas anteriores e sintetizado na Tabela 48.

Tabela 48 – Aumento do VDMa devido à pesagem

Rodovia	% Aumento VDMa
BR/386	4,0
BR/290	3,9
BR/287	4,1
BR/285	3,6

Tabela 49 – Correção do VDMa na BR/386

Veículo	VDMa sem pesagem	VDMa com pesagem
2U (16)	419,72	457,62
2U (22)	633,52	645,37
3U	1242,65	1305,22
2S1	4,83	4,91
2S2	46,79	49,15
2S3	590,62	599,99
3S2	10,08	10,54
3S3	297,99	302,05
2UR2	11,43	12,14
3UR2	4,10	4,18
3UR3	0,00	0,00
3UR4	5,27	5,34
3S2B2	61,79	64,71
3S3B2	0,00	0,00
3S2A1S2	1,29	1,34
Totais	3330,07	3462,59

Tabela 50 – Correção do VDMa na BR/290

Veículo	VDMa sem pesagem	VDMa com pesagem
2U (16)	353,94	385,90
2U (22)	534,23	544,22
3U	526,77	553,29
2S1	9,23	9,40
2S2	25,95	27,26
2S3	444,42	451,48
3S2	37,38	39,10
3S3	134,66	136,49
2UR2	4,79	5,09
3UR2	26,16	26,72
3UR3	3,13	3,30
3UR4	15,17	15,39
3S2B2	10,72	11,23
3S3B2	5,47	5,55
3S2A1S2	2,57	2,67
Totais	2134,59	2217,09

Tabela 51 – Correção do VDMa na BR/287

Veículo	VDMa sem pesagem	VDMa com pesagem
2U (16)	382,71	417,27
2U (22)	577,66	588,46
3U	535,81	562,79
2S1	6,76	6,88
2S2	44,75	47,02
2S3	284,49	289,00
3S2	11,43	11,96
3S3	126,07	127,78
2UR2	7,73	8,21
3UR2	2,41	2,46
3UR3	0,33	0,34
3UR4	10,63	10,78
3S2B2	5,96	6,24
3S3B2	0,00	0,00
3S2A1S2	0,00	0,00
Totais	1996,73	2079,20

Tabela 52 – Correção do VDMa na BR/285

Veículo	VDMa sem pesagem	VDMa com pesagem
2U (16)	193,61	211,09
2U (22)	292,23	297,69
3U	339,26	356,35
2S1	3,28	3,33
2S2	31,16	32,73
2S3	385,50	391,62
3S2	6,72	7,04
3S3	142,65	144,59
2UR2	1,21	1,28
3UR2	0,00	0,00
3UR3	0,52	0,55
3UR4	16,37	16,60
3S2B2	17,58	18,41
3S3B2	0,00	0,00
3S2A1S2	0,52	0,54
Totais	1430,59	1481,81

4.6 Cálculo do Fator de Eixo e do Fator de Carga – FE e FC

O Fator de Eixos (FE) é um parâmetro que multiplicado pela quantidade total de veículos de carga fornece a quantidade de conjuntos de eixos da frota. O FE interfere no cálculo do Número N. É importante destacar que as alterações do FE quando se consideram as situações de com e sem pesagem são insignificantes. Os valores calculados foram os seguintes:

Tabela 53 – Fator de Eixo - FE

Rodovia	Fator de eixo
BR/386	2,35
BR/290	2,37
BR/287	2,26
BR/285	2,45

As cargas por eixo provocam efeitos destrutivos nos pavimentos e reduzem a vida remanescente dos mesmos. Os FEC por eixo são utilizados para fazer conversões em deslocamentos do eixo padrão de 82 kN diante das diversas magnitudes das cargas por eixo e das diferentes configurações dos conjuntos de eixos.

Portanto, o FC multiplicado pelo número de conjuntos de eixos existentes no tráfego ao longo de um período de análise, fornece o número equivalente de passagens do eixo padrão que deverá provocar o mesmo dano ao pavimento que o produzido por toda frota. Os valores do FC apresentados foram calculados segundo os critérios do CE do Exército Norte-Americano. Os cálculos foram desenvolvidos de acordo com as expressões existente no Manual de Reabilitação de Pavimentos Asfálticos do DNER (1998). Os valores calculados para os veículos constituintes da frota nas diferentes hipóteses de carregamento por eixo, serão utilizados para cálculo do FV e, posteriormente, do número N.

Tabela 54– Valores do Fator de Carga – FC

Rodovia	Hipóteses de carregamento	FC
BR/386	Com pesagem	4,22
	Sem pesagem	5,67
BR/290	Com pesagem	3,54
	Se pesagem	4,79
BR/287	Com pesagem	3,04
	Sem pesagem	4,09
BR/285	Com pesagem	4,06
	Sem pesagem	5,47

4.7 Fator de Veículo – FV

O fator de veículo de uma frota de veículos pode ser calculado através de $FV = FE * FC$ e deve ser interpretado como o número equivalente de operações do eixo padrão provocado pelo deslocamento de um veículo médio representativo da frota. O fator de veículo representa também uma grandeza proporcional ao dano ou consumo provocado pela ação do tráfego sobre o pavimento. Portanto, pode-se entender que modificações importantes no FV de uma frota podem indicar uma alteração no desempenho esperado do pavimento devido a ações do tráfego não previstas.

Apresenta-se na Tabela 55 e nas Figuras 35 a 38, uma visualização da variação dos valores dos FV's.

Tabela 55 – FV com e sem pesagem

Rodovia	Hipótese de carregamento	FV	% Aumento FV
BR/386	Com pesagem	9,93	34,04
	Sem pesagem	13,31	
BR/290	Com pesagem	8,39	35,76
	Sem pesagem	11,39	
BR/287	Com pesagem	6,86	34,84
	Sem pesagem	9,25	
BR/285	Com pesagem	9,95	35,28
	Sem pesagem	13,46	

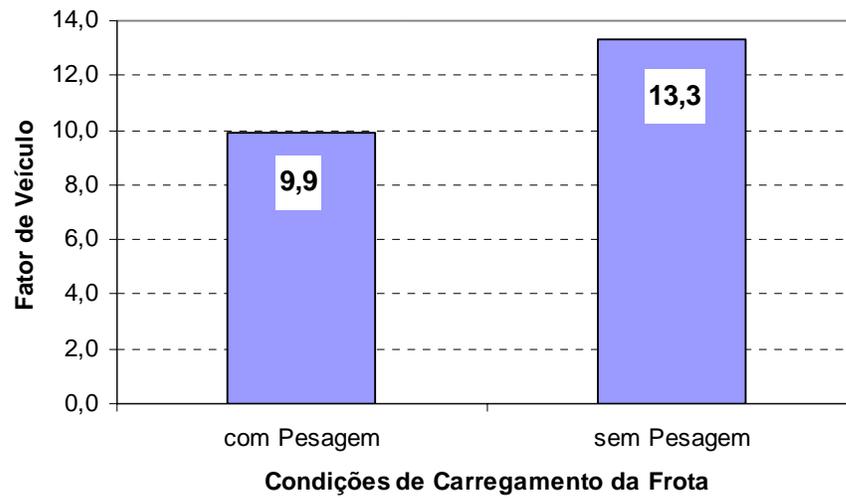


Figura 35 – FV na frota da BR/386

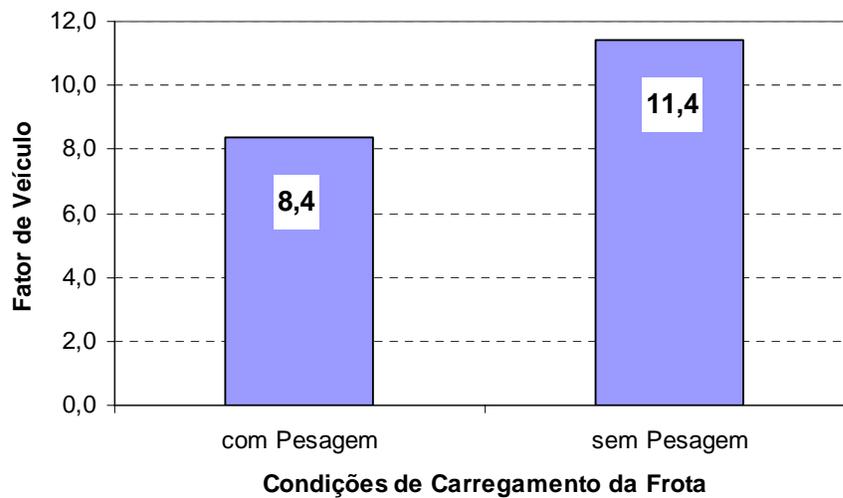


Figura 36 – FV na frota da BR/290

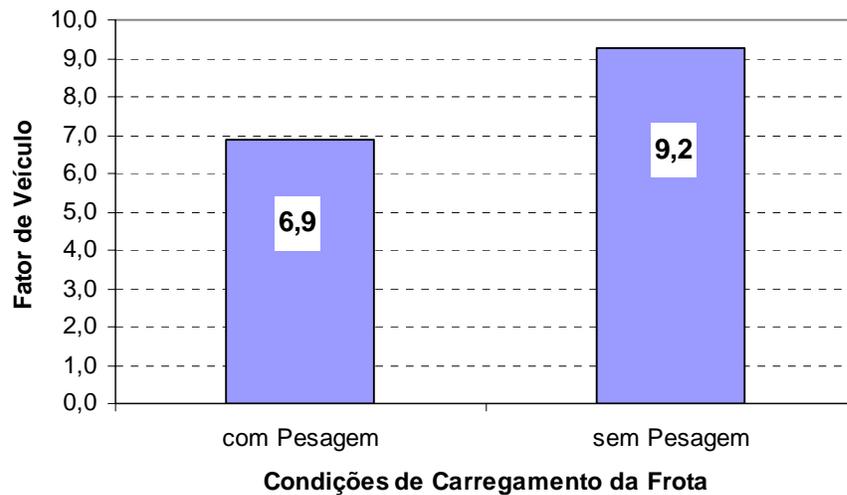


Figura 37 – FV na frota da BR/287

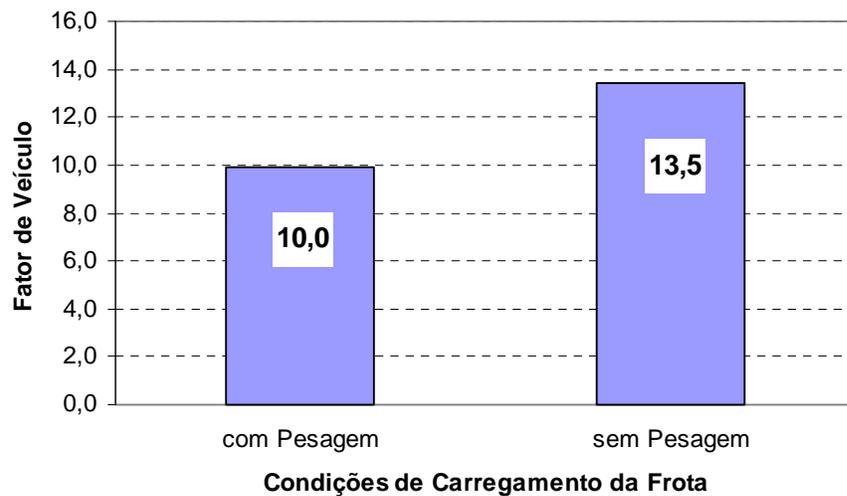


Figura 38 – FV na frota da BR/285

4.8 Evolução do tráfego nas rodovias estudadas

Os números N's foram calculados de acordo com os procedimentos recomendados pelo Manual de Pavimentação do DNER (1996). Determinou-se o valor de N para as duas distintas hipóteses de carregamento da frota: com e sem fiscalização por pesagem. O período considerado para análise foi de 10 anos, normalmente utilizado em estudos de tráfego,

projetos, dimensionamentos e restaurações de pavimentos no Brasil. A taxa de crescimento linear do tráfego já referida foi de 3,0% ao ano, valor usualmente adotado.

$$N = V_{tc} * FE * FC \quad (20)$$

Onde:

N – parâmetro representativo do efeito destrutivo do tráfego, correspondente ao número equivalente de repetições do eixo padrão de 82 kN.

V_{tc} – volume total de tráfego comercial durante o período de projeto, considerando apenas um sentido do tráfego;

FE – fator de eixo, é a média ponderada das quantidades dos diversos tipos de eixos que atuam sobre o pavimento e,

FC – é o fator de equivalência de carga da frota para o eixo padrão de 82 kN.

A evolução do tráfego através do crescimento do número N durante o período de avaliação considerado no presente trabalho pode ser observada através das Tabelas 56 a 59 e das Figuras 39 a 42.

Tabela 56 – Evolução do tráfego na BR/386

Anos	N com Pesagem	N sem Pesagem
1	6,4E+06	8,2E+06
2	1,3E+07	1,7E+07
3	2,0E+07	2,5E+07
4	2,7E+07	3,4E+07
5	3,4E+07	4,4E+07
6	4,1E+07	5,3E+07
7	4,8E+07	6,3E+07
8	5,6E+07	7,3E+07
9	6,4E+07	8,3E+07
10	7,2E+07	9,3E+07

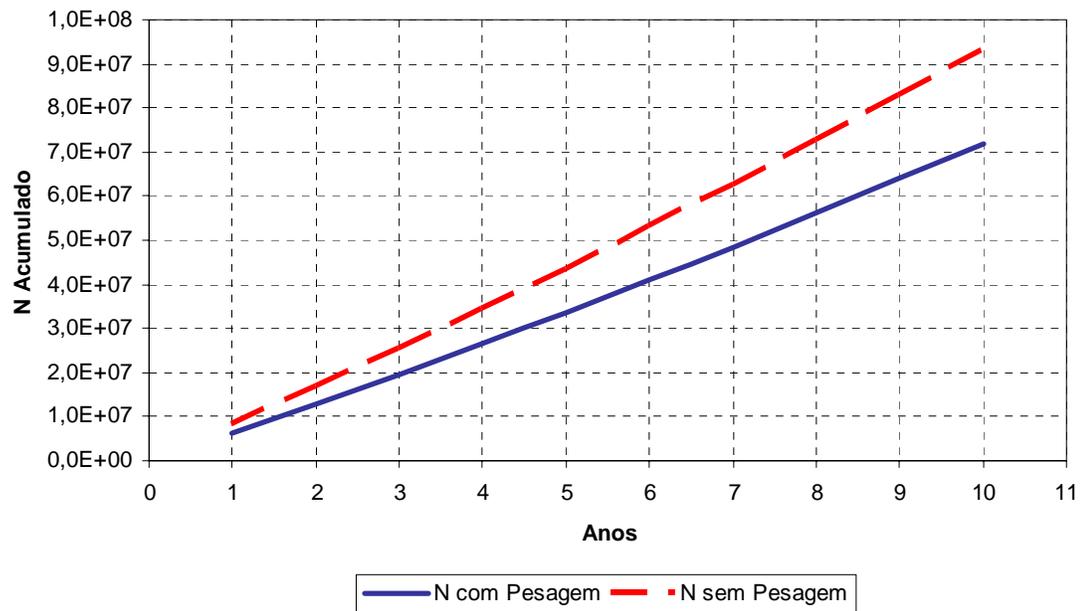


Figura 39 – Evolução do Tráfego na BR/386

Tabela 57 – Evolução do tráfego na BR/290

Anos	N com Pesagem	N sem Pesagem
1	3,4E+06	4,5E+06
2	7,0E+06	9,1E+06
3	1,1E+07	1,4E+07
4	1,4E+07	1,9E+07
5	1,8E+07	2,4E+07
6	2,2E+07	2,9E+07
7	2,6E+07	3,4E+07
8	3,0E+07	4,0E+07
9	3,5E+07	4,5E+07
10	3,9E+07	5,1E+07

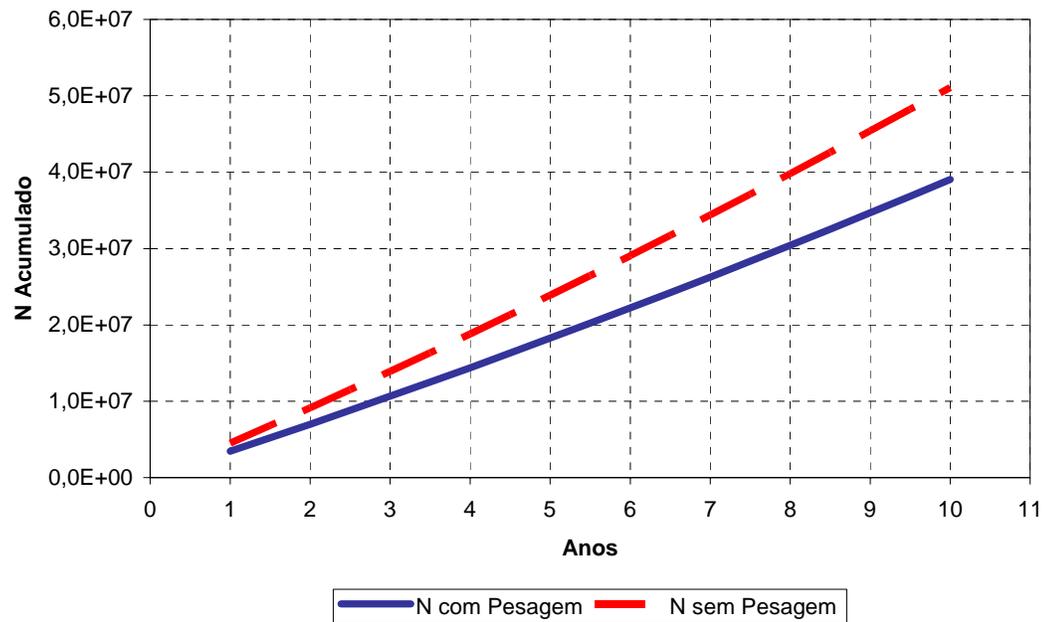


Figura 40 – Evolução do Tráfego na BR/290

Tabela 58 – Evolução do tráfego na BR/287

Anos	N com Pesagem	N sem Pesagem
1	2,6E+06	3,4E+06
2	5,4E+06	6,9E+06
3	8,2E+06	1,1E+07
4	1,1E+07	1,4E+07
5	1,4E+07	1,8E+07
6	1,7E+07	2,2E+07
7	2,0E+07	2,6E+07
8	2,3E+07	3,0E+07
9	2,7E+07	3,4E+07
10	3,0E+07	3,9E+07

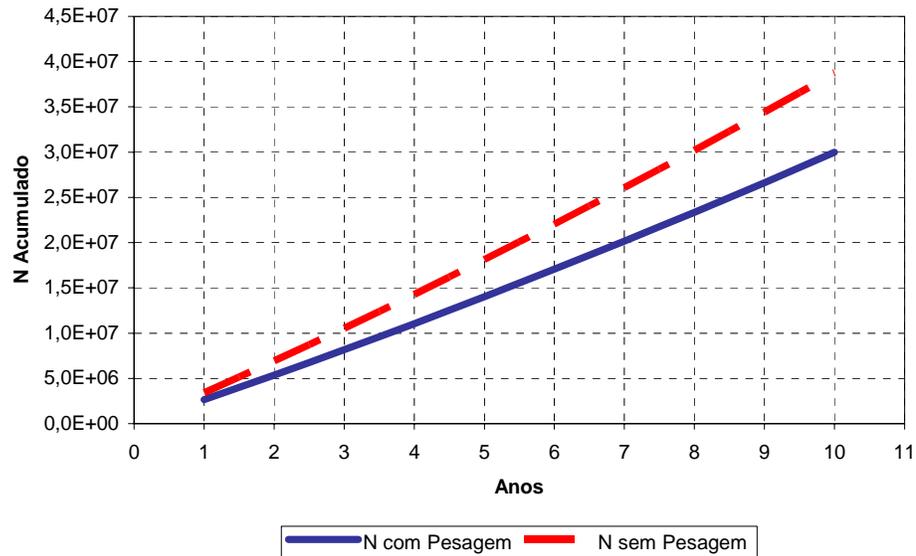


Figura 41 - Evolução do Tráfego na **BR/287**

Tabela 59 – Evolução do tráfego na BR/285

Anos	N com Pesagem	N sem Pesagem
1	2,7E+06	3,6E+06
2	5,5E+06	7,2E+06
3	8,4E+06	1,1E+07
4	1,1E+07	1,5E+07
5	1,4E+07	1,9E+07
6	1,8E+07	2,3E+07
7	2,1E+07	2,7E+07
8	2,4E+07	3,1E+07
9	2,7E+07	3,6E+07
10	3,1E+07	4,0E+07

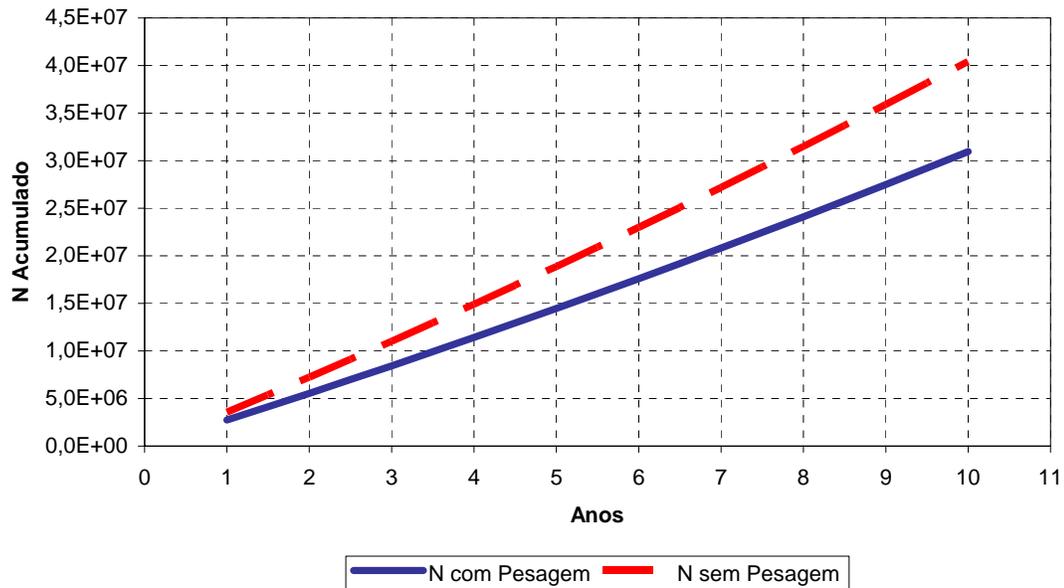


Figura 42 – Evolução do Tráfego na BR/285

A condição econômica mais adequada para o dimensionamento do pavimento aponta para a consideração do tráfego de veículos de carga com fiscalização por pesagem. Então o que se procura neste trabalho é determinar a alteração na durabilidade do pavimento quando não se implementam as instalações de pesagem previstas no dimensionamento.

A comparação entre a evolução do tráfego nas condições de com e sem pesagem conduz a uma redução da vida inicialmente prevista do pavimento das rodovias sem fiscalização por pesagem, segundo os critérios estipulados.

Apresentam-se na Tabela 60 os valores de redução da durabilidade prevista para os pavimentos calculados a partir do aumento do consumo do pavimento decorrente da inexistência de fiscalização por pesagem.

Tabela 60 – Redução na durabilidade dos pavimentos

Rodovias	% de redução da vida prevista
BR/386	22,6
BR/290	23,5
BR/287	23,1
BR/285	22,5

4.9 Avaliação funcional e econômica

Programou-se a execução da análise do desempenho funcional dos pavimentos e da variação nos custos de manutenção devido a inexistência de fiscalização por pesagem através de um estudo de caso montado com a utilização dos dados levantados nas rodovias BR/386 e BR/290.

A evolução da irregularidade longitudinal, representada pela variação do IRI e a variação dos custos de manutenção, foram determinadas através dos modelos de previsão de desempenho contidos no programa HDM-4, versão 1.3 [(Kerall, 1995a) e (Kerall, 1995b)], desenvolvido pelo Banco Mundial.

Os pressupostos são os seguintes:

- Os VDMs quantitativo e percentual das rodovias consideradas estão discriminados nas Tabelas 42 (BR/386) e 43 (BR/290) do presente capítulo;
- Os FEC por veículo foram calculados e estão apresentados na Tabela 61;
- Hipótese de constituição do pavimento: foi definida uma seção tipo composta de base e sub-base granular com revestimento em concreto asfáltico com 5,0 cm de espessura para as duas rodovias. Atribuiu-se um número estrutural de 4,5 aceitável como representativo do pavimento de rodovias arteriais e um IRI inicial de 4,0 m/km. Cada um dos trechos analisados está constituído por uma pista com duas faixas (2,0 x 3,60m) e acostamentos (2,0 x 2,50m), totalizando 12,20 m de largura por 1,0 km de extensão;
- As hipóteses de carregamento da frota são as seguintes: quando existe pesagem, todos os veículos trafegam com carga máxima mais a tolerância permitida (CP). No caso de

inexistência de balanças (SP) definiu-se que 100,0 % dos veículos trafegam com sobrecargas de 10,0% nos eixos dianteiros e 20,0% nos demais;

- Os FEC's de cada veículo da frota, informados ao programa, constam na Tabela 61 e foram calculados por procedimentos tradicionais já detalhados nesta tese (Tabela 6 da Revisão).

Tabela 61 – FEC's por veículo da frota

Categoria de veículo	Frota com controle de peso (Carga máxima + tolerância)	Frota sem controle de peso (Excesso/eixo de 10 e 20,0%)
2U (16)	0,227	0,344
2U (22)	5,542	10,696
3U	13,082	23,642
2S1	10,713	20,984
2S2	18,253	33,930
2S3	19,464	36,143
3S2	25,792	16,877
3S3	27,004	49,359
2UR2	15,884	31,272
3UR2	23,423	44,219
3UR3	30,963	57,165
3UR4	38,502	70,111
3S2B2	38,502	70,111
3S3B2	39,714	72,594
3S2A1S2	44,885	82,882

A fim de se conhecer a relação de custos de manutenção dos pavimentos entre uma frota com controle de pesagem e a mesma sem fiscalização por pesagem, com a finalidade quantificar os efeitos comparativos, foram consideradas estratégias de manutenção integrantes do programa HDM-4. Estas estratégias definem o que será feito, em relação à manutenção do pavimento, de acordo com o grau de degradação funcional e estrutural.

Aplicando-se as rotinas do programa, foram criadas duas estratégias de trabalho para serem executadas conforme as necessidades (ou programação) ao longo de 20 anos tomados como período de análise. O período de análise de 20 anos não pode ser confundido com o período de projeto tomado como 10 anos nos quais, teoricamente, haveria uma adequada manutenção, não deveriam ocorrer recapeamentos nem excessos de carga.

Desta forma, uma das normas adotadas compreende a manutenção básica do pavimento, efetuando-se serviços de tapa-buracos todos os anos e a outra, desencadeando um recapeamento de 5,0 cm ao longo do trecho sempre que as condições de rugosidade superficial atingissem um IRI da ordem de 8 m/km . O modelo de previsão de redução do IRI utilizado após a recapagem foi o linear sem ajustes dos parâmetros (por *default*), conforme sugere Lerch (2002) para este tipo de seção e espessura de recape.

Os valores (R\$) estimados para estes serviços foram baseados em dados reais de acordo com informações colhidas no DAER/RS referidas a fevereiro de 2004. Foram adotados os seguintes custos para a manutenção dos trechos: R\$ 11,18 (onze reais e dezoito centavos) por metro quadrado como custo do recapeamento e R\$ 1,19 (um real e dezenove centavos) por metro quadrado de operação tapa-buraco.

Para a execução dos modelos de previsão de desempenho foram criados 4 projetos ou possibilidades, variando nas 2 rodovias a situação de tráfego com carga controlada e, após, com tráfego sem qualquer controle de carga.

Após rodar o programa HDM-4, com as configurações e dados descritos anteriormente, obtiveram-se os seguintes resultados:

a) BR/386

A avaliação funcional expressa através da Figura 43 e a comparação econômica, demonstrada na Figura 44, apresentam a diferenças existentes tanto na vida útil do pavimento, quanto no custo de manutenção do trecho.

Nota-se que no 5º ano do período, de acordo com os critérios adotados, foi necessário o primeiro recape para as duas condições CP e SP. Porém, SP exigiu um segundo recape no 10º ano e a condição CP exigiu o 2º recape apenas no 14º ano. Observa-se também que ao longo de 20 anos de análise, tem-se a necessidade de três recapeamentos do trecho quando a frota não sofre controle de carga, ao passo que para a frota controlada, tem-se somente a necessidade de dois recapeamentos.

A Figura 44 permite a visualização dos custos de manutenção por quilômetro devido às operações anuais de tapa-buracos e dos recapeamentos descritos.

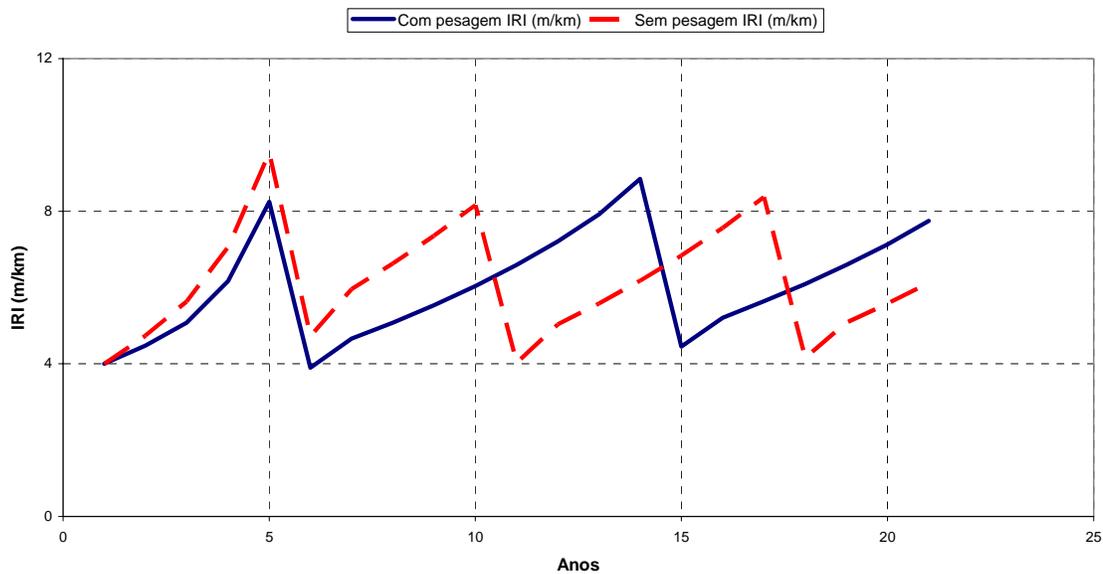


Figura 43 – Desempenho funcional do pavimento na BR/386

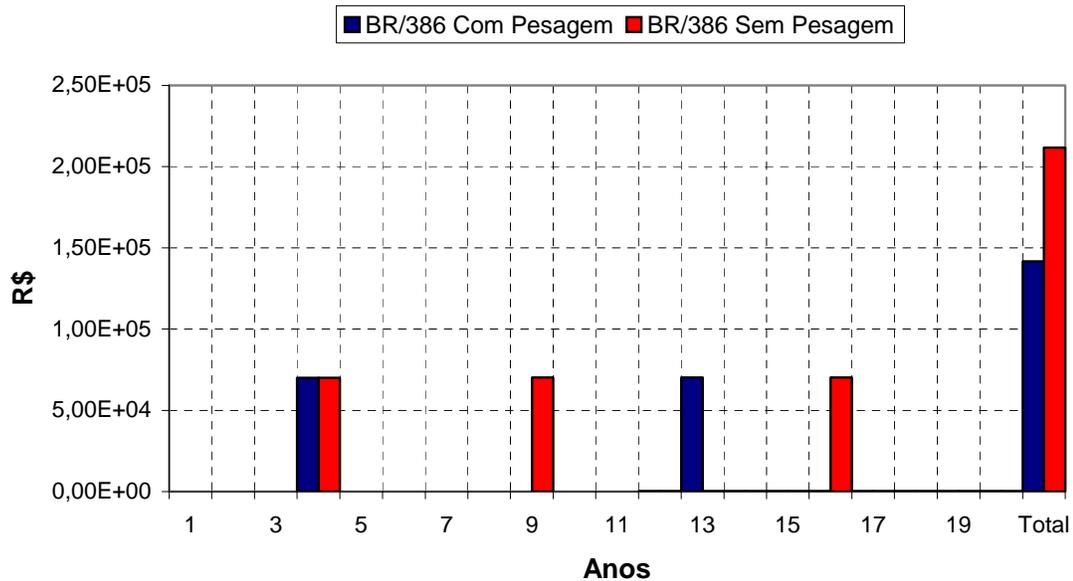


Figura 44 – Evolução dos custos de manutenção/km na BR/386

b) BR/290

A avaliação funcional observada através da evolução do IRI na Figura 45 e a comparação econômica visualizada na Figura 46 apresentam as diferenças existentes tanto na vida útil do pavimento, quanto no custo de manutenção do trecho em questão.

Nota-se que, igualmente à condição da BR/386, ao longo dos vinte anos de análise, tem-se a necessidade de três recapeamentos do trecho quando a frota não sofre controle de carga ao passo que para a frota controlada, tem-se apenas a necessidade de dois recapeamentos.

Apresenta-se após as Figuras 45 e 46, a Tabela 62 com os custos econômicos anuais discriminados para as rodovias objeto do presente estudo.

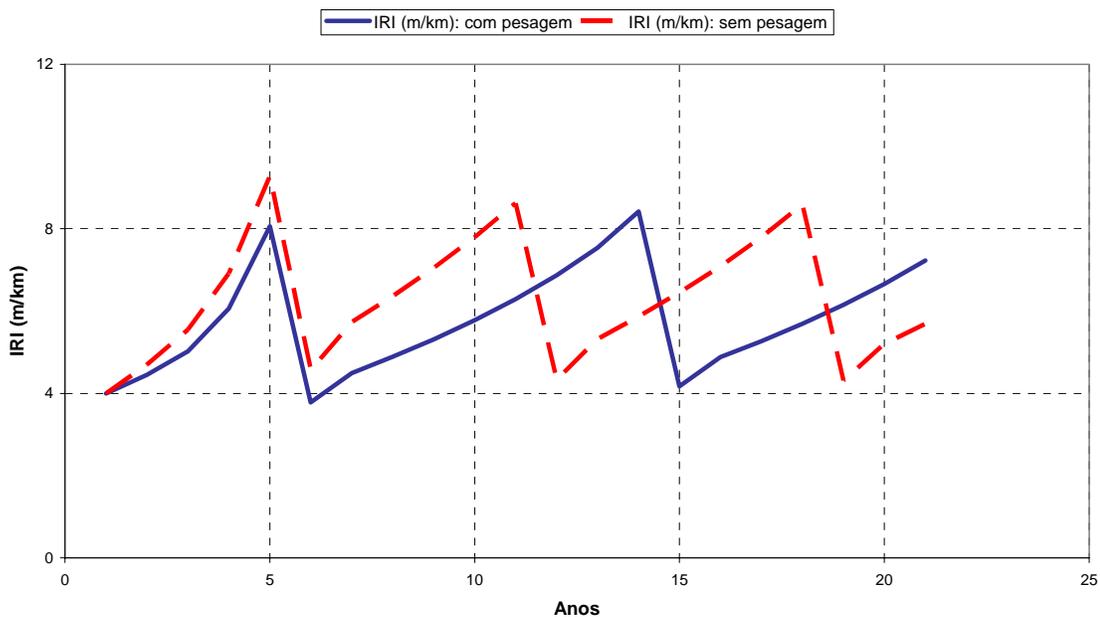


Figura 45 - Desempenho funcional do pavimento na BR/290

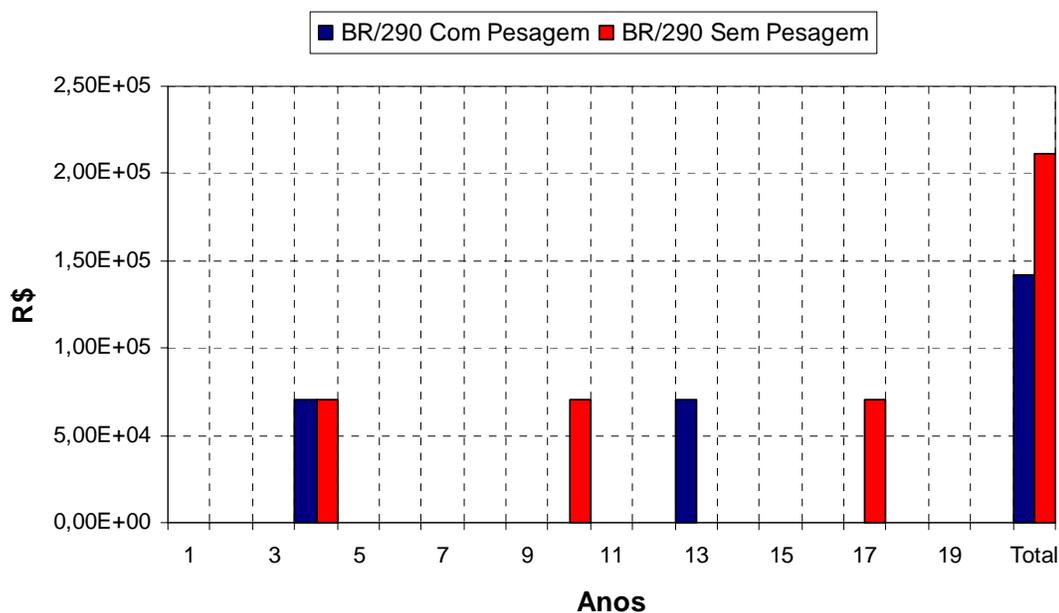


Figura 46 – Evolução dos custos de manutenção na BR/290

Tabela 62 – Valores utilizados na comparação econômica (R\$/km)

ANOS	BR/290		BR/386	
	CP	SP	CP	SP
2	7,0	7,0	7,0	7,0
3	14,0	14,0	15,0	14,0
4	70070,0	70070,0	70070,0	70070,0
5	12,0	12,0	12,0	12,0
6	9,0	9,0	9,0	9,0
7	28,0	28,0	29,0	29,0
8	43,0	43,0	44,0	43,0
9	60,0	60,0	61,0	70120,0
10	77,0	70140,0	78,0	78,0
11	90,0	90,0	92,0	92,0
12	102,0	102,0	103,0	103,0
13	70160,0	111,0	70180,0	112,0
14	117,0	117,0	119,0	119,0
15	120,0	120,0	122,0	122,0
16	122,0	122,0	124,0	70180,0
17	134,0	137,0	134,0	134,0
18	137,0	140,0	137,0	139,0
19	139,0	142,0	140,0	142,0
20	142,0	142,0	142,0	142,0
Total	141.665	211.729	141.666	211.724

Apresenta-se na Tabela 63, um resumo do aumento percentual nos custos de manutenção do pavimento considerado ao longo de um período de análise de 20 anos.

Tabela 63 – Resumo do aumento % no custo de manutenção

Quando a frota de carga não tem controle de pesagem o custo de manutenção aumenta:	Rodovia	
	BR/290	BR/386
	33,11%	33,09%

Com os mesmos objetivos, testes em verdadeira grandeza desenvolvidos na Via Dutra comprovam que o excesso de carga provoca da frota uma redução na vida útil das rodovias em torno de 25% devido às deformações prematuras, principalmente, trincas e fissuras. Com isso, a recuperação das pistas tem de ser antecipada o que gera um aumento de até 40% nos custos de manutenção (Giro das estradas, 2003).

Sobre o mesmo assunto Jennings (1997) do Departamento de Transportes da Virginia (EUA) declara estar convencido de que a pesagem em movimento desempenha um papel importante no sentido de ajudar a preservação das rodovias. A mesma fonte elaborou um gráfico comparativo (Figura 47) que retrata o aumento dos custos de manutenção.

Esta questão, conforme referido na seção 1.3, preocupa o Ministério dos Transportes do Brasil que informa que os excessos de carga transportados pelos caminhões nas rodovias federais causam prejuízos anuais de R\$ 1,5 bilhão ao Governo (Ministério dos Transportes, 2004).

A Tabela 64 fornece uma ordem de grandeza dos valores de serviços adicionais e prematuros executados sob acompanhamento do DAER ⁴para fazer frente ao consumo acelerado dos pavimentos levantado na presente investigação.

⁴ Valores fornecidos pela eng^a Margarete V.D.L. da Fonseca do DAER para rodovias pavimentadas Classe de Projeto II (out./2003).

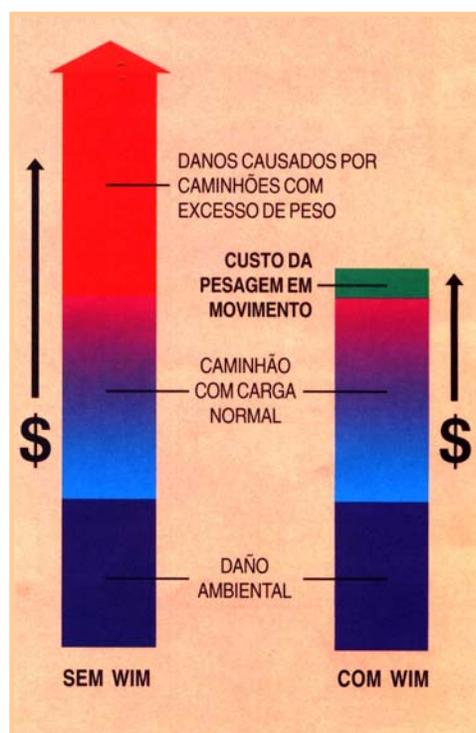


Figura 47 – Comparação de custos de manutenção CP e SP

Tabela 64 – Gastos adicionais devido ao excesso de carga por eixo

Espessura do revestimento	Valor em R\$/km do recapeamento com CA	Valor em R\$/km da restauração pavimento
7,0 cm	Espessura de 7,0 cm 98.000,00	Variável entre 100.000,00 e 200.000,00
5,0 cm	Espessura de 5,0 cm 70.000,00	

4.10 Comentários sobre os resultados do estudo

Os dados e informações apresentados no presente capítulo permitem constatar que quando se estudam os efeitos da inexistência de pesagem, considerando o pavimento dimensionado para um tráfego dentro dos limites legais de carga, há um forte aumento no FV

da frota. O aumento do FV pode ser entendido como aceleração do consumo, maior desgaste e surgimento de danos e defeitos nos pavimentos e, por conseqüência, uma redução no desempenho do mesmo. A Tabela 65, apresentada a seguir, fornece uma dimensão do problema:

Tabela 65 – Aumento nos danos aos pavimentos

Rodovias	% aumento danos
BR/386	34,04
BR/290	35,76
BR/287	34,84
BR/285	35,28

Os estudos desenvolvidos também indicam que quando não há controle de pesagem há uma redução da durabilidade prevista para a vida dos pavimentos no valor médio de 23,0% nas rodovias estudadas.

Para as rodovias BR/386 e BR/290, cujos dados e informações levantadas alimentaram um estudo de caso com vistas a uma análise funcional e econômica desenvolvida na seção 4.9, obteve-se as seguintes evidências: sob o ponto de vista funcional, constatou-se uma maior degradação do pavimento quando os veículos comerciais trafegam sem controle de carga e o estudo comparativo econômico apresentou uma diferença de cerca de 33% com os gastos adicionais para a manutenção dos pavimentos quando não se faz controle de carga na frota.

Estas constatações são preocupantes e indicam a necessidade de implementação de programas de pesagem dos veículos de carga para preservação da segurança dos usuários, da serventia da via, da maior durabilidade da rede viária e da otimização de aplicação dos recursos públicos. A Figura 48 mostra uma operação de fiscalização por pesagem, sugerida como encaminhamento de parte da solução para as questões levantadas no presente trabalho.



Figura 48 – A pesagem é uma das medidas mais indicadas para preservar os pavimentos

5. A percepção do controle de carga pelos agentes do sistema: uma pesquisa de opinião

5.1 Planejamento da pesquisa

De acordo com as finalidades e objetivos discriminados para a presente tese, definiu-se que o foco dos interesses para a pesquisa de opinião seria o universo dos empresários em transportes de cargas, engenheiros e outros técnicos em engenharia rodoviária e motoristas ou condutores de veículos de carga que trabalham e utilizam as principais rodovias pavimentadas no Estado do Rio Grande do Sul.

Então, face aos segmentos integrantes da pesquisa selecionaram-se as seguintes fontes de dados: Sindicato de Empresas de Transportes de Cargas do Estado do Rio Grande do Sul (SETCERGS); DAER; DNIT; Sindicato da Indústria da Construção de Estradas, Pavimentação e Obras de Terraplenagem em Geral (SICEPOT); Departamento Estadual de Trânsito (DETRAN - RS) e conhecimento e trabalhos dos professores e pesquisadores do LASTRAN da Escola de Engenharia da UFRGS.

Uma coleta de informações nas fontes citadas, nas quais reuniram-se valores consolidados para o ano de 2001, permitiu a construção da Tabela 66. O número de empresas de carga foi obtido através de entrevista com a diretoria do SETCERGS, o número de engenheiros e técnicos de formação superior atuantes na área de engenharia rodoviária foi obtido através de entrevista com engenheiro assessor técnico do SICEPOT e o número de veículos de carga registrados em 2001 no Rio Grande do Sul foi obtido no sítio do DETRAN – RS (2004).

Tabela 66 – Informações sobre o tamanho dos segmentos da pesquisa

Informações para o Rio Grande do Sul:	Quantidade
Empresas transportadoras	4000
Engenheiros rodoviários	450
Veículos de carga	306.575

Após algumas trocas de idéias com especialistas do PPGE, particularmente o professor José Luiz Duarte Ribeiro, avaliou-se que não existem motivos que justifiquem estratificação das amostras de empresários e técnicos no que se refere a grupos com opiniões significativamente diferenciadas sobre a questão da pesagem.

Com relação ao segmento dos motoristas de veículos de carga, devido à heterogeneidade da população, decidiu-se dividir a amostra de condutores em estratos proporcionais a sua participação na população. Novamente com o auxílio de doutorandos, especialistas e professores da área de transportes e produção, foram definidas as seguintes variáveis de estratificação:

- Região: maiores eixos de carga no Rio Grande do Sul: Porto Alegre – Rio Grande, Porto Alegre – Serra Gaúcha e Porto Alegre – São Paulo;
- Tipo de veículo: leve, médio e pesado e,
- Tipo de relação de trabalho do motorista: autônomo e frotista.

Discriminam-se agora os detalhes da estratificação estabelecida:

Região: O detalhamento desta variável de estratificação leva em consideração os três mais importantes e maiores eixos de transportes do Rio Grande do Sul, a saber: Porto Alegre - Rio Grande (**R1**), Porto Alegre - Serra (**R2**) e Porto Alegre - São Paulo (**R3**). A R1 está constituída pelas rodovias federais BR/116 e BR/392 entre a Região Metropolitana de Porto Alegre e o porto marítimo de Rio Grande. A R2 compõe-se das rodovias BR/116, RS/240, RS/122 e RST/453 para a ligação entre a Região Metropolitana de Porto Alegre e Caxias do Sul, município pólo da serra gaúcha. A R3 entre as Regiões Metropolitanas de Porto Alegre e São Paulo (capital) possui no Rio Grande do Sul o trecho constituído pelas rodovias BR/290 (*Free Way*) e a BR/101 entre os municípios de Osório e Torres.

Tipo do Veículo: Para os fins previstos na pesquisa dividiu-se a frota de veículos de carga em três diferentes tipos: Leve (**TV1**), Médio (**TV2**) e Pesado (**TV3**). Leve, com caminhões do tipo 2U(16) típico de encomendas, entregas de gás ou cargas de maior valor agregado, comuns nos entornos das regiões urbanizadas. Médio, com caminhões do tipo 2U(22) conhecido vulgarmente como "toco". Pesado, com caminhões tipo 3U (truque), 2S1, 2S2, 2S3, 3S2 e 3S3 (semi-reboque), 2UR2, 3UR2, 3UR3 e 3UR4 (reboque) e 2S2B2, 3S3B3

(bitrem), 3UR2R2 (tritrem) e 3S2A1S2 (rodotrem) para maiores valores de cargas e volumes transportados a distâncias mais longas.

Tipo de Condutor: Considera-se para este estrato o tipo de relação de trabalho do motorista. Autônomo (**TC1**) quando o veículo é dirigido pelo proprietário, inclusive o que está terceirizado. Frotista (**TC2**) é o condutor empregado de empresa transportadora que atua com normas, horários, destinos e cargas definidas pelo empregador ou empresa transportadora.

Apresenta-se um resumo da estratificação na Tabela 67.

Tabela 67 – Estratificação do grupo dos motoristas

Região	Três classes	R1, R2 e R3
Tipo de Veículo	Três classes	TV1, TV2 e TV3
Tipo de Condutor	Duas classes	TC1 e TC2

O número total de estratos é: $3 \times 3 \times 2 = 18$ estratos. O número de agrupamentos (definido como o produto entre as classes das variáveis maiores) é: $3 \times 3 = 9$ agrupamentos. Os agrupamentos são as combinações possíveis entre Região e Tipo de Veículo.

O conhecimento da composição do volume de tráfego pesado nos eixos de cargas deu-se por entrevistas diretas com transportadores e especialistas na área. O consenso obtido sobre rateio dos fluxos de cargas foi o seguinte:

- Porto Alegre – Rio Grande: 25,0%
- Porto Alegre – Serra Gaúcha: 25,0%
- Porto Alegre – São Paulo: 50,0%

A composição percentual da frota de veículos de carga foi informada pelo DETRAN – RS, através de consulta encaminhada pela Internet em 2001. Posteriormente os valores foram confirmados por outra consulta feita em 2004 (DETRAN, 2004). As informações obtidas foram:

- Veículo de carga leve: 28,0%
- Veículo de carga médio: 52,0%

- Veículo de carga pesado: 20,0%

Por último, os dados sobre o tipo de condutor foram obtidos de uma pesquisa realizada por Albano e Lindau (1998) em uma amostra com 275 motoristas:

- Condutor autônomo: 62,0%
- Condutor frotista: 38,0%

Dentre os procedimentos relacionados e recomendados por Ribeiro (2001) para o desenvolvimento da pesquisa julgou-se que as entrevistas pessoais seriam mais adequadas aos objetivos do trabalho.

Como entrevistadores foram recrutados e treinados dois bolsistas do curso de graduação da Escola de Engenharia da UFRGS, supervisionados e coordenados pelo autor da tese. Todas as abordagens aos transportadores em seus veículos de carga foram realizadas com autorização e apoio das Polícias Rodoviária Federal e Estadual.

Os questionários aberto e fechado utilizados na pesquisa foram organizados de forma objetiva e sintética, com a finalidade de reter o veículo o menor tempo possível para a coleta das informações.

Com relação ao tamanho da amostra utilizou-se a fórmula a seguir apresentada para calcular o número de questionários por agrupamento (Ribeiro, 2001).

$$n = z^2_{\alpha/2} \frac{CV^2}{ER^2} \quad (21)$$

Onde z é a variável da distribuição normal padronizada e $\alpha/2$ é o nível de significância usado na estimativa. Tradicionalmente $\alpha = 0,05$. CV é o coeficiente de variação da população. No caso, do presente estudo qualitativo, adotou-se um $CV = 10,0\%$, considerado como moderado. ER é o erro relativo admissível que para a o caso do grupo dos motoristas foi estimado como médio, com a adoção do valor de $5,0\%$. Para os grupos dos técnicos e dos empresários, em função da potencial uniformidade das opiniões, estimou-se um menor erro admissível ($4,0\%$).

Assim com base nestas considerações calculou-se o tamanho da amostra para cada grupo considerado. Os resultados estão expressos na Tabela 68.

Tabela 68 – Tamanho das amostras

Grupos	Número de questionários
Por agrupamento de motoristas	15,4
Para o grupo dos técnicos	24,0
Para o grupo dos empresários	24,0

Os cálculos indicam que o número de questionários por agrupamento de motoristas é de **15,4** questionários. Como foram determinados 9 agrupamentos, o total de questionários para o segmento dos motoristas será: $15,4 \times 9 = \mathbf{138,6}$. Para cada estrato, o número médio de questionários será $138,6 \div 9 = \mathbf{15,4}$. O arredondamento será efetuado no final.

O cálculo do número de questionários por estrato da classe dos motoristas é executado em função da composição de cada um. A seguir apresenta-se o cálculo do número de questionários por estrato da amostra de motoristas.

Estrato Nº	Composição	Cálculo	Nº Questionários
1	R1.TV1.TC1	$0,25.0,28.0,62.138,6 = 6,01$	6
2	R1.TV1.TC2	$0,25.0,28.0,38.138,6 = 3,69$	4
3	R1.TV2.TC1	$0,25.0,52.0,62.138,6 = 11,17$	11
4	R1.TV2.TC2	$0,25.0,52.0,38.138,6 = 6,85$	7
5	R1.TV3.TC1	$0,25.0,20.0,62.138,6 = 4,30$	4
6	R1.TV3.TC2	$0,25.0,20.0,38.138,6 = 2,63$	3
7	R2.TV1.TC1	$0,25.0,28.0,62.138,6 = 6,01$	6
8	R2.TV1.TC2	$0,25.0,28.0,38.138,6 = 3,69$	4
9	R2.TV2.TC1	$0,25.0,52.0,62.138,6 = 11,17$	11
10	R2.TV2.TC2	$0,25.0,52.0,38.138,6 = 6,85$	7
11	R2.TV3.TC1	$0,25.0,20.0,62.138,6 = 4,30$	4
12	R2.TV3.TC2	$0,25.0,20.0,38.138,6 = 2,63$	3
13	R3.TV1.TC1	$0,50.0,28.0,62.138,6 = 12,03$	12
14	R3.TV1.TC2	$0,50.0,28.0,38.138,6 = 7,37$	7
15	R3.TV2.TC1	$0,50.0,52.0,62.138,6 = 22,34$	22
16	R3.TV2.TC2	$0,50.0,52.0,38.138,6 = 13,69$	14
17	R3.TV3.TC1	$0,50.0,20.0,62.138,6 = 8,59$	9
18	R3.TV3.TC2	$0,50.0,20.0,38.138,6 = 5,27$	5
Total:			139 unidades

5.2 Coleta de dados

Os dados relativos ao segmento dos técnicos foram obtidos em abril de 2003 com os alunos do curso de especialização “Prática de projeto, construção e controle de obras rodoviárias” promovido pelo SICEPOT. Foram preenchidos 38 questionários.

As opiniões dos empresários foram obtidas através da distribuição de questionários a filiados ao SETCERGS em novembro de 2003. De um total de 200 questionários encaminhados obteve-se um retorno de 25, devidamente respondidos, condição considerada comum, neste tipo de ação em pesquisas de opinião.

Para a coleta das opiniões dos motoristas realizou-se uma programação detalhada de cada local das entrevistas inclusive com as providências para apoio à abordagem aos veículos de carga.

As condicionantes consideradas mais importantes para a definição dos locais foram: retenção do veículo o menor tempo possível e interferência mínima com o fluxo dos veículos não integrantes da amostra. Os locais escolhidos deveriam possuir faixa adicional para parada do veículo e execução da entrevista com o motorista. Os ingressos e saídas dos veículos de carga deveriam ser seguros.

Com base nos critérios estabelecidos e conversações com as autoridades responsáveis (DAER, DNIT, Concessionárias e Polícias), definiram-se os seguintes locais para a coleta dos dados:

- R1 Eixo de carga Porto Alegre - Rio Grande: Posto de Fiscalização da Polícia Rodoviária Federal na localidade de Retiro, no município de Pelotas. Este local tem a vantagem de conter uma faixa de tráfego adicional além das facilidades de ação da Polícia Rodoviária Federal no apoio às abordagens necessárias;
- R2 Eixo de carga Porto Alegre - Serra: Para o ponto de coleta julgado mais conveniente foi o Posto de Pedágio, localizado no km 12 da RS/240, no município de Portão. Com a devida autorização do DAER, o apoio da empresa operadora e da Polícia Rodoviária Estadual, segregou-se uma faixa de tráfego e uma cabine de pagamento do pedágio exclusiva para utilização dos veículos selecionados para a pesquisa e,

- R3 Eixo de carga Porto Alegre - São Paulo: Definiu-se a área junto ao Posto de Pedágio da BR/290 (*Free Way*) em Gravataí. Neste local funcionava um posto de pesagem. Com a colaboração e apoio da empresa concessionária da rodovia os motoristas foram abordados e entrevistados na seqüência da operação de pesagem.

De acordo com o cálculo do número de questionários por estrato, em cada eixo foram realizadas as seguintes quantidades de entrevistas:

Tabela 69 – Quantidade de entrevistas de motoristas por região

Região	Entrevistas
R1	35
R2	35
R3	69
Total	139

Antes do início de cada ação de campo foram realizados contatos com os órgãos gestores das rodovias onde estavam definidos os postos de coleta de dados com vistas ao agendamento de datas e horários para execução da pesquisa.

Os serviços de campo previstos na pesquisa, incluindo treinamento e deslocamentos da equipe e aplicação dos questionários aberto e fechado, foram realizados no período entre 08 e 22/08/2001. Foi utilizado um veículo sedam para o deslocamento da equipe.

A dinâmica dos serviços no campo desenvolveu-se de forma simples: o coordenador na presença da autoridade policial selecionava o veículo e o condutor de acordo com as necessidades de composição dos estratos programados. Os veículos eram encaminhados aos entrevistadores que aplicavam os questionários (ver Figura 49).

Os questionários com as entrevistas foram revisados quanto à quantidade, consistência e preenchimento adequado.

5.3 Questionário aberto

Como primeiro passo da pesquisa foi elaborado um questionário aberto com a finalidade de auxiliar a montagem do questionário fechado. As questões abordadas foram amplas e dirigidas aos objetivos da pesquisa. As variáveis apresentadas foram: problemas provocados pelo excesso de carga; dificuldades enfrentadas quando o caminhão vai para a pesagem; motivos, razões ou interesses para existir a fiscalização por pesagem e, por fim, vantagens ou benefícios para o transportador trafegar com maiores limites de carga. Foi estimulado a cada entrevistado colocar mais de uma citação de questão ou problema julgado relevante.

O questionário aberto foi aplicado em 31 motoristas de veículos de carga no dia 08 de agosto de 2001. O local escolhido para este levantamento foi o posto de fiscalização do Imposto de Circulação de Mercadorias da Secretaria Estadual da Fazenda do Rio Grande do Sul, localizado na BR/116/290, no município de Eldorado do Sul, junto à divisa com o município de Porto Alegre. Neste local são executadas apenas operações de fiscalização relativas ao fisco estadual, não havendo pesagens para controle dos excessos de carga. A constituição da amostra foi completamente aleatória.

O espaço físico disponível para as entrevistas foi adequado e a cooperação do pessoal técnico da Fazenda Estadual e da Brigada Militar foi muito ampla, importante e fundamental.

Adotou-se a planilha apresentada na Figura 49 como forma do questionário aberto.

As respostas foram analisadas e comparadas gerando-se uma hierarquia de importância por repetição da mesma questão para proporcionar uma melhor visualização e ordenação das questões levantadas no questionário aberto.

Apresenta-se, adiante, para cada variável constante no questionário aberto, tabelas contendo as respostas espontâneas dos entrevistados e a comparação entre a frequência de ocorrência das questões.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção	
Pesquisa de Opinião - Questionário Aberto	
Estamos realizando uma pesquisa para saber sua opinião sobre pesagens de veículos. Suas idéias vão ajudar na programação dos Sistemas de Pesagem de Veículos de Carga no Rio Grande do Sul. Obrigado por colaborar!	
Pesquisador: _____ Tipo de Veículo: _____ Local: Posto Fiscal de Guaíba. BR/116 km 276 - Eldorado do Sul – RS	Entrevista nº : _____ Data : ___/08/2001
1. Quais os maiores problemas (prejuízos, malefícios, conseqüências indesejáveis) provocados pelo excesso de carga? a. _____ b. _____ c. _____ d. _____ e. _____ f. _____	
2. Quais as maiores dificuldades enfrentadas (incomodações, inconvenientes, transtornos, chateações) quando o caminhão pára na pesagem? a. _____ b. _____ c. _____ d. _____ e. _____ f. _____ g. _____	
3. Na sua opinião, por que o Governo faz pesagens nos caminhões (quais os motivos, razões ou interesses)? a. _____ b. _____ c. _____ d. _____ e. _____	
4. Se o Governo aumentar os limites de carga, quais as vantagens ou benefícios para o transportador? a. _____ b. _____ c. _____	
Comentários: _____	

Figura 49 – Modelo de Questionário Aberto adotado

a) Variável investigada: **problemas provocados pelo excesso de carga.**

Tabela 70 – Tipos de respostas e frequência de ocorrência (pergunta 1)

Respostas	Frequência	%
Estraga pavimento	20	30,8
Estraga caminhão	20	30,8
Menor segurança	16	24,6
Menos frete disponível	4	6,1
Maior tempo viagem	2	3,1
Aumentam gastos de viagem	2	3,1
Não existem problemas	1	1,5
Total:	65 citações	100,0

b) Variável investigada: **transtornos (dificuldades) durante a pesagem.**

Tabela 71 – Tipos de respostas e frequência de ocorrência (pergunta 2)

Respostas	Frequência	%
Atraso na viagem	15	37,5
Nenhuma dificuldade	11	27,5
Redistribuição da carga	6	15,0
Atrito com a fiscalização	4	10,0
Possibilidade de multa	2	5,0
Não confia na balança	2	5,0
Total:	40 citações	100,0

c) Variável investigada: **motivos (razões) pelos quais o Governo faz pesagens.**

Tabela 72 – Tipos de respostas e frequência de ocorrência (pergunta 3)

Respostas	Frequência	%
Proteger pavimento	19	50,0
Aumentar arrecadação	10	26,3
Aumentar segurança	7	18,5
Controlar mercadorias	1	2,6
Não sabe	1	2,6
Total:	38 citações	100,0

d) Variável investigada: **compensação (benefícios financeiros) obtida com aumento dos limites de carga. Trafegar com sobrecargas.**

Tabela 73 – Tipos de respostas e frequência de ocorrência (pergunta 4)

Respostas	Frequência	%
Aumenta o lucro	20	66,7
Nenhuma vantagem	4	13,3
Diminui o lucro	2	6,7
Favorece só as empresas	2	6,7
Prejudica os menores caminhões	1	3,3
Não sabem opinar	1	3,3
Total:	30	100,0

As respostas às perguntas do Questionário Aberto foram analisadas de acordo com critérios de pertinência do tema e maior frequência de ocorrência. Desta forma, organizou-se um desdobramento em níveis chamados de primário e secundário para constituição do Questionário Fechado. Apresentam se na Tabela 74 a discriminação das variáveis para montagem do Questionário Fechado.

Tabela 74– Discriminação das variáveis para organização do Questionário Fechado:

Nível Primário	Nível Secundário
1. Problemas provocados pelo excesso de carga	Estraga o pavimento Estraga o caminhão Diminui a segurança Diminui o frete disponível
2. Transtornos (dificuldades) durante a pesagem	Atrasa a viagem Redistribuição da carga Atrito com a fiscalização Possibilidade de multa Desconfiança da balança
3. Motivos pelos quais o Governo faz pesagens	Proteger o pavimento Aumentar a arrecadação Aumentar a segurança
4 Aumento nos limites de carga. Trafegar com sobrecargas	Grau de compensação (financeira) obtido com o aumento dos limites de carga
5. Controle dos excessos ou pesagem	Importância do controle dos excessos de carga

5.4 Questionário fechado

O Questionário Fechado foi elaborado de acordo com as respostas orientadas pelo Questionário Aberto. A variável 4 da Tabela 73 foi discriminada em grau de compensação (prejuízo, nenhuma, pouca, média e grande) e a variável 5 foi inserida no Questionário Fechado pela relevância e necessidade de levantamento da importância do juízo dos motoristas, empresários e técnicos a respeito do controle dos excessos de carga. Outro critério que pautou a elaboração do Questionário Fechado foi a necessidade de brevidade no tempo de entrevista. Programou-se também que o mesmo formato seria aplicado aos grupos de empresários e técnicos para posteriores comparações, análises e comentários.

Executou-se um teste prévio do questionário com cinco motoristas estacionados em um posto de abastecimento nos arredores de Porto Alegre e com professores e alunos de pós-graduação do LASTRAN. Foram inseridos os ajustes julgados importantes.

A mecânica de preenchimento apresentou-se simples: o entrevistador posicionado junto a porta do motorista colocava a questão e assinalava a resposta em uma grade, de acordo com modelo apresentado a seguir. Para os técnicos e empresários foram transmitidas informações básicas para o correto preenchimento do questionário. Na Figura 50 apresentam-se fotos de entrevistas realizadas com motoristas na BR/116 no município de Pelotas.



(a)



(b)

Figura 50 – (a) e (b) Auxiliares de pesquisa entrevistando motoristas

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção
Pesquisa de Opinião – Questionário Fechado

Local: R1 R2 R3	Entrevistador: _____	Data: ____/08/200_.
Motorista: TC1 TC2	Veículo: TV1 TV2 TV3	Questionário n°: _____

1) Assinale a importância que você atribui aos PROBLEMAS ou PREJUÍZOS provocados pelo excesso de carga

	Nada	Pouco	Médio	Muito
Estraga o pavimento				
Estraga o caminhão				
Diminui a segurança				
Diminui o frete				

2) Qual o tamanho da DIFICULDADE ou do TRANSTORNO que você atribui a cada um dos itens abaixo:

	Nenhum	Pequena	Média	Grande	Muito Grande
Atraso na viagem					
Redistribuição da carga					
Atrito com a fiscalização					
Possibilidade de multa					
Desconfiança da balança					

3) Assinale o grau de importância que você dá aos MOTIVOS pelos quais o Governo faz pesagens

	Não é motivo	Motivo pequeno	Motivo médio	Motivo grande
Proteger o pavimento				
Aumentar a arrecadação				
Aumentar a segurança				

4) O maior lucro do frete obtido com o aumento dos limites de cargas poderia COMPENSAR os maiores riscos com acidentes e maiores gastos com o caminhão?

- () Não há compensação e sim prejuízo
 () Não compensa nada (ganha mais mas gasta mais)
 () Há uma compensação pequena
 () Há uma compensação média
 () Há uma compensação grande

5) Qual a importância do CONTROLE dos excessos de carga?

- () Nenhuma importância
 () Pouca importância
 () Importância média
 () Importância grande

Figura 51 – Modelo de Questionário Fechado utilizado na pesquisa

A discriminação do grau de importância atribuído às variáveis constantes nas perguntas também foi decidida em função das respostas oriundas do Questionário Aberto e da natureza do questionamento. Assim, para as perguntas 1, 3 e 5 definiu-se quatro níveis de grau de importância e para as perguntas 2 e 4, cinco níveis.

Para viabilizar uma análise apoiada em elementos de estatística descritiva associou-se um valor numérico a cada um dos níveis qualitativos utilizados, de acordo com os valores da Tabela 75.

Tabela 75 – Escala de mensuração das variáveis categóricas

Importância	Descrição
0	Nenhuma Importância
0,5	Importância Pequena
1,0	Importância Média
1,5	Importância Grande
2,0	Importância Muito Grande

5.5 Respostas ao questionário fechado

Os dados oriundos do grupo motoristas foram tabulados e estão apresentados sob a forma de gráficos de colunas. Os valores das distribuições de frequências relativas ao conjunto total da amostra de motoristas constam como rótulos no topo de cada coluna. Da mesma forma, utilizaram-se gráficos de colunas para apresentar os resultados dos demais grupos de entrevistados (técnicos e empresários). Os gráficos representam as distribuições de frequência relativa cujos valores (das frequências) estão taxados como rótulos no topo das colunas. Em cada gráfico dos grupos de entrevistados registrou-se também o valor da média e do desvio padrão dos dados agrupados.

Assim, foram construídos 42 gráficos na forma descrita acima. Os gráficos constituem o Anexo A da presente tese, localizado após as Referências.

Os gráficos de colunas além de apresentar os resultados da pesquisa, facilitam a visualização e interpretação dos resultados.

Nas Tabelas 76 e 77 apresentam-se as associações numéricas utilizadas para os níveis de valores usados na pesquisa. Reitera-se que os gráficos com os resultados por grupos podem ser consultados no Anexo A.

Tabela 76 – Escala de valores para questões com quatro níveis

Nenhuma Importância	0,0
Pouca Importância	0,5
Importância Média	1,0
Importância Grande	1,5

Tabela 77 – Escala de valores para questões com cinco níveis

Nenhuma	0,0
Pequena	0,5
Média	1,0
Grande	1,5
Muito Grande	2,0

5.6 Interpretação e análise dos resultados

5.6.1 Através das médias calculadas

As médias ponderadas calculadas para as distribuições de frequências das variáveis dos grupos pesquisados podem ser associadas a uma tendência de opinião do grupo. A média fornece uma visão representativa dos resultados da pesquisa e auxilia na interpretação dos mesmos. Apresentam-se nas Tabelas 78 a 80 planilhas com a discriminação das variáveis estudadas, as médias calculadas e a decodificação do grau de importância numérico para qualitativo para cada grupo entrevistado.

Tabela 78 – Médias das variáveis e grau de importância das variáveis do grupo **motoristas**

Discriminação da variável	Média	Grau de Importância
1 Variável primária pesquisada: Problemas provocados pelo excesso de carga		
1.1 Estraga o pavimento	1,13	Média
1.2 Estraga o caminhão	1,22	Média a Muita
1.3 Diminui a segurança	1,19	Média
1.4 Diminui o frete disponível	0,86	Pouca a Média
2. Variável primária pesquisada: Dificuldades ou transtornos durante a pesagem		
2.1 Atrasa a viagem	0,55	Pequena
2.2 Redistribuição de carga	1,28	Média a Grande
2.3 Atrito com a fiscalização	0,33	Pequena
2.4 Possibilidade de multa	1,04	Média
2.5 Desconfiança da balança	0,48	Pequena
3. Variável primária pesquisada: Motivos pelos quais o Governo faz pesagens		
3.1 Proteger o pavimento	1,05	Motivo Médio
3.2 Aumentar a arrecadação	0,82	Motivo Médio
3.3 Aumentar a segurança	1,10	Motivo Médio
4. Variável pesquisada: Compensação obtida com aumento dos limites de carga		
Grau de compensação	0,67	Pequena
5. Variável pesquisada: Controle dos excessos de carga		
Importância do controle	1,22	Média a Grande

Tabela 79 – Médias das variáveis e grau de importância das variáveis do grupo **técnicos**

Discriminação da variável	Média	Grau de Importância
1 Variável primária pesquisada: Problemas provocados pelo excesso de carga		
1.1 Estraga o pavimento	1,50	Grande
1.2 Estraga o caminhão	1,20	Médio a Grande
1.3 Diminui a segurança	1,43	Grande
1.4 Diminui o frete disponível	0,79	Pouco a Médio
2. Variável primária pesquisada: Dificuldades ou transtornos durante a pesagem		
2.1 Atrasa a viagem	0,75	Pequena a Média
2.2 Redistribuição de carga	1,26	Média a Grande
2.3 Atrito com a fiscalização	0,99	Média
2.4 Possibilidade de multa	1,39	Grande
2.5 Desconfiança da balança	0,68	Pequena
3. Variável primária pesquisada: Motivos pelos quais o Governo faz pesagens		
3.1 Proteger o pavimento	1,32	Grande
3.2 Aumentar a arrecadação	1,00	Média
3.3 Aumentar a segurança	1,17	Média
4. Variável pesquisada: Compensação obtida com aumento dos limites de carga		
Grau de compensação	0,57	Pequena
5. Variável pesquisada: Controle dos excessos de carga		
Importância do controle	1,50	Grande

Tabela 80 – Médias das variáveis e grau de importância das variáveis do grupo **empresários**

Discriminação da variável	Média	Grau de Importância
1 Variável primária pesquisada: Problemas provocados pelo excesso de carga		
1.1 Estraga o pavimento	1,34	Grande
1.2 Estraga o caminhão	1,26	Média a Grande
1.3 Diminui a segurança	1,32	Grande
1.4 Diminui o frete disponível	1,12	Média
2. Variável primária pesquisada: Dificuldades ou transtornos durante a pesagem		
2.1 Atrasa a viagem	0,46	Pequena
2.2 Redistribuição de carga	0,76	Pequena a Média
2.3 Atrito com a fiscalização	0,66	Pequena
2.4 Possibilidade de multa	0,72	Pequena a Média
2.5 Desconfiança da balança	0,82	Média
3. Variável primária pesquisada: Motivos pelos quais o Governo faz pesagens		
3.1 Proteger o pavimento	1,20	Média a Grande
3.2 Aumentar a arrecadação	0,96	Média
3.3 Aumentar a segurança	1,10	Média
4. Variável pesquisada: Compensação obtida com aumento dos limites de carga		
Grau de compensação	0,60	Pequeno
5. Variável pesquisada: Controle dos excessos de carga		
Importância do controle	1,38	Grande

5.6.2 Comparações entre os grupos pesquisados

Utilizou-se a estatística média dos níveis de opinião para cada variável como parâmetro de comparação entre os grupos pesquisados. Para viabilizar e facilitar a comparação foram elaborados gráficos de colunas onde constam os valores médios calculados, representados nas Figuras 52 a 65, apresentados a seguir.

- Variável primária pesquisada: **Problemas provocados pelo excesso de carga**

Escala de valores	
Nenhuma Importância	0,0
Pouca Importância	0,5
Importância Média	1,0
Importância Grande	1,5

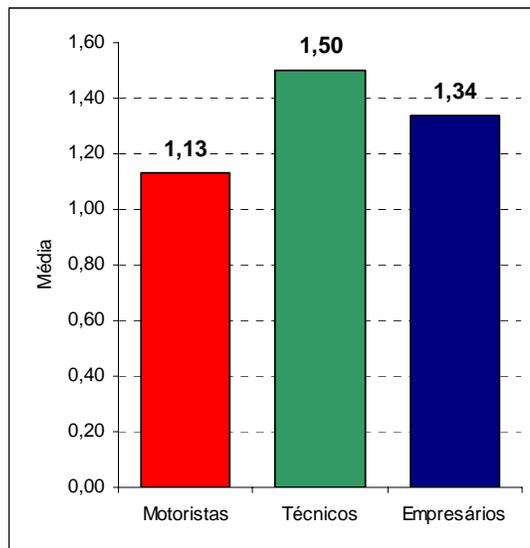


Figura 52 – Estraga o pavimento

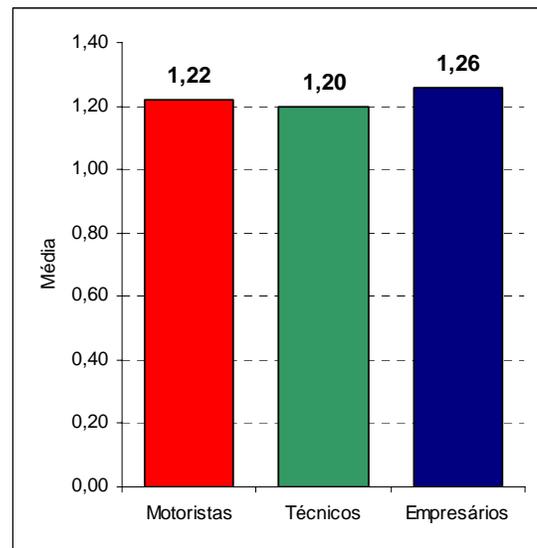


Figura 53 – Estraga o caminhão

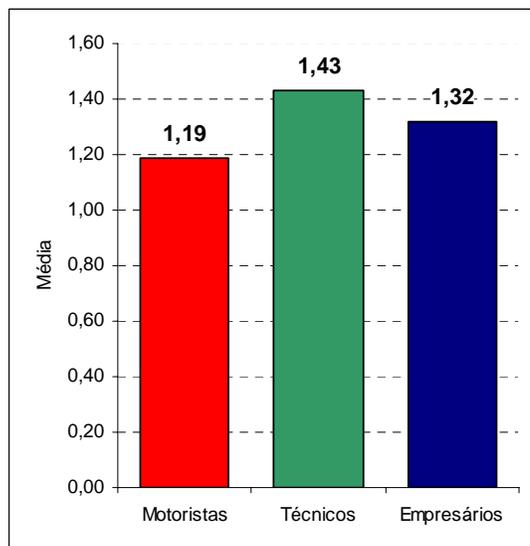


Figura 54 – Diminui a segurança

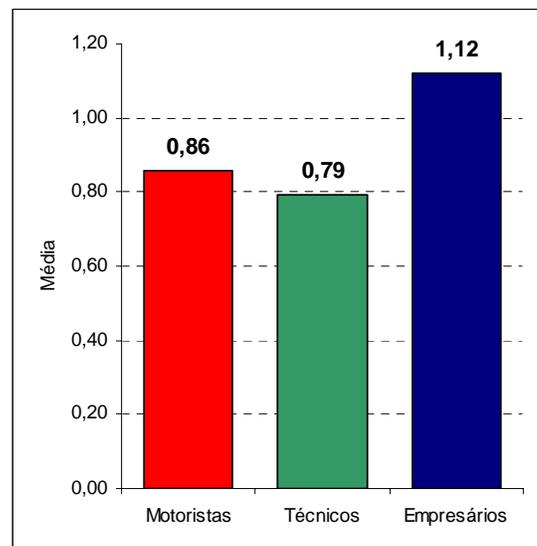


Figura 55 – Diminui o frete disponível

- Variável primária pesquisada: **Dificuldades ou transtornos durante a pesagem**

Escala de valores	
Nenhuma	0,0
Pequena	0,5
Média	1,0
Grande	1,5
Muito Grande	2,0

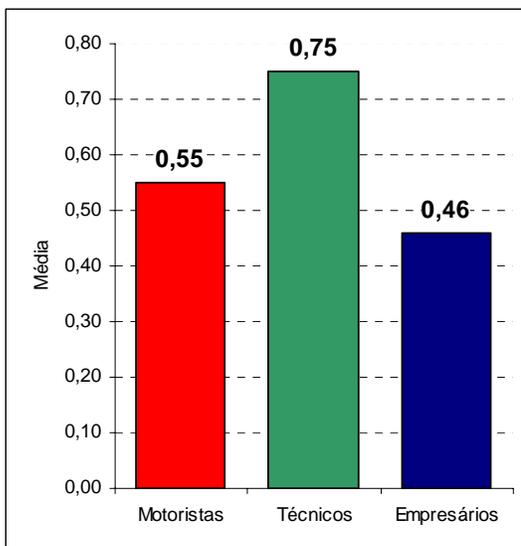


Figura 56 – Atrasa a viagem

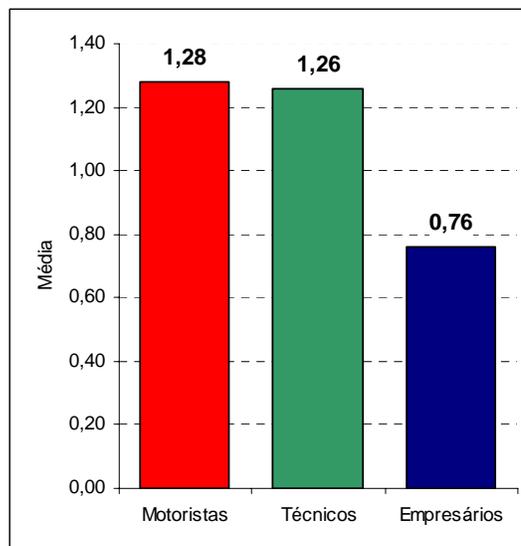


Figura 57 – Redistribuição da carga

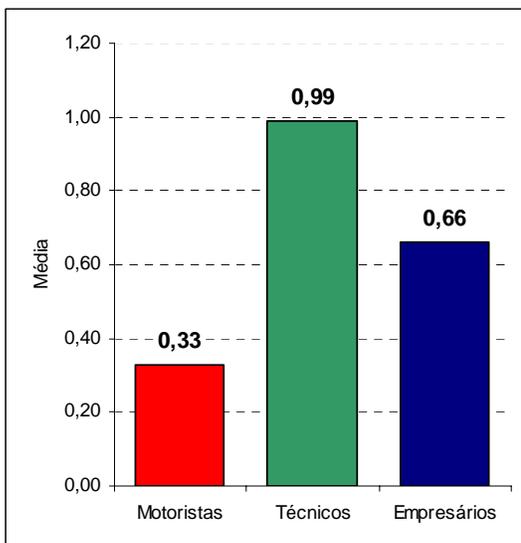


Figura 58 – Atritos com a fiscalização

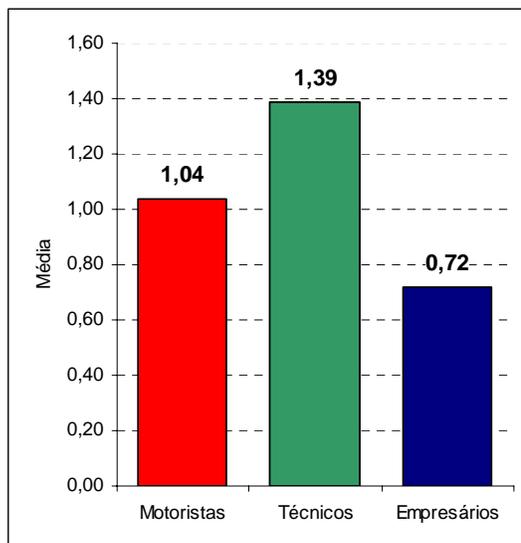


Figura 59 – Possibilidade de multa

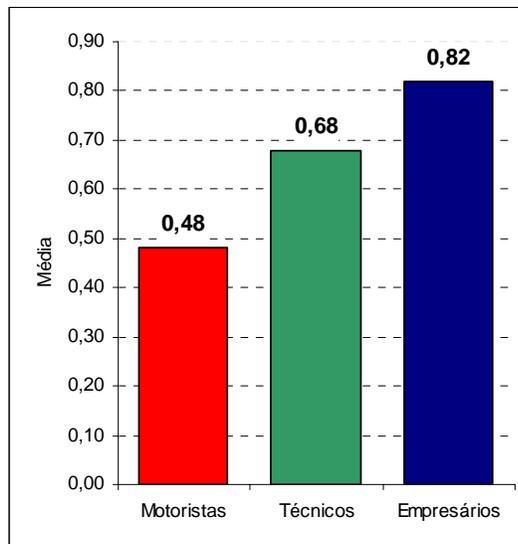


Figura 60 – Desconfiança da balança

- Variável primária pesquisada: **Motivos pelos quais o Governo faz pesagens**

Escala de valores	
Nenhuma Importância	0,0
Pouca Importância	0,5
Importância Média	1,0
Importância Grande	1,5

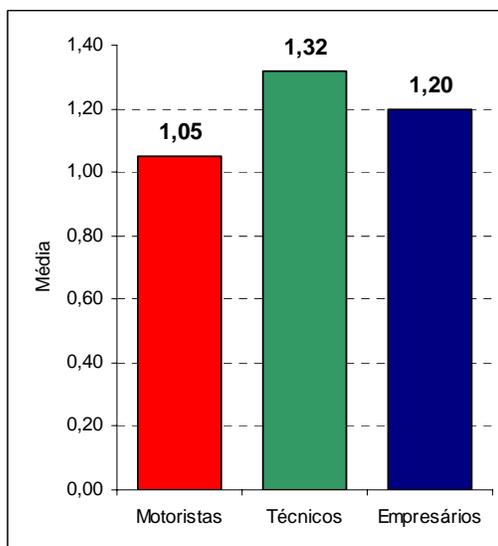


Figura 61 – Proteger o pavimento

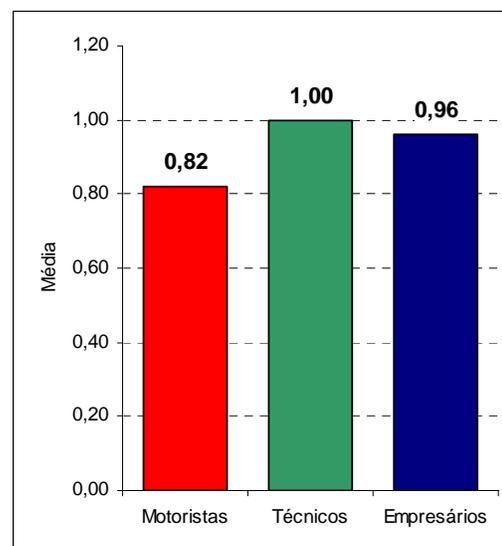


Figura 62 – Aumentar a arrecadação

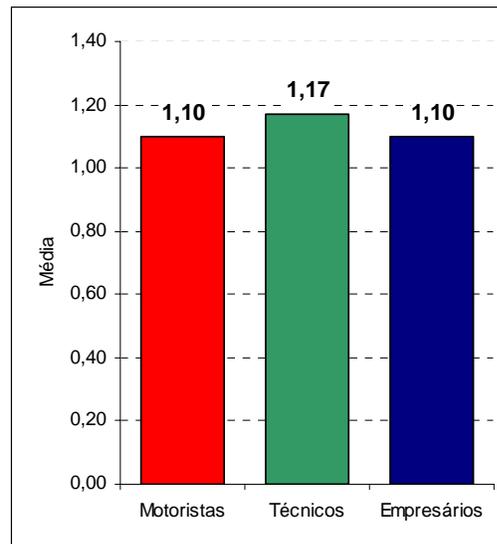


Figura 63 – Aumentar a segurança

- Variável pesquisada: **Compensação obtida com aumento dos limites de carga**

Escala de valores	
Nenhuma	0,0
Pequena	0,5
Média	1,0
Grande	1,5
Muito Grande	2,0

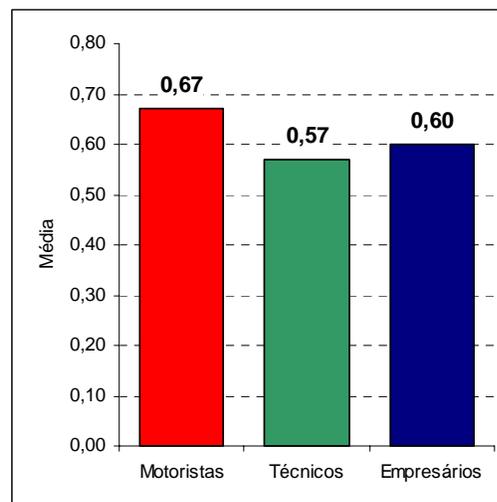


Figura 64 – Grau de compensação com aumento dos limites

- Variável pesquisada: **Importância do controle dos excessos de carga**

Escala de valores	
Nenhuma Importância	0,0
Pouca Importância	0,5
Importância Média	1,0
Importância Grande	1,5

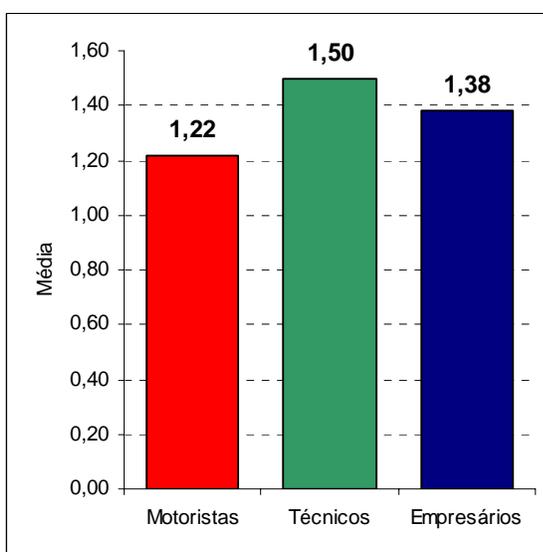


Figura 65 – Controle dos excessos de carga

5.6.3 Análise e comentários

Os resultados expressos através de planilhas e gráficos que integram as seções 5.5 e 5.6 permitem o desenvolvimento de análises diretas através da observação dos resultados. Porém, julgou-se conveniente destacar e comentar alguns tópicos cujo detalhamento e divulgação poderão ajudar no melhor conhecimento das questões de pesagem e facilitar a implantação de planos e ações de fiscalização com o uso de balanças. Destacam-se os itens comentados a seguir:

- Variável primária: **Problemas provocados pelo excesso de carga**

Questão: **Estraga o pavimento**

Apenas 54,7% do grupo dos motoristas atribuem grande importância aos estragos provocados nos pavimentos. Uma parcela de 20,2% dos motoristas atribui pouca ou nenhuma importância. Por outro lado, 100,0% dos técnicos e 76,0% dos empresários atribuem grande importância aos efeitos danosos dos excessos de carga sobre os pavimentos. Observa-se uma total conscientização dos técnicos, porém, quanto aos empresários, julga-se poderia ser maior. Os resultados estão a indicar que deve ser desenvolvido um trabalho educativo, divulgando-se mais os efeitos nocivos dos excessos de carga, particularmente no âmbito dos motoristas.

Questão: **Estraga o caminhão**

Neste item há uma paridade de opiniões entre os grupos estudados: 63,30% dos motoristas, 57,89% dos técnicos e 60,00% dos empresários atribuem grande importância aos problemas de danos aos veículos provocados pelo excesso de carga. Em nome, principalmente, da maior segurança estes efeitos poderiam ser mais divulgados.

Questão: **Diminui a segurança**

Um percentual de 86,84% do grupo dos técnicos julga que a falta de segurança é um problema de grande importância. Verifica-se também que 72,00% dos empresários e 63,30% dos motoristas pensam da mesma forma. Constata-se que 16,5% dos motoristas acreditam que este é um problema pequeno ou inexistente. Estes percentuais estão a indicar uma boa conscientização dos técnicos, razoável dos empresários e média dos motoristas. Na implantação de um plano de pesagem ou mesmo em campanhas educativas deve-se procurar sensibilizar especialmente os motoristas para os potenciais problemas de segurança derivados do excesso de carga

Questão: **Diminui o frete disponível**

Quando existe fiscalização por pesagem os veículos de carga trafegam praticamente sem sobrecargas. Nestas condições, o excesso de peso deverá ser transportado por outros caminhões. No Capítulo 4 do presente trabalho há indicações neste sentido. Demonstra-se que em média, nas rodovias estudadas, há um aumento próximo a 4,0% no VDMA. Portanto, ocorre um maior número de viagens no contexto do transporte rodoviário de cargas. A pesquisa de opinião indica que esta questão não é muito bem percebida pelos motoristas e

técnicos uma vez que há uma nítida divisão das opiniões: 37,40% dos motoristas julgam que a redução da oferta de fretes é um problema de pouca ou nenhuma importância e 39,60% acreditam que se trata de uma questão de grande importância; por outro lado, 50,00% dos técnicos julgam a questão como de pouca ou nenhuma importância e os outros 50,00% consideram como de média ou grande importância. No grupo dos empresários há uma maior conscientização, pois 84,00% acreditam que a redução da oferta de fretes é um problema de média ou grande importância.

- Variável primária: **Dificuldades ou transtornos durante a pesagem**

Questão: **Atrasa a viagem**

Neste item, ao contrário do que muitos poderiam imaginar, verifica-se pelo nível das opiniões em todos os grupos, que não existem maiores queixas quanto ao tempo consumido na operação de pesagem. Verifica-se que 64,00% dos motoristas consideram que o atraso na viagem é pequeno ou inexistente e 60,53% dos técnicos pensam da mesma forma. A percentagem de empresários que também consideram os atrasos na pesagem pequenos ou insignificantes é ainda maior: 75,00%.

Questão: **Redistribuição da carga**

Neste quesito destaca-se que 65,50% do grupo dos motoristas consideram este transtorno como grande ou muito grande. Em contatos com motoristas retidos por excessos de carga, aguardando apoio para os transbordos de mercadorias notou-se grande contrariedade na vivência desta situação. Observa-se que 76,00% dos empresários consideram esta dificuldade como pequena ou média. Neste particular julga-se que há pouca conscientização quanto aos prejuízos e transtornos decorrentes da retenção do veículo.

Questão: **Atrito com a fiscalização**

No grupo dos motoristas há uma constatação de que os atritos com o pessoal da pesagem são pequenos ou inexistentes, pois 78,40% pensam desta forma. A divulgação deste dado na 33ª Reunião Anual de Pavimentação causou surpresa aos presentes (Albano e Lindau, 2001). No grupo de técnicos 73,68% opinam que os atritos com a fiscalização são pequenos ou médios e 68,00% dos empresários manifestam-se de forma similar.

Questão: Possibilidade de multas

Com relação a esta questão observa-se uma divisão de opiniões no grupo dos motoristas porque 28,80% consideram que a possibilidade de multa não tem nenhuma importância e 20,10% pensam que a possibilidade de multas é um transtorno de importância muito grande. As tabelas com os resultados das opiniões dos grupos de técnicos e empresários também indicam divergência de opiniões. Demonstra-se a divergência indicando que 60,53% dos técnicos consideram o transtorno “possibilidade de multas” como tendo importância grande ou muito grande. Por outro lado, somente 20,00% dos empresários consideram a mesma condição.

Questão: Desconfiança da balança

Nesta questão 57,60% do grupo dos motoristas opinam que não há nenhuma desconfiança no funcionamento e precisão das balanças. Os técnicos e empresários tem um julgamento diferente. Apenas 15,79% dos técnicos e 8,00% dos empresários não possuem nenhuma desconfiança das balanças.

- Variável primária: **Motivos pelos quais o Governo faz pesagens**

Questão: Proteger o pavimento

Esta motivação parece ser bem compreendida pelo grupo dos técnicos, pois 73,68% julgam que constitui uma justificativa de grande importância. Apenas 52,00% dos empresários opinam da mesma forma que os técnicos. No grupo dos motoristas 61,20% julgam que a proteção do pavimento é um motivo de grande importância, porém 21,60% acreditam que não existe nenhuma motivação de proteção aos pavimentos. Estes resultados reforçam a necessidade de destacar e divulgar melhor os efeitos danosos dos excessos de carga sobre o desempenho e a durabilidade dos pavimentos.

Questão: Aumentar a arrecadação

Neste assunto constata-se uma certa uniformidade no julgamento dos grupos estudados, pois 41,70% dos motoristas, 44,74% dos técnicos e 36,00% dos empresários acreditam que é uma grande motivação. Surpreende que 37,40% dos motoristas julgam que não existe nenhuma motivação arrecadatória. Os resultados indicam que devem ser destacados os aspectos preventivos das operações de pesagem.

Questão: Aumentar a segurança

A motivação de aumentar a segurança alcança um certo consenso entre os grupos pesquisados: 75,60% dos motoristas, 81,58% dos técnicos e 84,00% dos empresários acreditam esta questão tem importância média ou grande.

- Variável: **Compensação obtida com o aumento dos limites de carga**

Questão: Grau de compensação com os aumentos dos limites de carga

Também nesta questão existe algum consenso entre os grupos: 67,60% dos motoristas, 64,79% dos técnicos e 62,50% dos empresários julgam que a compensação é pequena ou não há compensação ao trafegar além dos limites. Deve-se reforçar a divulgação dos inconvenientes do tráfego com sobrecargas.

- Variável: **Controle dos excessos de carga**

Questão: Grau de importância do controle

Constatou-se uma unanimidade (100,00%) dos técnicos quanto a grande importância da pesagem. Por outro lado, 80,0% dos empresários e apenas 66,90% dos motoristas atribuem grande importância à fiscalização por pesagem. Estes percentuais indicam a necessidade de maiores esclarecimentos quanto a importância e os benefícios de um sistema de pesagem, particularmente no âmbito dos motoristas.

A quantidade e a diversidade das informações obtidas das respostas a esta pesquisa de opinião permitem ainda maiores comentários e observações. Os gráficos e planilhas apresentados constituem indicadores de opinião para outros focos de interesse.

Recomenda-se o desenvolvimento de outras pesquisas de opinião sobre o assunto pesagem para maiores aperfeiçoamentos do conhecimento das opiniões sobre esta importante atividade de gerenciamento da rede de rodovias.

6. Conclusões e recomendações

6.1 Principais conclusões

O assunto abordado na presente tese é bastante amplo e possui certo grau de complexidade, porém julga-se que o conteúdo do estudo sintetizado nas conclusões apresentadas a seguir poderá apoiar a todos que necessitem conhecer a questão dos excessos de carga, da influência destes sobre os pavimentos e o encaminhamento de parte da solução dos problemas através da implantação de balanças.

As principais conclusões serão apresentadas em ordem seqüencial, de acordo com a ordenação e desenvolvimento do trabalho. A análise e a leitura do conteúdo da tese permitem apresentar os seguintes destaques:

- I. As referências consultadas indicam de forma quase unânime que os excessos de carga e a falta de manutenção das rodovias são as principais causas da deterioração prematura dos pavimentos. No que se refere às sobrecargas, a literatura preconiza a utilização de balanças para o controle dos excessos existentes. Infelizmente, nos 58 mil quilômetros de rodovias federais existem apenas 13 postos de pesagem em funcionamento. No Rio Grande do Sul, nos 76,0% da malha conservada pelo Estado, as poucas balanças existentes são precárias e nos 24,0% de rodovias concedidas funcionam 5 balanças móveis. Desde 1996 quando o autor iniciou estudos e levantamentos sobre este assunto, as autoridades federais e estaduais anunciam programas, planos e licitações para implementação de fiscalização por pesagem. Até agora, poucas medidas têm sido efetivamente tomadas. Quando existem disponibilidades de pessoal e tempo, os agentes das polícias rodoviárias fiscalizam excessos de carga de forma precária através de informações contidas nas notas fiscais das mercadorias transportadas.
- II. Atualmente, verifica-se uma tendência para a utilização de pesagem dinâmica para o controle dos excessos de cargas, principalmente em função da versatilidade dos sistemas empregados, menores custos e ganhos de tempo aos usuários com e sem excessos de carga. Os pré-requisitos básicos que devem ser atendidos na pesagem móvel são: preparação de

uma faixa especial perfeitamente nivelada e fazer a aferição do equipamento no próprio local. As tecnologias de pesagem mais utilizadas são: *blending plate* que é constituída por placas metálicas providas de sensores na parte inferior, instalados em uma cava especial feita no interior do pavimento. Os melhores resultados são obtidos quando os veículos passam pelas placas a uma velocidade próxima a 6,0 km/h. Outra tecnologia para pesagem para altas e baixas velocidades é o sistema equipado com *hydraulic load-cell*, mais utilizado nos EUA. Os sistemas citados possuem outros sensores e circuitos indutivos que fornecem a classificação e a velocidade do veículo de carga. Os sistemas de placas equipadas com *hydraulic load-cell* são mais precisos, porém de maior custo. As informações obtidas indicam que, de uma maneira geral, as pesagens em alta velocidade (60,0 a 120,0 km/h) têm uma precisão de até 10,0% sobre o PBT e 15,0% sobre a carga por eixo. Utilizam-se estes dispositivos como elementos de pré-pesagem ou para obtenção de dados estatísticos. No caso de pesagem WIM de baixa velocidade (6,0 km/h) a precisão fica na ordem de $\pm 2,0\%$ do peso estático do veículo. Conceituados fornecedores de balanças para rodovias brasileiras estão indicando uma precisão de $\pm 5,0\%$ para velocidades de até 60,0 km/h;

- III. Para verificar a influência dos fatores espessura do pavimento, carga por eixo, pressão de inflação dos pneus e suas interações sobre o desempenho estrutural dos pavimentos ensaiados, programou-se a execução de um experimento fatorial cruzado adotando-se a deflexão superficial recuperável como resposta estrutural. Foram testados dois pavimentos flexíveis: um espesso com S_{Nc} em torno de 4,5 e outro delgado com S_{Nc} médio de 2,5. Utilizaram-se três níveis, tanto para os fatores carga por eixo (82,0 kN, 100,0 kN e 120,0 kN) como para a pressão de enchimento (552,0 kPa, 620,0 kPa e 689,0 kPa). Os cálculos estatísticos desenvolvidos através da montagem de uma ANOVA indicaram forte significância dos fatores espessura do pavimento e carga por eixo. Determinou-se também que as interações EC e PE também são significantes na variação da deflexão superficial;
- IV. No pavimento espesso, para cada nível de carga por eixo ensaiada, verificou-se que a deflexão varia muito pouco em todos os níveis de pressão de inflação. Particularmente, no nível de carga por eixo de 120 kN a variação da deflexão é mínima. Considerando todos os níveis de carga por eixo, observa-se que existem variações distintas entre as deflexões obtidas nos pavimentos espesso e delgado nos mesmos níveis de pressão de inflação. No experimento realizado constatou-se que o efeito principal da pressão de inflação não é significativo sobre a deflexão, porém, existe o efeito significativo da interação PE. Os resultados demonstram que a variação da pressão é praticamente desprezível no pavimento

espesso, mantendo-se mais pronunciada no delgado. A interpretação sugerida é a de que o efeito da pressão de inflação é insignificante no pavimento espesso e significativo no pavimento delgado;

- V. Os valores das deflexões medidas no experimento, obtidos nos diversos níveis dos fatores, visualizados nas Figuras 23, 24 e 27 indicam uma razoável linearidade entre cargas por eixo e deflexões recuperáveis correspondentes, condição que enquadra a análise deflectométrica desenvolvida no critério da deformabilidade, que admite uma correlação quase perfeita entre magnitude das deflexões e o surgimento de falhas no pavimento;
- VI. Com base nas 72 determinações da deflexão recuperável para diferentes combinações dos fatores medidos no experimento, construiu-se um modelo de regressão múltipla com os níveis dos fatores codificados entre -1 e +1. O modelo proposto é o seguinte: $D = 55,91 + 8,3C - 10,21E - 0,92PE - 3,01CE$, com R^2 ajustado = 0,926. Como os níveis dos fatores são codificados, os valores dos coeficientes são diretamente proporcionais aos seus efeitos. Pode-se, então, hierarquizar a magnitude dos mesmos, construindo uma ordem de importância de causa de danos nos pavimentos: 1ª espessura do pavimento; 2ª carga por eixo; 3ª interação CE; 4ª interação PE e 5ª pressão de inflação dos pneus;
- VII. Com base nos mesmos dados, construiu-se também um modelo de regressão com os níveis reais dos fatores, com C em tf e E representada por +1 para pavimento espesso e -1 para o delgado. A equação sugerida é a seguinte: $D = 11,78 + 0,44C + 5,81E - 0,16CE$ com R^2 ajustado = 0,924. O modelo apresentado pode ser útil como indicativo da ordem de grandeza das deflexões conhecendo-se apenas o número estrutural do pavimento e a carga medida ou atribuída a um eixo simples de rodado duplo;
- VIII. De acordo com os procedimentos utilizados e com base na variação dos FEC's, calcula-se que, quando a carga por eixo simples de rodado duplo do simulador de tráfego utilizado, passa de 100 KN para 120 KN (20% de excesso), ocorre uma redução de **48,3%** na vida inicialmente prevista do pavimento espesso ensaiado. Para o pavimento delgado, considerando-se as mesmas condições porém com o valor dos FEC's calculados para uma pressão de inflação de 689 kPa, a redução da vida prevista é da ordem de **67,3%**;
- IX. Com a finalidade de ampliar o leque de possibilidades de análise e para efeito de comparação, decidiu-se calcular os FEC com o expoente de 4,32, adotado pela ASSHTO para cargas com a grandeza das utilizadas no experimento. Assim, quando a carga no

rodado do simulador aumenta de 100 kN para 120 kN (20% de excesso), a expectativa de duração do pavimento espesso sofre uma redução de **38,0%** e a do delgado de **55,5%**;

- X. Para completar a análise de variação da durabilidade prevista dos pavimentos estudados, resolveu-se fazer a determinação dos FEC empírico-mecanísticos com as deflexões calculadas através do programa ELSYM5. Quando se consideram os FEC's calculados com expoente $b = 5,959$ e quando a carga por eixo aumenta de 100 kN para 120 kN (20%) no rodado duplo do simulador de tráfego utilizado, observa-se que a vida de projeto sofre uma redução de **65,2%** do valor inicialmente previsto para o pavimento espesso e **73,7%** no pavimento delgado. Quando os FEC são calculados com $b = 4,32$ (AASHTO), para um mesmo aumento de carga por eixo, a vida inicialmente prevista do pavimento espesso experimenta uma redução de **53,4%** e a do delgado **62,0%**;
- XI. Quando se utilizou a modelagem do ELSYM5 no pavimento espesso, observou-se que os valores da deflexão mantêm-se praticamente iguais nos diferentes níveis de pressão de inflação para a mesma carga por eixo. Esta constatação comprova as determinações realizadas experimentalmente sobre a falta de significância da pressão de inflação, especialmente sobre o pavimento espesso. Verifica-se que no pavimento delgado, em todos os níveis de carga por eixo, um leve decréscimo nos valores da deflexão para maiores níveis da pressão de inflação. Portanto, o modelo comprova a significância estatística determinada para o fator pressão de inflação sobre o valor da deflexão no pavimento delgado verificada experimentalmente e em algumas pesquisas referidas na Revisão;
- XII. No pavimento espesso, com exceção da deflexão calculada para a combinação 552 kPa e 82 kN, os demais valores da deflexão recuperável fornecidos pelo ELSYM5 são maiores do que os medidos experimentalmente (pista 13). No caso do pavimento delgado (pista 3) os valores da deflexão recuperável, com exceção da deflexão calculada para a combinação 689 kPa e 100 kN, são menores do que os medidos para os níveis de carga por eixo de 82 e 100 kN e maiores para o nível de carga por eixo de 120 kN em todos os níveis de pressão de inflação considerados. De uma maneira geral, a maioria das deflexões calculadas pelo modelo, são maiores do que as determinações reais;
- XIII. A redução da durabilidade dos pavimentos é maior quando a deflexão recuperável é calculada através do programa ELSYM5. Em outras palavras, o modelo construído com base na teoria da elasticidade é mais pessimista do que a realidade levantada. Em todas as

circunstâncias examinadas o expoente 4,32 oriundo da AASTHO enseja o cálculo de FEC's que indicam maior durabilidade para os pavimentos estudados;

- XIV. Apresenta-se um resumo das reduções percentuais da durabilidade prevista para os pavimentos estudados:

Pavimento	Deflexões medidas FEC b = 5,959	Deflexões medidas FEC b = 4,32	Deflexões calculadas com ELSYM5 FEC b = 5,959	Deflexões calculadas com ELSYM5 FEC b = 4,32
Espesso	48,4 %	38,0 %	65,2 %	53,4 %
Delgado	67,3 %	55,5 %	73,7 %	62,0 %

- XV. Para subsidiar o a hipótese de carregamento da frota comercial no estudo dos efeitos sobre os pavimentos provocados por veículos de carga, executou-se uma pesquisa de campo para levantar a quantidade de veículos que trafegam carregados (plenamente ou parcialmente) e vazios. Os resultados indicam uma percentagem boa de aproveitamento das viagens da frota comercial:

Rodovia	% Carregados	% Vazios
BR 386	75,6	24,4
BR 290	69,5	30,5
BR 287	64,6	35,4
BR 285	72,7	27,3

- XVI. Constatou-se que a hipótese de implantação de fiscalização por pesagem provoca um aumento no VDMa. Como o peso global da carga transportada mantém-se por decorrer de uma demanda de mercado, faz-se necessário distribuir para outros veículos o excesso até então transportado. O aumento do VDMa calculado foi o seguinte:

Rodovia	% Aumento VDMa
BR 386	4,0
BR 290	3,9
BR 287	4,1
BR 285	3,6

- XVII. Considerando as condições de carregamento da frota determinada pela percentagem de veículos vazios, adotou-se a recomendação de que 60,0% dos veículos carregados trafegam

com carga máxima mais a tolerância de 7,5% por eixo e os restantes 40,0% dos caminhões carregados trafegam com um excesso de carga de 10,0% nos eixos dianteiros e 20,0% nos demais. Constatou-se que quando se estudam os efeitos da inexistência de pesagem, com o pavimento dimensionado para um tráfego dentro dos limites legais de carga, há um forte aumento no FV da frota. Esta condição é uma das causas da ocorrência de uma aceleração do consumo, maior desgaste e surgimento de defeitos prematuros nos pavimentos e, por conseqüência, uma redução no desempenho funcional e estrutural do mesmo. A tabela apresentada fornece uma dimensão do problema:

Rodovias	% de aumento do FV
BR/386	34,04
BR/290	35,76
BR/287	34,84
BR/285	35,28

- XVIII. Os estudos desenvolvidos com base nos dados do tráfego e na variação do número N, levantado e calculado para as rodovias BR/386, BR/290, BR/287 e BR/285 indicam que, quando não há controle de pesagem, há uma redução da durabilidade prevista para a vida dos pavimentos no valor médio de 23,0 %;
- XIX. Executou-se uma análise do desempenho funcional dos pavimentos e a determinação dos custos de manutenção devido a inexistência de fiscalização por pesagem através de um estudo de caso o qual considerou o seguinte carregamento da frota comercial: 1º. Com pesagem: todos veículos com carga máxima mais a tolerância permitida; 2º. Sem pesagem: todos os veículos trafegam com sobrecargas de 10,0% nos eixos dianteiros e 20,0% nos demais eixos. O estudo foi desenvolvido com base nos modelos existentes no programa HDM-4, versão 1.3 do Banco Mundial para as rodovias BR/386 e BR/290. Constatou-se que para um horizonte de análise de 20 anos, quando não há controle de excessos de carga, são necessárias três operações de recapeamento ao passo que quando há pesagem são necessários apenas dois recapes, dentro dos mesmos critérios e condições. O estudo comparativo econômico apresentou uma diferença de cerca de 33,0% de gastos adicionais para a manutenção dos pavimentos quando não se faz controle de carga na frota comercial;
- XX. Na pesquisa de opinião sobre pesagem, com relação à questão “estraga o pavimento”, integrante da variável “problemas provocados pelo excesso de carga” que completa a presente tese, destaca-se que 54,7% do grupo dos motoristas atribuem grande importância

aos estragos que os excessos de carga provocam nos pavimentos. Uma parcela de 20,2% dos motoristas considera esta questão como tendo pouca ou nenhuma importância. Por outro lado, 100,0% dos técnicos e 76,0% dos empresários atribuem grande importância aos efeitos dos excessos de carga sobre pavimentos. Estes resultados estão a indicar uma total conscientização dos técnicos e a necessidade de um maior trabalho educativo, divulgando-se mais os efeitos danosos que os excessos de carga provocam sobre pavimentos, particularmente para os motoristas;

- XXI. Com relação à questão “desconfiança da balança” integrante da variável “dificuldades ou transtornos durante a pesagem”, observa-se que 57,6% do grupo dos motoristas opinam que não há nenhuma desconfiança quanto ao funcionamento e precisão das balanças. Os técnicos e empresários têm um julgamento diferente. Apenas 15,8% dos técnicos e 8,0% dos empresários não possuem nenhuma desconfiança das balanças. Este resultado está a recomendar uma maior divulgação da precisão e da confiabilidade dos equipamentos existentes, principalmente junto aos técnicos e empresários;
- XXII. A questão da segurança que integra a variável “motivos pelos quais o Governo faz pesagens” alcança um razoável consenso entre os grupos pesquisados: 75,6% dos motoristas, 81,6% dos técnicos e 84,0% dos empresários acreditam que a segurança tem importância média ou grande;
- XXIII. Sobre o grau de compensação obtido com o aumento dos limites de carga também existe certa convergência de opiniões: 67,6% dos motoristas, 64,8% dos técnicos e 62,5% dos empresários julgam que não existe compensação ou existe uma pequena compensação ao trafegar além dos limites de carga. As taxas dos que admitem compensações ou vantagens são suficientes para provocar os defeitos nos pavimentos apontados no trabalho. Deve-se, portanto, reforçar a divulgação dos inconvenientes do tráfego com sobrecargas;
- XXIV. A respeito do grau de importância do controle dos excessos de peso, constatou-se uma unanimidade (100,00%) dos técnicos quanto a grande importância da pesagem. Por outro lado, 80,0% dos empresários e apenas 66,90% dos motoristas atribuem grande importância à fiscalização por pesagem. Estes percentuais indicam a necessidade de maiores esclarecimentos quanto a importância e benefícios da pesagem, particularmente no âmbito dos motoristas.

6.2 Recomendações

Os temas abordados na presente tese não esgotam a questão do excesso de carga e dos efeitos sobre a durabilidade dos pavimentos. Existem também muitos assuntos sobre pesagem que estão merecendo maior atenção e estudos das autoridades, dos concessionários e dos transportadores de carga que utilizam a rede rodoviária nacional. Por estes motivos, deixa-se ao final, uma série de recomendações sobre novos trabalhos e futuras pesquisas sobre a temática ora explorada:

- I. As determinações de redução da duração prevista para os pavimentos estudados refletem a ação dos fatores de tráfego e estruturais considerados no trabalho, portanto, as conclusões estão limitadas aos dados coletados e hipóteses formuladas, espessura e número estrutural dos pavimentos ensaiados, níveis de carga por eixo e pressão de inflação dos pneus. Assim, não podem ser desprezados outros fatores que também interferem na durabilidade dos pavimentos, tais como: nível de investimentos em manutenção da rodovia, características da construção e fiscalização, materiais empregados, ação do clima, efeito das cargas dinâmicas, etc. Recomenda-se, portanto, certa cautela na generalização das conclusões;
- II. Antes de implementar um programa de pesagem, recomenda-se ao Governo e suas concessionárias executarem levantamentos de custos de conservação, contagens volumétricas e pesagens estatísticas para o desenvolvimento de estudos do tipo antes-e-depois, para uma determinação real e precisa das vantagens da fiscalização por pesagem nas rodovias pavimentadas;
- III. Seria muito importante a realização de pesagens nas principais rodovias por região para fornecer elementos estatísticos a serem utilizados nos planos de pesagem e em dimensionamento de pavimentos;
- IV. Finalmente, recomenda-se que os agentes responsáveis da sociedade divulguem de forma mais ostensiva os inconvenientes do tráfego de veículos com sobrecargas e encaminhem soluções adequadas para esta questão tendo em vista a segurança dos usuários e a preservação do patrimônio rodoviário implantado.

7. Referências

AASHTO – American Association of State Highway Officials. **Guide for design of pavement structures**. Washington D.C.: American Association of State Highway Officials, 1972.

AASHTO – American Association of State Highway Officials. **Guide for design of pavement structures 1993**. Washington D.C.: American Association of State Highway Officials, 1993.

ADITAL. Pneus usados são transformados em asfalto. **Agência de Informação F. Tito para a América Latina**, Fortaleza, 15 jul. 2003. Disponível em: <<http://www.adital.org.br/asp2/noticia.asp?idioma=PT¬icia=7987>>. Acesso em 15 dez. 2003.

ALBANO, J. F e MASIERO, E. Efeitos da falta de fiscalização por pesagem sobre os pavimentos flexíveis. **Revista Estradas**, Porto Alegre, Ano 3, nº. 5, p. 61-66, nov. 2003.

ALBANO, J. F. e LINDAU, L. A. Pesagem de veículos de carga: a opinião dos transportadores. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 33., 2001, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: ABPv, 2001. 1 CD-ROM.

ALBANO, J. F. e LINDAU, L. A. Pressão e tipo de pneus na frota de veículos de carga. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 12., 1998, Fortaleza, **Anais...** Fortaleza: ANPET, 1998. 3v. v.1, p. 100-107.

ALBANO, J. F. **Efeitos da variação da carga por eixo, pressão de inflação e tipo de pneu na resposta elástica de um pavimento**. Dissertação de Mestrado em Transportes. Porto Alegre: Escola de Engenharia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGEP da UFRGS, 1998. 138p.

ALBANO, J. F. Excesso de peso transportado está destruindo as rodovias. **Concessão de Rodovias** – Boletim informativo da Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias – ABCR, São Paulo, Ano IV, nº. 40, dez. 2001.

ARAÚJO, M. J. **Trânsito: questões controvertidas**. Curitiba: Juruá, 2000. 240p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONCESSIONÁRIAS DE RODOVIAS – ABCR **Conheça a ABCR**. Disponível em <<http://www.abcr.org.br/inst/index.html>>. Acesso em 23 set. 2004.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE DE CARGA E LOGÍSTICA – NTC **DNER divulga balanço de pesagem em 2001**. Disponível em: <<http://www.ntcnet.org.br/scripts/noticias/>> Acesso em 15 jul. 2002 b.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE DE CARGA E LOGÍSTICA – NTC Perfil do transporte rodoviário de carga. **Zero Hora**, Porto Alegre, 30 set. 2004. Suplemento Especial: Transportes e transportadoras, p. 2.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE DE CARGA E LOGÍSTICA – NTC Trânsito de caminhões com excesso de carga preocupa concessionárias. Disponível em: <<http://www.ntcnet.org.br/scripts/noticias/>> Acesso em 15 out. 2002 a.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE DE CARGAS – NTC. **Pesos e dimensões**. Disponível em: <http://www.ntcnet.org.br/pesosedimensoes.htm>. Acesso em 04 jun. 2004.

BALBO, J., T. **Pavimentos asfálticos: patologias e manutenção**. São Paulo: Plêiade, 1997. 103 p.

BONAQUIST, R.; SURDAHL, R.; MOGAWER W. Effect of tire pressure on flexible pavement: response and performance. **Transportation Research Record**, Washington, n.1227, 1989, p 97-106.

BRASIL. **Anexo e exposição de motivos do Ministério da Justiça N. 045 de 29 de jan. de 1993**. Poder Executivo, Brasília, DF, 5p. 29 de jan. 1993.

BRASIL. Lei N.º 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, p.1-64, 24 set. 1997.

CARGA PESADA. **Banco Central autoriza Modercarga**. Londrina PR: Ampla editora, n.º. 112, abr./mai. 2004a.

CARGA PESADA. Porta-luvas: Buraco pra derrubar avião – **Balanças**. Londrina PR: Ampla editora, n.º. 101, jun. 2002.

CARGA PESADA. Porta-luvas: Casos de polícia – **Balança**. Londrina PR: Ampla editora, n.º. 108, set. 2003.

CARGA PESADA. **Safra faz crescer venda de caminhões**. Londrina PR: Ampla editora, n.º. 112, abr./mai. 2004b.

CERATTI, J. A. P. **Curso de extensão: mecânica dos pavimentos rodoviários flexíveis**. Porto Alegre: Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, 1997. 87p. (Caderno Técnico)

CNT e COPPEAD. **Transporte de Cargas no Brasil – Ameaças e Oportunidades para o Desenvolvimento do País – Diagnóstico e Plano de Ação**. Confederação Nacional do Transporte – CNT e Centro de Estudos em Logística – COPPEAD/UFRJ. 2002.

CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO. **Guia fácil**. Brasília: Ministério dos Transportes, 2001. 30p.

CONCEPA Falta de balanças ameaça rodovias gaúchas. **Zero Hora**, Porto Alegre, 12 dez. 2000.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **CNT divulga resultados da Pesquisa Rodoviária 2004**. Out. 2004. Disponível em <<http://www.ent.org.br/ent/pesquisas.htm>>. Acesso em 07 out. 2004.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN, **Resolução N° 062**, de 21 de maio de 1998. Estabelece o uso de pneus extralargos e define seus limites de peso de acordo com o Parágrafo único do art. 100 do CTB. Brasília, 1998b. 4p

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN, **Resolução N° 12**, de 6 de fevereiro de 1998. Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres. Brasília, 1998a. 4p.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN, **Resolução N° 068**, de 23 de setembro de 1998. Estabelece os requisitos de segurança necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga – CVC's. Brasília, 1998c. 5p

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN, **Resolução Nº 102**, de 31 de agosto de 1999. Estabelece a tolerância máxima de 7,5% sobre o peso bruto transmitido por eixo de veículos à superfície das vias públicas. Brasília, 1999a. 1p

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN, **Resolução Nº 104**, de 21 de dezembro de 1999. Dispõe sobre a tolerância máxima de peso bruto de veículos e estabelece critérios para aplicação de multas. Brasília, 1999b. 2p

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN, **Resolução Nº 108**, de 21 de dezembro de 1999. Dispõe sobre a responsabilidade pelo pagamento de multas. Brasília, 1999c. 1p.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN, **Resolução Nº 114**, de 5 de maio de 2000. Complementa a Resolução 104/99 e autoriza uma tolerância de 5,0% sobre o peso bruto declarado na nota fiscal. Brasília, 2000. 1p

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN, **Resolução Nº 164**, de 10 de setembro de 2004. Acresce parágrafo único ao art. 1º da Resolução nº. 68/98. Ficam dispensados da AET, os veículos com Peso Bruto Total _- PBT superior a 45t e até 57 t... Brasília, 2004. 2p.

CONSTRUÇÃO/RN **Governo tem pressa para recuperar as estradas**. Natal, Ano II, n. 8, p. 5, set./out. 2004.

DEMARCHI, S. H e PIERIN, I. Impacto da sobrecarga no desempenho de caminhões canavieiros em rampas ascendentes. In: Confederação Nacional de Transportes e Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes (Org.). **Transporte em Transformação VI**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2002. 200p.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM - DAER Manual de operação da Viga Benkelmann. 16pp. 1996. In: **Manual de Ensaios – Volume I**. Unidade de Normas e Pesquisas, DAER, Porto Alegre. 2001.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM – DAER. **Normas de fiscalização para veículos de carga nas rodovias sob jurisdição do DAER/RS**. Porto Alegre: Comissão de Circulação Viária, out. 1992. 46p.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM – DAER. **Plano piloto de implantação de balanças fixas nas rodovias sob jurisdição do DAER**. Porto Alegre: 1995. 7 p.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM – DAER. **Programa Restauração – Contagens de Tráfego – Lotes 7/14 por DRRs. Volumes I e II**. Porto Alegre: DAER, Divisão de Planejamento, Equipe de Engenharia de Tráfego, 2001.

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO – DETRAN RS Frota de caminhões em março de 2001, Porto Alegre, março de 2001. Disponível em <<http://www.detrans.rs.gov.br>>. Acesso em 01 mar. 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER (1994f) Aferição de Viga Benkelmann. Procedimento DNER-PRO 175/94. In: **Manual de Ensaios – Volume I**. Porto Alegre: Unidade de Normas e Pesquisas, DAER/ RS. 2001. 11pp.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER **Manual de pavimentação**. Rio de Janeiro: DNER – Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, Divisão de Capacitação Tecnológica, 1998. 243p

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro: DNER - Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1979. 31p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER **Projeto de restauração de pavimentos flexíveis: TECNAPAV**. Brasília: DNER, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico/IPR, DNER -PRO 269/94, 1995. 17p

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **Manual de reabilitação de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro: DNER – Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, Divisão de Capacitação Tecnológica, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Coletânea de normas. 8v. Determinação das deflexões no pavimento pela viga Benkelman: ME 24/94**. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes, v.1. 1994 (a). 6p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Coletânea de Normas. 8v. Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos: PRO 007/94**. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes, v.6. 1994 (b). 6p

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Coletânea de Normas. 8v. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos: PRO 008/94**. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes v.6 1994 (c). 10p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Coletânea de Normas. 8v. Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis: Procedimento 010/79**. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes, v.6 1994 (d). 31p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Coletânea de Normas. 8v. Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis: Procedimento 011/79**. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes, v.6, 1994 (e). 16p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Informativo do Ministério dos Transportes**. Brasília: DNER, Edição nº. 41. Mar/Abr, 2000.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de reabilitação de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro: DNER – Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, 1998. 108p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos, DNER-PRO 159/85**. Rio de Janeiro: Ministério dos Transportes, 1985.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT Carga muito pesada. **Veja**, São Paulo, 30 de junho de 2004a, edição 1860, ano 37, nº. 26, p. 32.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT **Excesso de peso de veículos nos postos de pesagem**. Brasília, disponível em <<http://www.dnit.gov.br>> Acesso em 16 ago. 2002a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT **PNV/2003**. Brasília, disponível em <<http://www.dnit.gov.br>>. Acesso em 22 set. 2004b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTE – DNIT Situação das rodovias federais em outubro de 2002. Disponível em <<http://www.dnit.gov.br>>. Acesso em 10 de out. 2002b.

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO **Política Nacional de Trânsito**, set. 2004. Disponível em <<http://www.denatran.gov.br/pnt/>> .Acesso em 03 dez. 2004.
- DUARTE, J. C.; SILVA, P. D. E. da; FABRICIO, J. M. Correlação entre deflexões características em pavimentos flexíveis medidos com a viga Benkelman e com o FWD - *Falling Weight Deflectometer*. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 30. 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: ABPv, 1996. p.637-646.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES – GEIPOT **Relatório Intermediário: Resultados e análises preliminares – Pesquisa ICR**. Brasília, D.F. 1977.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTES – GEIPOT. **Anuário Estatístico dos Transportes**. Ministério dos Transportes, Brasília, DF. 2001.
- ESTRADAS Últimas notícias – Relatório comprova excesso de carga na 174. Roraima, disponível em <<http://www.estradas.com.br>> Acesso em 21 fev. 2002.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA) **Public involvement techniques for transportation decision-making**. Washington: Department of Transportation, ago. 2002. 256 p.
- FANCHER, P. S. e GILLESPIE, T. D. **Synthesis of highway practice 241: truck operating characteristics**. Transportation Research Board. Washington, D.C. 66pp. 1997.
- FERNANDES JÚNIOR, J. L. **Investigação dos efeitos das solicitações do tráfego sobre o desempenho de pavimentos**. São Carlos, 1994. 313p. Tese de Doutorado em Transportes - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- FERNANDES JÚNIOR, J. L.; SANDRA, O.; ZERBINI, L. F. **Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos**. São Carlos: Departamento de Transportes da USP, 1999. 101 p.
- FERNANDES JÚNIOR, J. L.; SÓRIA, M. H. A.; WIDMER, J. A. Efeitos das solicitações do tráfego sobre os custos de construção, manutenção e utilização de rodovias. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 29, 1995, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: ABPv, 1995. p266-284.
- GIRO DAS ESTRADAS São Paulo: Excesso de peso prejudica a todos. Publicação periódica da concessionária Nova Dutra S.A., Ano 1, nº. 2, nov. e dez. 2003.
- GODOY, V.de e MACHADO V. V. **Transporte rodoviário de cargas: guia prático da Lei da Balança**. Porto Alegre, 1993. 79 p.
- GÖKTAN, A.; MITSCHKE, M. Road damage caused by heavy duty vehicles. **Journal of Vehicle Design**. v.16, n.1 p.54-70, 1995.
- GONTIJO, P. R. A.; GUIMARÃES, F. H. R.; NOGUEIRA, C. de L. Metodologias brasileiras para avaliações das características funcionais e estruturais de pavimentos rodoviários - o estado da arte. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 28. 1994, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABPv, 1994. p.501-529.
- GUIA DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS – TRC. **Fiscalização ao excesso de peso**. Disponível em <<http://www.guiadotrc.com.br/fiscalizacao/pesoexcess.asp?>>. Acesso em 07 jun. 2004a.
- GUIA DO TRANSPORTE RODOVIÁRIO DE CARGAS – TRC. **Jornal do TRC online: Estudo mostra que malha viária não acompanhou o crescimento do país**. Disponível em <<http://www.guiadotrc.com.br/noticias/not.asp?id>>. Acesso em 22 set. 2004b.

- HARRISON, R.; SANCHEZ-RUIZ, L., A. e LEE, C., E. Truck traffic crossing Texas-Mexico border. **Transportation Research Record** – Pavement design, management and performance: Pavement Management and Monitoring of traffic and pavements. Washington, n°. 1643. National Academy Press. 1998. p. 136-142.
- HEMÉTRIO, E. O peso do abandono. **CNT Revista**, Brasília, DF, ano 9 n. 104, p. 30-33, fev. 2004.
- HUANG, Y. H. **Pavement analysis and design**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1993.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTAÍSTICA – IBGE. **Área territorial oficial – Introdução**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 23 set. 2004.
- INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS – IPR. **Pesquisa: influência da carga por eixo nas rodovias**. Rio de Janeiro: ABPv, 1979. 25p.
- JENNINGS, K. A manutenção de nosso sistema rodoviário é o desafio... **Boletim da International Road Dynamics Inc.**, Saskatoon, Canadá, fev. 1997.
- JOHNSTON, M. G. **Estudo de obtenção de número estrutural em pavimentos flexíveis**. Porto Alegre, RS: Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em engenharia civil, PPGECC da UFRGS, 2001. 168p.
- KERALL, H.R. HDM-4 – A guide to calibration and adaptation. Version 1.0. World Road Association. Manual do programa HDM-4. Volume 4. 1995a. 1 CD-ROM.
- KERALL, H.R. HDM-4 – Vue d’ensemble de HDM-4. Association Mondiale de la Route. Manual do programa HDM-4. Volume 1. 1995b. 1 CD-ROM.
- KIM, O.; BELL, C. A. e WILSON, J. F. Effects of increased truck tire pressure on asphalt concrete pavement. **Journal of Transportation Engineering**, v.115, n.4, p.329-350, Jul. 1989.
- KOPPERMAN, S; TILLER, G. e TSENG, M. T. ELSYM5 Interactive microcomputer version: User’s Manual IBM-PC and compatible version, FHWA Final Report, DTFH61-85-C00051, 1985.
- LERCH, R.L. **Previsão de irregularidade pós-recape em rodovias do RS: ajuste do modelo HDM-4**. Porto Alegre: Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, 2002.98 p.
- LIU, C.; HERMAN, R. e MACCULLOUGH, B. F. Pavement deterioration, rate of dynamic force, and ride quality, **Transportation Research Record** – Pavement design, management an performance – Pavement management and monitoring of traffic and pavements, Washington, n°. 1643, nov. 1998, p. 14-19.
- LUFT, R. Demanda por caminhões supera em muito a oferta. **Jornal do Comércio**, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 4 mai. 1995
- MARCON A. F. **Tecnologias de avaliação e análise do desempenho de pavimentos**. Florianópolis, SC: Departamento de Estradas de Rodagem, 1996. 12p.
- MARSHEK, K. M. Effect of truck tire inflation pressure and axle load on flexible and rigid pavement performance. **Transportation Research Record**, Washington, v.1070. p. 14-21, 1986.
- MARTINS, E. R. C.e MIRANDA, L. M. de. Controle de carga na rede pavimentada de Mato

- Grosso. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 29., 1995, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: ABPv, 1995. p141-173.
- MASIERO, E. e LEDERMANN, M. Falta de balanças prejudica situação das estradas gaúchas. **Zero Hora**, Porto Alegre, p. 37, 9 jul.2004.
- MEDINA, J. de et al. Utilização de ensaios defletométricos e de laboratório para avaliação estrutural de pavimentos. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 28. 1994, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABPv, 1994. p.595-625.
- MEDINA, J. de. **Evolução da mecânica dos pavimentos no Brasil**. Palestra na 25ª Reunião Anual de Pavimentação, São Paulo, 1991. 22p
- MEDINA, J. de. **Mecânica dos pavimentos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1997. 380p.
- MIDDLETON, D. R.; ROBERTS, F. L. e CHIRA-CHAVALA. Measurements and analysis of truck tire pressures of Texas highways. **Transportation Research Record**, Washington, n°. 1070, p. 1-8. 1986.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES **Caminhão com excesso de carga dá prejuízo a país**. Londrina PR, notícia postada em 21 jul.2004. Disponível em <<http://www.cargapesada.com.br>>. Acesso em 21 jul. 2004.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES **Infra-estrutura de transportes no Brasil: os caminhos do crescimento**. Brasília: Ministério dos Transportes, 2004.
- NASCIMENTO, A. R\$ 2 bilhões para recuperar rodovias. **Construção/RN**, Natal, n°. 8, p.3, 2004a.
- NASCIMENTO, A. Governo tem pressa para recuperar as estradas. **Construção/RN**, Natal, n°. 8, p.5, 2004b.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (Estados Unidos). Committee for the Truck Weight Study. **Weight limits: issues and options**. Washington: Transportation Research Board, 1990.
- NEVES, M. A. **Análise dos efeitos do excesso de carga na durabilidade e nos custos de pavimentação**. São Paulo, 2002. Palestra realizada no Seminário Recuperação, Manutenção e Instalação de Pavimentos realizado em 22/05/2002 em São Paulo, SP. International Business Communications – IBC.
- NOVA DUTRA, Atendimento/balança. São Paulo. Disponível em <<http://www.novadutra.com.br>> Acesso em: 21 mai. 2004.
- NÚÑEZ, W. P. **Análise experimental de pavimentos rodoviários delgados com basaltos alterados**. Porto Alegre, RS: Escola de Engenharia, Tese de Doutorado em Engenharia, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS. 1997. 294p
- OLIVEIRA Jr, J. A.; LOUREIRO, C. F. G.e LIMA, L. C. Sistema de pesagem de cargas rodoviárias do Departamento de Estradas de Rodagem e Transportes do Estado do Ceará (SPCR/DERT) – um enfoque organizacional. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 9., 1995, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ANPET, 1995. 2v. v.2, p.747-753.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT – OECD. **Dynamic interaction between vehicles and infrastructure experiment (DIVINE)** – Technical Report. Paris: OECD, 1998. 151 p.
- PADILHA, E. Pesagem em BR pode ser concedida. **Correio do Povo**, Porto Alegre, p. 16, 13 mai. 2000.

- PAIVA, C. E. L. e CAUSSIM, P. B. Estudo de avaliações das condições estruturais de um pavimento a partir das bacias de deformação. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 32., 2000, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: ABPv, 2000. p.319-336.
- PEREIRA, A. M. **Análise crítica dos fatores de equivalência adotados pelo DNER e sua adequação às rodovias de tráfego pesado.** Curitiba, PR: Tese para concurso de Prof. Titular da Universidade Federal do Paraná, ABPv. 1985. 330p.
- PEREIRA, D. R. A. M. **Contribuição ao estudo de fatores de equivalência de cargas.** São Paulo, SP: Dissertação de Mestrado em Engenharia, Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. 1992. 204p.
- PINTO, S.; PREUSSLER, E. **Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis.** Rio de Janeiro, RJ: 2001. 259p.
- PORTÃO, S. de B. **Coletânea de legislação de trânsito.** Tubarão, SC: Gráfica e editora Copiart, 2000. 372p.
- QUEIRÓZ, C. A. V. **Performance prediction models for pavement management in Brazil.** PhD Dissertation. The University of Texas at Austin. 1981.
- QUEIRÓZ, C. A. V. Uma avaliação das conseqüências econômicas da restrição aos excessos de carga por eixo. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 17., 1982, Brasília. **Anais...** Brasília: ABPv 1982.
- RAAD, L.; MINASSIAN, G. e SABOUNDJIAN, S. Mechanistic evaluation of the effect of tire inflation pressure on pavement damage under spring-thaw weakening. Washington DC.: paper submitted for presentation and publication at the **Transportation Research Board Meeting**, jan. 1998.
- REVISTA CNT **Pesquisas são referências.** Belo Horizonte: Confederação Nacional do Transporte, Edição Especial: Dossiê CIDE. I, ano IX, 2004.
- RIBEIRO, J. L. D. **Trabalhando com Dados Qualitativos.** Porto Alegre: Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFRGS, 2001.(Notas de Aula).
- RIBEIRO, J. L. D.; TEN CATEN, C. S. **Projeto de Experimentos.** Porto Alegre, RS: FEENG/UFRGS, 2003. 130p.
- RÍOS, F. J. P. La implantación de estaciones de pesaje dinámico en la Red de Carreteras Del Estado, **RUTAS – Revista de la Asociación Técnica de Carreteras**, Madrid, nº. 77, mar., abr. 2000.
- RODRIGUES, J. **500 anos de trânsito no Brasil: convite a uma viagem.** Curitiba: ABDETRAN, 2000. 224 p. ISBN 85-87758-01-2.
- SANTOS, R. Entrevista ao DERBA On Line. **Informativo do 5º Encontro nacional de conservação rodoviária – ENCOR.** Salvador. 24 a 27 jul. de 2000.
- SCHLIESSLER, A. e BULL, A. **Caminhos: um novo enfoque para a gestão e manutenção rodoviária.** Brasília: CEPAL/Instituto Panamericano de Carreteras, 1994. 246p.
- SCHMIDT, L. A. e CERATTI, J. A. P. Equivalências de cargas de eixos no projeto de restauração de pavimentos flexíveis – uma avaliação baseada em considerações defletométricas. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 22., 1987, Maceió. **Anais...** Maceió: ABPv, 1987. v2, p.347-362.

SEBAALY, P. E; TABATABAEE, N. Effect of tire pressure and type on response of flexible pavement. **Transportation Research Record**, Washington, n.1227, p.115-127, 1989.

SOARES, J. B. e MOTTA, L. M. G. Considerações sobre a determinação do Fator de Veículo no cálculo do Número N. In: Congresso de Ensino e Pesquisa em transportes, 15. 2001. Campinas, SP. **Anais...** Rio de Janeiro: ANPET, 2001. p.381-389.

SOUZA, M. L. **Pavimentação rodoviária**. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1980. 361 p.

SOUZA, P. R. Empresas gerenciam riscos e reduzem roubos. **Jabur Sat**, Londrina, n.1, p. 4-5, mai. 2004.

THE WORLD BANK. **Road deterioration in development countries: causes and remedies**. A World Bank Policy Study, Washington, D.C., 1988.

TIMM, D. H. e NEWCOMB D. E. Lies, damned lies and traffic forecasting, **Hot Mix Asphalt Technology**, Washington DC., p. 14-21, jul./aug. 2002. Edição de National Asphalt Pavement Association.

TIZZOT, R. W. Rodovias sem conservação, prejuízos para o setor. Financial and Institutional Reform of Road Conservation in Latin America and the Caribbean Technical Cooperation Program of the Federal Republic of Germany – Documentos: Reforma financeira e institucional da conservação viária. Disponível em: <http://www.zietlow.com/docs/pordocs.htm>. Acesso em 24 set. 2004.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD – TRB. **Equipment for collecting traffic load data**. Washington: National Cooperative Highway Research Program, 2004. 58 p. (National Cooperative Highway Research Program – NCHRP Report 509).

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD – TRB. **Truck operating characteristics**. Washington: National Academy Press, 1997. 66p. (National Cooperative Highway Research Program. Synthesis of Highway Practice, 241).

TRANSPORTES **À espera de recursos**, Rio de Janeiro: JB Projetos de mercado, p. 28-29, out. 2001. Suplemento.

TREYBIG, H. J. e VON QUINTUS, H. L. **Equivalency factor analysis and prediction for triple axles** – Report BR2/1 – Austin. Research Engineers, Texas. 1976

TURNBULL, W. J.; FOSTER, C. R, e AHLVIN, R. G. **Design of flexible pavements considering mixed load and traffic volume**. International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements Proceedings. University of Michigan, Ann Arbor. Estados Unidos, 1962.

TURNER-FAIRBANK HIGHWAY RESEARCH CENTER – TFHRC. TFHRC Laboratory Profile – Pavement Testing Facility. Tire pressure, ago. 1993. MacLean, Virginia. Disponível em <http://www.tfhrc.gov/pavement/utwweb/facilit.htm> Acesso em 02 jul. 2004.

ULLIDTZ, P. **Modelling flexible pavement response and performance**. Lyngby, Dinamarca: Polyteknsik Forlag, 1998. 205p. ISBN 87-502-0805-5.

VIEIRA, H.; FRAINER, V. e SCHATTSCHEIDER, E. Sistema Automatizado de Pesagem; Classificação e Contagem de Veículos Rodoviários. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 27., 1993, Teresina. **Anais...** Teresina: ABPV, 1993. p.458-468.

VIERA, C. S. **Desempenho de um pavimento flexível solicitado por simulador de tráfego**. Porto Alegre, RS: Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em

engenharia civil – PPGEC da UFRGS. 2002. 132p.

WATSON, J. P. **Highway construction and maintenance**. London: Longman, 1989. 217p.

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. **Planejamento e análise de experimentos: como identificar as principais variáveis influentes em um processo**. Belo Horizonte, MG: Littera Maciel, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 295p.

Anexo A

1 Grupo dos motoristas

- Variável pesquisada: **Problemas provocados pelo excesso de carga.**

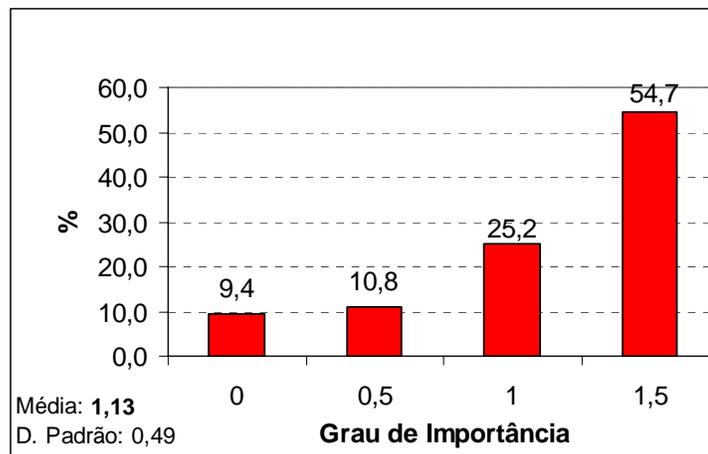


Figura 66 – Frequência de ocorrência na amostra total da variável: “Estraga o pavimento”

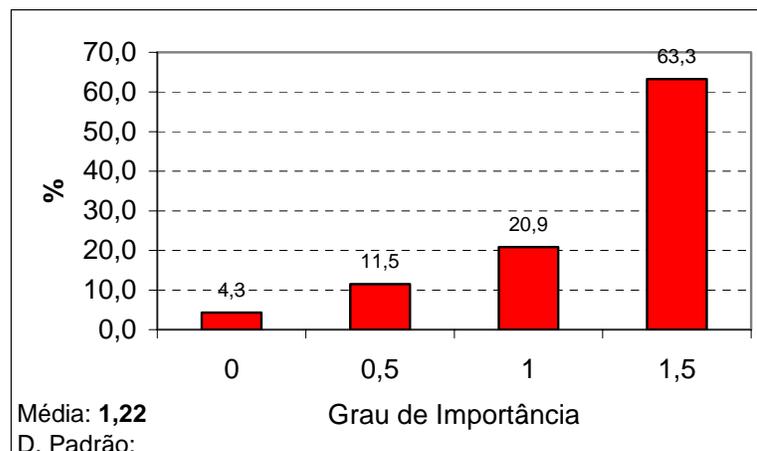


Figura 67 – Frequência de ocorrência na amostra total da variável: “Estraga o caminhão”

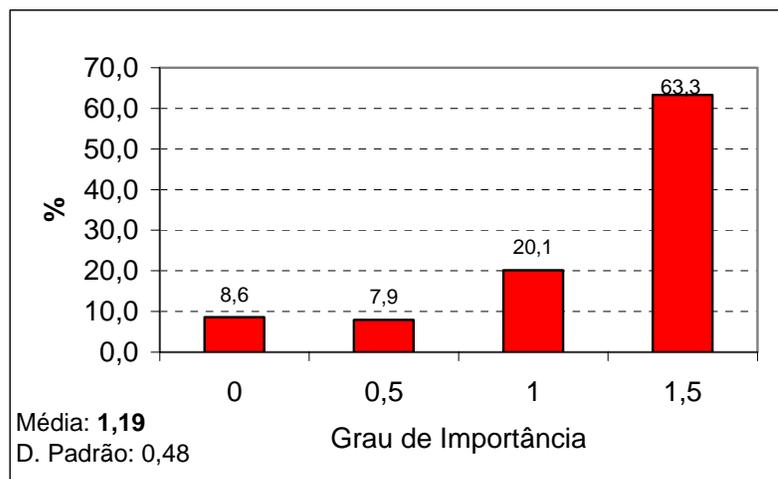


Figura 68 – Frequência de ocorrência na amostra total da variável: “Diminui a segurança”

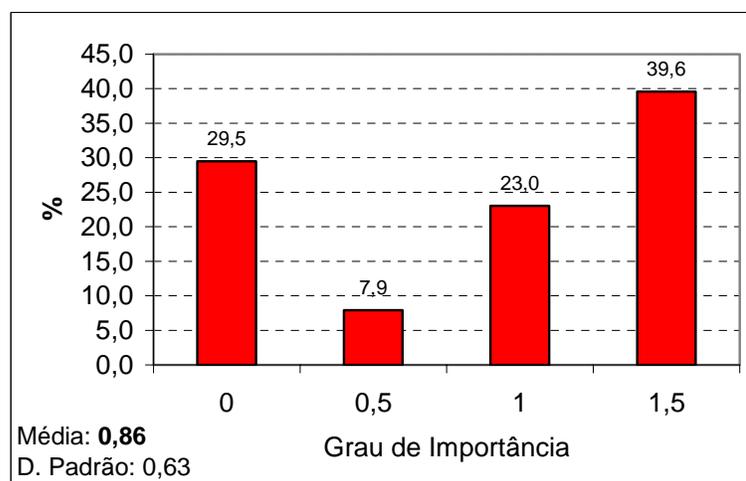


Figura 69 – Frequência de ocorrência na amostra total da variável: “Diminui o frete disponível”

- Variável pesquisada: **Dificuldades ou transtornos durante a pesagem**

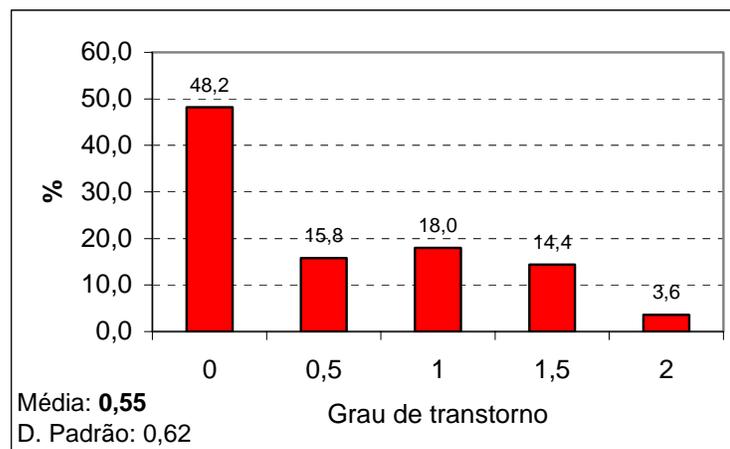


Figura 70 – Frequência de ocorrência na amostra total da variável: “Atrasa a viagem”

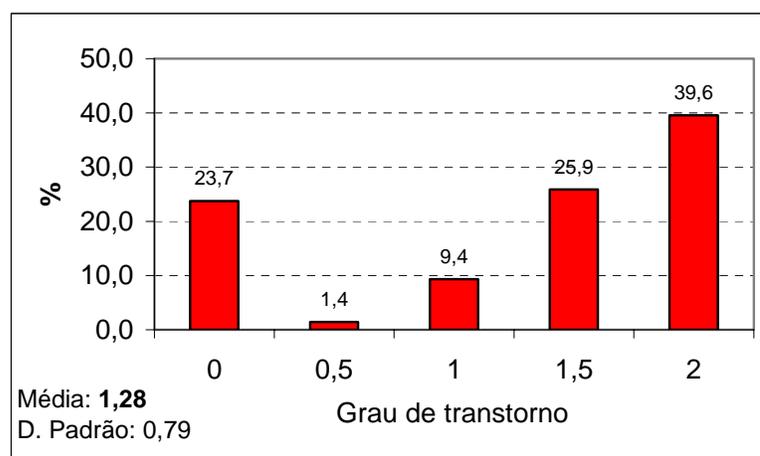


Figura 71 – Frequência de ocorrência na amostra total da variável: “Redistribuição da carga”

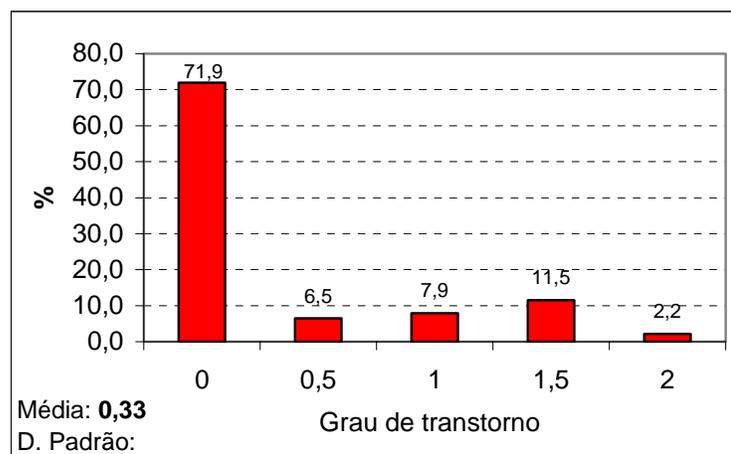


Figura 72 – Frequência de ocorrência na amostra total da variável: “Atrito com a fiscalização”

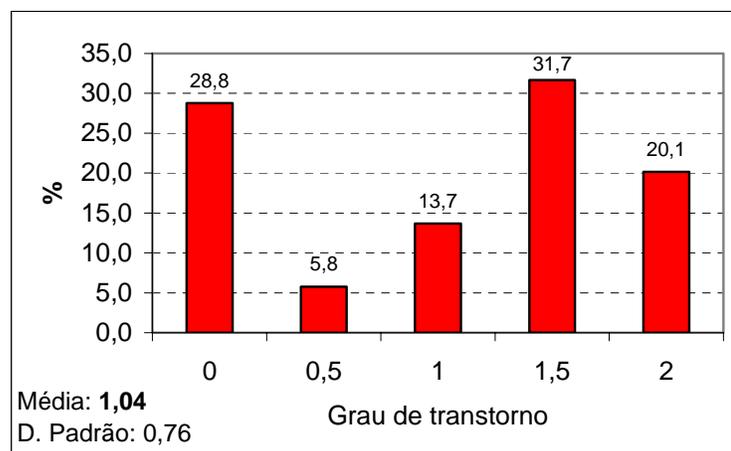


Figura 73 – Frequência de ocorrência na amostra total da variável: “Possibilidade de multa”

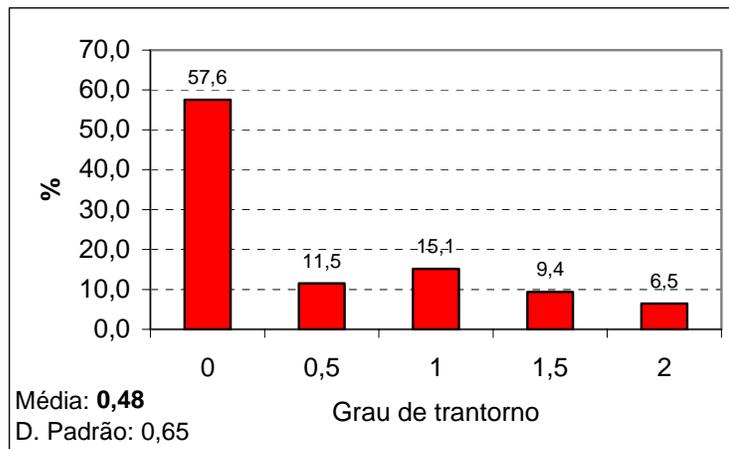


Figura 74 – Frequência de ocorrência na amostra total da variável: “Desconfiança da balança”

- Variável pesquisada: **Motivos pelos quais o Governo faz pesagens**

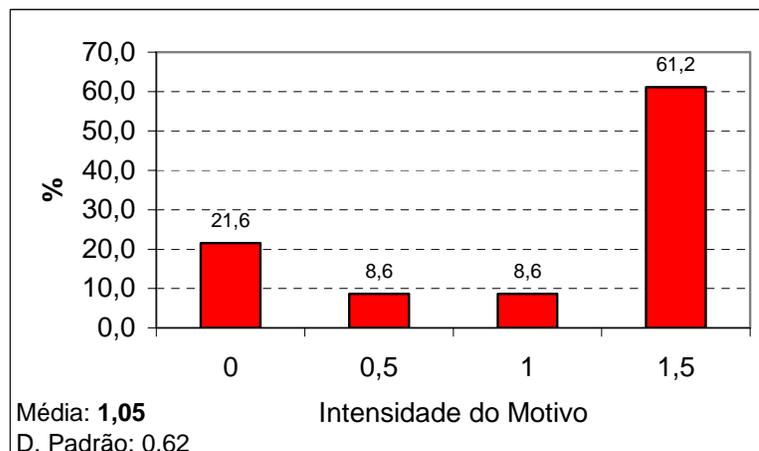


Figura 75 - Frequência de ocorrência na amostra total da variável: “Proteger o pavimento”

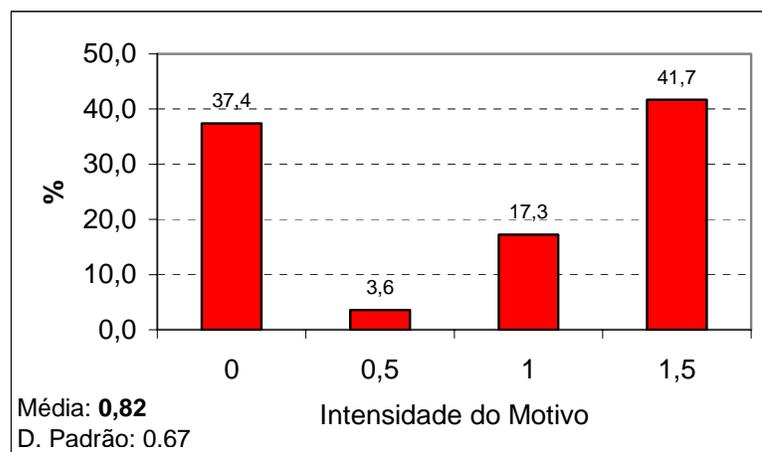


Figura 76 – Frequência de ocorrência na amostra total da variável: “Aumentar a arrecadação”

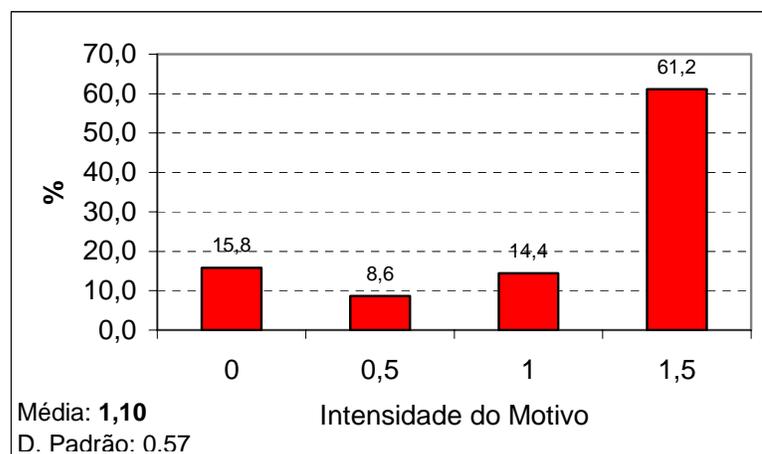


Figura 77 – Frequência de ocorrência na amostra total da variável: “Aumentar a segurança”

- Variável pesquisada: **Compensação obtida com aumento dos limites de carga**

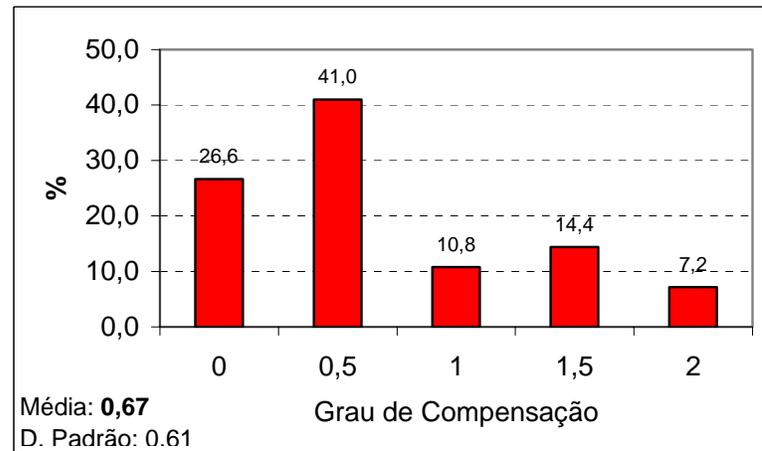


Figura 78 – Frequência de ocorrência na amostra total da variável: “Grau de compensação com aumento dos limites”

- Variável pesquisada: **Controle dos excessos de carga**

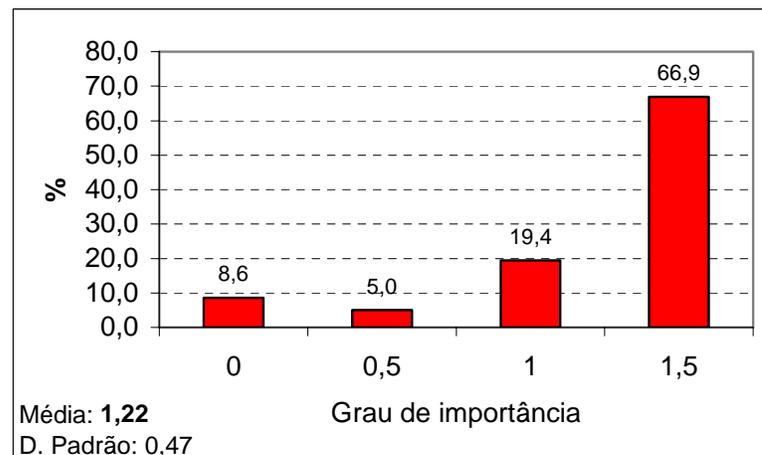


Figura 79 – Frequência de ocorrência na amostra total da variável: “Controle dos excessos de carga”

2 Grupo dos técnicos

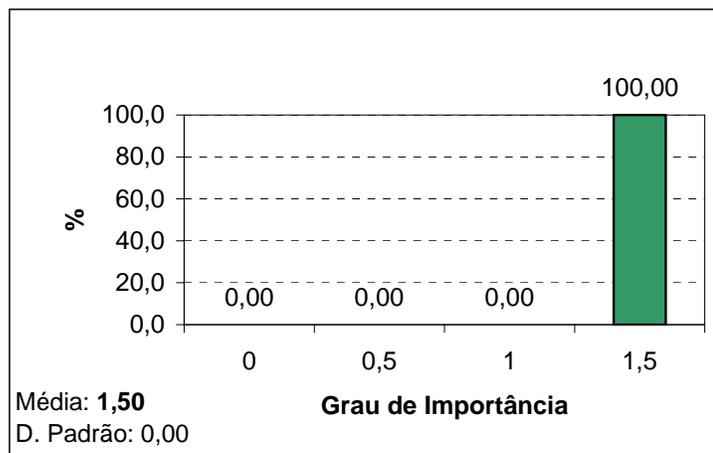


Figura 80 – Frequência de ocorrência da variável: “Estraga o pavimento”

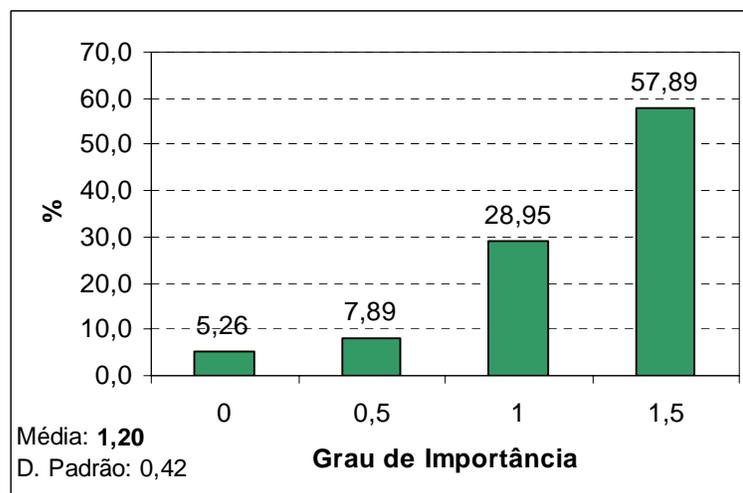


Figura 81 – Frequência de ocorrência da variável: “Estraga o caminhão”

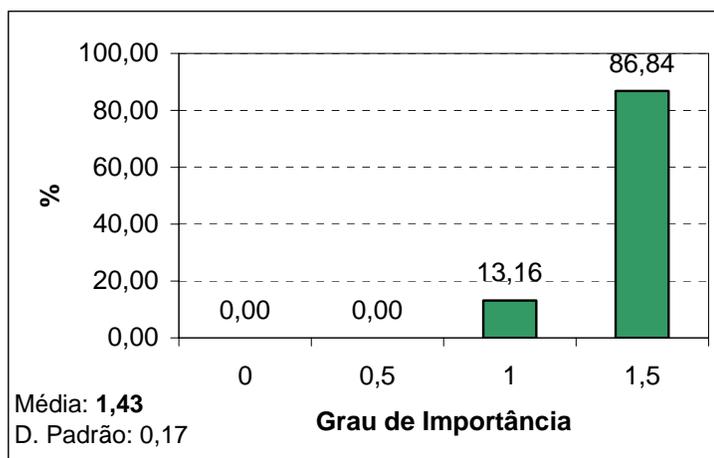


Figura 82 – Frequência de ocorrência da variável: “Diminui a segurança”

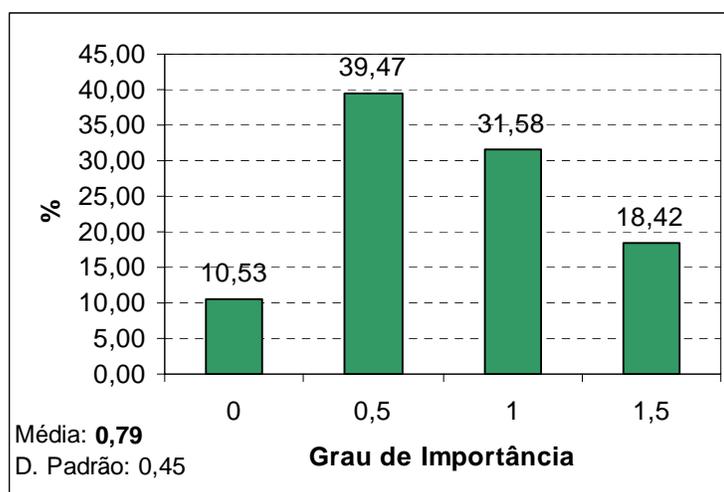


Figura 83 – Frequência de ocorrência da variável: “Diminui o frete disponível”

- Variável pesquisada: **Dificuldades ou transtornos durante a pesagem**

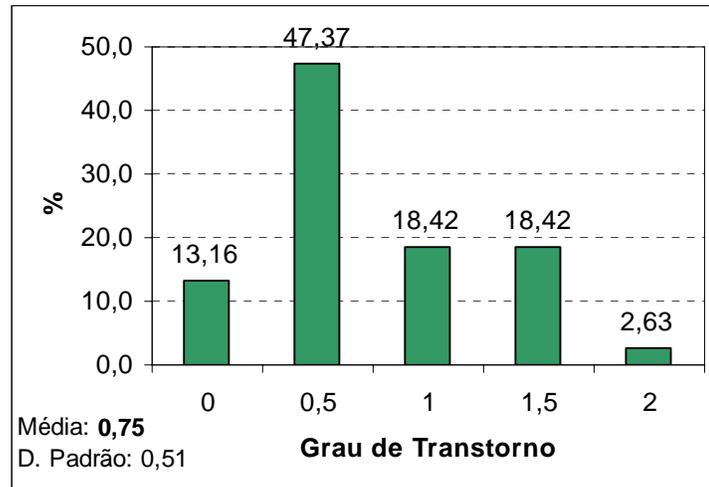


Figura 84 – Frequência de ocorrência da variável: “Atrasa a viagem”

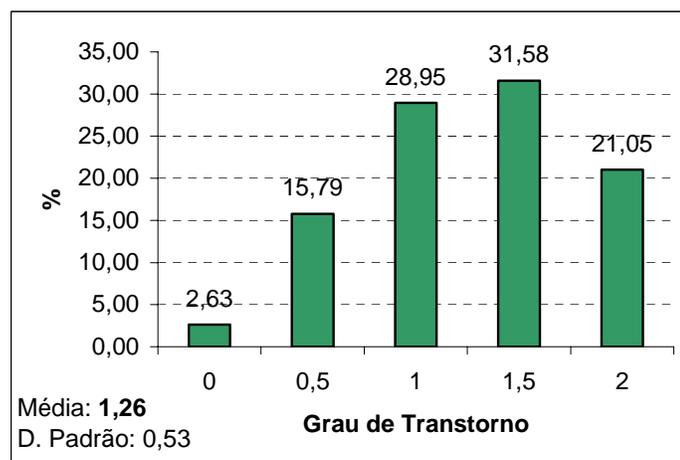


Figura 85 – Frequência de ocorrência da variável: “Redistribuição da carga”

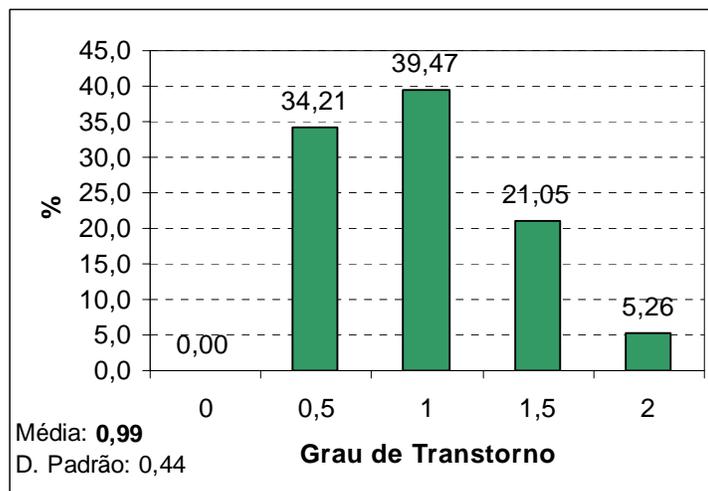


Figura 86 – Frequência de ocorrência da variável: “Atrito com a fiscalização”

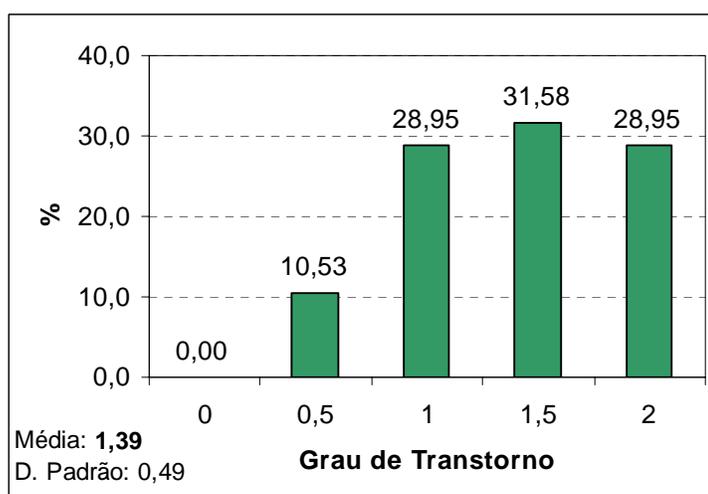


Figura 87 – Frequência de ocorrência da variável: “Possibilidade de multa”

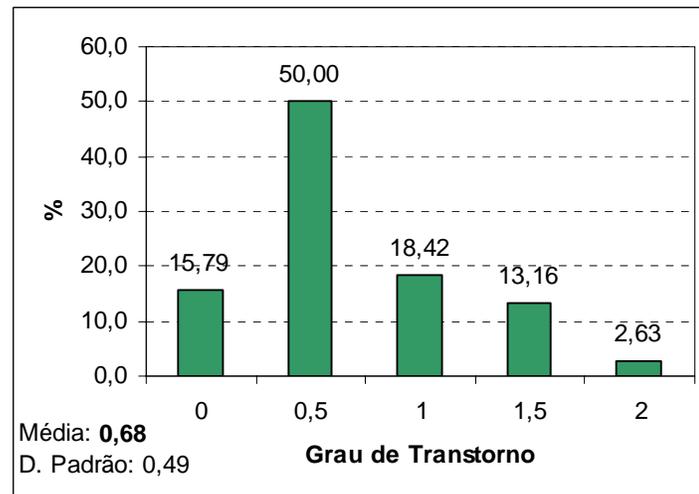


Figura 88 – Frequência de ocorrência da variável: “Desconfiança da balança”

- Variável pesquisada: **Motivos pelos quais o Governo faz pesagens**

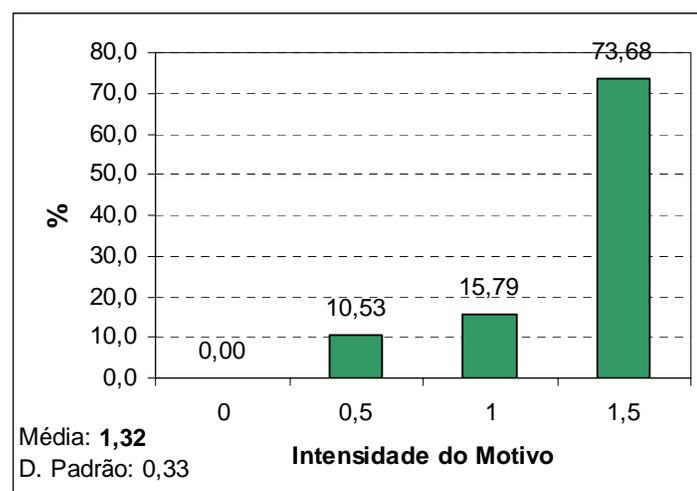


Figura 89 - Frequência de ocorrência da variável: “Proteger o pavimento”

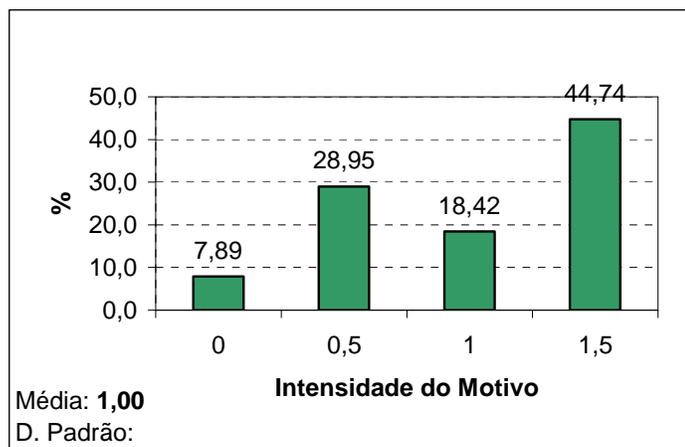


Figura 90 – Frequência de ocorrência da variável: “Aumentar a arrecadação”

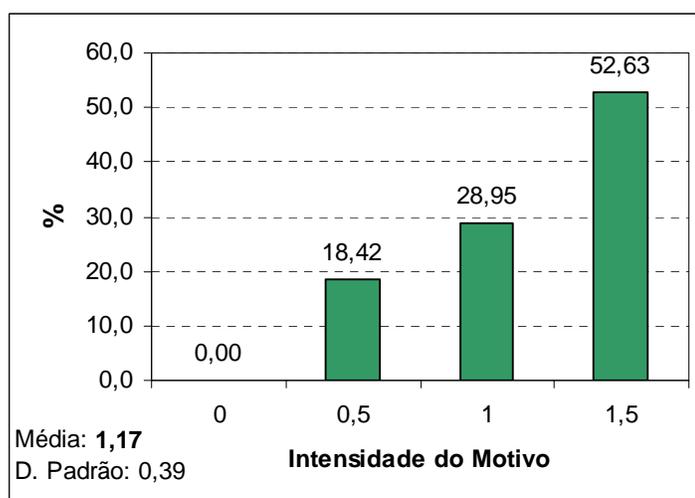


Figura 91 – Frequência de ocorrência da variável: “Aumentar a segurança”

- Variável pesquisada: **Compensação obtida com aumento dos limites de carga**

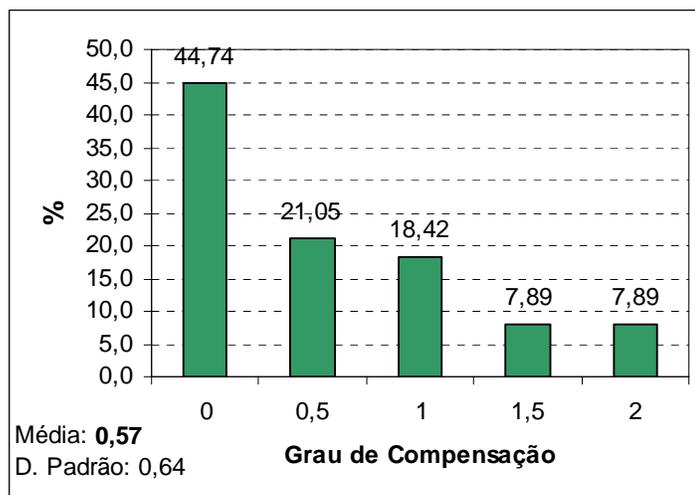


Figura 92 – Frequência de ocorrência da variável: “Grau de compensação com aumento dos limites”

- Variável pesquisada: **Controle dos excessos de carga**

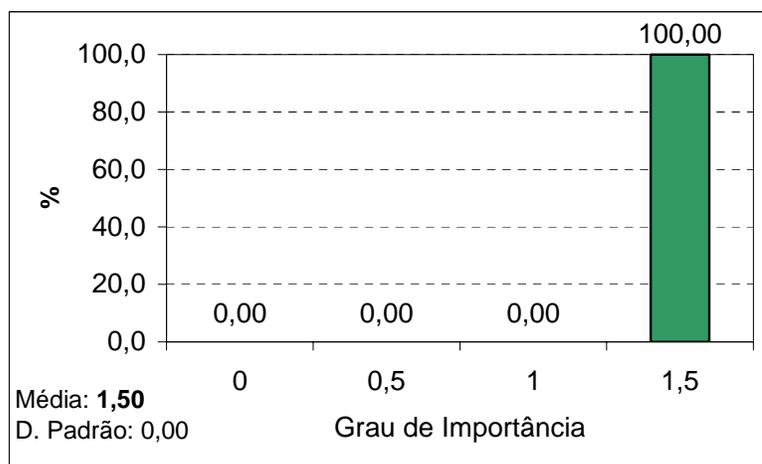


Figura 93 – Frequência de ocorrência da variável: “Controle dos excessos de carga”

3 Grupo dos empresários

- Variável pesquisada: **Problemas provocados pelo excesso de carga.**

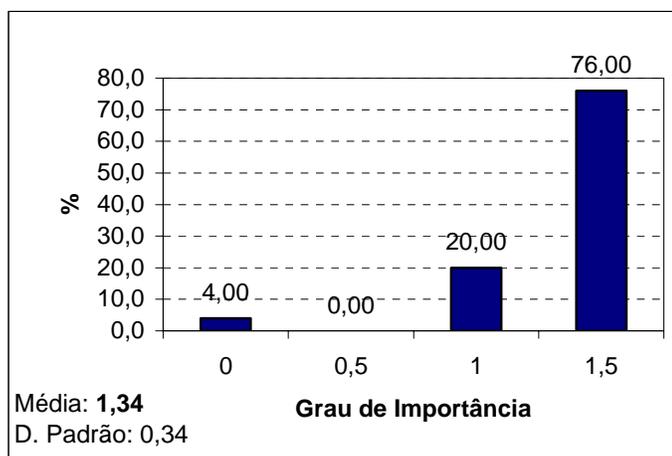


Figura 94 – Frequência de ocorrência da variável: “Estraga o pavimento”

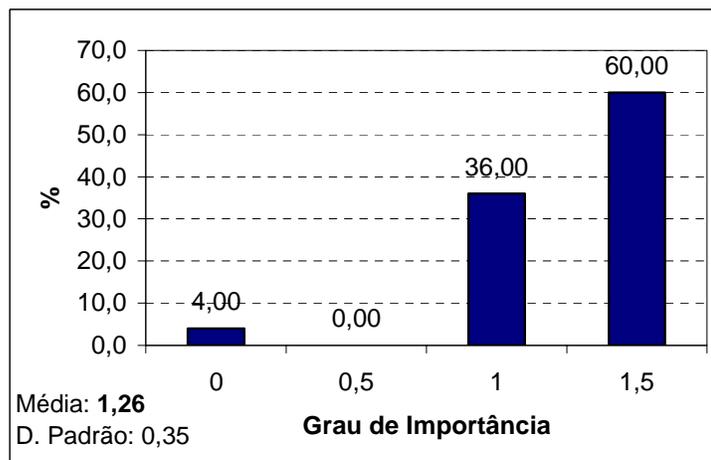


Figura 95 – Frequência de ocorrência da variável: “Estraga o caminhão”

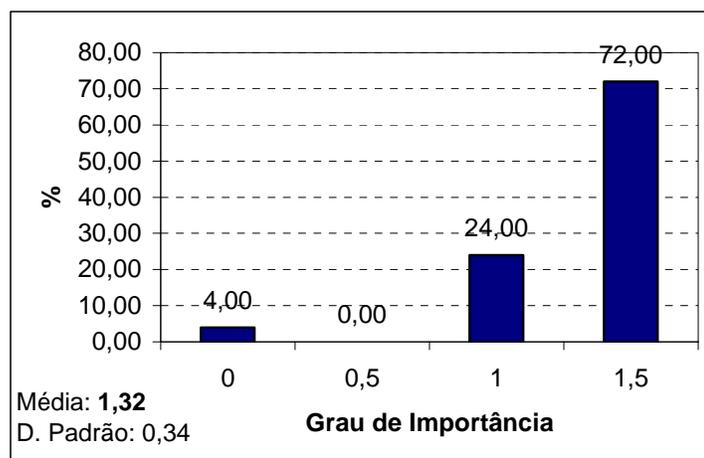


Figura 96 – Frequência de ocorrência da variável: “Diminui a segurança”

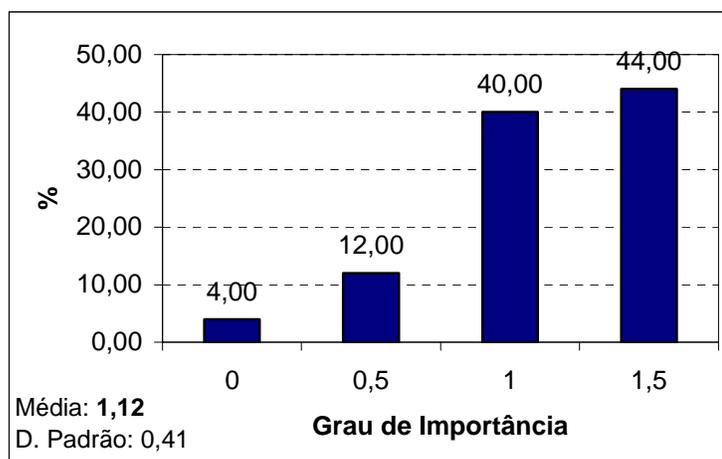


Figura 97 – Frequência de ocorrência da variável: “Diminui o frete disponível”

- Variável pesquisada: **Dificuldades ou transtornos durante a pesagem**

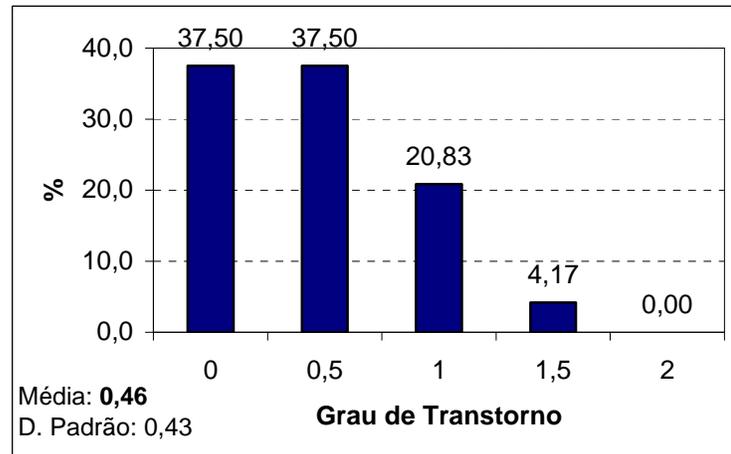


Figura 98 – Frequência de ocorrência da variável: “Atrasa a viagem”

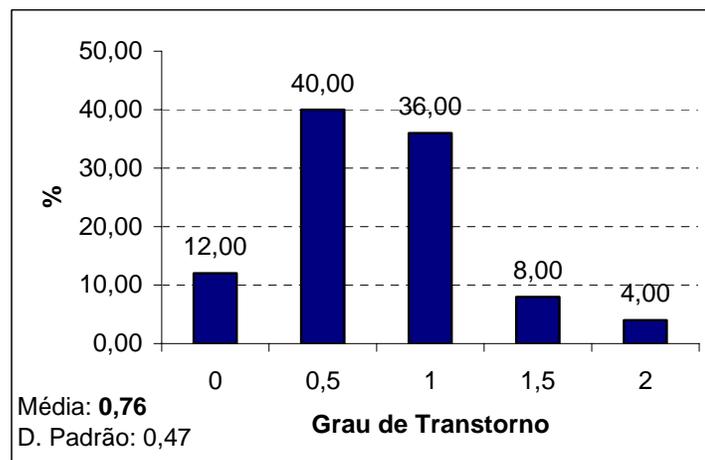


Figura 99 – Frequência de ocorrência da variável: “Redistribuição da carga”

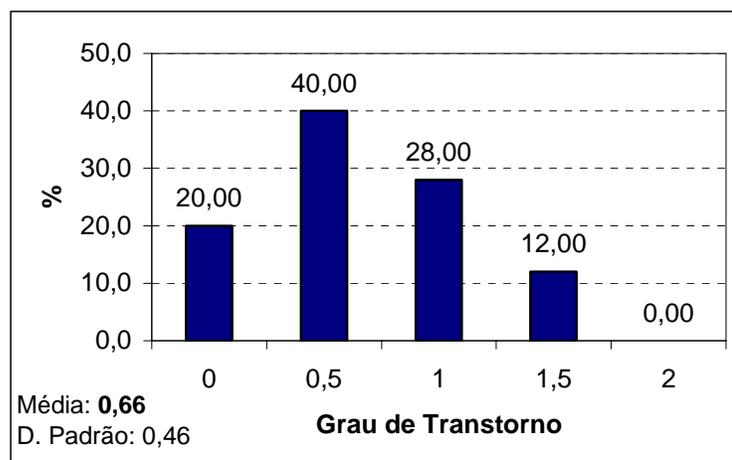


Figura 100 – Frequência de ocorrência da variável: “Atrito com a fiscalização”

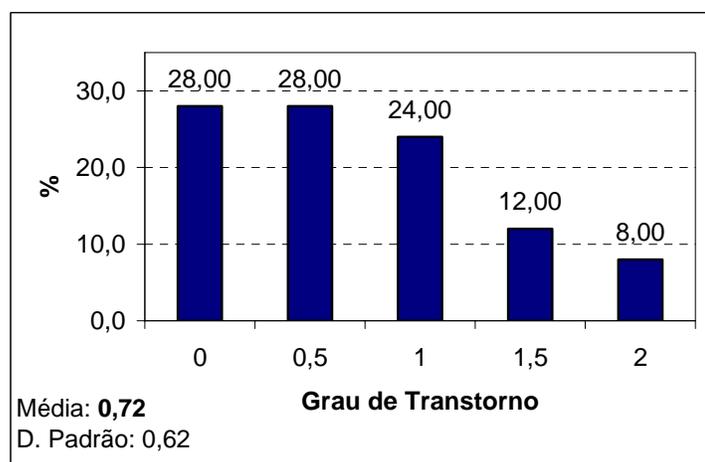


Figura 101 – Frequência de ocorrência da variável: “Possibilidade de multa”

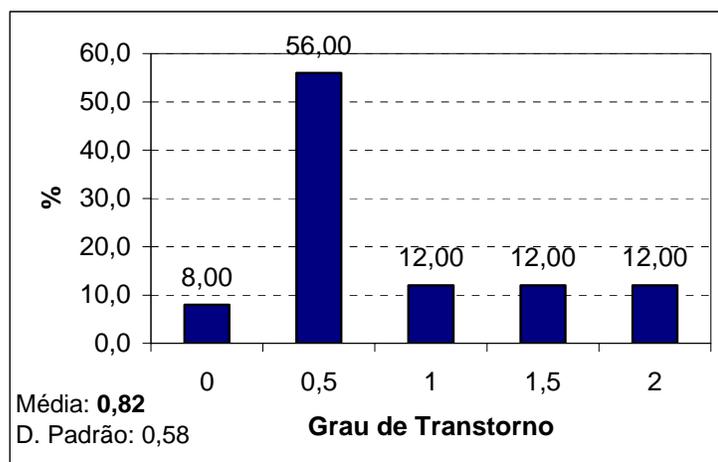


Figura 102 – Frequência de ocorrência da variável: “Desconfiança da balança”

- Variável pesquisada: **Motivos pelos quais o Governo faz pesagens**

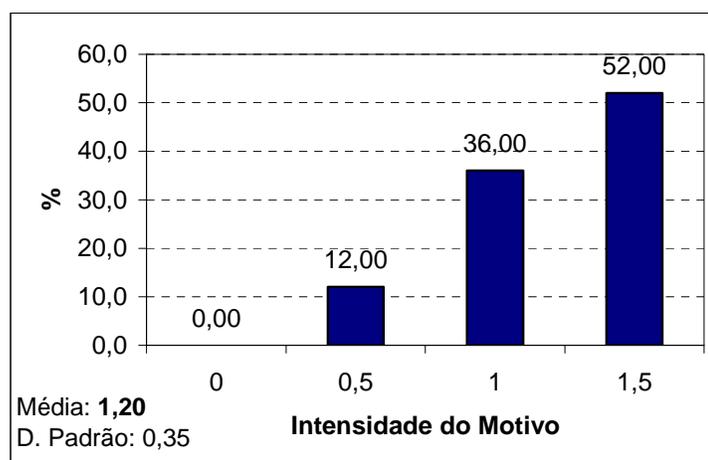


Figura 103 – Frequência de ocorrência da variável: “Proteger o pavimento”

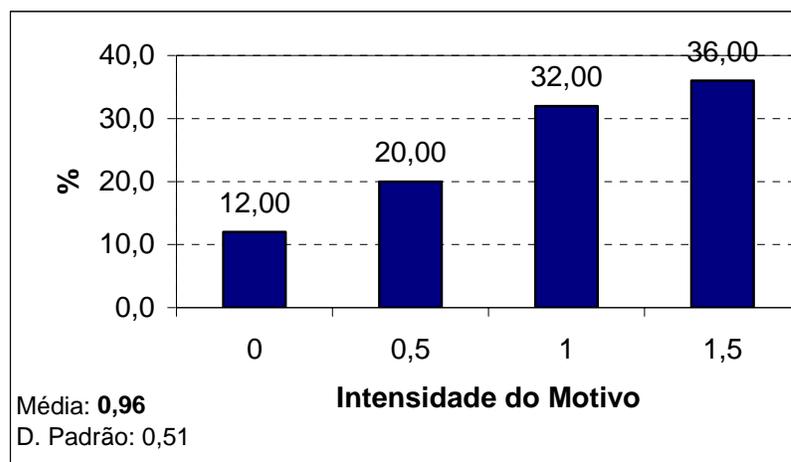


Figura 104 – Frequência de ocorrência da variável: “Aumentar a arrecadação”

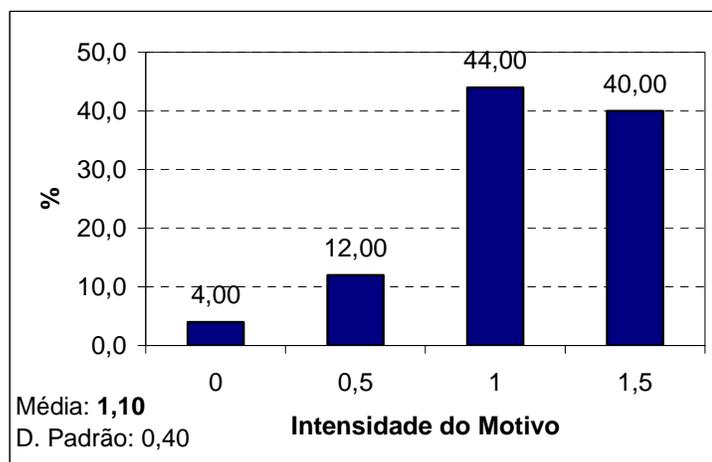


Figura 105 – Frequência de ocorrência da variável: “Aumentar a segurança”

- Variável pesquisada: **Compensação obtida com aumento dos limites de carga**

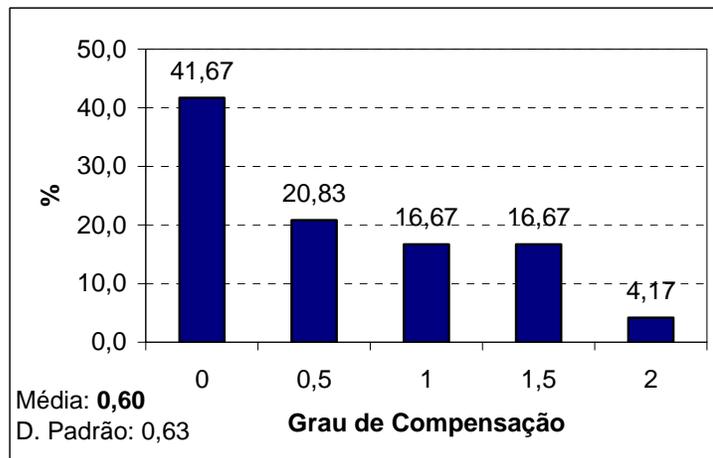


Figura 106 – Frequência de ocorrência da variável: “Grau de compensação com aumento dos limites”

- Variável pesquisada: **Controle dos excessos de carga**

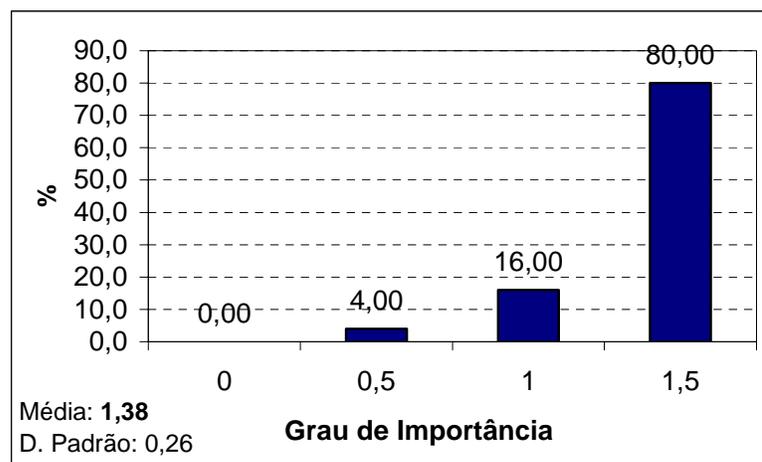


Figura 107 – Frequência de ocorrência da variável: “Controle dos excessos de carga”