

# ANÁLISE EMPÍRICO-MECANÍSTICA DO EFEITO DO EXCESSO DE CARGA VEÍCULOS COMERCIAIS

## Empirical-mechanistic analysis of overload of the commercial vehicles

Thaís Ferrari Réus<sup>1</sup>, Carlos Alberto Prado da Silva Junior<sup>2</sup>, Heliana Barbosa Fontenele<sup>3</sup>

Recebido em 29 de abril de 2014; recebido para revisão em 16 de junho de 2014; aceito em 18 de agosto de 2014; disponível on-line em 09 de outubro de 2014.



### PALAVRAS CHAVE:

*Desempenho de pavimentos;*  
*ELSYM5;*  
*Pavimentos flexíveis;*  
*Dimensionamento empírico-mecanístico;*  
*Fator de equivalência de cargas.*

### KEYWORDS:

*Pavement performanc;;*  
*ELSYM5;*  
*Flexible pavements;*  
*Empirical-mechanistic design;*  
*Load Equivalency Factor.*

**RESUMO:** O dimensionamento dos pavimentos flexíveis vem sendo realizado por meio de métodos empíricos, desenvolvidos na década de 60 e em condições específicas, portanto o seu uso de forma inadequada pode gerar resultados errôneos quando se tratam de situações em que os parâmetros locais de projeto, da região onde se pretende executar o pavimento, não sejam similares às utilizadas na determinação do método. Atualmente há uma tendência de substituição desses métodos pelos empíricos mecanicistas, que permitem avaliar de maneira mais coerente e analítica o comportamento estrutural do pavimento. O objetivo deste trabalho é verificar, de acordo com os tipos de veículos comerciais circulantes no Lote 1 do Anel de Integração do Paraná, a adequação das cargas de tráfego às regulamentações referentes ao limite de peso, bem como a quantificação do efeito danoso proveniente de tal carregamento. Para tanto, foram realizadas simulações no programa ELSYM5 (versão 1.0) desenvolvido na Universidade de Berkeley (1985), para a determinação das deformações estruturais do pavimento e posterior cálculo do Fator de Equivalência de Carga (FEC) empírico-mecanístico. Na análise foram utilizados dados de pesagem obtidos nos anos de 2008 e 2009 nos postos de pesagem localizados nas rodovias BR-153 e BR-369, bem como as cargas máximas permitidas por eixo, sem considerar a tolerância. A partir da análise dos resultados concluiu-se que o panorama de carregamento das rodovias é preocupante, afetando o desempenho do pavimento e gerando a necessidade de intervenção, para a recuperação deste, em tempo menor do que o previsto em projeto.

**ABSTRACT:** The design of flexible pavements has been done through empirical methods, developed in the 60s and under specific conditions, therefore its use improperly may produce erroneous results when dealing with situations in which local design parameters where the pavement will be constructed are not similar to those used in determining the method. Currently, there is an inclination to replace these methods by empirical-mechanistic methods, allowing evaluating in a more consistent and analytical way the structural behavior of the pavement. The aim of this study is to verify, according to the types of commercial vehicles circulating by the Integration Ring of Parana, the adequacy of traffic loads to the regulations regarding the weight limit, and also quantify the harmful effect of the loading. For this, simulations were performed with the ELSYM5 software (version 1.0), developed at University of Berkeley (1985), for the determination of structural deformations of the pavement and then calculate the empirical-mechanistic Load Equivalency Factor (LEF). In the analysis it were used weight data obtained in 2008 and 2009 in two weigh stations located in the BR-153 and BR-369, as well as the axle loads allowed, without considering the tolerance. From this analysis it was concluded that the current situation of loading in the highways is worrying, affecting the pavement performance and causing that the intervention to recover it will be necessary in less time than it was provided in design.

\* Contato com os autores:

<sup>1</sup> e-mail : [thaisferrariheus@hotmail.com](mailto:thaisferrariheus@hotmail.com) ( T. F. Réus )

Aluna de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina.

<sup>2</sup> e-mail : [cprado@uel.br](mailto:cprado@uel.br) ( C. A. P. da Silva Júnior )

Professor Doutor do Centro de Tecnologia e Urbanismo/Departamento de Construção Civil da Universidade Estadual de Londrina

<sup>3</sup> e-mail : [heliana@uel.br](mailto:heliana@uel.br) ( H. B. Fontenele )

Professora Doutora do Centro de Tecnologia e Urbanismo/Departamento de Construção Civil da Universidade Estadual de Londrina

## 1. INTRODUÇÃO

A maior flexibilidade e mobilidade apresentada pelo modal rodoviário no Brasil fazem com que este seja responsável por cerca de 65% da movimentação de cargas e 90% da movimentação de passageiros (CNT,2013).

Em 2013 a Confederação Nacional de Transporte (CNT) analisou qualitativamente 96.714 km da malha das rodovias pavimentadas, sendo que 63,8% da extensão avaliada apresentaram alguma deficiência no pavimento, na sinalização ou na geometria da via, sendo classificadas como regulares, ruins ou péssimas. Referindo-se apenas a qualidade do pavimento, fator que mais afeta o desempenho operacional dos veículos, a pesquisa apontou que 46,9% das vias apresentam algum grau de deficiência (CNT, 2013b).

Um dos motivos para o mau estado que se encontram as rodovias brasileiras é o excesso de peso dos veículos comerciais de carga. Devido ao excesso de carga, conforme Fernandes Júnior (1994), a evolução da deterioração dos pavimentos torna-se muito acentuada, comprometendo, em curto período de tempo, o conforto e a segurança do tráfego e aumentando os custos de operação dos veículos. Assim, o autor ressalta a importância da fiscalização para inibir esses excessos.

A carga por eixo dos veículos é considerada no cálculo do Fator de Equivalência de Cargas (FEC), que podem ser determinados por meios empíricos ou empíricos-mecanísticos. Os métodos empíricos utilizam correlações desenvolvidas, na década de 60, pelo *United States Army Corps of Engineers* (USACE) a partir dos resultados dos testes feitos na pista experimental da *American Association of State Highway Officials* (AASHO) nos anos de 1958 a 1962 (AASHTO, 1986; Carey e Irick, 1960). Já os empíricos mecanísticos relacionam o empirismo com ensaios experimentais de campo ou laboratório, levando em consideração as respostas estruturais do pavimento, sendo assim mais indicados para representar a situação em campo.

Devido ao interesse de se aproximar as

condições de projeto à realidade de campo, vários estudos têm sido realizados nas últimas décadas. Estes estudos buscam representar as condições de carregamentos dos veículos e seus efeitos no pavimento, para que sejam determinadas estruturas eficientes às solicitações do tráfego e que apresentem um comportamento adequado e previsível durante o período de projeto.

Desta forma o objetivo deste trabalho foi quantificar o efeito danoso do excesso de peso aferido dos veículos rodoviários de carga sobre os pavimentos flexíveis do Lote 1 do Anel de integração do Paraná a partir de uma análise empírico-mecanística.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é quantificar o efeito danoso do excesso de peso aferido dos veículos rodoviários de carga sobre os pavimentos flexíveis do Lote 1 do Anel de integração do Paraná a partir de uma análise empírico-mecanística.

## 3. CARGAS DO TRÁFEGO

Segundo o relatório anual da Controladoria Geral da União (CGU, 2013) há um prejuízo de R\$ 1,4 bilhões por ano com a recuperação de pavimentos devido à degradação pelo excesso de peso dos veículos, praticados principalmente pela falta de fiscalização. Foi ressaltado também, que em 2012 o DNIT notificou 528 mil motoristas em rodovias federais por circularem com excedente de carga.

A deterioração do pavimento é causada principalmente pela carga por eixo, não havendo relação direta entre o Peso Bruto Total Combinado (PBTC - resultante da soma total dos pesos das unidades que compõem o veículo) e o desempenho dos pavimentos. Ou seja, veículos pesados podem ser poucos danosos, desde que sua carga total seja distribuída num número suficiente de eixos (Fernandes Júnior *et al.*, 2007).

Fontenele (2011) observou que no PPV do km 28 da Rodovia dos Imigrantes (SP-160), cerca de 20 a 50% dos veículos estavam

com excesso de peso, nos ESRD os eixos acima do limite foram de 70 a 80%, nos ETD foram observadas situações com 20 a 40% dos eixos acima do limite máximo permitido e para os ETT 40% apresentaram excessos.

Albano (2005) verificou, com base na análise dos resultados obtidos com um simulador de tráfego, que há uma redução de 48,3% na vida inicialmente prevista para o pavimento espesso quando há um excesso de 20% no carregamento, utilizando uma pressão de enchimento de 552 kPa. Nas mesmas condições para um pavimento delgado, porém com uma pressão de enchimento de 689 kPa, a redução foi de 67,3%.

Ainda segundo mesmo autor, por meio da determinação do FEC empírico mecânico com base nas deflexões calculadas no ELSYM5, quando há um excesso de 20% no peso do rodado duplo do simulador de tráfego utilizado, considerando o expoente  $b=5,959$ , houve uma redução de 65,2% na vida útil prevista para o pavimento espesso e de 73,7% no pavimento delgado. Quando considerado o expoente  $b=4,32$  para o cálculo do FEC a redução foi de 53,4% para o pavimento espesso e de 62,0% para o delgado.

Outro autor que verificou a redução da vida útil do pavimento quando há um excesso de 20% na carga por eixo foi Silva (2011). Utilizando o FEC empírico-mecânico como medida de previsão para a vida útil, o autor obteve uma redução de 89,34%, sendo que a pressão de enchimento dos pneus adotada no estudo foi de 100 psi (703 kPa).

O artigo 99 do Código de Trânsito Brasileiro, lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 (Brasil, 1997), define que o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) é o órgão responsável por regulamentar o transporte rodoviário, por meio de resoluções (CGU, 2013). No que tange o transporte de carga as Resoluções nº 210, de 13 de novembro de 2006, e a nº 211, de 13 de novembro de 2006, são as que estabelecem os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres. A legislação brasileira também permite, atualmente, uma tolerância de 5% no PBT, determinada pela Resolução nº 430 de 2013 do CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito). Esta

tolerância percentual é admitida devido a imprecisão dos equipamentos utilizados na verificação de peso dos veículos.

### 3.1 FATOR DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA EMPÍRICO-MECANÍSTICO

Os modelos empíricos-mecânico são baseados nas relações de causa e efeito, ou seja, por meio das solicitações se determina as respostas estruturais do pavimento e a partir disto procura-se entender os mecanismos de deterioração que são observados em campo.

Fernandes Júnior (1994) enfatizou que os FEC empíricos-mecânicos são os mais indicados para a análise de desempenho dos pavimentos, pois expressam melhor as situações em campo.

Os FEC empíricos-mecânicos podem ser obtidos por meio da Equação 1.

$$FEC = \left( \frac{\rho_i}{\rho_0} \right)^b \quad \text{Eq. [1]}$$

Onde:

- $\rho_i$  = Resposta estrutural correspondente à solicitação em análise;
- $\rho_0$  = Resposta estrutural correspondente à solicitação padrão;
- $b$  = Expoente associado à forma de deterioração, à resposta estrutural considerada, ao tipo de ensaio e à estrutura analisada;

### 3.2 MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DO PAVIMENTO

As trincas por fadiga, afundamento nas trilhas de roda, trincas térmicas e irregularidade longitudinal são as principais formas de deterioração do pavimento, sendo que depende dos materiais que constituem sua estrutura, das solicitações do tráfego e de condições ambientais.

Uma vez que a abordagem deste trabalho limita-se à caracterização do tráfego e aos defeitos ocasionados por este no pavimento, são considerados apenas os defeitos oriundos das solicitações do tráfego: trincas por fadiga e os afundamentos na trilha de rodas.

Conforme abordado anteriormente quando se tem a aplicação das cargas de tráfego

no pavimento, considerando este como um meio elástico, isotrópico e homogêneo, há uma propagação de tensões com o aumento da profundidade e a conseqüente diminuição das solicitações. Este carregamento aplicado ao pavimento gera deformações em sua estrutura, tratadas também como respostas estruturais, destacadas na Figura 1: deformação horizontal de tração na fibra inferior do revestimento ( $\varepsilon_{ht,1}$ ), tensão horizontal na fibra inferior da camada tratada de cimento ( $\sigma_{ht,2/3}$ ) e deformação vertical de compressão no topo do subleito ( $\varepsilon_{vc,m}$ ).

A abordagem do trabalho limita-se as respostas estruturais  $\varepsilon_{ht,1}$  e  $\varepsilon_{vc,m}$ , respectivamente responsáveis pelas trincas por fadiga do revestimento asfáltico e aos afundamentos nas trilhas de rodas.

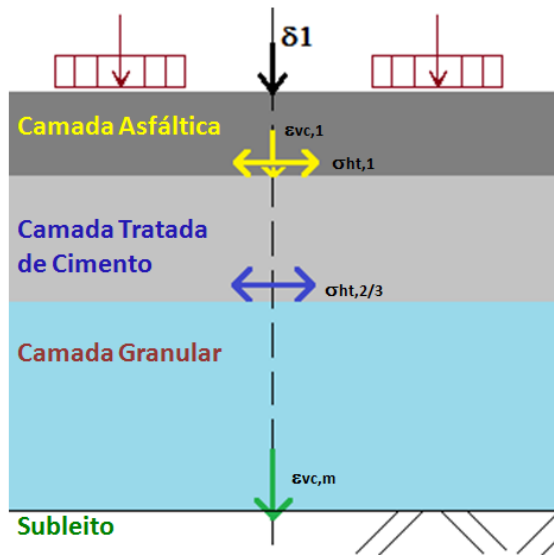


FIGURA 1: Deformação na estrutura do pavimento.  
FONTE: Fernandes Júnior (1994).

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho utilizou dados referentes a pesagens diárias dos veículos comerciais circulantes no Lote 1 do Anel de Integração do Paraná dos anos de 2008 e 2009. Os dados são oriundos de dois postos de pesagem, sendo um localizado no Km 10 da BR 369, no município de Cambará, e o outro no Km 5 da BR 153, no município de Jacarezinho.

Os dados concedidos pela empresa concessionária Econorte são referentes às

pesagens realizadas nos meses de janeiro a dezembro de 2008 e 2009. As planilhas com as informações estavam em arquivos Excel e continham: a quantidade de veículos pesados, dia a dia e mês a mês; a quantidade de veículos autuados e o valor total em UFIR, divididos entre veículos com placas do Paraná e de outros estados; quantidade de veículos com excesso no PBT e os valores médios dos excessos nos eixos em toneladas.

Nas planilhas percebeu-se que a concessionária trabalha com um agrupamento de classes de veículos diferente daquela indicada no Quadro de Fabricantes do DNIT (2012), sendo classificados conforme a Tabela 1.

TABELA 1: Classificação de veículos utilizada pela concessionária.

Classificação	Descrição	Número de Eixos
Carreta	Caminhões tratores + Reboque/semirreboque	4 a 6
Caminhões	Caminhões tratores	2 a 3
Veículos especiais	Caminhões tratores + Reboque/semirreboque	mais de 7
Ônibus	Todos	-

FONTE: DNIT (2012).

Os eixos considerados pela concessionária e seus respectivos limites de carga são:

- eixo simples com rodas duplas, com limite de 10 t;
- eixo tandem duplo, com limite de 17 t;
- eixo tandem triplo, com limite de 25,5 t.

Para o cálculo das respostas estruturais dos pavimentos foi considerada uma estrutura hipotética de pavimento, a mesma adotada por Fontenele e Fernandes Júnior (2013), apresentada na Tabela 2.

**TABELA 2:** Características do pavimento hipotético.

Camadas	Espessura (cm)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Coef. Poisson
1	12,50	4.000	0,30
2	20,00	400	0,40
3	25,00	200	0,40
Subleito	$\infty$	70	0,45

Segundo Hicks e Machattie (1982), quando não se dispõe de valores de coeficiente de *Poisson* obtidos em laboratório, pode-se utilizar os indicados a seguir:

- concreto asfáltico: 0,30;
- tratamento superficial: 0,30;
- base tratada com cimento: 0,35;
- subleito: 0,45.

Tipicamente nos pavimentos brasileiros são utilizadas espessuras de revestimento asfáltico entre 7,5 e 15 cm. Para bases e sub-bases de materiais granulares são adotadas espessuras de 9 a 59 cm.

Os módulos de elasticidade variam de 2.930 MPa (425.000 psi) a 4.827 MPa (700.000 psi) para o revestimento e para as camadas de bases e sub-bases, pode variar de 50 MPa (7.252 psi) a 1.000 MPa (145.040 psi) e 50 MPa (7.252 psi) a 400 MPa (58.016 psi), respectivamente.

As respostas estruturais consideradas na análise foram  $(\epsilon_{ht,1})$  e  $(\epsilon_{vc,m})$ , respectivamente responsáveis pelas trincas por fadiga do revestimento asfáltico e aos afundamentos nas trilhas de rodas. Os dados de entrada no programa ELSYM5 são: as propriedades dos materiais constituintes das camadas (coeficiente de *Poisson* e módulo de elasticidade), espessura das camadas, localização e magnitude das cargas por roda e as coordenadas para determinação das respostas estruturais, sendo a direção x perpendicular e a y paralela ao tráfego.

Foram determinadas as respostas estruturais nos centros das superfícies de carregamento e nos pontos equidistantes a ela, sendo que a distância entre centros das superfícies de carregamento no ESRD (eixo simples de rodas duplas) foi considerada igual a 33 cm e no ETD (eixo tandem duplo) e ETT (eixo tandem triplo) de 120 cm. Na Tabela 3 encontram-se as localizações das cargas e dos pontos de análise para cada tipo de eixo.

**TABELA 3:** Localizações usadas no ELSYM5 para cálculo das respostas estruturais.

Eixo	Localização das Cargas (cm)		Localização de Análise (cm)	
	x	y	x	y
ESRD	0	0	0	0
	32,78	0	16,40	0
ETD	0	0	0	0
	32,78	0	16,40	0
	0	118,10	0	60
	32,78	118,10	16,40	60
ETT	0	0	0	0
	32,78	0	16,40	0
	0	118,10	0	60,00
	32,78	118,10	16,40	60,00
	0	236,20	0	118,10
	32,78	236,20	16,40	118,10

**Legenda:**

ESRD: Eixo Simples de Rodas Duplas

ETD: Eixo Tandem Duplo

ETT: Eixo Tandem Triplo

De acordo com Fernandes Júnior *et al.* (2007) a pressão de enchimento média utilizada no Brasil é de 827 kPa (120 psi), sendo esta adotada neste trabalho. A única exceção foi para obtenção das deformações referentes às solicitações do eixo padrão, para o qual a pressão de enchimento foi a convencionalmente adotada, de 552 kPa (80 psi).

As cargas por roda utilizadas foram as médias mensais dos pesos que excedem o limite de carga. Para o eixo padrão a carga por roda considerada foi de 44 kN (4.519,57 lb) com as localizações de carga e de análise do ESRD.

Para a medida de previsão de vida útil da estrutura do pavimento adotou-se a variação do FEC, sendo esta embasada nas considerações apresentadas por Albano (2005).

Os FEC empírico-mecanísticos foram determinados por meio da Equação 1 a partir das repostas estruturais obtidas no programa ELSYM5. Sendo que se calculou o  $FEC_{trincas}$  e o  $FEC_{afundamento}$  considerando, respectivamente, a maior deformação de tração na fibra inferior do revestimento, com o expoente 3,291, e a maior deformação vertical de compressão no topo do subleito, com o expoente igual a 4. Estes expoentes são os mesmos utilizados por Fontenele e Fernandes Júnior (2013).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO COMERCIAL CIRCULANTE NO ANO DE 2008

No posto de pesagem da BR 153 no ano de 2008 houve uma operação irregular durante o ano. O posto foi operado assiduamente durante o primeiro semestre, não havendo operação apenas no mês de maio, em média foram pesados 843 veículos por mês. Já no segundo só houve pesagens nos meses de julho e agosto.

No Posto de Pesagem de Veículos (PPV) da BR 369 houve operação da balança apenas em seis meses (janeiro, de junho a agosto, outubro e novembro), sendo que a média de veículos pesados foi de 203 veículos por mês. Notou-se um

aumento significativo do número de ônibus fiscalizados neste PPV em relação do da BR 153, fato explicado pela BR 369 ser uma das principais rotas de ônibus do estado.

Na Figura 2 são apresentadas as frequências observadas para cada tipo de veículo em cada PPV.

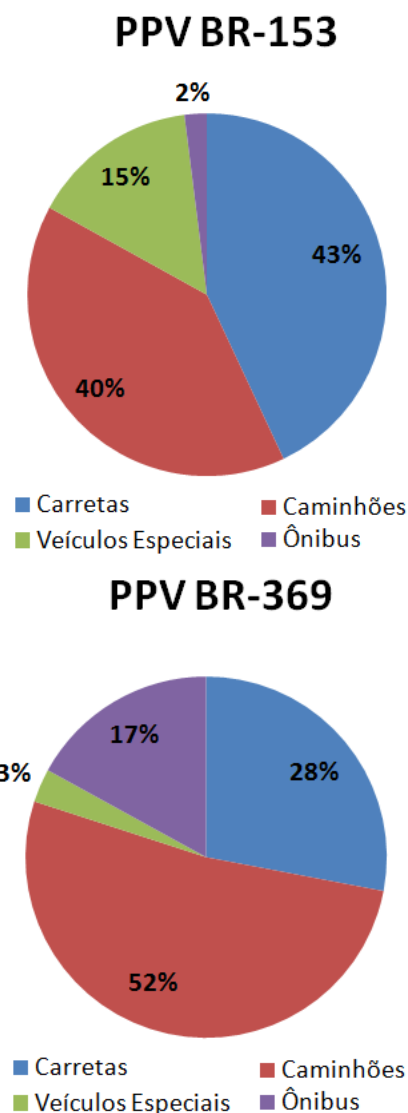


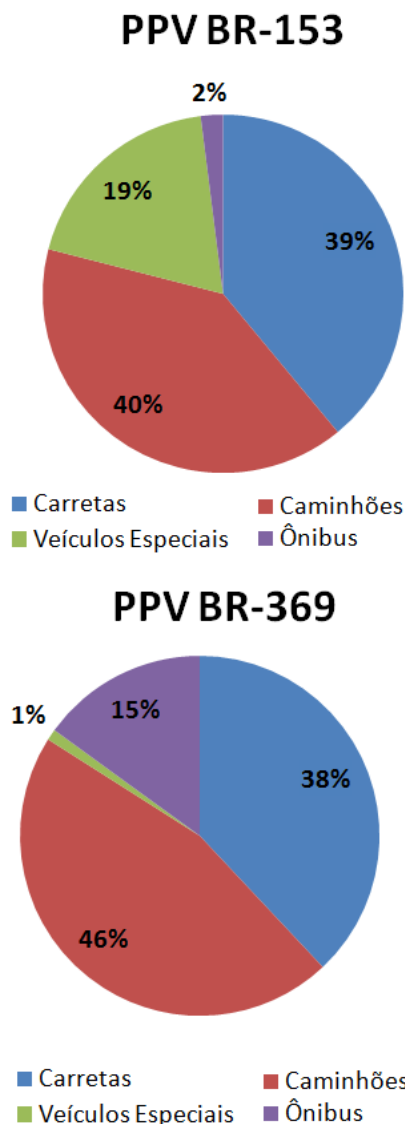
FIGURA 2: Configuração do tráfego circulante na BR-153 e BR-369 em 2008.

### 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO COMERCIAL CIRCULANTE NO ANO DE 2009

No PPV da BR-153 em 2009 houve uma operação regular ao longo do ano, porém pode-se perceber que no primeiro semestre o volume de veículos pesados foi de 768 veículos por mês, significativamente menor que o do segundo semestre, que atingiu 1178 veículos fiscalizados por mês.

No PPV da BR-369 no ano de 2009 perceberam-se dois períodos distintos, um representado pelo primeiro semestre onde houve um volume significativamente baixo de pesagem, com média de 302 veículos por mês, e o segundo semestre onde se teve um fluxo de operação maior, cuja média foi de 2.979 veículos por mês. Este fato foi decorrente da manutenção das balanças realizada no primeiro semestre o que impossibilitou a operação em alguns meses ou fez com que houvesse a operação parcial do posto de pesagem nos outros.

A configuração do tráfego circulante na BR-153 e BR-369 relativa ao ano de 2009 é apresentada na Figura 3.



**FIGURA 3:** Configuração do tráfego circulante na BR-153 e BR-369 em 2009.

É possível perceber que não houve grandes mudanças na frequência das classes de veículos de 2008 para 2009, sendo os caminhões e as carretas as mais frequentes.

### 5.3 EXCESSOS DE CARGA

Tratando-se dos excessos de carga no Peso Bruto Total (PBT) pode-se perceber que em 2008, no PPV da BR-153, que em média 12% dos caminhões excesso de peso, 7% dos veículos especiais, 4% das carretas e 2% dos ônibus. O valor mais expressivo de excessos de carga foi constatado no mês de julho para os caminhões, quando se atingiu 17% de veículos com sobrecarga. Neste mesmo ano na BR-369 em média 11% dos veículos especiais fiscalizados apresentaram sobrecarga, 7% dos caminhões, 5% das carretas e apenas 1% dos ônibus.

No ano de 2009 no PPV da BR-153, o maior número de excessos no PBT ocorreu nos meses de setembro a dezembro, época de safra na região. Em média 16% das carretas apresentaram sobrepeso, 12% dos caminhões e dos ônibus e 11% dos veículos especiais. É possível perceber que o valor mais expressivo para os excessos de carga é referente aos ônibus no mês de outubro, quando 70% dos veículos fiscalizados trafegavam acima do limite de carga permitido. Na BR-369 os caminhões foram os que apresentaram maior incidência de sobrepeso, sendo que os excessos de peso foram constatados com mais frequência entre os meses de julho e setembro. Em média 14% dos veículos especiais apresentaram sobrepeso, 11% dos caminhões, 10% das carretas e dos ônibus.

Apesar da importância de se detectar os excessos do PBT, para caracterizar o tráfego, o que efetivamente causa danos ao pavimento são os excessos de carga por eixo. Neste trabalho, para os cálculos das respostas estruturais, considerou-se a média dos excessos de peso por eixo mensal, calculadas a partir dos dados fornecidos pela concessionária.

Os excessos de peso por eixo no PPV da BR-153 variaram de 1.180 kg a 4.045 kg, sendo que o menor foi verificado para o ESRD e o maior para

o ETT. Já na BR-369 os excessos de peso variaram de 350 kg a 7.495 kg, sendo que o menor foi constatado para o ESRD e o maior para o ETD. Esses dados podem ser verificados na Figura 4, onde os excessos médios mensais são apresentados para os anos de 2008 e 2009.

Os excessos médios por eixo e as medidas de dispersão para o PPV da BR-153 são apresentados na Tabela 4 e os para o PPV da BR-369 na Tabela 5.

Pode-se perceber que os excessos de peso no PPV da BR-153 apresentam menor variação em relação à média, resultando em coeficientes de variação mais baixos. Pelo contrário o coeficiente de variação encontrado para os excessos para a BR-369 foi elevado, fato decorrente da verificação de grandes excessos médios em certos meses do ano. Estes grandes excessos podem ser explicados pelo fato da BR-369 ser muito utilizada para o escoamento da safra de milho e soja.

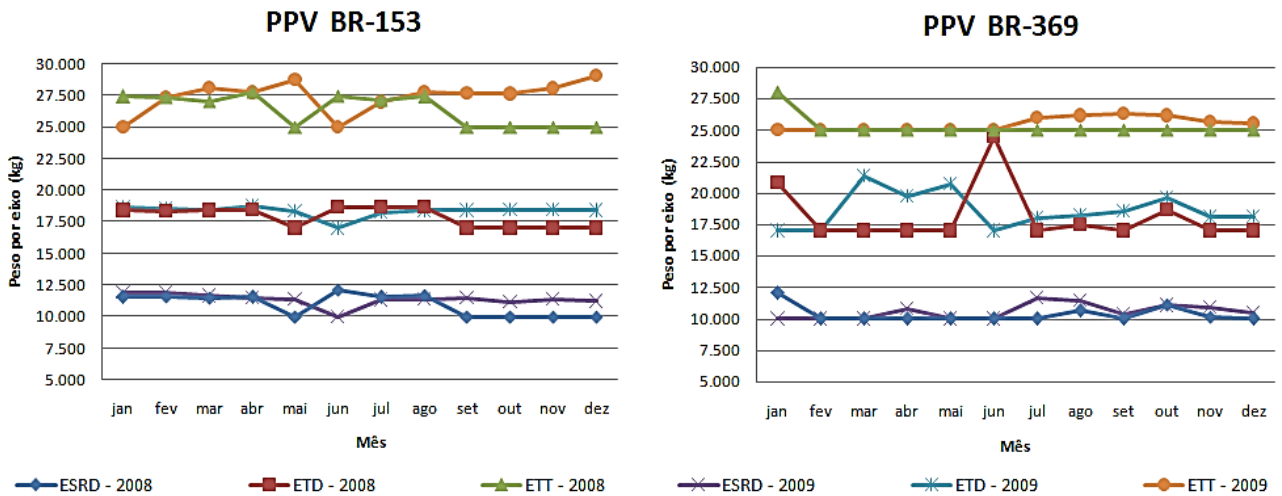


FIGURA 4: Peso por tipo de eixo em 2008 e 2009 no PPV da BR-153 e BR-369.

**TABELA 4: Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos valores médios de excesso por eixo no PPV da BR-153.**

Medidas de Dispersão	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação
ESRD -2008	1.467,42	176,19	12,01%
ETD - 2008	2.752,91	560,67	20,37%
ETT - 2008	1.088,19	609,73	56,03%
ESRD -2009	1.491,77	245,04	16,43%
ETD - 2009	1.462,17	148,66	10,17%
ETT - 2009	2.895,09	619,69	21,40%

**Legenda:**

- ESRD: Eixo Simples de Rodas Duplas
- ETD: Eixo Tandem Duplo
- ETT: Eixo Tandem Triplo



**TABELA 5:** Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação dos valores médios de excesso por eixo no PPV da BR-369.

Medidas de Dispersão	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação
ESRD -2008	2.415,55	1.395,64	57,78%
ETD - 2008	1.155,81	169,90	14,70%
ETT - 2008	-	-	-
ESRD -2009	967,22	491,57	50,82%
ETD - 2009	2.145,10	1.254,29	58,47%
ETT - 2009	961,35	323,19	33,62%

**Legenda:**

ESRD: Eixo Simples de Rodas Duplas

ETD: Eixo Tandem Duplo

ETT: Eixo Tandem Triplo

Pode-se perceber que os excessos de peso no PPV da BR-153 apresentam menor variação em relação à média, resultando em coeficientes de variação mais baixos. Pelo contrário o coeficiente de variação encontrado para os excessos para a BR-369 foi elevado, fato decorrente da verificação de grandes excessos médios em certos meses do ano. Estes grandes excessos podem ser explicados pelo fato da BR-369 ser muito utilizada para o escoamento da safra de milho e soja.

#### 5.4 FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA EMPÍRICO-MECANÍSTICO

Com base nos resultados das análises estruturais do ELSYM5 calculou-se os FEC empírico-mecanísticos, considerando as deformações horizontais de tração na fibra inferior do revestimento e as deformações verticais de compressão no topo do subleito ( $FEC_{trincas}$  e  $FEC_{afundamento}$ , respectivamente), para a pressão de enchimento de 827 kPa (120 psi).

Para averiguação dos efeitos danosos dos excessos de carga para o pavimento determinou-se os FEC para os limites máximos de carga permitidos pela legislação brasileira para cada tipo de eixo, sendo estes apresentados na Tabela 6.

**TABELA 6:** FEC máximos por eixo.

FECmáx.	ESRD	ETD	ETT
FECtrincas	2,42	1,52	1,51
FECafund.	3,00	1,88	1,87

**Legenda:**

FEC: Fator de Equivalência de Carga

Os FEC encontrados tanto para a BR-153 quanto para a BR-369, para o ano de 2008, são proporcionais ao excesso de peso nos eixos, sendo que há o aumento do FEC quanto se tem o aumento da carga por eixo, conforme se observa na Figura 5.

As Figuras 6, 7 e 8 mostram os FEC calculados mês a mês para os postos de pesagem, no ano de 2008. Para os meses que não houve operação da balança admitiram-se os valores máximos de carga permitidos, sem considerar a tolerância.

Os resultados obtidos indicam que os  $FEC_{trincas}$  são cerca de 40% maiores que o  $FEC_{máx}$  para o ESRD, 20% para o ETD e ETT. O  $FEC_{afundamento}$  apresentou-se cerca de 50% maior que o máximo para o ESRD e 25% para os ETD e ETT.

Assim como o verificado para o ano de 2008, em 2009 há a evolução do efeito danoso de acordo com o aumento da carga por eixo (Figura 9).

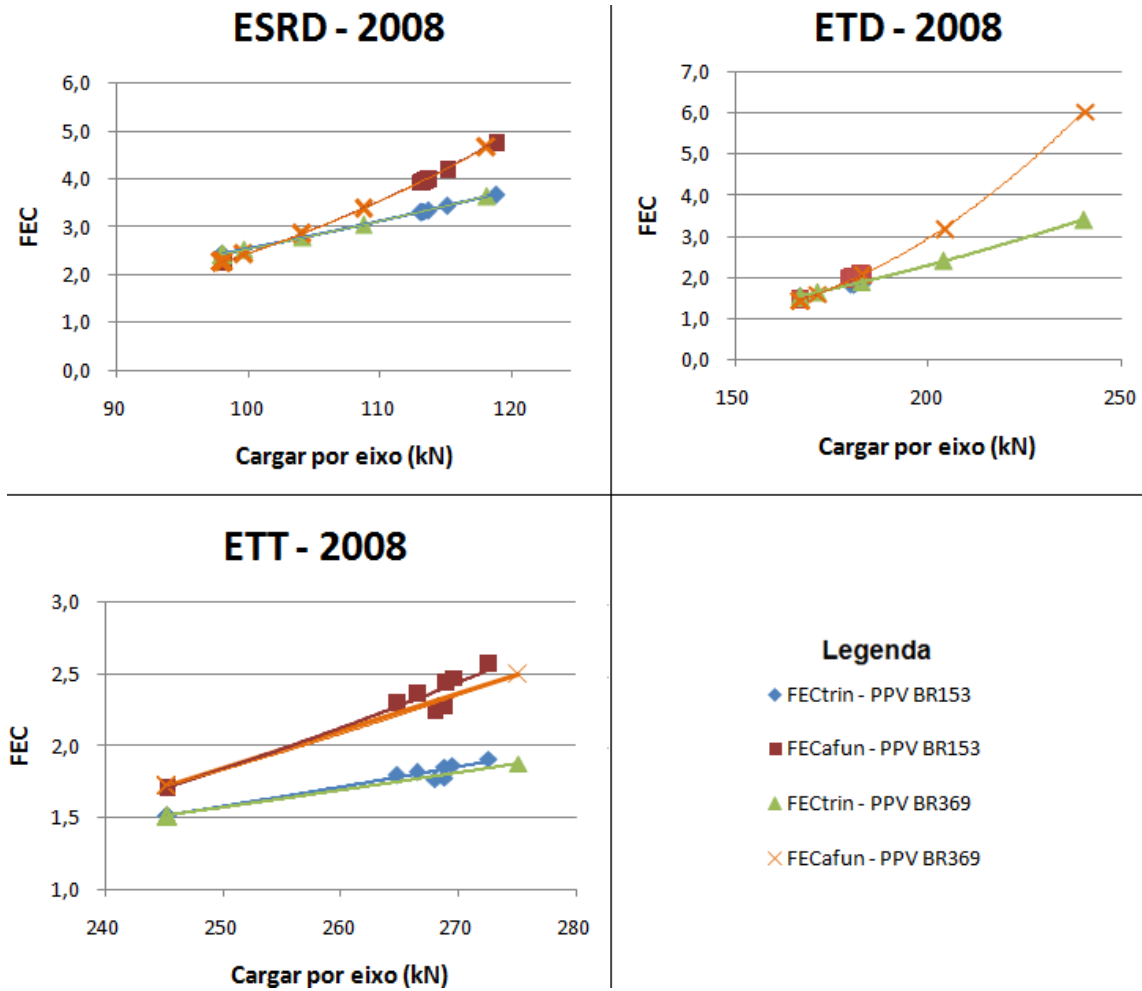


FIGURA 5: Relação entre o FEC e a carga por eixo para 2008.

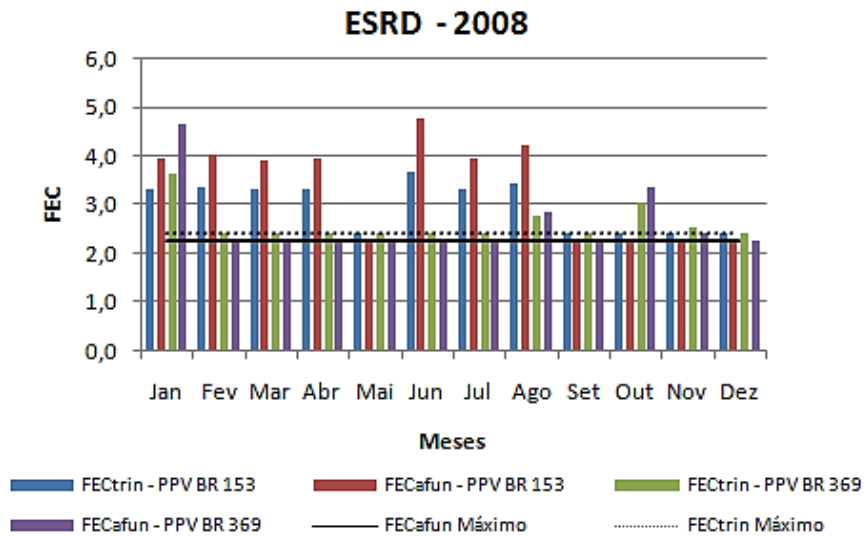


FIGURA 6: FEC empírico-mecanístico mensal no ano de 2008 para o ESRD.

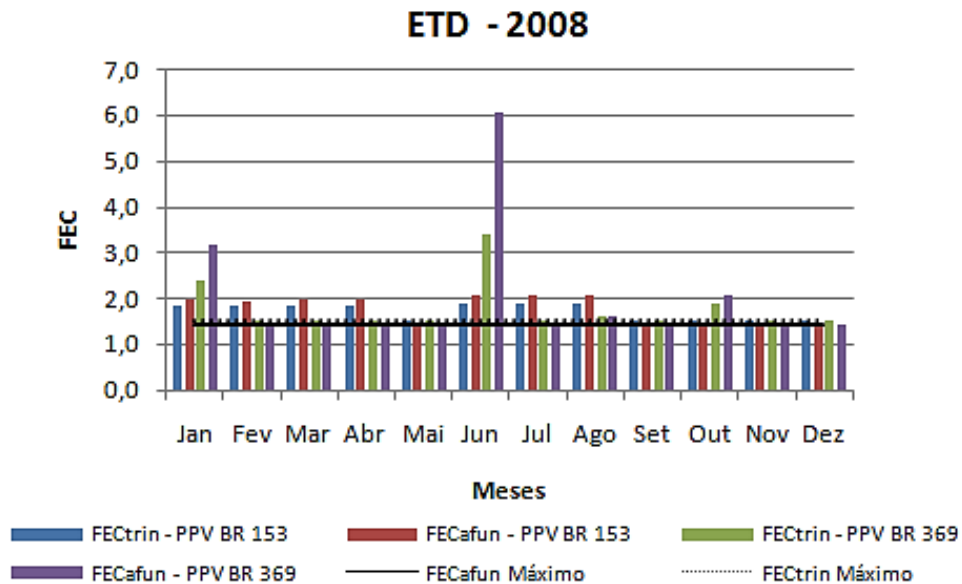


FIGURA 7: FEC empírico-mecanístico mensal no ano de 2008 para o ETD.

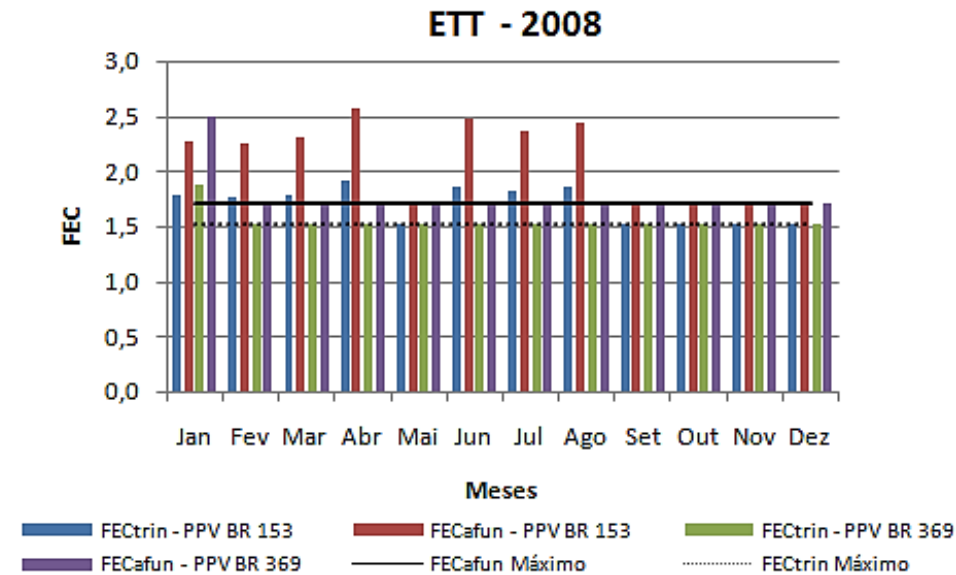


FIGURA 8: FEC empírico-mecanístico mensal no ano de 2008 para o ETT.

Nas Figuras 10, 11 e 12 pode-se verificar a distribuição dos FEC calculadas ao longo dos meses em 2009. No PPV da BR-153 para o ESRD foram constatados FEC aproximadamente 40% maiores para trincas e 70% para o afundamento. Para o ETD e ETT verificou-se, respectivamente, um aumento de 40% e 25% para trincas e 25% e 50% para afundamentos.

Para o posto de pesagem da BR-369 no primeiro semestre os FEC foram calculados em função da carga limite, pois não houve operação da balança. No segundo foi possível observar

FEC<sub>trinca</sub> cerca de 20% maiores que os máximos para o ESRD de 30% para o ETD, enquanto o FEC<sub>afundamento</sub> apresentou-se em torno de 35% maior para o ESRD e de 60% maior para o ETD. Para o ETT verificou-se FEC cerca de 10% maiores para trincas e afundamento nas trilhas de roda.

Foi observado também que os FEC<sub>afundamento</sub> apresentaram-se superiores aos FEC<sub>trinca</sub> em cerca de 25% nos dois anos considerados no estudo, independente do tipo de eixo.

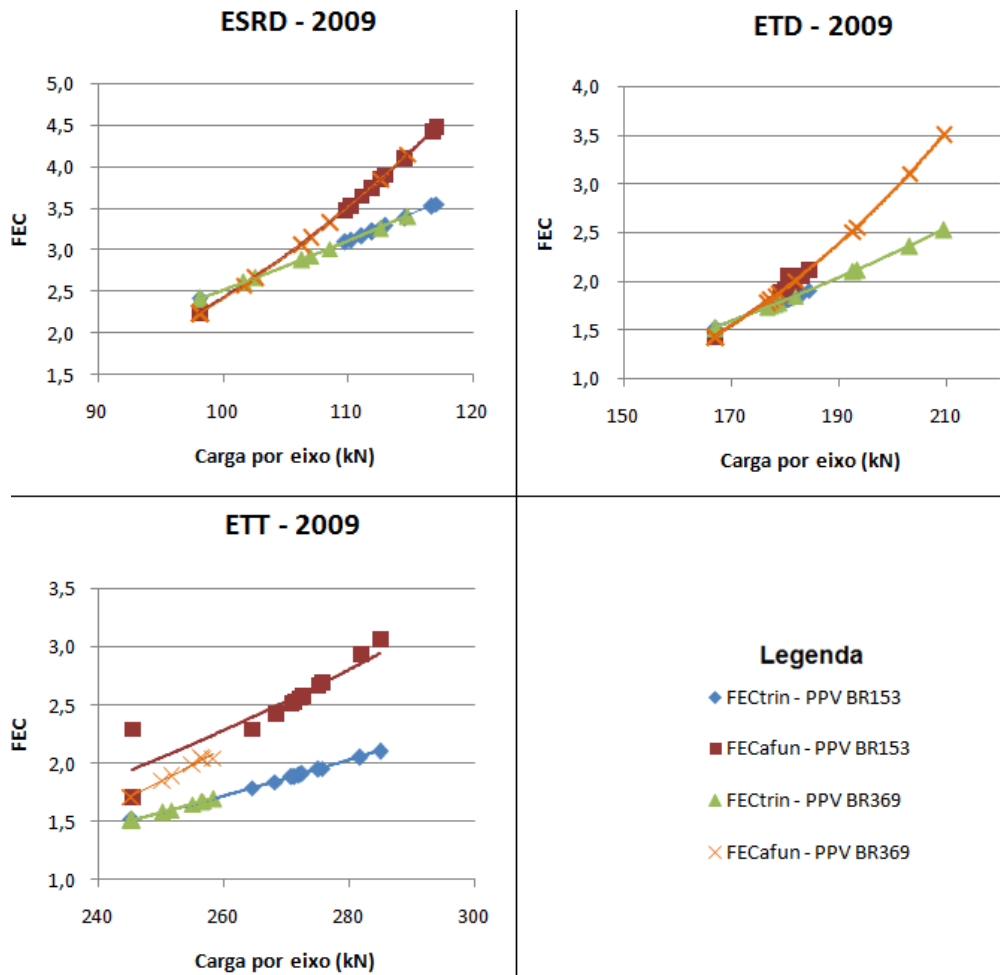


FIGURA 9: Relação entre o FEC e a carga por eixo para 2009.

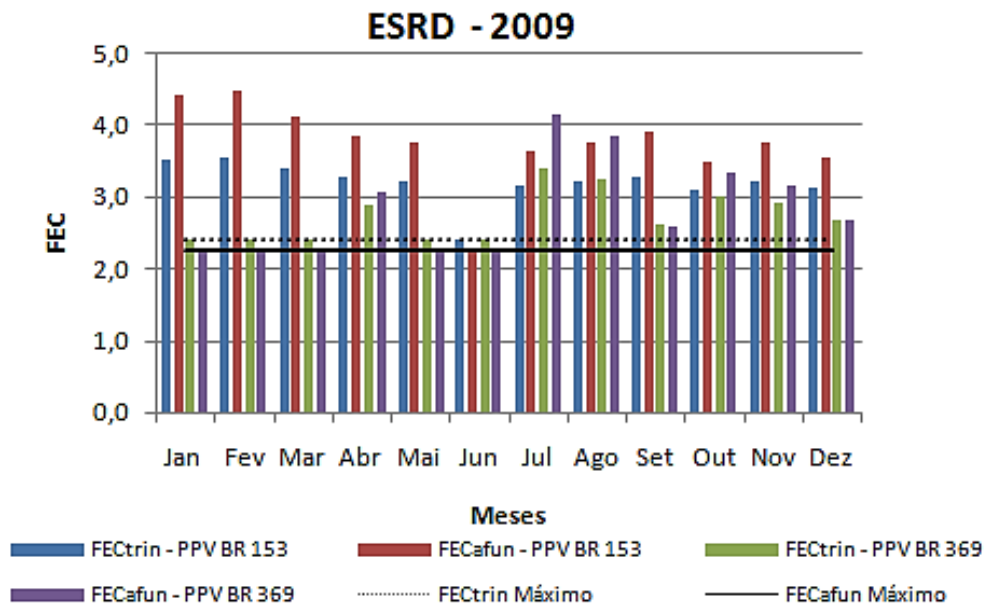


FIGURA 10: FEC empírico-mecanístico mensal no ano de 2009 para o ESRD.

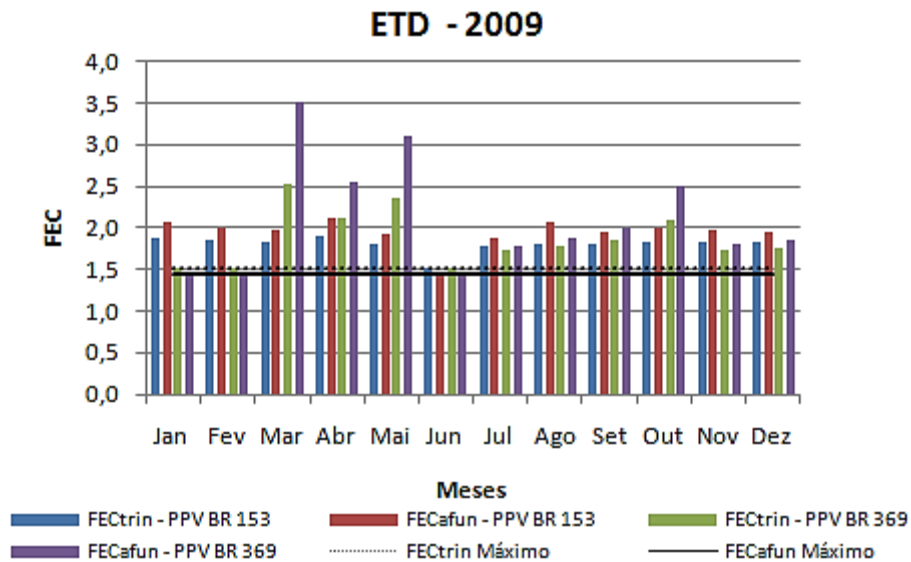


FIGURA 11: FEC empírico-mecânico mensal no ano de 2009 para o ETD.

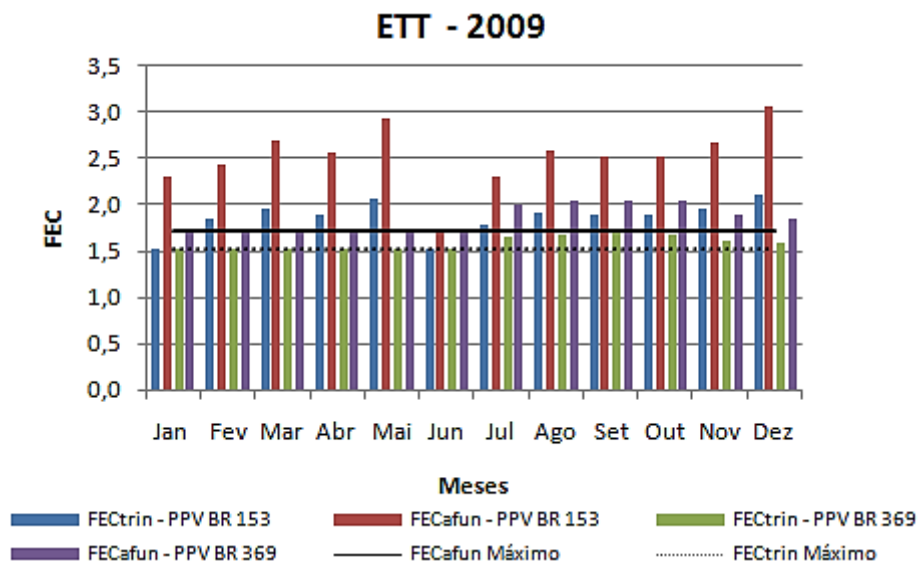


FIGURA 12: FEC empírico-mecânico mensal no ano de 2009 para o ETT.

## 6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos quanto ao tráfego de veículos comerciais com cargas acima dos limites, definidos pela legislação brasileira, circulantes no Lote 1 do Anel de Integração do Paraná nos anos de 2008 e 2009, pode-se concluir que o cenário do carregamento das vias é preocupante, já que os excessos de carga praticados pelos transportadores são muito frequentes, não havendo consciência por parte destes dos danos causados ao pavimento, levando a necessidade de intervenção para a recuperação do pavimento em tempos cada vez menores.

Sendo assim, a fiscalização deve ser intensificada e a autuação dos veículos precisa ser realizada com frequência para que o excesso de carga seja inibido.

Os resultados encontrados demonstram que há necessidade de estudos sobre a forma que está sendo feita a fiscalização de cargas no Brasil. Atualmente não há nenhuma intensificação das operações nos meses críticos do ano. Para maior aprofundamento deste estudo outros postos de pesagem pertencentes ao Anel de Integração do Paraná deverão ser analisados e os resultados comparados entre si para uma melhor caracterização deste cenário no Estado.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBANO, J. F. **Efeitos dos Excessos de Carga sobre a durabilidade dos pavimentos**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

AASHTO - American Association of State Highways and Transportation Officials. *Guide for Design of Pavement Structures*, 1986.

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**. Brasília DF, 24set. 1997.

CAREY JR., W. N.; IRICK, P. E. The Pavement Serviceability - performance concept. *HRB Bulletin*, n. 250, p. 40-58, 1960

CONTRAN. Resolução nº 210/06 de 13/11/2006. **Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres e dá outras providências**. Brasília, 2006. 7p.

CONTRAN. Resolução nº 211/06 de 13/11/2006. **Requisitos necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga – CVC, a que se referem aos arts. 97, 99 e 314 do Código de Trânsito Brasileiro**. Brasília, 2006. 7p.

CONTRAN. Resolução nº 430/13 de 29/01/2013. **Dispõe sobre normas de atuação a serem adotadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes -DNIT e o Departamento de Polícia Rodoviária Federal - DPRF na fiscalização do trânsito nas rodovias federais**. Brasília, 2013. 2p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2013**. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Paginas/index.aspx>>. Acesso em: 14 de julho de 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Relatório Gerencial: Pesquisa CNT de Rodovias 2013**. 17ª Edição, Brasília, 2013b.

CONTROLADORIA GERAL DA UNIÃO – CGU. **Relatório de Avaliação da Execução de Programas de Governo n.º 17: Operação do Sistema de Pesagem de Veículos**. Brasília, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTUTURA DE TRANSPORTE - DNIT. Diretoria de Infraestrutura Rodoviária. Coordenação Geral de Operações Rodoviárias. **Quadro de Fabricantes de Veículos**. Abril, 2012.

FERNANDES JUNIOR, J. L. **Investigação dos Efeitos das Solicitações do Tráfego sobre o Desempenho dos Pavimentos**. 1995. 293 f. Tese (Doutorado) – Pós-graduação em Engenharia Civil – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 1994.

FERNANDES JUNIOR, J. L.; PAES, J. C.; PEREIRA, P. A. A. Avaliação dos efeitos das solicitações do tráfego sobre o desempenho de pavimentos flexíveis portugueses e brasileiros. **Revista Pavimentação**, Ano II, n. 5, pp. 28-38. Associação Brasileira de Pavimentação – ABPv, Rio de Janeiro, 2007.

FONTENELE, H. B. **Representação do tráfego de veículos rodoviários de carga através de espectros de carga por eixo e seu efeito no desempenho dos pavimentos**. 2011. 287 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

FONTENELE, H. B.; FERNANDES JUNIOR, J. L. Modelos Probabilísticos para Espectros de Carga por Eixo e seus Efeitos no Dimensionamento e Desempenho de Pavimentos Flexíveis. **Revista Pavimentação**, Ano VIII, n. 29, pp. 28-41. Associação Brasileira de Pavimentação – ABPv, Rio de Janeiro, 2013.

HICKS, R. G.; MCHATTIE, P. E. **Use of Layered Theory in the Design and Evaluation of Pavement System**. State of Alaska Department of Transportation and Public Facilities. Report n. FHWA-AK-RD-83-8. 1982.

SILVA, T. O.; CARVALHO, C. A. B.; CALIJURI, M. L.; MACHADO, C. C. Influência do tráfego de veículos comerciais em rodovias vicinais não pavimentadas: estudo de caso aplicado à VCS 346, Viçosa, MG. **Revista Árvore**, n. 3, vol. 35, pp. 539-545, Viçosa - MG, 2011.