

Análise comparativa do efeito da sobrecarga dos veículos comerciais de carga: método empírico *versus* método empírico-mecanístico

Thaís Ferrari Réus¹, Carlos Prado da Silva Júnior², Heliana Barbosa Fontenele³

*Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Engenharia Civil
Rodovia Celso Garcia Cid – PR 445-Km 380, Londrina – PR, Brasil*

RESUMO

A utilização de equações empíricas para o dimensionamento dos pavimentos flexíveis ainda é muito comum, apesar da tendência de substituição destas por modelos empíricos-mecanicistas que objetivam a melhor representação das condições reais de campo. Dentro desse contexto, o presente trabalho pretende avaliar, comparativamente, um método empírico e um empírico-mecanístico para a análise do efeito das sobrecargas de veículos comerciais no desempenho de um pavimento hipotético. Para tanto foram determinados os Fatores Equivalência de Carga (FEC), a partir de solicitações de tráfego médias oriundas dos postos de pesagens das BR-153 e BR-369, sendo que para o método empírico-mecanístico foram consideradas as respostas estruturais referentes aos defeitos de trinca por fadiga e afundamento nas trilhas de roda. Por fim, pode-se perceber que existe uma diferença significativa na utilização dos dois métodos, sendo que pode ocorrer um aumento de até 1000% para o FEC calculado pelo método empírico quando comparado ao determinado pelo empírico-mecanístico.

ABSTRACT

The use of empirical equations for design of flexible pavements are very common yet, despite of substitution trend of these equations by empirical-mechanistic models that aim to better representation of real conditions. Within this context, this work aims to comparatively evaluate an empirical method and empirical-mechanistic to analyze overloading effects on commercial vehicles in the performance of hypothetical pavement. Therefore, were determined the Factors Load Equivalence (FEC), from medium traffic request coming from the weighing stations of BR-153 and BR-369, and for the empirical-mechanistic method were considered the structural responses concerning defects fatigue crack and rutting. Finally, one can realize that there is a significant difference amongst the use of the two methods, and may be increased up 1000% for the FEC calculated by empirical method in comparison with the one determined by empirical-mechanistic.

¹ Mestranda em Engenharia de Edificações e Saneamento (thaisferrarireus@gmail.com)

² Professor Dr. Departamento de Construção Civil (cprado@uel.br)

³ Professora Dr. Departamento de Construção Civil (heliana@uel.br)

1. INTRODUÇÃO

A partir da observação que o efeito causado por veículos diferentes em estruturas idênticas de pavimentos fez com que surgisse o conceito de equivalência de cargas. Os fatores de equivalência de cargas (FEC) permitem a conversão de aplicações de diferentes solicitações em um número equivalente de solicitações do eixo padrão. Isto possibilita o dimensionamento e a previsão do desempenho de pavimentos para o tráfego, considerando toda a gama de veículos que o compõe.

O eixo padrão foi definido por estudos desenvolvidos pela AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) Road Test no final dos anos 1950. Trata-se de um eixo simples com rodado duplo com carga de 82 kN (18.000 lb) e 552 kPa (80 psi) de pressão de inflação dos pneus.

O FEC tem sido muito utilizado como medida do desempenho estrutural de pavimentos, para averiguar os efeitos que os excessos de carga por eixo causam em sua estrutura (Fontelene, Zanuncio e Silva Júnior, 2011; Fernandes Júnior, 2007; Albano, 2005).

Para a determinação do FEC, atualmente, são utilizados dois métodos: o empírico, que faz uso de correlações, e o empírico-mecânico, que leva em consideração a resposta estrutural do pavimento.

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.

Devido ao interesse de se aproximar as condições de projeto à realidade de campo, estudos tem buscado 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, tem-se uma tendência da substituição dos métodos empíricos por empírico-mecânicos, que relacionam o empirismo com ensaios experimentais de campo ou laboratório, levando em consideração as respostas estruturais do pavimento.

A análise empírico-mecânica parte de uma estrutura pré-dimensionada empiricamente, para qual, com auxílio de recursos computacionais, são determinadas as respostas estruturais e, através delas, são calculados os danos acumulados durante a vida útil da via. Isso permite estimar e comparar o comportamento do pavimento com os critérios de desempenho estabelecidos para o projeto. Caso estes não sejam satisfeitos, faz-se a variação dos parâmetros de projeto definidos, como as espessuras das camadas e as propriedades dos materiais (módulo de elasticidade, coeficiente de poisson, etc.), até que a condição ideal seja obtida (Fernandes Júnior, Pais e Pereira, 2007; Fontenele, 2011).

A evolução da deterioração dos pavimentos torna-se muito acentuada devido ao excesso de peso comprometendo, em curto período de tempo, o conforto e a segurança do tráfego e aumentando os custos de operação dos veículos. Ressaltando-se assim, a importância da fiscalização para inibir esses excessos (Fernandes Júnior, 1994; DNIT, 2006).

O peso bruto total de um veículo não está diretamente relacionado ao desempenho de um pavimento, sendo que a carga por eixo que está interligada com a deterioração do pavimento flexível. Ou seja, veículos pesados podem ser poucos danosos, desde que sua carga total seja distribuída num número suficiente de eixos (Fernandes Júnior, Pais e Pereira, 2007).

A carga por eixo e a deterioração do pavimento obedecem a uma relação exponencial averiguada na década de 50 por testes desenvolvidos pela AASTHO. O valor para o expoente encontrado foi de aproximadamente 4, o que levou esta relação a ser conhecida como a “lei da quarta potência”. Mas independentemente do valor do expoente, que pode assumir valores de

3 a 6, é o fato de que há aumentos significativos aos danos causados no pavimento quando se tem acréscimos de carga nos eixos (Fernandes Júnior, Paes e Pereira, 2007 e Peterlini, 2006).

Fontelene (2011) observou que no PPV do km 28 da Rodovia dos Imigrantes (SP-160), cerca de 20 a 50% dos eixos simples de rodas simples (ESRS) estavam com excesso de peso, nos eixos simples de rodas duplas (ESRD) os eixos acima do limite foram de 70 a 80%. Para os eixos tandem duplos (ETD) foram observados 20 a 40% dos eixos acima do limite máximo permitido e para os eixos tandem triplos (ETT) 40% apresentaram excessos.

Fontenele, Zanuncio e Silva Júnior (2011) verificaram em seu trabalho que o excesso de 1,0 t no peso por eixo simples, por tandem duplo e por tandem triplo gera, respectivamente, um aumento de mais de 80%, 35% e 25% do FEC empírico, ocasionando a degradação acelerada do pavimento e intervenções antes do tempo previsto em projeto.

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. Nas mesmas condições para um pavimento delgado, porém com uma pressão de 689 kPa, a redução foi de 67,3%.

Ainda segundo mesmo autor, através da determinação do FEC empírico mecanístico com base nas respostas estruturais 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.

O efeito no desempenho do pavimento quanto a variação do volume diário médio anual de tráfego (VDMA) foi estudado por Ahammed et al. (2011), Schwartz et al. (2013) e Orobio e Zaniewski (2013). Os autores utilizaram o método empírico-mecanístico da AASHTO e constataram que a variação do VDMA afeta o desempenho do pavimento quanto ao surgimento de deformações permanentes e das trincas do tipo bottom-up e do IRI.

Além das cargas por eixo e do VDMA, a distribuição das classes de veículos na via também mostrou-se significativa para o desempenho do pavimento. Segundo Mai et al. (2014) houve um aumento de 2,8 cm da espessura da camada intermediária do pavimento para vias de alto tráfego, quando utilizada a distribuição de classes de veículos local, comparada a com a estrutura dimensionada com a distribuição de classes de veículos nacional.

Outro fator importante é a pressão de enchimento dos pneus, que influi diretamente na vida útil do pavimento. No Brasil a pressão média de enchimento utilizada nos pneus é de 827 kPa (120 psi), porém o uso de pressões superiores a 703 kPa (100 psi) causam grandes preocupações quanto ao nível de deterioração causado ao pavimento (Fernandes Júnior, Paes e Pererira, 2007).

Com base nessa afirmativa, em seu estudo Fontenele e Fernandes Júnior (2014) conclui que a vida prevista do pavimento, quando a pressão de enchimento dos pneus é de 827 kPa (120 psi), reduz cerca de 50% e 60% quanto às deformações nas trilhas de roda totais e apenas no revestimento, respectivamente. Com relação às trincas por fadiga a vida útil reduz em 24%.

Perante o apresentado, este trabalho tem o objetivo de realizar uma análise comparativa entre o método empírico e o empírico-mecanístico quanto ao efeito do excesso de carga dos veículos comerciais, com uma pressão de enchimento de pneus de 827 kPa, no desempenho de um pavimento flexível por meio da determinação do FEC.

2. MATERIAIS E MÉTODO

Para o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados dados de dois postos de pesagem de veículos (PPV) do lote 1 do anel de integração do Paraná localizados no Km 10 da BR 369, no município de Cambará, e no Km 5 da BR 153, no município de Jacarezinho.

Os dados concedidos pela empresa concessionária foram: a quantidade de veículos pesados, dia a dia e mês a mês; a quantidade de veículos atuados 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. Estes dados são referentes à fiscalização realizada nos meses de janeiro a dezembro de 2008 e 2009.

O agrupamento das classes de veículos realizado pela concessionária difere daquela indicada por DNIT (2012), e é apresentada na 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	-

Os eixos considerados pela concessionária e seus respectivos limites de carga, de acordo com as Resoluções nº 210, de 13 de novembro de 2006 do CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito), 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.

A legislação brasileira, de acordo com a Resolução nº 439 de 5 de junho de 2014, tolera um excesso de 5% do peso bruto total.

Para a análise de desempenho do pavimento foi utilizada uma estrutura hipotética, a mesma utilizada por Fontenele (2011), que apresenta valores médios para a espessura das camadas, módulos de elasticidade e coeficiente de Poisson das rodovias brasileiras. Esta estrutura é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Características do pavimento hipotético

Camadas	Espessura (cm)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Coef. Poisson
1	12,50	4.137	0,30
2	20,00	414	0,40
3	25,00	207	0,40
Subleito	∞	69	0,45

O efeito do excesso de peso dos veículos no desempenho do pavimento foi verificado mediante a determinação do Fator de Equivalência de Carga (FEC) empírico e empírico-mecanísticos.

A determinação desse fator por meio do método empírico foi feito segundo as equações desenvolvidas pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE), apresentadas na Tabela 3 (DNIT, 2006).

Tabela 3 – Equações para determinação do FEC empírico

Tipos de eixo	Faixas de Carga (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 - 8	$FEC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	> 8	$FEC = 1,8329 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 - 11	$FEC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	> 11	$FEC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 - 18	$FEC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	> 18	$FEC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$
P = peso bruto total sobre o eixo		

Os pesos brutos totais sobre os eixos, considerados nos cálculos, foram as médias mensais das pesagens. Nos meses em que não houve operação das balanças considerou-se os limites estabelecidos pela legislação.

Para a análise empírico-mecânica o FEC foi determinado a partir das respostas estruturais do pavimento mediante as solicitações do tráfego, sendo que foram consideradas as deformações de tração na fibra inferior do revestimento ($\sigma_t,1$) e as de compressão no topo do subleito ($\sigma_v,1$), responsáveis, respectivamente, pelas trincas por fadiga do revestimento asfáltico e pelos afundamentos nas trilhas de rodas.

Essas respostas estruturais foram calculadas por meio do software ELSYM 5 versão 1.0 em suas localizações críticas: nos centros das superfícies de carregamento e nos pontos equidistantes a ela. Na Tabela 4 encontram-se as localizações das cargas e dos pontos de análise para cada tipo de eixo.

Tabela 4: 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

De acordo com Fernandes Júnior, Pais e Pereira (2007) a pressão de enchimento média

utilizada no Brasil é de 827 kPa (120 psi), que foi adotada pra a determinação das respostas estruturais deste 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 por eixo verificados nas balanças, sendo que para os meses em que não houve operação do posto de pesagem, adotou-se o limite máximo permitido pela legislação brasileira. 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. As respostas estruturais referentes ao eixo padrão são consideradas no trabalho como a solicitação padrão.

A partir das respostas estruturais determinadas para as médias mensais das pesagens ou dos limites legais, foram calculados os FEC empírico-mecanísticos por meio da eq. 1.

$$FEC = \left(\frac{\rho_i}{\rho_o} \right)^b \quad (1)$$

Onde:

ρ_i = Resposta estrutural correspondente à solicitação em análise;

ρ_o = 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.

Para o cálculo do FEC_{trincas} foi considerada a maior deformação de tração na fibra inferior do revestimento, entre as determinadas nas localizações críticas de análise, apresentadas na Tabela 4. Para o FEC_{trincas} o expoente b da eq. 1 foi igual a 3,291. Analogamente, para determinar o FEC_{fundamento} considerou-se a máxima deformação vertical de compressão no topo do subleito, com expoente b igual a 4. Sendo que esses expoentes são os mesmos utilizados por Fontenele e Fernandes Júnior (2014).

A avaliação do efeito do exesso de peso, tanto para o método empírico quanto para o empírico mecanístico, foi averiguada com a comparação dos resultados obtidos para as cargas de tráfego com os referentes limites máximos de carga permitidos pela legislação brasileira, sem considerar a tolerância.

3. RESULTADOS E DISCUSÕES

3.1. Fatores de Equivalência de Carga Empíricos

A partir das equações da Tabela 1 foram determinados os FECs para os limites máximos de carga permitidos pela legislação brasileira para cada tipo de eixo, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – FEC empíricos máximos por eixo

Eixo	ESRD	ETD	ETT
FEC _{máx}	3,27	8,55	8,33

Os FECs calculados para as médias dos pesos verificados mensalmente nos PPVs, para os anos de 2008 são apresentadas na Figura 1, sendo que nos meses em que não houve a operação das balanças considerou-se a carga máxima permitida pela legislação para o cálculo, sem considerar a tolerância.

Para o ano de 2008 observou-se que o FEC calculado com os dados de pesagem encontraram-se acima dos limites, em média, 162% para o ESRD, 60% para o ETD e 78% para o ETT no PPV da BR-153. No PPV da BR-369 em média o FEC para o ESRD está em 92% acima do limite, para o ETD 95% e o ETT 90%.

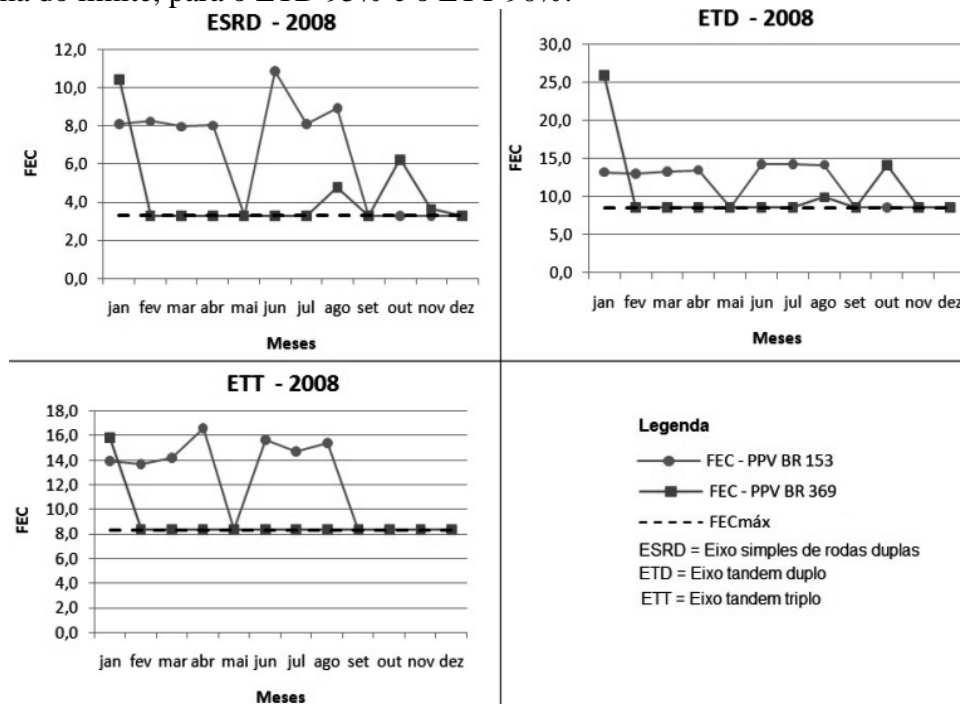


Figura 1 – FEC empíricos para o ano de 2008

Analogamente fez-se a determinação dos FEC para os dados de pesagem do ano de 2009, cujos resultados são apresentados na Figura 2, onde se pode perceber que o aumento do FEC com relação aos limites máximos para a BR-153 foi de 140% para o ESRD, 55% para o ETD e de 85% para o ETT. Para o PPV da BR-369 esse aumento foi de 83% para o ESRD, 100% para o ETD e 24% para o ETT.

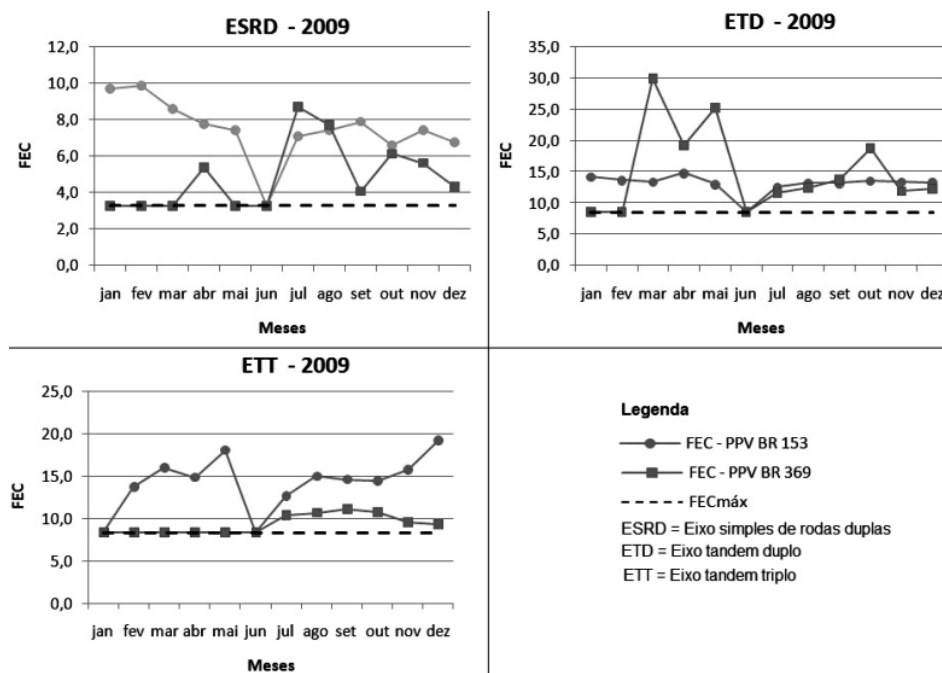


Figura 2 – FEC empíricos para o ano de 2009

Estes dados mostram que um pavimento dimensionado considerando os limites de cargas previstos na legislação brasileira teria sua estrutura subdimensionada, e quando submetido as solicitações reais de tráfego provavelmente apresentariam um fim precoce de sua vida útil.

3.2. Fatores de Equivalência de Cargas Empíricos-Mecanísticos

Com base nos resultados das análises estruturais do ELSYM5 calcularam-se os FECs empírico-mecanísticos. Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos para os limites máximos de carga por eixo permitidos pela legislação.

Tabela 6 – FEC empírico-mecanísticos máximos por eixo

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

A Figura 3 mostra os FECs calculados mês a mês para os postos de pesagem. 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 FECtrincas são cerca de 40% maiores que o FECmáx para o ESRD, 20% para o ETD e ETT. O FECafundamento apresentou-se cerca de 50% maior que o máximo para o ESRD e 25% para os ETD e ETT.

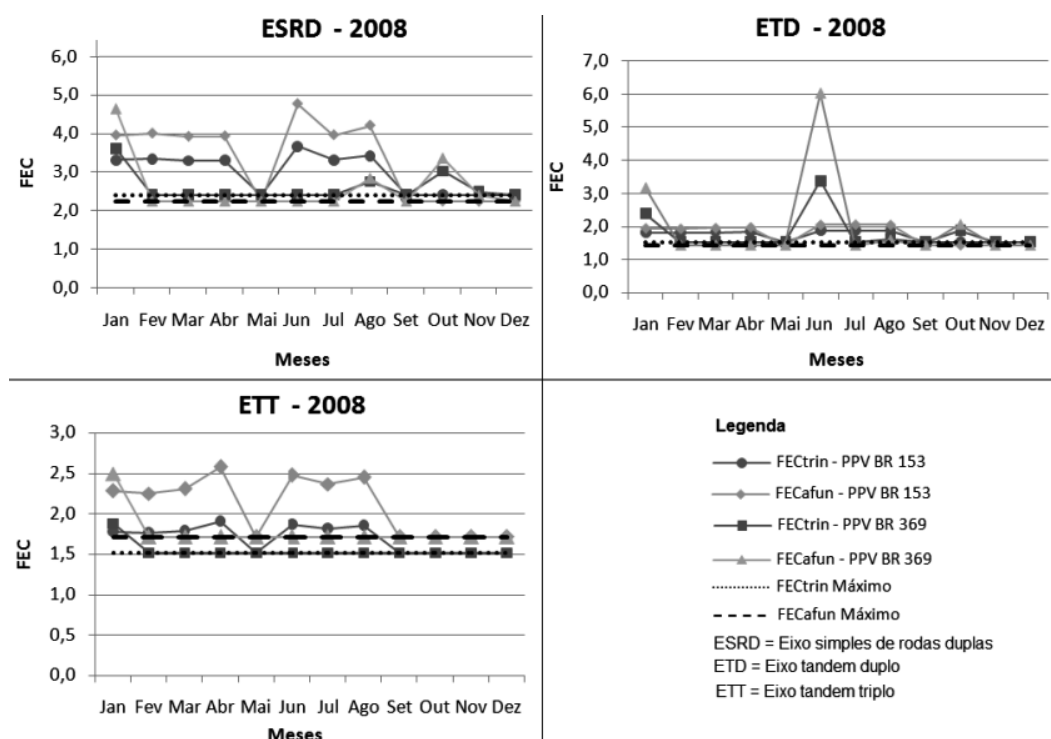


Figura 3 – FEC empírico-mecanísticos para o ano de 2008

Na Figura 4 pode-se verificar a distribuição dos FEC calculadas ao longo dos meses para o ano de 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.

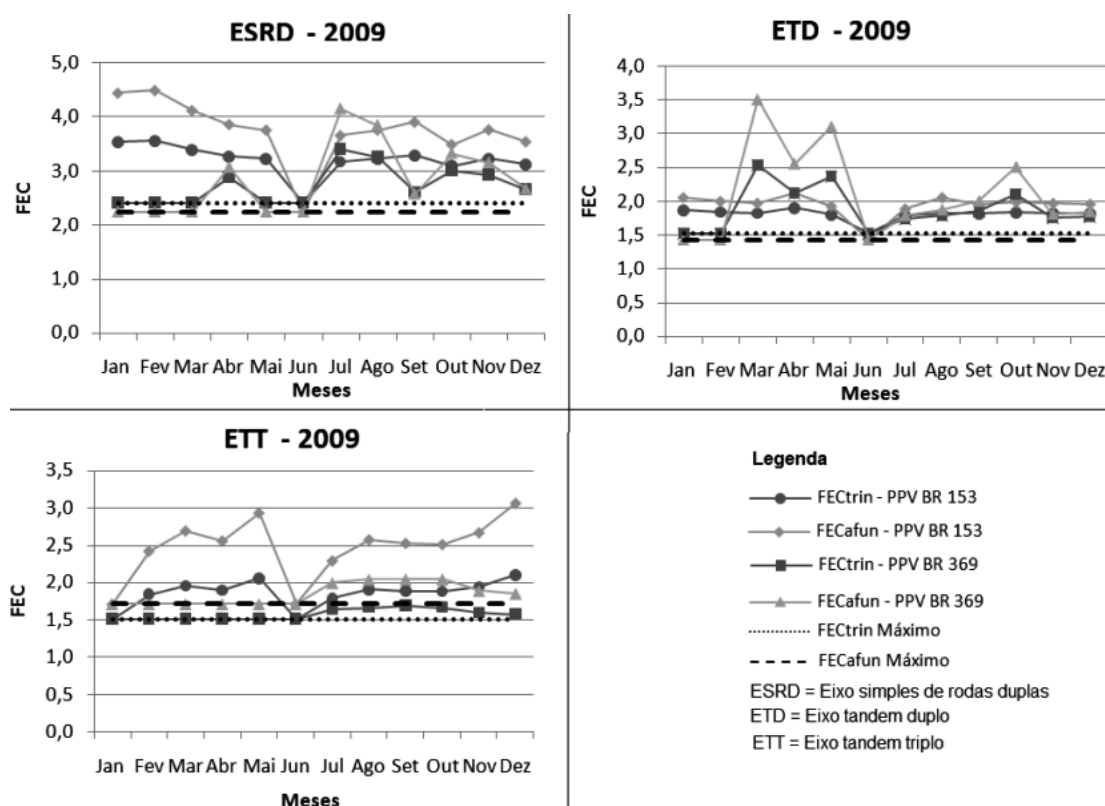


Figura 4 – FEC empírico-mecanísticos para o ano de 2009

Tanto para o ano de 2008 quanto para 2009 observou-se que os FECafundamento apresentaram-se superiores aos FECtrinca em cerca de 25%. Além disto, também é possível observar que não há representatividade do tráfego quando são utilizados os limites de carga da legislação para o dimensionamento do pavimento, uma vez que o FEC calculado com a média das pesagens realizadas foi superior.

3.3. FEC Empírico x FEC Empírico-Mecanístico

Para comparar neste trabalho a utilização dos dois métodos para a previsão de desempenho de um pavimento flexível fez-se uma análise estatística dos dados, utilizando como ferramenta de apoio o programa BioEstat 5.4.

Inicialmente verificou-se que os dados obedecem a distribuição normal de probabilidades por meio do teste de D'Agostino, indicado para pequenas amostras, com um nível de decisão de 1%. Sendo que todas as amostras apresentaram normalidade.

Em seguida, para verificar se existem diferenças significativas, utilizou-se o teste t para amostras pareadas, testadas com um intervalo de confiança de 99%. As hipóteses testadas foram:

- $H_0: \mu_{\text{empírico}} - \mu_{\text{empírico-mecanístico}} = 0$
- $H_1: \mu_{\text{empírico}} - \mu_{\text{empírico-mecanístico}} \neq 0$

Onde: H_0 é a hipótese nula; H_1 é a hipótese alternativa; e μ é a média.

A partir da análise realizada no BioEstat 5.4 obtiveram-se os p-valores apresentados na tabela 7. Uma vez que todos os p-valores são menores que 0,01 rejeita-se a hipótese nula, logo existem diferenças significativas nos resultados encontrados pela aplicação do método empírico e empírico-mecanístico.

A Figura 5 mostra o aumento do FEC empírico com relação ao empírico mecanístico para o ano de 2008, que chegou em até 980% para o ano de 2008. Em média este aumento no PPV da BR-153, quando comparado com o FECTrincas, para o ESRD foi de 160%, para o ETD foi 657% e para o ETT foi de 650%. Na BR-369 o aumento foi de 81% para o ESRD, 615% para o ETD e 500% para o ETT. Ressaltando que para este cálculo foram considerados apenas os FEC dos meses em que houve operação da balança.

Quando comparado com o FECafundamento o aumento averiguado na BR-153 para o ESRD foi de 108%, para o ETD de 589% e para o ETT de 478%. Na BR-369 verificou-se 70% de aumento do FEC para o ESRD, 564% para o ETD e 410% para o ETT.

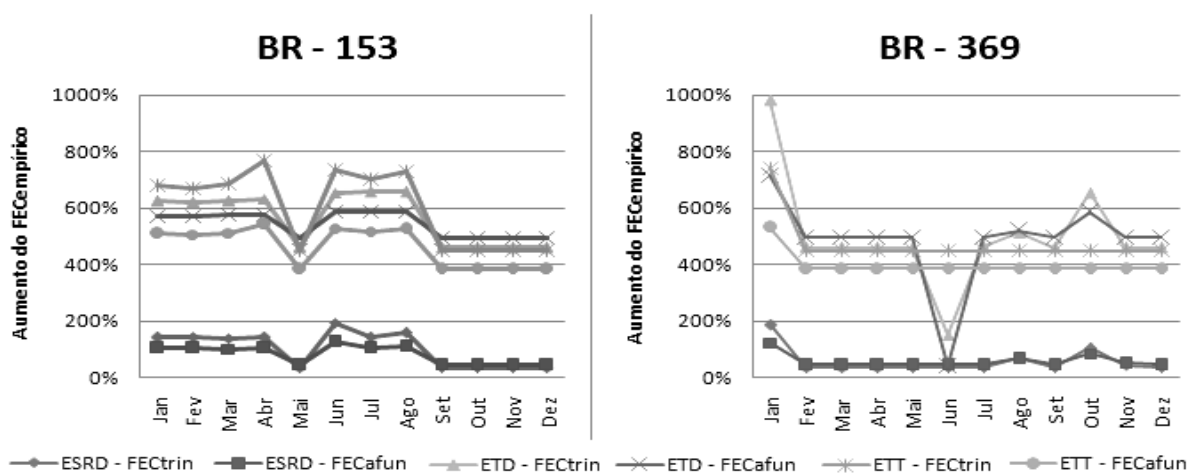


Figura 5 – Aumento do FEC empírico com relação ao empírico-mecanístico para 2008

Para o ano de 2009 o aumento do FEC empírico com relação ao empírico-mecanístico chegou a 1070%, conforme é apresentado na Figura 6. Para os dados do PPV da BR-153 o aumento relativo com relação ao FECTrincas para o ESRD foi de 140%, para o ETD de 630% e para o ETT de 675%. Para a BR-369 constatou-se 85% de aumento para o ESRD, 737% para o ETD e 500% para o ETT.

Com relação ao FECafundamentos para a BR-153 verificou-se 100% de aumento para o ESRD, 575% para o ETD e 476% para o ETT. Na BR-369 esse aumento foi de 73% para o ESRD, 618% para o ETD e 410% para o ETT.

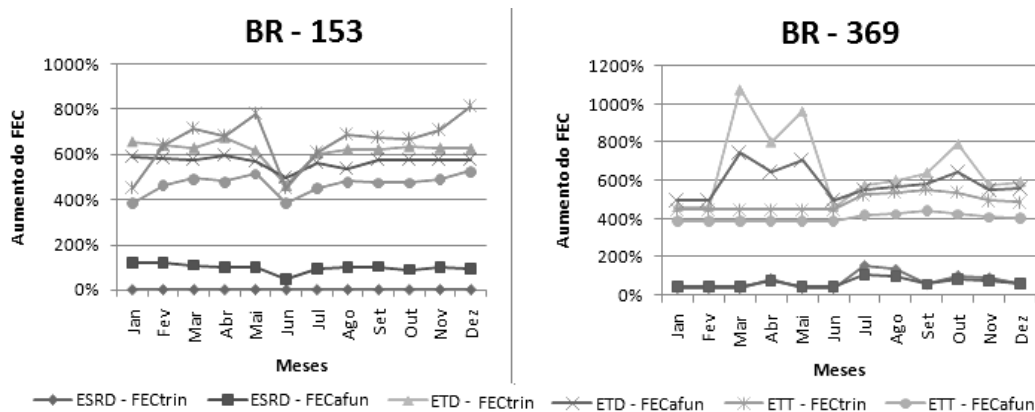


Figura 6 – Aumento do FEC empírico com relação ao empírico-mecanístico para 2009

O FEC empírico pode ser relacionado com o empírico-mecanístico por meio de uma equação potencial, conforme as equações de ajuste da Figura 7. Uma vez que o número equivalente de solicitações ao eixo padrão, utilizado no dimensionamento das espessuras das camadas do pavimento, é diretamente proporcional ao fator de equivalência de carga pode-se afirmar que ocorrerá uma redução das espessuras das camadas para suportar as solicitações do tráfego, em um pavimento dimensionado por meio do método empírico-mecanístico.

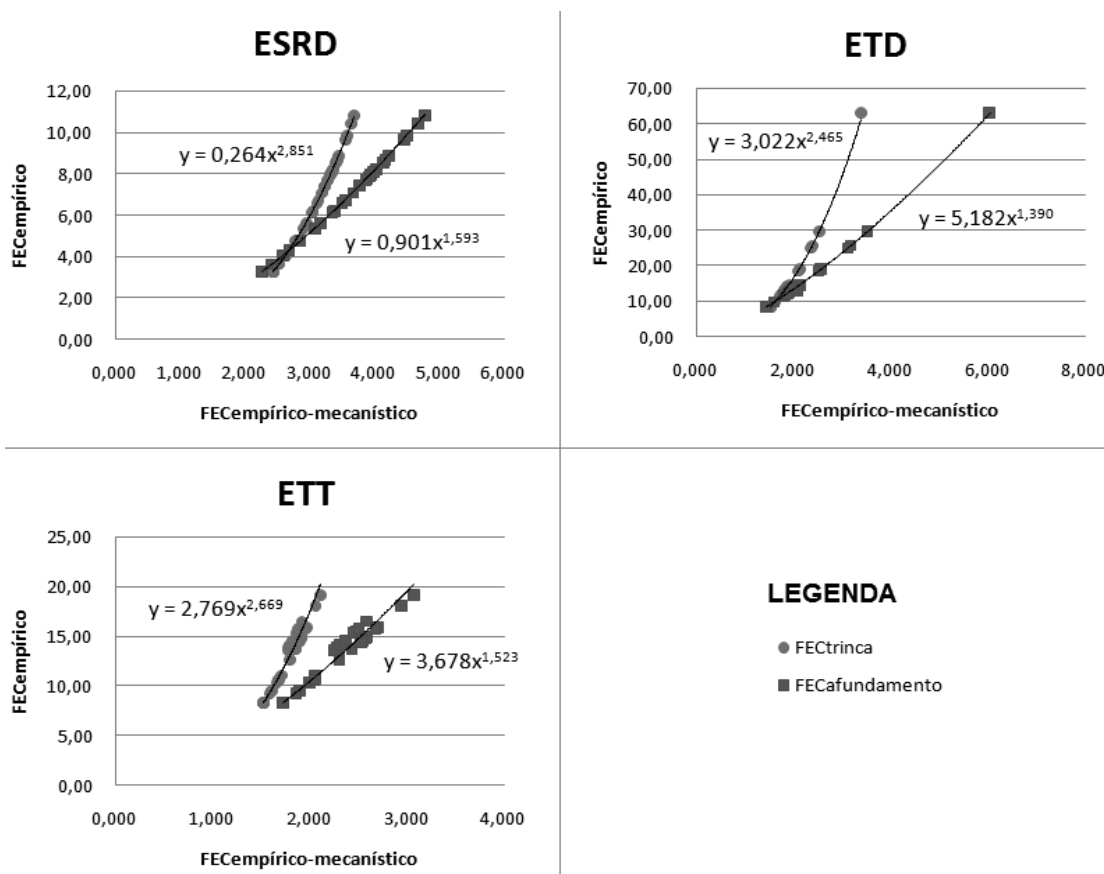


Figura 7 – Relação entre o FEC empírico e o empírico-mecanístico

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os limites de carga permitidos pela legislação brasileira não traduzem a realidade dos carregamentos aos quais os pavimentos estão submetidos, uma vez que os excessos de carga são averiguados com frequência. Mesmo com a operação irregular dos postos de pesagem utilizados neste estudo, pode-se concluir que existe um efeito danoso considerável do sobrepeso dos veículos na vida útil do pavimento.

Esse fato que ressalta a necessidade de mudança dos métodos de dimensionamento utilizados atualmente, principalmente quanto a forma de consideração do tráfego circulante, bem como a necessidade de controle de cargas, tanto para autuações, a fim de inibir esta prática, quanto para que seja possível traçar um panorama do carregamento nas vias, possibilitando, por exemplo, a elaboração de espectros de carga.

Com relação aos métodos empírico e empírico-mecanístico, averiguou-se diferenças

significativas quanto aos resultados obtidos em cada método, concluindo-se que o método empírico-mecanístico apresenta-se uma alternativa viável ao dimensionamento, uma vez que a redução do FEC chega a 1000%, quando comparado com o empírico. Isto leva a um pavimento com camadas de espessura menor e com melhor aproveitamento do desempenho dos materiais, consequentemente reduzindo o consumo de matéria prima e o impacto ambiental gerado pela construção de uma estrada.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária pelo auxílio financeiro à pesquisa (Chamada 14/2011 - Protocolo nº 24685) e ao CNPQ pela bolsa concedida.

REFERÊNCIAS

Ahammed, M. Alauddin; Kass, Said; Hilderman, Stan; and TANG, William K. S. 2011 Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada. Transportation successes: let's build on them. 2011 Congress et Exhibition de l'Association des Transports du Canada. Les Succes des Transports: Une Tremplin vers l'Avenir. 2011.

Albano, J. F. Efeitos dos Excessos de Carga sobre a durabilidade dos pavimentos. 2005. 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.

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 439/14 de 05/06/2014. Altera os artigos 5º e 9º da Resolução nº 258, de 30 de novembro de 2007, do Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN. Brasília, 2006. 7p.

Departamento Nacional De Infraestrutura De Transporte - DNIT. Diretoria de Infraestrutura Rodoviária. Coordenação Geral de Operações Rodoviárias. Quadro de Fabricantes de Veículos. Abril, 2012.

Departamento Nacional De Estradas De Rodagem - DNER. Diretoria de Desenvolvimento tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. Manual de Estudos de Tráfego. Rio de Janeiro, 2006. 384p (IPR. pub., 723).

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.

Fernandes Junior, J. L. Investigação dos Efeitos das Solicitações do Tráfego sobre o Desempenho de 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.

Fontenele, H. B.; Fernandes Júnior, J. L. O Efeito da Caracterização do Tráfego no Desempenho do pavimento Flexível. Ciência & Engenharia, 2014, 23.1: p. 09-16.

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.; Zanuncio, C. E. M.; Da Silva Junior, C. A. P.; O excesso de peso nos veículos rodoviários de carga e seu efeito. Teoria e Prática na Engenharia Civil, Novembro de 2011, n. 18, pp. 95-103. Editora, CIDADE, 2011.

Mai, Derong; Turochy, Rod E.; Timm, David H. Sensitivity of Flexible Pavement Thickness to Traffic Factors in Mechanistic-Empirical Pavement Design. Journal of Transportation Engineering, v. 140, n. 2, p. 04013005, 2014.

Peterlini, P. S. Cargas por Eixo e Fatores de Veículos obtidos em Rodovias Federais Concessionadas do Estado do Paraná. Florianópolis, SC, 2006. xxi, 192 p. Ilust.

Orobio, Armando; Zaniewski, John P. Sensitivity of the mechanistic-empirical pavement design guide to traffic inputs: a space-filling approach. Road Materials and Pavement Design, v. 14, n. 3, p. 735-746, 2013.

Schwartz, Charles W.; LI, Rui; Ceylan, Halil; Kim, Sunghwan; Gopalakrishnan, Kasthurirangan. Global Sensitivity Analysis of mechanistic-Empirical Performance Predictions for Flexible Pavements. Transportation Research Board Annual Meeting. 2013.