

IMPACTO FINANCEIRO DO EXCESSO DE CARGA EM RODOVIA CONCEDIDA NO BRASIL

Marcelino Aurélio Vieira da Silva¹; Filipe Batista Ribeiro²; Filipe Almeida Corrêa do Nascimento³

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Bloco H, sala 111 Cidade Universitária, CEP 21.949-900, Rio de Janeiro, RJ , Brasil

email: aurelio@pet.coppe.ufrj.br, <http://www.pet.coppe.ufrj.br/>

² Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Bloco H, sala 111 Cidade Universitária, CEP 21.949-900, Rio de Janeiro, RJ , Brasil

email: filiperibeiro@pet.coppe.ufrj.br, <http://www.pet.coppe.ufrj.br/>

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Bloco H, sala 111 Cidade Universitária, CEP 21.949-900, Rio de Janeiro, RJ , Brasil

email: filipeacn@pet.coppe.ufrj.br, <http://www.pet.coppe.ufrj.br/>

Sumário

O alto custo das rodovias brasileiras concessionadas, aliado ao mal estado de conservação das pistas se mostra como cenário incoerente com o esperado. Diante disso, esse trabalho avaliou o impacto do excesso de carga em uma rodovia concessionada comparando as condições iniciais na época da assinatura do contrato e as variações de tolerância deliberadas pelo Concedente, assim como seu impacto financeiro. Finalmente, como resultado, foi possível notar a necessidade de maior investimento do que o previsto inicialmente por parte da Concessionária, resultando no repasse dos custos para os usuários da rodovia.

Palavras-chave: concessão rodoviária; sobrecarga; pavimento; impacto financeiro.

1 INTRODUÇÃO

O transporte de cargas e pessoas no Brasil é realizado, principalmente, através do modo rodoviário [1]. Sendo um país de dimensões continentais, buscou nas concessões de algumas rodovias a forma de otimizar os investimentos dos recursos públicos [2], objetivando oferecer melhores serviços aos usuários das vias. Entretanto, ao longo dos anos, o que se percebeu foi notadamente o aumento do excesso de cargas, e a conseqüente elevação dos valores de tolerância por parte do governo [3]. Essa decisão impacta diretamente na vida útil do pavimento, uma vez que ocorre maior desgaste do pavimento em relação ao previsto no projeto [4]. Conseqüentemente, os valores de investimento para manutenção da rodovia são maiores que o previsto na definição da tarifa de pedágio (portagem), sendo então esses custos repassados para os usuários da via.

O impacto ocasionado pelo excesso de carga tem sido objeto de estudo em diversos países. No Paquistão, um estudo desenvolvido em [5] avaliando a influência da sobrecarga, da espessura do pavimento e do módulo de reação do subleito no fator de equivalência, descreve que a sobrecarga potencializa significativamente o aumento da degradação do pavimento e recomenda que seja utilizado o eixo de carga legal, como preconizado pela autoridade nacional de rodovias. Já na China, um estudo em [6] avaliou o impacto da sobrecarga, tendo como foco as condições de tráfego, e concluiu que o aumento de veículos com sobrecarga contribui para a geração do congestionamento e, também, para uma maior duração deste. Como exemplo positivo, na África, um estudo em [7] avaliou a efetividade do custo na regulação da carga dos veículos. O resultado do estudo consistiu na mensuração da economia de € 25 em manutenção e reabilitação da via e custos com os usuários, para cada € 1 investido em adoção e fiscalização de limite de carga.

Sobre o Brasil, outro estudo em [8], avaliando o efeito da sobrecarga no ciclo de vida do pavimento rodoviário, tendo como referência os valores legais brasileiros, conclui que ocorre aumento do número N. Isto promove a

extrapolação do valor definido em projeto, ocasionando a ruptura por fadiga antes da vida útil projetada, e reduzindo o ciclo de vida do pavimento. Em [4], analisando os efeitos da variação da carga por eixo, pressão de inflação e tipo de pneu na resposta elástica de um pavimento, foi constatado que, no Brasil, os veículos pesados trafegavam com sobrecarga na ordem de 20%. Como resultado desse estudo, pôde-se observar que a pressão de inflação e o tipo de pneu também contribuíram para a deterioração do pavimento. Entretanto, o maior impacto é causado pela sobrecarga, representada por maiores deflexões recuperáveis no pavimento, uma vez que apresenta Fator de Equivalência de Carga (FEC) igual a 8.57, sendo 750% maior que o FEC unitário, equivalente aos níveis de fatores tomados como padrões. Finalmente, o estudo mensurou o impacto da redução da vida útil do pavimento em até 88%, com custo de R\$ 700.000,00 para o recapeamento prematuro para uma extensão de 20 km.

Diante disso, o presente estudo visa mensurar o impacto financeiro gerado pelas diversas tolerâncias concedidas pelo governo brasileiro no transporte de carga rodoviário. Decisões que, muitas vezes, são tomadas no âmbito político, mas sem a devida mensuração técnica e econômica. Logo, entende-se que calcular esses valores, através da mensuração do investimento, proporciona referência aos órgãos competentes na tomada de decisão estratégica sobre a manutenção dos valores de tolerância vigentes.

Acerca desse impacto, entende-se que o desgaste gerado pela sobrecarga resulta em custos com manutenção e reforço da estrutura, a fim de garantir a segurança e durabilidade da via. Entretanto, esta pesquisa restringiu-se a estudar o reforço do revestimento, uma vez que os dados dos segmentos homogêneos, tráfego e propriedades dos materiais permitiam uma análise própria para o dimensionamento mecanístico-empírico.

Essa maneira de dimensionamento mecanístico-empírica tornou-se, oficialmente, uma preocupação dos órgãos executivos nacionais relacionados à infraestrutura rodoviária no ano de 2014. Começou-se a desenvolver uma ferramenta para as análises de distribuições de tensão e deformação em todas as camadas do pavimento, considerando as peculiaridades dos materiais existentes em território brasileiro. As tensões e deformações limites foram estabelecidas por meio de modelos publicados em estudos científicos de diversos pesquisadores e as calibrações foram verificadas com o monitoramento de trechos rodoviários experimentais de várias regiões geográficas do Brasil. Assim, em 2018, nasceu o software MeDiNa (Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos), cujas bases e preceitos foram publicados em [9].

Finalmente, este estudo visa mensurar o impacto financeiro, aplicado no reforço do pavimento de uma rodovia concessionada, gerado pelas tolerâncias de sobrecarga na legislação brasileira, desde meados da década de 90 até o presente momento. Para o cálculo do número N, foram utilizadas três classes de Volume Médio Diário Anual (VMDA), com dados obtidos por meio de contagem volumétrica classificatória, e pela variação das cargas conforme as tolerâncias de sobrecarga chanceladas pela legislação brasileira. Acerca do dimensionamento, empregou-se o método mecanístico-empírico com uso de segmentos homogêneos e retroanálise. Por fim, tendo o sistema de custo do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) como referencial de preços (Sistema de Custos Rodoviários – SICRO), foram mensurados os valores de investimento, em custo por km, para reforço de pavimento.

Finda essa introdução, a seguir o estudo trata do detalhamento dos materiais e métodos aplicados na elaboração da investigação, o quais consistiram nos dados de tráfego, propriedades dos materiais e segmentos homogêneos do trecho em análise, assim como na ferramenta de dimensionamento de pavimento (MeDiNa) e, para precificação, a tabela de preços do SICRO. Por fim, na seção de resultados, são apresentados os valores obtidos e discutidos à luz da comparação com os cenários estabelecidos. As análises finais são descritas na seção de conclusões.

2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Para a realização do estudo de impacto financeiro em rodovias, esse trabalho adotou, como estudo de caso, uma rodovia concedida em meados da década de 1990, Classe I – Sistema Arterial Primário, conforme previsto em [10], provida de pista dupla, cada uma contendo duas faixas (vias) de rolamento e acostamento. Essa rodovia perfaz a ligação entre duas importantes capitais de Estados da Federação brasileira. O procedimento metodológico foi assim adotado: cálculo do número N, cálculo das espessuras de revestimento, cálculo orçamentário dos serviços de recapeamento e análise comparativa entre as seções estudadas. Essas etapas visam promover o cálculo dos diversos ciclos de vida útil do pavimento ao longo de mais de duas décadas, mantendo os custos de manutenção e reabilitação economicamente viáveis dentro de cada ciclo.

2.1 Cálculo do número equivalente de operações do eixo padrão rodoviário (número N)

O cálculo do número N foi realizado em dois cenários de carga: um composto pelas condições de carga dos veículos estabelecidas em Programa de Exploração de Rodovia (PER) oriundo da concessão da via, regulado pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT); e outro advindo das subseqüentes alterações das tolerâncias do excesso de carga estabelecidas nas Resoluções editadas pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) ao longo do final da década de 1990 até os dias atuais.

Para cada cenário de carga, utilizaram-se três seções da rodovia, cujos volumes médios diários anuais de tráfego (VMDA) foram coletados por meio de pesquisas volumétricas e classificatórias, desde a data da concessão até o ano de 2018, estratificados em dez categorias, a saber: Cat. 1 - Automóvel, caminhoneta e furgão; Cat. 2 - Caminhão leve, ônibus, caminhão-trator e furgão; Cat. 3 - Automóvel com semirreboque e caminhoneta com semirreboque; Cat. 4 - Caminhão, caminhão-trator com e sem semirreboque e ônibus; Cat. 5 - Automóvel com reboque e caminhoneta com reboque; Cat. 6 - Caminhão com reboque e caminhão-trator com semirreboque; Cat. 7 - Caminhão com reboque e caminhão-trator com semirreboque; Cat. 8 - Caminhão com reboque e caminhão-trator com semirreboque; Cat. 9 - Motocicleta, motoneta e bicicleta a motor; Cat. 10 - Veículo oficial e do Corpo Diplomático. As categorias dos veículos, de 1 a 9, são ilustradas pela Figura 1.










CATEGORIA	CLASSE
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	

Fig. 1. Categorias de veículos utilizadas nessa pesquisa

O cálculo do número N propriamente dito seguiu o método preconizado em [11], utilizando os VMDA levantados e estratificados, com os dois tipos de carregamento (PER e diversas resoluções CONTRAN editadas ao longo do tempo, doravante denominadas “Evolução CONTRAN”), seguido do cálculo dos fatores de equivalência de carga por eixo (FC) com formulações da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) [12].

De maneira resumida, o projeto de pesquisa foi desenhado conforme o Quadro 1. Pode-se verificar a construção de seis cálculos de números N, conforme o cenário de carga e o cenário de volume de tráfego.

Quadro 1. Números N calculados para cada cenário de carga e de volume de tráfego

		CENÁRIO DE CARGA	
		PER	EVOLUÇÃO CONTRAN
CENÁRIO DE VOLUME DE TRÁFEGO	ALTO	N_{11}	N_{12}
	MÉDIO	N_{21}	N_{22}
	BAIXO	N_{31}	N_{32}

2.2 Cálculo da espessura do revestimento da via

As três seções de volumes de tráfego diferentes são igualmente pavimentadas com camadas de revestimento asfáltico e base de macadame hidráulico. As espessuras dos revestimentos das seções rodoviárias, para cada cenário de carga, foram calculadas pelo método mecanístico-empírico adotado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), divulgado em [9], utilizando os modelos de comportamento mecânico dos

materiais do software MeDiNa v1.1.1.0 (Nov/2018) em período de projeto de 2018 a 2028. Os dados relativos aos módulos das camadas do pavimento foram obtidos por meio de retroanálise das bacias de deflexão, oriundas do ensaio deflectométrico com equipamento FWD (Falling Weight Deflectometer), realizado no ano de 2018. De posse de todos os valores dos módulos retroanalizados, procedeu-se a uma análise estatística, eliminando valores discrepantes por meio do teste de Grubbs e enquadrando um intervalo de confiança de 95% na distribuição de T-Student.

2.3 Cálculo orçamentário para os serviços de recapeamento asfáltico

Os valores referenciais dos serviços de pintura de ligação e de execução de Concreto asfáltico - faixa C - areia e brita comerciais foram retirados do Sistema de Custos Rodoviários (SICRO) do DNIT, do mês de março de 2018, sob os códigos de serviço 4011353 e 4011463, respectivamente, incluindo suas composições auxiliares. A condição sem desoneração da mão de obra foi adotada nessa pesquisa, bem como seu respectivo percentual de bonificação e despesas indiretas (BDI). Os valores dos insumos asfálticos (CAP 50/70 e RR-1C) foram retirados da tabela da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) do mesmo período do SICRO, acrescidos dos impostos e BDI diferenciado.

2.4 Análise comparativa das seções

Após a obtenção dos valores de espessuras para cada situação prevista no Quadro 1, foi possível realizar a comparação direta para a verificação da influência da alteração da carga nos três níveis de volume de tráfego. Os percentuais de acréscimo de investimento em termos de reforço do revestimento, em relação ao previsto no PER, puderam ser evidenciados por quilômetro de rodovia.

3 RESULTADOS

Após as análises de todos os segmentos homogêneos da rodovia em questão, foram explicitados três que possuam pavimentos dotados de mesmos materiais constituintes em suas camadas (revestimento, base, sub-base e subleito), porém volumes de tráfego diferentes, em consonância com o Quadro 1. As características desses segmentos, como espessuras e módulos retroanalizados, podem ser visualizados no Quadro 2.

Quadro 2. Características dos segmentos analisados

VOLUME DE TRÁFEGO	SEGMENTO	ESPESSURA (cm)		MÓDULOS MÍNIMOS (MPa)		VMDA 2018	% VEÍCULOS PESADOS
		REVESTIMENTO	BASE	REVESTIMENTO	BASE		
ALTO	28	15	20	2096	144	82466	34,05
MÉDIO	27	15	27	6149	429	54298	34,05
BAIXO	21	20	25	3774	443	11367	25,09

Com relação ao número N de passagens de eixo padrão na via, calculou-se as solicitações em consonância com os Cenários delimitados, alterando-se as condições de carga dos veículos (PER ou Evolução CONTRAN). Calculou-se, então, os Fatores de Carga para cada tipo de eixo (Simples com Roda Simples – SRS, Simples com Roda Dupla – SRD, Tandem Duplo – TD e Tandem Triplo – TT). Os resultados estão expressos no Quadro 3. Sabendo os tipos de eixo de cada veículo, com os dados calculados de Fator de Carga, foi possível agregar os Fatores de Veículo para cada tipo classificado e que utiliza a rodovia.

Para os cenários que possuem a carga de veículos do tipo “Evolução CONTRAN”, os valores de Fatores de Veículos foram utilizados dentro de seus respectivos tempos de vigência. Já nos cenários cujas cargas dos veículos foram classificadas como “PER”, apenas os Fatores de Veículo com a tolerância de 5% sobre o peso bruto foram utilizados, pois essa era a premissa nos cálculos evidenciados no Edital para a concessão da via.

Agregando os valores de VMDA, os Fatores de Veículo e as taxas de crescimento do tráfego previstas no Edital (1,5%), foram determinados os números N para cada Cenário. Os valores de VMDA utilizados no dimensionamento da via foram aqueles definidos no horizonte de 2018 a 2028. O Quadro 4 mostra os valores calculados para o citado período. Percebe-se um aumento de, aproximadamente, 23% apenas no número N, da

condição do PER para as mudanças na tolerância estabelecidas pelas resoluções CONTRAN, conforme visualizado na Figura 2.

Quadro 3. Fatores de carga para as condições de tolerâncias

TOLERÂNCIAS		SRS	SRD	TD	TT
COM 5%	Carga	6,300	10,500	17,850	26,775
	FC	0,3381	4,4632	11,171	12,209
COM 7,5%	Carga	6,450	10,750	18,275	27,413
	FC	0,372	5,171	12,710	13,922
COM 10%	Carga	6,600	11,000	18,700	28,050
	FC	0,4076	5,970	14,418	15,827

Quadro 4. Números N calculados para cada cenário

		CENÁRIO DE CARGA	
		PER	EVOLUÇÃO CONTRAN
CENÁRIO DE VOLUME DE TRÁFEGO	ALTO	6,24E+08	8,16E+08
	MÉDIO	5,97E+08	7,80E+08
	BAIXO	1,06E+08	1,38E+08

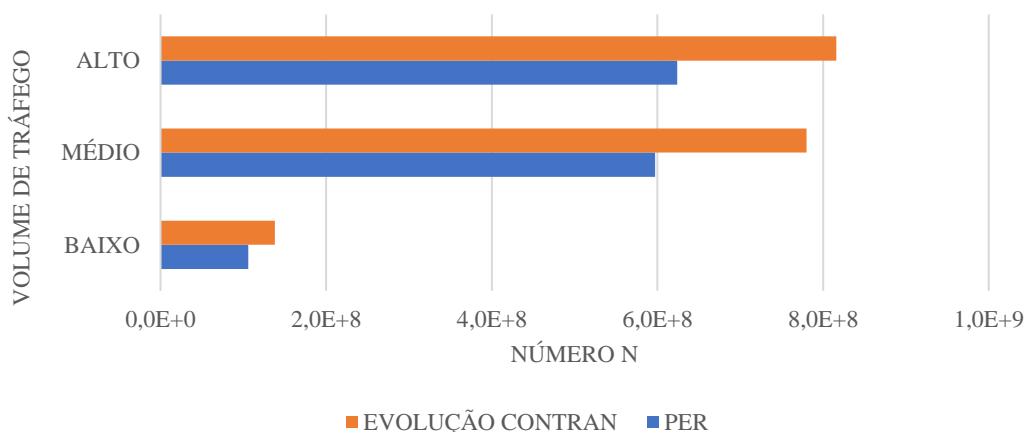


Fig. 2. Comparativo de número N entre condições de tráfego

Com os números N de cada cenário, utilizou-se o software MeDiNa para o cálculo mecanístico-empírico das espessuras de revestimento, com a inserção das características mecânicas do Quadro 2. Dessa forma, os volumes de reforço necessários ao revestimento existente foram calculados e inseridos no Quadro 5, por quilômetro de rodovia. Verifica-se que, para se adequar às novas solicitações impostas pelo carregamento da evolução CONTRAN, houve um aumento de volume de revestimento de 13%, 200% e 14% em relação ao cenário de carga PER. No caso do cenário de médio volume de tráfego, além do próprio aumento da carga, a excessiva rigidez do revestimento em incompatibilidade com as demais camadas do pavimento, em comparação aos outros cenários, fez com que houvesse a necessidade de um volume adicional dessa camada.

Diante das premissas analisadas, foram destacados, também, no Quadro 5, os custos para os Cenários de carga PER e de carga Evolução CONTRAN, por quilômetro de rodovia. Os valores de custos unitários para os serviços

de execução de concreto asfáltico e pintura de ligação foram calculados em R\$ 314,44 (tonelada) e R\$ 1,03 (metro quadrado). Verifica-se que o esforço adicional no pavimento em virtude dos sucessivos aumentos da tolerância de excesso de peso dos veículos traduz-se no valor superior em R\$ 218.052,86 (alto volume de tráfego), R\$ 708.671,81 (médio volume de tráfego) e R\$ 27.256,61 (baixo volume de tráfego), por quilômetro de rodovia, em relação ao cenário de carga prevista no PER.

Quadro 5. Volumes de reforço necessários para as seções

		EXISTENTE	REFORÇO	VOLUME ADICIONAL (m ³)	CUSTO ADICIONAL (R\$)
CARGA PER	ALTO	15,0	31,5	2.268,0	R\$ 1.717.166,30
	MÉDIO	15,0	6,5	468,0	R\$ 354.335,90
	BAIXO	20,0	3,5	252,0	R\$ 190.796,26
CARGA EVOLUÇÃO CONTRAN	ALTO	15,0	35,5	2.556,0	R\$ 1.935.219,17
	MÉDIO	15,0	19,5	1.404,0	R\$ 1.063.007,71
	BAIXO	20,0	4,0	288,0	R\$ 218.052,86

4 CONCLUSÕES

Diante dos cenários visualizados, conclui-se que as sucessivas alterações de tolerância de carga dos veículos por meio de resoluções governamentais podem causar prejuízos adicionais na ordem média de 13%. Esse percentual pode chegar a 200% em condições especiais da via, como foi observado na seção de médio volume de tráfego, detentora de excessiva rigidez da camada de revestimento existente, em contraponto às demais rigidezes das camadas inferiores.

Outro fator que exerceu influência sobre os volumes de reforço na rodovia foi a incompatibilidade de rigidezes entre a camada de revestimento e as demais. No método mecanístico-empírico, a distribuição de tensões em uma camada dotada de rigidez muito superior às demais dá-se de maneira concentrada. Tal fato eleva sobremaneira a diferença de tensões e promove a fadiga do revestimento asfáltico. Especificamente no estudo de caso, houve combinação desse efeito com as alternâncias de tolerância de excesso de carga na seção de médio volume de tráfego.

5 REFERÊNCIAS

1. Quadros, S. G. R.; Nassi, C. D. An evaluation on the criteria to prioritize transportation infrastructure investments in Brazil. *Transport Policy*. 2015
2. Ribeiro, D. C. *Análise das concessões comuns e parcerias público-privadas no setor rodoviário brasileiro*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. 2017.
3. Albano, J.F. *Efeitos dos excessos de carga sobre a durabilidade dos pavimentos*. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2005.
4. Albano, J. F. *Efeitos da variação da carga por eixo, pressão de inflação e tipo de pneus na resposta elástica de um pavimento*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1998
5. Raheel, M; Khan, R; Khan, A; Khan, M. T.; Ali, I; Alam, B; Wali, B. Impact of axle overload, asphalt pavement thickness and subgrade modulus on load equivalency factor using modified ESALs equation. *Civil & Environmental Engineering*. 2018.
6. Wang, X; Zao, P; Tao, Y. Evaluating Impacts of Overloaded Heavy Vehicles on Freeway Traffic Condition by a Novel Multi-Class Traffic Flow Model. *Sustainability*. 2018.
7. Martínez, A. J. T; Josa, S. O.; Magrinyá, F. Cost-effectiveness of enforcing axle-load regulations: The Douala-N'Djamena corridor in Sub-Saharan Africa. *Transportation Research Part A*. 2018.
8. Paiva, C.; Ferreira, A. Impact assessment in the pavement life cycle due to the overweight in the axle load of commercial vehicles. *4th International Conference on Road and Rail Infrastructure*. Croácia. 2016.

9. DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Execução de estudos e pesquisa para elaboração de método mecanístico - empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos*. Rio de Janeiro, 2018.
10. DNER. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *Manual de projeto geométrico de rodovias rurais*. Rio de Janeiro, 1999.
11. DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Manual de estudos de tráfego*. Rio de Janeiro, 2006.
12. AASHTO. American Association of State Highway and Transportation Officials. *Guidelines for traffic data programs*. Washington, D.C., 1992.