



## COMPARATIVO DOS EFEITOS DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTOS EM USUÁRIOS DE RODOVIAS NO BRASIL E NOS ESTADOS UNIDOS

Rosuel Krum Mathias de Assis

Anthony Gomes dos Santos

José Leomar Fernandes Jr.

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

### RESUMO

A irregularidade longitudinal de pavimentos exerce grande influência no consumo dos componentes dos veículos. O software HDM-4 apresenta modelos capazes de calcular o consumo desses componentes, bem como os custos de operação dos veículos decorrentes disso. Este trabalho teve por objetivo comparar simulações realizadas no HDM-4, utilizando parâmetros calibrados para a realidade dos Estados Unidos, com simulações realizadas em rodovias no estado de São Paulo (Brasil), utilizando os parâmetros de calibração padrão do software. Para tanto, foram comparados os resultados das simulações dos Estados Unidos e do Brasil, sob as seguintes condições: variação no consumo de combustível, pneus e nos custos de reparo e manutenção dos veículos, entre níveis de irregularidade de 2 e 6 m/km, para a velocidade de 88 km/h, nos caminhões articulados, caminhões leves e carros médios. Os resultados mostraram que as reduções no consumo de combustível e pneus foram compatíveis em ambos os países, enquanto que a variação nos custos de reparos e manutenção apresentou grande discrepância entre os dois estudos. Como o estudo dos Estados Unidos desenvolveu um modelo próprio para a determinação dos custos deste componente, sugere-se que sejam realizados estudos complementares a fim de avaliar a adequabilidade do modelo padrão do HDM-4 de reparos e manutenção à realidade brasileira.

### ABSTRACT

Pavement longitudinal roughness exerts a great influence on the consumption of the components of the vehicles. The HDM-4 software features models that can calculate the consumption of these components as well as the operating costs of vehicles. The objective of this work was to compare simulations performed in HDM-4, using calibrated parameters for the United States, with simulations performed on highways in the state of São Paulo (Brazil), using the standard software calibration parameters. To do so, the results of the simulations of the United States and Brazil were compared under the following conditions: variation in fuel consumption, tire wear and vehicle repair and maintenance costs, between roughness levels of 2 and 6 m / km, using the speed of 88 km / h, in articulated trucks, light trucks and medium cars. The results showed that the reductions in fuel consumption and tire wear were compatible in both countries, while the variation in the costs of repairs and maintenance presented a great discrepancy between the two studies. Since the United States study developed a model for determining the costs of this component, it is suggested that complementary studies be carried out to evaluate the suitability of the standard HDM-4 model for repairs and maintenance to the Brazilian reality.

### 1. INTRODUÇÃO

A irregularidade longitudinal de pavimentos rodoviários, medida através do Índice de Irregularidade Internacional (*International Roughness Index*, IRI), é a maior responsável pelos efeitos do pavimento nos componentes mecânicos dos veículos em rodovias. Os resultados do *AASHO Road Test*, publicados em 1962, indicam que a irregularidade contribui em 95% no valor de serventia do pavimento.

O aumento da irregularidade longitudinal provoca, na maioria das vezes, um aumento do consumo dos componentes dos veículos, como pneus, combustível e peças, bem como provocam a redução da velocidade de operação, consequentemente aumentando o tempo de viagem. Essa variação no consumo dos componentes provoca o aumento de custos para os usuários e no Brasil, conforme aponta a CNT (2015), esse aumento de custos pode chegar a até 92%, para caminhões trafegando em um pavimento em pessimas condições.



Um dos *softwares* mais empregados para se determinar efeitos do pavimento e suas estratégias de manutenção nos veículos é o HDM-4 (*Highway Development and Management*), do banco mundial, que foi desenvolvido tomando como base estudos desenvolvidos em países como o Quênia, a Índia e o Brasil. Klein (2005) aponta que algumas das principais aplicações do *software* são a comparação de estimativas de custos e avaliações entre diversas alternativas de construção, manutenção e estratégias de intervenção, na formação de sistemas de gerência de pavimentos (SGP). Além disso, o HDM permite também a análise de sensibilidade de resultados, em função de mudanças nos parâmetros mais importantes do modelo.

Nunes (2012) indica que existem três diferentes níveis de detalhamento dos parâmetros de entrada do *software*, que demandam diferentes esforços e proporcionam confiabilidade diferente. Tanto os parâmetros que definem o comportamento do pavimento submetido a diferentes ações, como os parâmetros que definem os consumos dos componentes dos veículos em função da condição do pavimento devem ser calibrados para as realidades locais.

Tendo em vista essas informações, este trabalho realizou um comparativo de resultados de consumo de componentes veiculares, entre um estudo desenvolvido por Zaabar e Chatti (2014), utilizando parâmetros de calibração e parâmetros geométricos compatíveis com a realidade dos Estados Unidos, e um estudo desenvolvido em rodovias concedidas do estado de São Paulo pelo autor deste trabalho.

## **2. USO DO HDM-4 NA ESTIMATIVA DE CUSTOS DE OPERAÇÃO DE VEÍCULOS**

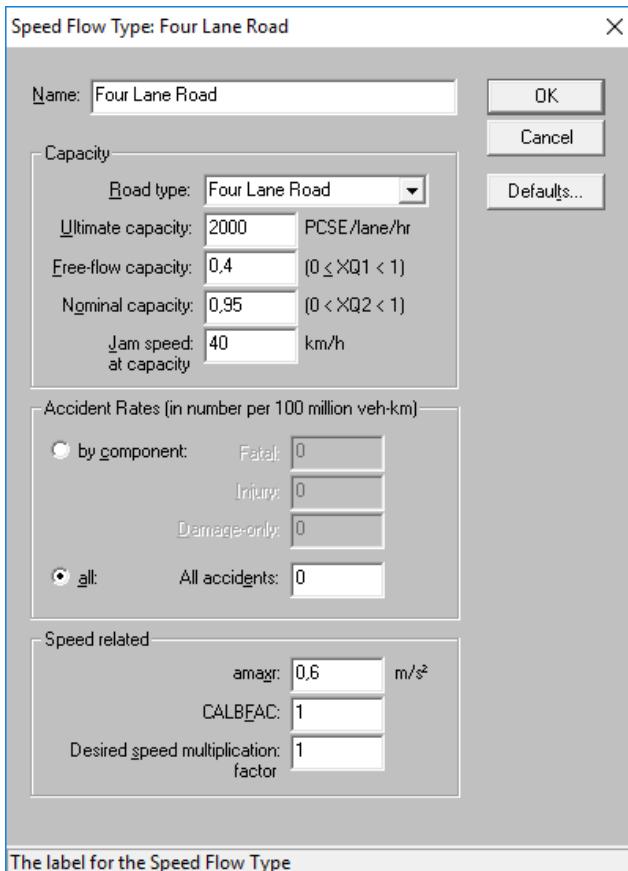
A estrutura básica do HDM-4 apresenta como principais elementos os dados necessários para a realização das análises (gerenciador de dados), as ferramentas de análise e os modelos de processamento dos dados. A explanação de cada um desses elementos será realizada a seguir.

### **2.1. Gerenciador de dados**

Os dados inseridos para a realização das análises no HDM-4 visam definir as características físicas, operacionais e climáticas das rodovias em estudo, além de definir as intervenções que as mesmas serão submetidas ao longo do período de análise, tanto na manutenção da via (*Maintenance Standards*) como nas melhorias que podem ser executadas (*Improvement Standards*).

Dentro das configurações básicas do HDM-4 (HDM Config) estão os parâmetros climáticos e os parâmetros de tráfego. Nos parâmetros climáticos, são definidas variáveis como temperatura média anual, precipitação média mensal, índice de umidade, duração da estação seca e amplitude térmica.

Já os parâmetros de tráfego (*Speed Flow Types* e *Traffic Flow Patterns*) definem, respectivamente, a capacidade das vias (ilustrada na Figura 1), juntamente com outros parâmetros como capacidade nominal e velocidade de congestionamento, e o comportamento do fluxo de tráfego durante as horas do ano, aplicando efeitos como sazonalidade e fator de hora pico no volume de tráfego informado.



**Figura 1:** Configurações de capacidade da via no HDM-4

Os parâmetros das intervenções definem quais estratégias de Manutenção e Reabilitação – M&R – serão empregadas no pavimento ao longo do período de análise, e quais melhorias (construção de faixa adicional, alargamento de faixa e pavimentação de vias não pavimentadas) serão executadas. Esses parâmetros são de suma importância, uma vez que os mesmos definem condições base para estabelecer comparativo entre alternativas de projetos, ao se realizar a análise econômica.

Os parâmetros de frota caracterizam os veículos que trafegam nas rodovias em estudo, sejam eles motorizados ou não-motorizados. Deve-se destacar que, além dos parâmetros que podem ser observados na Figura 2, o *software* permite também nesta etapa inserir parâmetros de calibração dos modelos de consumo de todos os componentes veiculares, refinando dessa forma a simulação com variáveis mais próximas dos valores reais.

Por fim, os parâmetros de rede viária descrevem a estrutura física do trecho rodoviário em estudo, caracterizando a geometria da via, a estrutura do pavimento existente, volume de tráfego e condições do pavimento e da drenagem para um determinado ano de referência. Esta etapa permite a calibração dos fatores dos modelos de deterioração do pavimento e da drenagem, e da variação da velocidade dos veículos pela geometria da via.



**Vehicle Attributes: P4**

Definition		Basic Characteristics		Economic Unit Costs		Financial Unit Costs			
<b>Physical</b> Passenger Car Space Equiv: <input type="text" value="1"/> No. of Wheels: <input type="text" value="8"/> No. of Axles: <input type="text" value="4"/>		<b>Tyres</b> Tyre type: <input type="text" value="Radial-ply"/> Base no. of recaps: <input type="text" value="1"/> Retread cost: <input type="text" value="15"/> %						<a href="#">Calibration...</a> <a href="#">Reset Defaults</a>	
<b>Utilisation</b> Annual km: <input type="text" value="23000"/> km Working hours: <input type="text" value="550"/> hrs Average life: <input type="text" value="10"/> years		Calculate... Private use: <input type="text" value="100"/> % Passengers: <input type="text" value="1"/> persons Work related passenger trips: <input type="text" value="75"/> %						<a href="#">OK</a> <a href="#">Cancel</a>	
<b>Loading</b> ESALF: <input type="text" value="0"/> Calculate...		Operating weight: <input type="text" value="1.4"/> tonnes							
<b>Passenger Car Space Equivalents factor (PCSE)</b>									

**Figura 2:** Parâmetros de caracterização dos veículos

## 2.2. Ferramentas de análise

Existem três ferramentas de análise no HDM-4: análise de projetos, análise de programas e análise de estratégias.

A análise de projetos, segundo exposto por Klein (2005), visa avaliar custos e benefícios de diferentes opções de investimentos a serem aplicadas em uma seção rodoviária, determinando indicadores econômicos como Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

A análise de programas, por sua vez, realiza a priorização de possíveis projetos a serem executados, sob um orçamento definido, permitindo estimar benefícios econômicos gerados pela inclusão de outros projetos alternativos dentro do esquema orçamentário utilizado pelo administrador da rodovia.

A análise de estratégias tem o mesmo objetivo da análise de programas, contudo é aplicada a todos os componentes de uma rede rodoviária, e não somente a uma seção. Sendo assim, a análise estratégica auxilia na previsão de necessidades em médio e longo prazo de uma rede rodoviária, gerenciada por uma agência.

## 2.3. Modelos

Os três modelos de processamento de dados constantes no HDM-4 são:

- a) Deterioração e intervenções no pavimento (RDWE): os modelos de deterioração do pavimento definem de que forma a via (com pavimento betuminoso, de concreto de cimento Portland ou não-pavimentada), submetida aos diversos agentes externos, irá se comportar em termos de progressão dos defeitos no pavimento. As intervenções irão ocorrer, preferencialmente, de forma que os benefícios oriundos do seu emprego sejam superiores aos seus custos. As intervenções poderão ocorrer para corrigir a deterioração do pavimento, ou para mudar as características físicas do pavimento ou da via. Essas intervenções podem ser responsivas ou programadas.



- b) Efeitos sobre os usuários: os efeitos sobre os usuários são modelados de forma a analisar a velocidade, custo de operação e tempo de viagem de veículos motorizados e não-motorizados, bem como avaliar os custos com acidentes.
- c) Efeitos ambientais, energéticos e na segurança: modelo utilizado para mensurar os impactos ambientais e sociais das estratégias definidas buscando-se, portanto, a redução da poluição e do consumo de recursos energéticos.

### 3. MÉTODO

Este trabalho buscou realizar um comparativo dos resultados obtidos em simulações que utilizaram o *software* HDM-4 na determinação de custos operacionais, além dos consumos dos componentes dos veículos. As simulações nas rodovias do estado de São Paulo foram realizadas pelo autor deste artigo. As simulações utilizadas como base para o comparativo foram realizadas por Zaabar e Chatti (2014).

#### 3.1. Descrição da Simulação Base (Zaabbar e Chatti, 2014)

Os autores apresentam em seu trabalho os efeitos da irregularidade longitudinal e da textura nos custos de operação dos veículos. As simulações utilizaram modelos calibrados para os veículos encontrados nos Estados Unidos, e propostos pelo NCHRP (*National Cooperative Highway Research Program*), em seu relatório nº 720. Os modelos de consumo de combustível e de pneus basearam-se na aplicação de fatores calibrados aos modelos já existentes do HDM-4. Já o modelo para determinação dos custos com reparo e manutenção dos veículos foi desenvolvido com base em dados de despesas com manutenção em frotas dos estados de Michigan e Texas, realizando dessa forma os cálculos fora do *software* HDM-4.

O trabalho avaliou o comportamento dos veículos em três velocidades de operação distintas: 56, 88 e 112 km/h (respectivamente 35, 55 e 70 mi/h). As simulações consideraram o IRI base igual a 1 m/km, avaliando o comportamento dos veículos sempre com o incremento de 1 m/km até um valor limite igual a 6 m/km. Destaca-se que, segundo os autores, cerca de 14% das rodovias contidas na rede rodoviária estadunidense, possuem IRI superior a 3 m/km.

Além dos parâmetros citados anteriormente, dois merecem importante destaque, pelos valores adotados nesse trabalho: a rampa e a superelevação da pista. Como, segundo os autores, 95% da rede rodoviária dos Estados Unidos é reta e plana, é razoável assumir nas simulações que a rampa e a superelevação são iguais a zero. Dessa forma, como poderá ser visto no próximo item, apresenta-se uma situação completamente distinta da realidade nas rodovias brasileiras, que gera impacto nos resultados das simulações.

Outro aspecto que difere muito nas rodovias dos Estados Unidos quando comparadas às rodovias brasileiras é a configuração dos veículos. Os parâmetros dos modelos da pesquisa de Zaabar e Chatti foram calibrados, considerando os seguintes veículos: caminhão articulado, caminhão leve, carro médio e utilitários (SUVs e vans). Os consumos calculados para esses veículos são apresentados nas tabelas a seguir, juntamente com o efeito que o aumento do IRI provocou no consumo de cada componente.



**Tabela 1:** Efeito da Irregularidade no Consumo de Combustível (Zaabbar e Chatti, 2014)

Velocidade	Classe de Veículo	Consumo Base (ml/km)	IRI 2	IRI 3	IRI 4	IRI 5	IRI 6
56 Km/h	Carro Médio	70,14	1,03	1,05	1,08	1,10	1,13
	Van	76,99	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
	SUV	78,69	1,02	1,05	1,07	1,09	1,12
	Caminhão Leve	124,21	1,01	1,02	1,04	1,05	1,06
	Caminhão Articulado	273,41	1,02	1,04	1,07	1,09	1,11
88 Km/h	Carro Médio	83,38	1,03	1,05	1,08	1,10	1,13
	Van	96,98	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
	SUV	101,29	1,02	1,04	1,07	1,09	1,11
	Caminhão Leve	180,18	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
	Caminhão Articulado	447,31	1,02	1,03	1,05	1,06	1,08
112 Km/h	Carro Médio	107,85	1,02	1,05	1,07	1,09	1,12
	Van	128,96	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04
	SUV	140,49	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10
	Caminhão Leve	251,41	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04
	Caminhão Articulado	656,11	1,01	1,02	1,04	1,05	1,06

**Tabela 2:** Efeito da Irregularidade no Consumo de Pneus (Zaabbar e Chatti, 2014)

Velocidade	Classe de Veículo	Consumo Base (%/km)	IRI 2	IRI 3	IRI 4	IRI 5	IRI 6
56 Km/h	Carro Médio	0,0013	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03
	Van	0,0011	1,00	1,01	1,01	1,02	1,02
	SUV	0,0011	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
	Caminhão Leve	0,0012	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
	Caminhão Articulado	0,0006	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03
88 Km/h	Carro Médio	0,0014	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
	Van	0,0013	1,01	1,01	1,02	1,03	1,04
	SUV	0,0013	1,01	1,03	1,05	1,06	1,08
	Caminhão Leve	0,0018	1,01	1,02	1,04	1,05	1,06
	Caminhão Articulado	0,0007	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05
112 Km/h	Carro Médio	0,0015	1,01	1,03	1,04	1,06	1,08
	Van	0,0018	1,01	1,02	1,03	1,04	1,04
	SUV	0,0017	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10
	Caminhão Leve	0,0029	1,01	1,02	1,04	1,05	1,06
	Caminhão Articulado	0,0009	1,01	1,02	1,03	1,04	1,06



**Tabela 3:** Efeito da Irregularidade nos Custos de Reparos e Manutenção (Zaabari e Chatti, 2014)

Velocidade	Classe de Veículo	Custo Médio de	IRI 2	IRI 3	IRI 4	IRI 5	IRI 6
		Manutenção (\$/km)					
56 Km/h	Carro Médio	0,040	1,0	1,0	1,10	1,40	1,70
	Van	0,052	1,0	1,0	1,10	1,40	1,70
	SUV	0,052	1,0	1,0	1,20	1,70	2,30
	Caminhão Leve	0,058	1,0	1,0	1,20	1,70	2,20
	Caminhão Articulado	0,124	1,0	1,0	1,10	1,50	1,80
88 Km/h	Carro Médio	0,040	1,0	1,0	1,10	1,40	1,70
	Van	0,052	1,0	1,0	1,10	1,40	1,70
	SUV	0,052	1,0	1,0	1,20	1,70	2,30
	Caminhão Leve	0,058	1,0	1,0	1,20	1,70	2,20
	Caminhão Articulado	0,124	1,0	1,0	1,10	1,50	1,80
112 Km/h	Carro Médio	0,040	1,0	1,0	1,10	1,40	1,70
	Van	0,052	1,0	1,0	1,10	1,40	1,70
	SUV	0,052	1,0	1,0	1,20	1,70	2,30
	Caminhão Leve	0,058	1,0	1,0	1,20	1,70	2,20
	Caminhão Articulado	0,124	1,0	1,0	1,10	1,50	1,80

### 3.2. Descrição da Simulação em Rodovias Concedidas no Estado de São Paulo

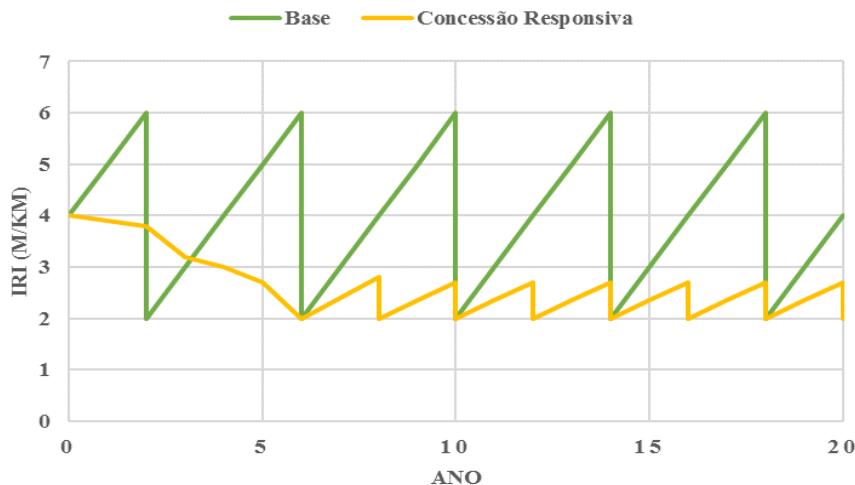
No estudo desenvolvido pelo autor deste trabalho, diferentemente do ocorrido no trabalho de Zaabar e Chatti (2014), não houve nenhuma alteração nos parâmetros de calibração dos modelos de consumo dos componentes veiculares. Os únicos parâmetros que foram inseridos com base em valores reais foram os parâmetros da rede rodoviária, das configurações básicas do HDM-4 e da caracterização da frota. Como o período de análise neste estudo era extenso (20 anos), as estratégias de manutenção adotadas apresentavam diversos níveis de irregularidade ao longo dos anos.

A rodovia selecionada para realizar os comparativos foi a SP-065 (Rodovia Dom Pedro I), em um trecho de 8 km, no município de Atibaia. No estudo original, a mesma era comparada com as rodovias BR-381 (Rodovia Fernão Dias) e BR-116 (Rodovia Presidente Dutra), nos municípios de Vargem e Guararema, respectivamente. O comportamento dos efeitos aos usuários nas três rodovias apresentou muitas semelhanças, sendo apresentados, portanto, somente os resultados da SP-065.

Na estratégia base, as intervenções no pavimento ocorriam sempre que o IRI atingia valor igual a 6 m/km, reduzindo o mesmo para 2 m/km como efeito da atividade de manutenção, durante todo o período de análise. Na estratégia alternativa, definida como “Concessão Responsiva” (Cresp), os níveis de irregularidade limite para intervenção no pavimento foram iguais a 2,7 m/km, conforme determinam os Programas de Exploração de Rodovias (PER).

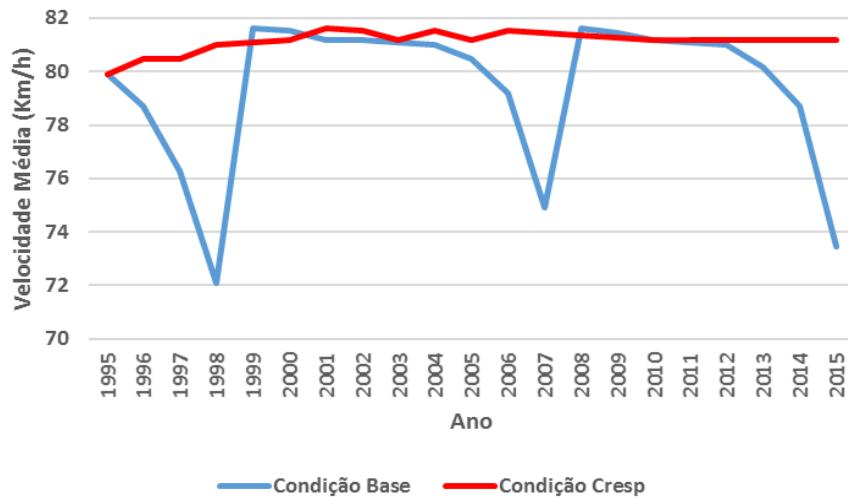


concedidas pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Ambas as estratégias são apresentadas no gráfico da Figura 3.



**Figura 3:** Estratégias de Manutenção Adotadas

A velocidade dos veículos apresentou grande sensibilidade aos níveis de irregularidade do pavimento, sendo dessa forma apresentadas as velocidades médias do fluxo de tráfego ao longo dos anos, nas diferentes estratégias de manutenção, no gráfico da Figura 4.



**Figura 4:** Velocidades Médias Anuais do Fluxo de Tráfego

Os parâmetros geométricos utilizados nas rodovias em estudo são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4:** Parâmetros Geométricos Utilizados

Variável	Dutra	Rodovia Dom Pedro	Fernão Dias
Subidas + Descidas (m/km)	15,1	22,0	22,2
Curvatura Horizontal Média (graus/km)	6,3	7,0	22,9
Limite de Velocidade (km/h)	110	110	100
Extensão do Trecho (km)	7,0	8,2	9,1
Altitude (m)	634	772	845

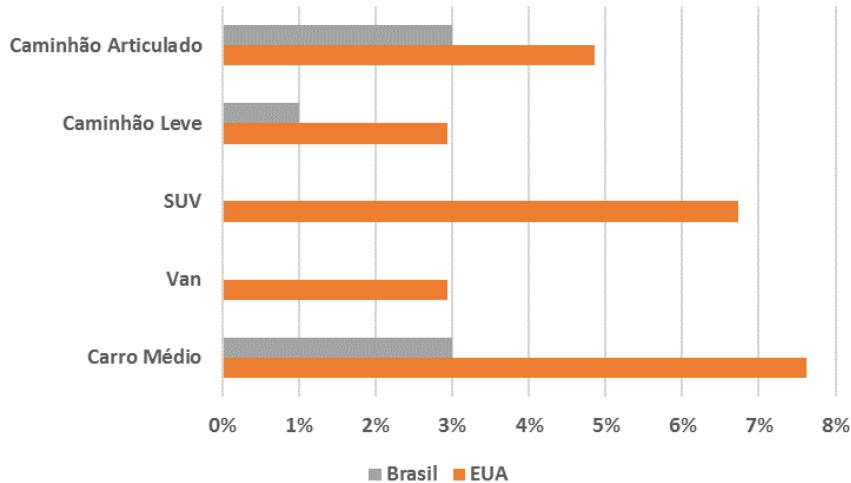


O último aspecto com grandes diferenças entre as rodovias dos Estados Unidos e do Brasil é a configuração do tráfego. Enquanto Zaabar e Chatti (2014) utilizaram 5 tipos diferentes de veículos, a pesquisa conduzida pelo autor deste trabalho utilizou 10 categorias diferentes de veículos, com base nas categorias de cobrança de pedágio. Sendo assim, a comparação das variações nos consumos de componentes deu-se da seguinte forma:

- Comparando os níveis de irregularidade de 2 e 6 m/km, para os dois estudos (Brasil e EUA);
- Comparando os resultados somente para a velocidade de 88 km/h (única compatível para ambos os estudos);
- Comparando os resultados somente nos três veículos presentes em ambos os estudos: caminhão leve, caminhão articulado e carro médio (excluindo as Vans e SUVs).

#### 4. RESULTADOS

Os gráficos a seguir apresentam os resultados do comparativo entre as variações de consumo devido a irregularidade do pavimento no Brasil e nos EUA.



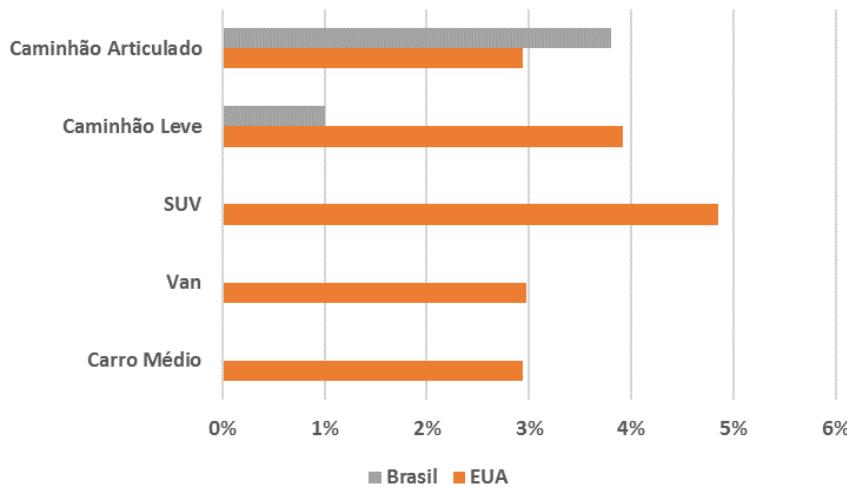
**Figura 5:** Comparativo das reduções no consumo de combustível devido à redução na irregularidade do pavimento

Percebe-se pela Figura 5 que a redução no consumo de combustível, sob as mesmas condições de irregularidade no pavimento e velocidade dos veículos, foi superior para os veículos no estudo dos Estados Unidos, quando comparados com os veículos no estudo brasileiro. Apesar disso, os caminhões articulados e os automóveis apresentaram maior sensibilidade à irregularidade quando comparados com os caminhões leves, em ambos os países.

Apesar da diferença apontada, existe uma explicação possível para a menor redução de consumo nos veículos brasileiros. Klein, Parreira e Fernandes Junior (2006) identificaram a influência das características geométricas (rampas e curvas) nos efeitos aos usuários pelo HDM-4, e embora o consumo para a rampa apresentada (somatório de subidas e descidas – RF – igual a 22 m/km) não sofra grandes variações, segundo o seu estudo, de modo geral, as maiores rampas provocam maiores consumos dos componentes, tornando os veículos menos sensíveis aos efeitos da irregularidade.

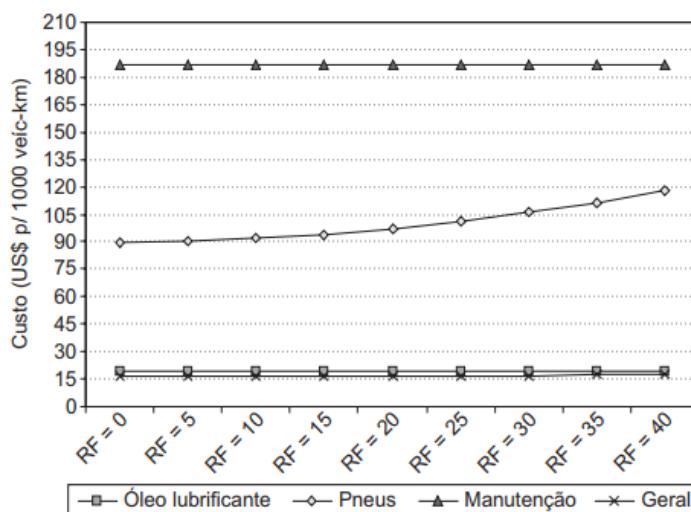


A redução no consumo de pneus é apresentada na Figura 6. O comportamento entre os veículos foi significativamente diferente, uma vez que nos Estados Unidos, todos apresentaram variações muito próximas (aproximadamente 4%), enquanto que os veículos na análise para o Brasil tiveram comportamentos bem distintos, onde os carros sequer apresentaram sensibilidade à irregularidade no consumo de pneus. Em contrapartida, o valor observado para o caminhão articulado foi praticamente o mesmo em ambos os estudos. Ainda que apresentem diferenças, tanto os consumos de combustível como de pneus apresentaram ordens de grandeza compatíveis.



**Figura 6:** Comparativo das reduções no consumo de combustível devido à redução na irregularidade do pavimento

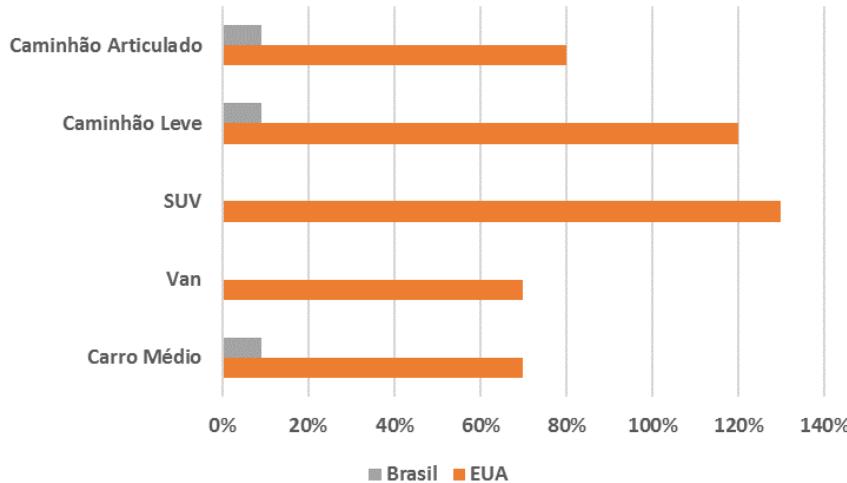
Como mencionado anteriormente, Klein, Parreira e Fernandes Junior (2006) apresenta os efeitos de rampa (representada no gráfico da Figura 7 no eixo das abscissas, com a letra RF) no consumo dos componentes dos veículos, e para o somatório de subidas e descidas da rodovia avaliada no estudo brasileiro, percebe-se um aumento de aproximadamente 10% nos custos com pneus. Esse, portanto pode ser um dos motivos para os menores valores encontrados em comparação com as rodovias estadunidenses.



**Figura 7:** Custo de insumos dos veículos em função da curvatura vertical (Klein, Parreira e Fernandes Junior, 2006)



Por fim, foi realizado o comparativo com a variação nos custos de reparos e manutenção, apresentados na Figura 8. Destaca-se que o modelo utilizado no estudo para os Estados Unidos não foi o modelo do HDM-4, e sim um modelo desenvolvido com base em dados reais dos departamentos de transporte estaduais. O que se percebe é uma diferença acentuada na ordem de grandeza das reduções de consumo obtidas, uma vez que no estudo brasileiros, as reduções estiveram próximas dos 10%, e no estudo dos EUA a redução de consumo chegou a atingir mais de 100%.



**Figura 8:** Comparativo das reduções nos custos com reparo e manutenção devido à redução na irregularidade do pavimento

Como a Figura 7 indica pouca influência de rampa nos custos de manutenção pelo modelo do HDM-4, podem-se realizar duas suposições para explicar tamanha diferença nos comportamentos dos veículos. Como reforçado pelos próprios autores, no estudo estadunidense, o modelo do HDM-4 não se apresentou adequado tanto pelas diferenças dos veículos como pela melhor condição dos pavimentos das rodovias nos EUA. Dessa forma, pode-se supor que, pela forma como se desenvolveu o HDM-4, utilizando muitas informações de países como o próprio Brasil, ambos os modelos apresentam resultados coerentes com a realidade local, e os veículos no Brasil são de fato menos sensíveis à irregularidade longitudinal do que os veículos nos EUA.

Outra suposição é a de que o modelo de estimativa dos custos com reparos e manutenção do HDM-4 não é adequado a nenhuma das realidades, e como o estudo dos EUA realizou a calibração dos parâmetros de um modelo próprio, os resultados foram compatíveis com a realidade local, devendo o mesmo ser realizado para análises realizadas no Brasil. Se isso de fato ocorrer, possivelmente o modelo do HDM-4 para reparos e manutenção subestima a influência da irregularidade longitudinal do pavimento nesse componente veicular. Ambas as suposições necessitam de mais evidências e mais estudos para serem testadas e validadas.

## 5. CONCLUSÕES

As análises realizadas neste trabalho permitiram efetuar um comparativo de resultados, em simulações realizadas em países distintos, com características físicas e operacionais muito diferentes, mas que utilizaram de um mesmo *software* e dos mesmos modelos para determinar a influência da irregularidade em alguns componentes veiculares.



Os resultados dos consumos de combustível e pneus foram compatíveis em ambos os países, uma vez que as variações nos consumos para uma mesma velocidade e entre os mesmos níveis de irregularidade, apresentaram ordens de grandeza semelhantes. Além disso, a influência da rampa no aumento do consumo dos componentes, já observada em trabalhos anteriores, pode explicar a menor sensibilidade dos veículos no Brasil à irregularidade do pavimento. Destaca-se, porém, que os resultados apresentados são apenas indícios de que o uso dos parâmetros de calibração dos modelos já presentes no HDM-4, sem a adaptação à realidade local, pode trazer resultados compatíveis com o que de fato ocorre com os veículos. Destaca-se, porém, que em análises mais completas, é preferível o conhecimento dos parâmetros reais dos veículos que trafegam por uma determinada rodovia em estudo.

Os resultados para os custos com reparos e manutenção, por sua vez, indicam uma necessidade maior de estudos que tragam maiores conclusões sobre a adequabilidade do modelo existente no HDM-4 à realidade das rodovias no Brasil. Além disso, os resultados apresentados, embora citados como realidade do Brasil, não representam de fato absolutamente todas as rodovias do país, que diferem muito nas características físicas e operacionais. Contudo, o uso dos modelos padrão do HDM-4, sem a calibração dos parâmetros, pode ocorrer em qualquer lugar do país, uma vez que, como já mencionado anteriormente, o software foi desenvolvido com base inclusiva em dados do Brasil. Como exposto anteriormente, para as condições definidas neste trabalho, essa prática aparenta ser adequada.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHO (1962). *The AASHO Road Test: Report 5 - Pavement Research*, HRB Special Report 61-E, Highway Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1962.
- ANTT (2016). *Agência Nacional de Transportes Terrestres*. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br>>. Acesso em: 17 mai. 2017.
- CNT (2015). *Pesquisa Rodoviária 2015 – Relatório Gerencial*. Confederação Nacional do Transporte, Brasília, 420p.
- Klein, F. C. (2005). *Análise da Influência de Características Geométricas de Rodovias nos Custos dos Usuários Utilizando o Programa HDM-4*. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- Klein, F. C.; Parreira, A.B.; Fernandes Junior, J.L; (2006). *Avaliação dos custos de operação dos veículos e do tempo de viagem em função da geometria das rodovias*. Revista Minerva, v. 3, 223-233.
- Nunes, D. F. (2012). *Procedimento para análise de sensibilidade do programa HDM-4*. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- Zaabar, I.; Chatti, K. (2014) *Estimating Vehicle Operating Costs Caused by Pavement Surface Conditions*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2455, 63-76