

ARTIGO

VALIDAÇÃO DE UM MODELO DE DESEMPENHO DE CAMINHÕES EM RAMPAS ASCENDENTES

Sergio Henrique Demarchi

Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Engenharia Civil

Ricardo Almeida de Melo

José Reynaldo A. Setti

Universidade de São Paulo
Departamento de Transportes
Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Este artigo descreve a validação de um modelo de desempenho de veículos pesados a partir de curvas empíricas de desempenho em rampas ascendentes elaboradas para caminhões cuja massa, modelo e potência são conhecidos. Os dados foram obtidos numa rodovia de pista simples do estado de São Paulo, onde existe uma balança móvel. O método de levantamento das curvas distância-velocidade consistiu em seguir os caminhões em um automóvel e ler as velocidades no velocímetro do automóvel nos instantes em que o caminhão passava por pontos predefinidos, a cada 100 metros, ao longo da rampa. As curvas de desaceleração observadas empiricamente foram comparadas com curvas obtidas através de um modelo analítico, calibrado com informações obtidas de caminhões em uma balança rodoviária e da literatura especializada. Verificou-se que os parâmetros inicialmente adotados na calibração eram adequados somente para caminhões rígidos. Assim, o modelo foi recalibrado para melhor representar o desempenho de caminhões articulados. Embora a quantidade de curvas empíricas obtidas não tenha sido muito grande, pode-se concluir que o modelo de

desempenho foi satisfatoriamente validado para as categorias de caminhões analisadas.

ABSTRACT

This paper describes the validation of a truck performance model based on real truck performance observed on upgrades of a two-lane highway in the state of São Paulo. The data on gross weight, model and nominal brake power were obtained at a mobile scale. Speed-distance curves were obtained by following trucks in a car and recording truck speeds at 100-m intervals along the grade, from the car speedometer. The empirical speed-distance curves were compared to performance curves obtained from a model, which was calibrated with data collected from trucks at a weigh scale and from the literature. It was found that initial set of parameters used in the model could predict accurately only the performance of rigid trucks. Thus, the model was recalibrated in order to better predict the performance of articulated trucks. Despite the relatively small number of empirical performance curves available, the validation procedure can be considered successful for the truck categories analyzed.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho de caminhões em rampas ascendentes é um aspecto de grande importância para o projeto geométrico de rodovias e para a análise de capacidade e nível de serviço. Através de curvas que expressam a redução da velocidade em função da distância percorrida, pode-se estimar se o desempenho que os caminhões apresentam em um greide é insatisfatório, de tal forma que seja necessária a implantação de uma faixa adicional para o tráfego de veículos pesados.

As curvas de desempenho podem ser obtidas empiricamente ou por métodos analíticos. As curvas empíricas são obtidas a partir do levantamento do perfil de velocidades dos caminhões em diversos pontos de uma rampa ascendente. Embora este método permita a determinação do desempenho real, é necessário monitorar o desempenho de diferentes modelos de caminhões em greides de

diferentes inclinações e comprimentos. Dada a diversidade de modelos de caminhões nas rodovias brasileiras e, considerando-se que o desempenho tende a variar de um modelo de caminhão para outro, seria inviável em termos de custos e tempo elaborar curvas de desempenho para cada configuração e cenários existentes. Considerando-se também que a evolução tecnológica dos veículos torna obsoletas as curvas obtidas empiricamente, haveria a necessidade de se repetir o processo periodicamente, para que os dados disponíveis representassem realisticamente o desempenho dos veículos.

Nas curvas de desempenho determinadas analiticamente, distâncias e velocidades são obtidas a partir de um modelo analítico baseado na segunda lei de Newton. Alguns dos parâmetros utilizados neste modelo, tais como a massa veicular, podem ser obtidos a partir da coleta de dados em balanças rodoviárias (Demarchi e Setti, 2001). Outros parâmetros, tais como coeficientes utilizados no cálculo da resistência ao movimento ou a eficiência da transmissão, são adotados da literatura (St. John e Kobett, 1978; Fitch, 1994; SAE, 1996), devido à complexidade em se realizar testes específicos para a determinação desses coeficientes. Deve-se ressaltar, no entanto, que a maioria dos parâmetros disponíveis na literatura foram determinados empiricamente para caminhões norte-americanos, não tendo sido ainda validados para caminhões nacionais.

Apesar das limitações mencionadas a respeito dos métodos empíricos, as curvas obtidas através deste método podem ser utilizadas para a validação dos parâmetros utilizados no modelo analítico de desempenho. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho é verificar se um modelo de desempenho analítico, calibrado para caminhões típicos em rodovias paulistas (Demarchi, 2000), representa de forma adequada o desempenho real dos caminhões trafegando em rampas ascendentes.

2. DETERMINAÇÃO EMPÍRICA DE CURVAS DE DESEMPENHO

O método utilizado no levantamento do perfil de velocidades consiste em seguir, em um automóvel, caminhões selecionados aleatoriamente da corrente de tráfego (Willey, 1949; Dunn, 1955) ou

utilizar um caminhão exclusivamente para o teste de desempenho (Schwender *et al.*, 1957; Hutton, 1970).

A velocidade pode ser obtida direta ou indiretamente. No primeiro caso, os ocupantes do automóvel anotam as velocidades dos veículos observados a intervalos de distância predefinidos através de marcações no acostamento da rodovia (Willey, 1949), ou nos instantes em que ocorrem trocas de marcha e reduções de velocidade de 5 mi/h (Schwender *et al.*, 1957), utilizando o odômetro e o velocímetro do próprio veículo de teste. Uma maneira mais sofisticada de se obter distâncias e velocidades consiste na utilização de um equipamento, composto por uma roda de bicicleta interligada a um dispositivo constituído de um odômetro, um velocímetro e um cronômetro, acoplado à traseira de um caminhão (Hutton, 1970), sendo uma câmera tipo Super-8 utilizada para filmar os instrumentos.

No método indireto de determinação das velocidades, somente distâncias e instantes de passagem são medidos. As velocidades são determinadas dividindo-se a distância entre dois pontos consecutivos pelo tempo de percurso. Para a coleta do tempo de percurso, podem ser utilizados um oscilógrafo para determinar os instantes de passagem de um caminhão sobre tubos pneumáticos (Huff e Scrivner, 1955), ou câmeras filmadoras e espelhos colocados em postes de madeira, posicionados ao lado da rodovia (Archilla e de Cieza, 1996).

Além da determinação das curvas de desempenho, realiza-se a pesagem dos caminhões e anota-se o número da placa e o modelo do caminhão, de forma que estas informações possam ser relacionadas ao perfil de velocidades obtido nos testes de desempenho.

3. MODELO TEÓRICO DE DESEMPENHO

O modelo de desempenho baseia-se na interação entre forças de tração e de resistência ao movimento, e é descrito em mais detalhes por Demarchi e Setti (2000). Este modelo é denominado simplificado, pois as trocas de marchas são desconsideradas e a potência do motor é admitida constante para quaisquer velocidades. A Figura 1 mostra

uma representação esquemática das equações usadas no modelo e a Tabela 1 apresenta uma descrição das variáveis e parâmetros utilizados no modelo. O modelo de desempenho foi calibrado por Demarchi (2000) para quatro categorias de caminhões, representativas dos caminhões que trafegam nas rodovias paulistas: (i) caminhões rígidos leves, com 2 eixos; (ii) rígidos pesados, com 3 eixos; (iii) articulados leves, com 3 ou 4 eixos; e (iv) caminhões articulados pesados, com 5 ou 6 eixos.

Quando o modelo de desempenho foi inicialmente desenvolvido, não se dispunha de nenhuma curva de desempenho empírica de caminhões nacionais que permitisse sua calibração e validação; por conseguinte a calibração inicial do modelo foi realizada a partir de parâmetros obtidos a partir da literatura especializada e de dados de massa e potência obtidos numa balança rodoviária. Assim sendo, a massa bruta total dos caminhões utilizada no modelo corresponde ao 85º percentil da distribuição de massas obtida em uma balança rodoviária da SP330; a potência do motor é a potência nominal obtida de catálogos de fabricantes; a área frontal foi estimada a partir das dimensões dos veículos e da configuração de carroceria típica de cada categoria; e os parâmetros restantes foram obtidos da literatura (St. John e Kobett, 1978; Fitch, 1994; SAE, 1996; Archilla e de Cieza, 1996).

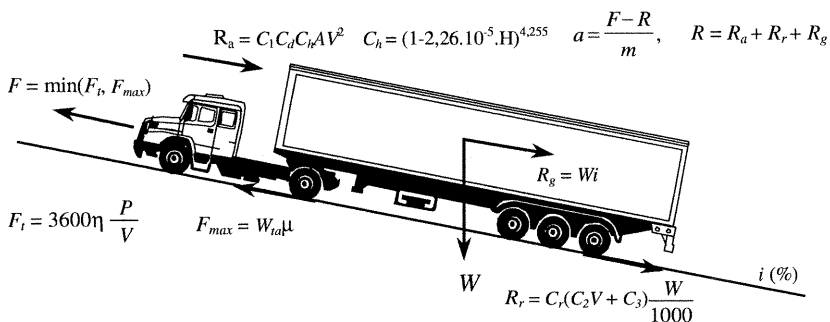


Figura 1: Diagrama de forças que atuam em um veículo em movimento numa rampa

Tabela 1: Variáveis e parâmetros utilizados no modelo

| <i>Parâmetro</i> | <i>Definição</i> | <i>Parâmetro</i> | <i>Definição</i> |
|------------------|---|------------------|-------------------------------------|
| V | Velocidade (km/h) | R | resistência total (N) |
| a | Aceleração (m/s ²) | R_a | resistência aerodinâmica (N) |
| F | força motriz (N) | R_r | resistência de rolamento (N) |
| F_t | força de tração (N) | R_g | resistência de rampa (N) |
| $F_{máx}$ | força de tração máxima (N) | C_1 | constante = 0,047285 |
| P | Potência do motor (kW) | C_d | coeficiente de arrasto aerodinâmico |
| η | coeficiente de eficiência da transmissão | C_h | coeficiente de correção da altitude |
| W | peso do veículo (N) | H | altitude (m) |
| m | massa do veículo (kg) | A | área frontal (m ²) |
| W_{ta} | peso do veículo atuante no eixo motriz (N) | C_2 | constante para tipo de pneu |
| μ | coeficiente de atrito estático pneu-pavimento | C_3 | constante para tipo de pneu |
| i | Inclinação da rampa (%) | C_r | coeficiente de rolamento |

Como os valores dos parâmetros do modelo variam conforme a referência consultada, decidiu-se realizar uma análise de sensibilidade. Os resultados dessa análise de sensibilidade indicaram que a variação do coeficiente aerodinâmico – dentro dos valores típicos encontrados na literatura – afeta de forma pouco significativa os resultados; por outro lado, o modelo é bem mais sensível a variações das constantes C_2 e C_3 . Por conseguinte, optou-se pela utilização de valores para as constantes C_2 e C_3 que gerassem uma curva de desempenho cujas velocidades fossem aproximadamente iguais à média das velocidades no intervalo de variação das curvas obtidas a partir de diferentes valores de C_2 e C_3 . Outra suposição adotada foi de que as quatro categorias de caminhões teriam os

mesmos valores de C_2 e C_3 , que foram adotados como sendo 0,0125 e 7,6, respectivamente.

Da mesma maneira, adotou-se um valor único de η para todas as categorias de caminhões, próximo da média dos valores encontrados na literatura consultada. Ainda que as curvas de desempenho obtidas através do modelo tivessem sido consideradas representativas do desempenho observado em rampas rodoviárias (Demarchi, 2000), seria desejável proceder a uma comparação com curvas de desempenho empíricas para verificar se os parâmetros adotados permitem representar adequadamente o desempenho dos caminhões de todas as categorias. Assim sendo, esta foi a motivação principal para o estudo aqui relatado: coletar dados empíricos relativos ao desempenho de caminhões em aclives rodoviários e, a partir desses dados, validar o modelo proposto por Demarchi e Setti (2000).

4. COLETA DE DADOS

A coleta de dados para obter a curva de desempenhos dos caminhões foi realizada em um trecho da rodovia SP225, entre os quilômetros 92 e 130, próximo ao município de Brotas, no centro do estado de São Paulo, durante sete dias dos meses de abril e maio de 2000. Os motivos para a escolha deste trecho são a existência de uma seqüência de rampas ascendentes e descendentes de diferentes inclinações e magnitudes, além da existência de uma balança móvel para pesagem de caminhões, localizada no quilômetro 93.

De início, fez-se uma visita na rodovia para selecionar as rampas em que seriam realizadas as coletas de dados e para conhecer o esquema de operação da balança rodoviária. O levantamento do perfil longitudinal das rampas foi feito usando-se uma estação total e prisma, sendo a magnitude do greide calculada para intervalos de 100 m. Foram então selecionadas rampas ou segmentos de rampa com inclinação aproximadamente constante, como mostra a Tabela 2.

As curvas de desaceleração dos caminhões nos aclives foram obtidas utilizando-se um automóvel, que permanecia parado no acostamento da rodovia até a passagem de um caminhão pelo local. A partir desse

instante, o caminhão passava a ser seguido e as velocidades eram lidas no velocímetro do automóvel e anotadas em uma planilha nos instantes de passagem do caminhão por marcações à tinta feitas no acostamento da rodovia, nos intervalos de 100 m definidos durante o levantamento do perfil longitudinal das rampas.

Tabela 2: Comprimento e inclinação média dos aclives estudados SP 225.

| Rampa | Segmento (km) | Comprimento (m) | Inclinação média (%) |
|-------|---------------|-----------------|----------------------|
| 1 | 103,1 a 104,0 | 900 | 2,93 |
| 2 | 108,0 a 110,0 | 2.000 | 1,75 |
| 3 | 115,4 a 116,0 | 600 | 5,09 |
| 4 | 119,5 a 120,0 | 500 | 3,43 |

Além das velocidades, a placa traseira do veículo seguido também era anotada, para que as curvas obtidas pudessem ser relacionadas a outras informações dos veículos, obtidas na balança rodoviária. Com as informações obtidas na balança, tais como o peso bruto total combinado e o modelo do veículo, foram estimados os parâmetros do modelo analítico (massa e potência nominal), necessários para a determinação das curvas de desempenho teóricas.

A Figura 2(a) mostra as curvas obtidas para caminhões articulados em uma rampa ascendente com inclinação média igual a 2,93%. Como a velocidade de entrada na rampa varia de um caminhão para outro, cada uma das curvas obtidas corresponde a um segmento diferente da curva de desempenho. Para se obter uma aproximação daquela que seria a curva de desempenho, foi utilizado um procedimento baseado no proposto originalmente por Willey (1949). Este procedimento consiste, inicialmente, na escolha da curva com maior velocidade inicial como a curva de referência. Esta curva é mantida fixa enquanto que as curvas restantes são deslocadas até que o primeiro ponto de cada curva, a partir do qual existe variação significativa de velocidade, coincida com a curva de referência.

A Figura 2(b) ilustra um exemplo de ajuste das curvas. A curva com maior velocidade de entrada (curva 1) é mantida fixa, enquanto que as outras curvas são movidas horizontalmente para a direita. A curva 2 foi deslocada 100 m para a direita e a curva 3 foi deslocada 700 m à

direita. Os primeiros 100 m da curva 2 e os primeiros 200 m da curva 3 foram desprezados, pois não ocorre variação de significativa de velocidade nesses trechos, contrariando o que seria normalmente esperado. Tais observações podem ser resultado de leituras superestimadas da velocidade dos caminhões, pois o automóvel, em alguns casos, entrava no greide com velocidade ligeiramente maior que a do caminhão à sua frente, para que pudesse alcançá-lo.

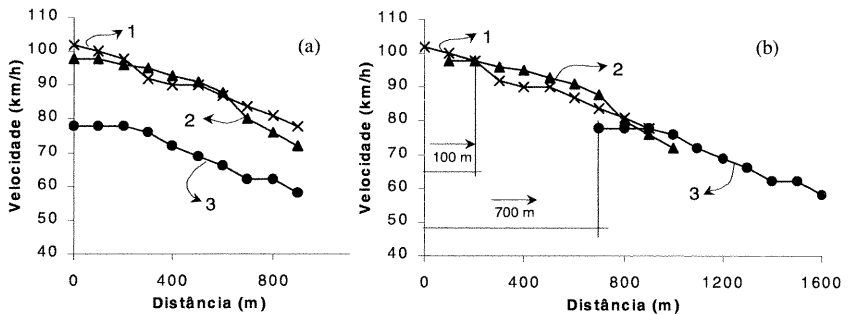


Figura 2: Translação das curvas de desempenho

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nos sete dias de coletas, um total de 113 caminhões foram seguidos para obtenção das curvas de desempenho. Entretanto, algumas observações tiveram que ser descartadas, pois não foi possível obter as velocidades em todos os pontos das rampas, em função da dificuldade de se seguir caminhões que trafegavam em alta velocidade, especialmente quando a rampa de estudo era precedida por um declive, ou quando caminhões estavam envolvidos em manobras de ultrapassagem.

Além disso, algumas curvas obtidas não foram utilizadas, por falta de informações necessárias para a calibração do modelo analítico, tais como o modelo do caminhão ou a massa do veículo. Em certos casos, os caminhões seguidos não haviam passado pela balança, provavelmente porque trafegavam com excesso de peso e utilizaram-se de um trecho de rodovia não pavimentada para desviar da balança. Caminhões vazios, parcialmente carregados ou

sobrecarregados foram descartados da análise quando sua relação massa/potência era muito inferior ou muito superior à massa/potência dos outros caminhões analisados. No total, 36 curvas foram utilizadas, sendo 17 delas de caminhões rígidos pesados e 19 curvas de caminhões articulados pesados. Os caminhões rígidos leves e articulados leves não foram analisados pois poucos veículos destas categorias foram observados.

A relação massa/potência foi estimada para cada um dos greides separadamente e para cada categoria veicular, em função dos pesos coletados na balança e das potências correspondentes aos modelos observados. A partir dos valores obtidos, foram selecionados e agrupados os caminhões com relação massa/potência similar. Os valores de relação massa/potência mostrados nas Figuras 3 e 4 são valores médios, utilizados na elaboração das curvas de desempenho teóricas. A área frontal e os coeficientes restantes utilizados inicialmente foram os mesmos utilizados por Demarchi (2000). A área frontal adotada para caminhões rígidos é igual a $6,5 \text{ m}^2$ e, para caminhões articulados, igual a $7,5 \text{ m}^2$. Outros coeficientes são iguais para ambas as categorias veiculares: $\eta = 0,87$, $C_r = 1,2$, $\mu = 0,6$, $C_2 = 0,0125$ e $C_3 = 7,6$ e $C_h = 1,0$.

A Figura 3 mostra que os parâmetros utilizados produzem curvas teóricas que representam satisfatoriamente o desempenho dos caminhões rígidos pesados. As diferenças entre as curvas empíricas e a curva teórica no greide de 5,09% devem-se ao fato de que, a curva teórica representa o desempenho de caminhões em um greide com inclinação constante, enquanto que os últimos 100 m do greide real fazem parte, na verdade, de uma curva vertical, com inclinação igual a 4,58%, menor que a inclinação dos segmentos anteriores. Essa redução na rampa permite que os caminhões possam acelerar no final deste aclave. No greide de 1,75%, o desempenho real é ligeiramente inferior ao previsto pelas curvas teóricas porque os caminhões podem não estar utilizando toda a potência disponível. Além disso, a existência de uma praça de pedágio, localizada a cerca de um quilômetro antes do greide, também pode ter influenciado de alguma forma os resultados.

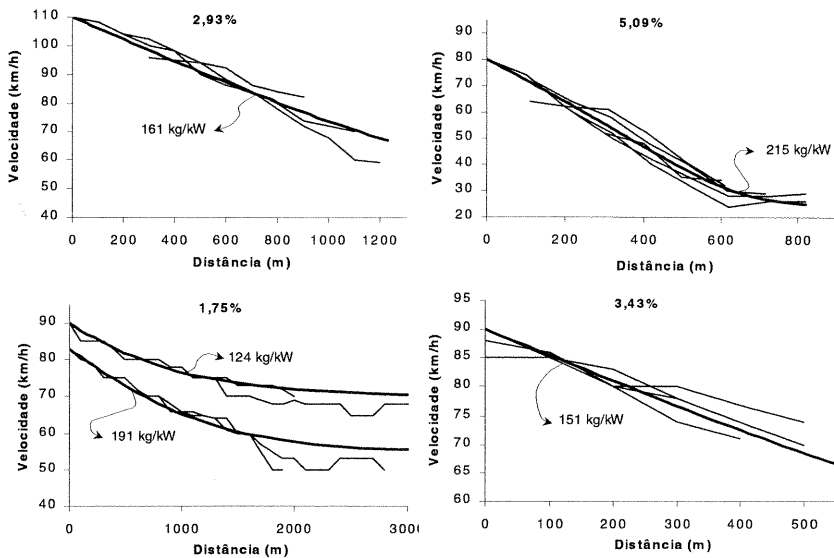


Figura 3: Curvas de desempenho para caminhões rígidos pesados

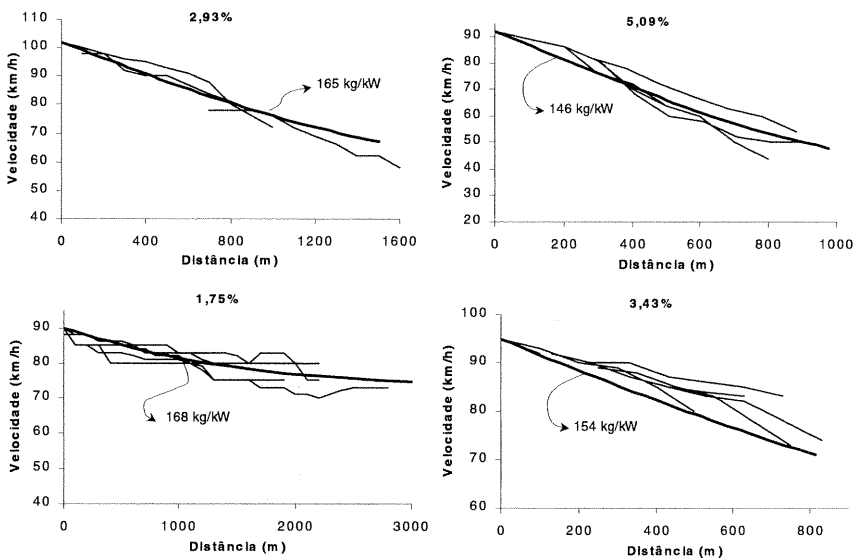


Figura 4: Curvas de desempenho para caminhões articulados pesados

Por outro lado, os coeficientes utilizados para os caminhões rígidos não são adequados para os caminhões articulados, pois as curvas teóricas obtidas subestimariam o desempenho real. A utilização dos coeficientes recomendados pelo procedimento J2188 da SAE (1996), ou seja, $\eta = 0,94$, $C_2 = 0,0255$ e $C_3 = 4,1$, faz com que o modelo teórico represente o desempenho real dos caminhões articulados pesados mais realisticamente, como pode ser visto na Figura 4. Somente no greide de 3,43%, o modelo teórico subestima o desempenho real, o que pode ser explicado pelo fato de que o método de ajuste das curvas empíricas é aproximado e que algumas velocidades medidas podem ter sido superestimadas.

Um resumo dos coeficientes adotados na calibração do modelo de desempenho de caminhões rígidos pesados e articulados pesados é mostrado na Tabela 3. Considera-se que não existe motivo que justifique a modificação dos valores dos coeficientes aerodinâmicos C_d , já que o efeito de sua variação nos resultados é pouco significativo. Os valores de μ e C_r foram mantidos iguais para ambos os tipos de caminhão, pois são coeficientes relativos ao tipo de pavimento da rodovia.

Tabela 3: Parâmetros utilizados no modelo de desempenho

| Parâmetro | Rígido pesado | Articulado pesado |
|-----------|--------------------|--------------------|
| μ | 0,6 | 0,6 |
| η | 0,87 | 0,94 |
| C_d | 0,7 | 0,8 |
| C_h | 1,0 | 1,0 |
| A | 6,5 m ² | 7,5 m ² |
| C_r | 1,2 | 1,2 |
| C_2 | 0,0125 | 0,0255 |
| C_3 | 7,6 | 4,1 |

Deve-se lembrar que o efeito da altitude no desempenho dos caminhões não foi explicitamente levado em conta. Watanada *et al.* (1987) consideram que o coeficiente C_h diminui com a altitude e, conseqüentemente, diminui o valor da resistência aerodinâmica. Embora a altitude média do local de coletas seja igual a 745 m e o valor de C_h correspondente fosse igual a 0,93, é possível considerar

que $C_h = 1,0$ (valor adotado para o nível do mar), pois o desempenho previsto teoricamente quando se usa qualquer um dos valores mencionados é praticamente igual.

O método J688 da SAE (1987) e Fitch (1994) consideram que o aumento da altitude faz com que a densidade do ar diminua, o que ocasiona perda de potência do motor. Fitch (1994) menciona que esta perda é aproximadamente igual a 0,01 para cada 100 m de altitude, para motores com aspiração normal, mas desprezível para motores turbo-aspirados. Dessa forma, pode-se utilizar o coeficiente η , que é um fator multiplicativo da potência do motor, para representar o efeito conjunto da eficiência da transmissão e da redução de potência devido à altitude. Dado que os valores do coeficiente de eficiência da transmissão recomendados pela SAE (1996) variam entre 0,91 e 0,94, e adotando-se 0,94 para ambos os tipos de caminhão, pode-se concluir que caminhões articulados pesados não apresentam perda de potência em função da altitude e que caminhões rígidos pesados têm uma redução de potência de 7%. O coeficiente de redução da potência seria, no caso dos caminhões rígidos igual a 0,93, muito próximo ao valor recomendado por Fitch (1994) para uma altitude de 745 m.

Como conclusão geral do processo de validação, considera-se que os coeficientes determinados para caminhões americanos podem ser utilizados também na calibração do modelo de desempenho dos caminhões rígidos pesados e articulados pesados brasileiros. Conclui-se também que o modelo de desempenho simplificado consegue representar adequadamente o desempenho dos caminhões analisados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do caráter preliminar das coletas de dados realizadas, a validação do modelo de desempenho pode ser considerada satisfatória. As curvas empíricas obtidas permitiram a validação do modelo de desempenho para os caminhões rígidos pesados e a recalibração do modelo para os caminhões articulados pesados.

Devido ao próprio processo inicial de aprendizado dos procedimentos envolvidos na coleta de dados, a amostra obtida até agora é relativamente pequena. Novas coletas deverão ser realizadas, com o propósito de se obter mais curvas de desempenho e levantar informações a respeito das demais categorias de caminhões que não puderam ser analisadas nesta pesquisa.

Em função dos resultados obtidos, recomenda-se que as coletas sejam realizadas preferencialmente em greides mais acentuados e de maior comprimento, onde a variação no desempenho é, em geral, menor. Recomenda-se também a realização de coletas em outras rodovias do estado de São Paulo.

Dois aspectos devem ser aprimorados no método de coleta de dados. O primeiro refere-se à melhor definição do local em que o automóvel de coleta deve ser posicionado, para que seja possível alcançar os caminhões antes que estes entrem no greide analisado, evitando assim que as velocidades medidas sejam superestimadas. Quanto ao segundo aspecto, recomenda-se utilizar pelo menos duas equipes de coleta, uma em cada automóvel, para que seja possível acompanhar um maior número de caminhões em um mesmo período de tempo.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi realizada com apoio financeiro do CNPq (através de bolsas de doutorado e produtividade em pesquisa) e da FINEP, através do projeto Redes Cooperativas de Pesquisa – RECOPE. Os autores agradecem à CENTROVIAS, pelo apoio técnico, e aos alunos de pós-graduação e funcionário do Departamento de Transportes da EESC que ajudaram na coleta de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Archilla, A. R. e A. O. F. de Cieza (1996) "Truck Performance on Argentinean Highways". *Transportation Research Record* 1555, p. 114 - 123.
- Demarchi, S. H. (2000) *Influência de Veículos Pesados na Capacidade e Nível de Serviço de Rodovias de Pista Dupla*. 157 p. Tese

- (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Demarchi, S. H. e J. R. Setti (2000). Desempenho de Caminhões em Rampas Ascendentes. In: *Transporte em Transformação III – Trabalhos vencedores do Prêmio CNT Produção Acadêmica 1998*. Confederação Nacional do Transporte/Makron Books, S. Paulo, SP, cap. 6, p. 79–94.
- Demarchi, S. H. e J. R. Setti (2001). Caracterização da Relação Massa/Potência de Caminhões em Rodovias do Estado de São Paulo. In: *Transporte e Transformação IV – Trabalhos vencedores do Prêmio CNT Produção Acadêmica 1999*. Confederação Nacional do Transporte/Makron Books, São Paulo, SP, cap. 4, p. 51–65.
- Dunn, R. E. (1955) "Motor Vehicle Performance on Ascending Grades". *HRB Bulletin 104*, p. 12-20. Highway Research Board, Washington, D.C.
- Fitch, J. W. (1994) *Motor Truck Engineering Handbook*. Society of Automotive Engineers, 4^a ed.
- Huff, T. S. e F. H. Scrivner (1955). "Simplified Climbing-Lane Design Theory and Road-Test Results". *Highway Research Board Bulletin 104*, p. 1–11.
- Hutton, T. D. (1970) "Acceleration Performance of Highway Diesel Trucks". *SAE paper 700664*. Society of Automotive Engineers, New York, NY.
- SAE Procedure J688 (1987) "Truck Ability Prediction Procedure". Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, EUA.
- SAE Procedure J2188 (1996) "Commercial truck and bus SAE recommended procedure for vehicle performance prediction and charting". Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, EUA.
- St. John, A. D. e D. R. Kobett (1978) *Grade Effects on Traffic Flow Stability and Capacity*. NCHRP Report 185, Midwest Research Institute, Kansas City, Missouri. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Schwender, H. C.; O. K. Norman e J. O. Granum (1957) "New Method of Capacity Determination for Rural Roads in Mountainous Terrain". *HRB Bulletin 167*, p. 10-37. Highway Research Board, Washington, D.C.

- Watanada, T. *et al.* (1987) *The Highway Design and Maintenance Standard Model*, v.1: *Description of the HDM-III Model*. John Hopkins University, Baltimore.
- Wiley, W. E. (1949). "Survey of Uphill Speeds of Trucks on Mountain Grades". *Highway Research Board Proceedings*, v. 29, p. 304–310.

Endereço dos autores:

Sergio Henrique Demarchi
Departamento de Engenharia Civil
Universidade Estadual de Maringá
Av. Colombo, 5790, Bloco C67
87020-900 – Maringá, PR
E-mail: sdhm@uol.com.br

Ricardo Almeida de Melo
José Reynaldo A. Setti
Departamento de Transportes
Escola de Engenharia de São Carlos
Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador São-carlense, 400
13566-590 – São Carlos, SP
E-mail: ralmeida@sc.usp.br
setti@sc.usp.br