

Faixas adicionais para aclives de rodovias de pistas simples brasileiras: uma adaptação dos critérios da AASHTO

R. A. Melo¹

Departamento de Tecnologia da Construção Civil, Universidade federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brasil

J. R. A. Setti²

Departamento de Transportes, Universidade de São Paulo/ Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil

Artigo Recebido: 08/08/2003 - Aprovado: 21/10/2003

RESUMO: Caminhões carregados quando trafegam em aclives reduzem a velocidade de operação e provocam a formação de pelotões, aumentando o custo operacional e o tempo de viagem dos veículos mais rápidos, além de diminuir a segurança de trânsito. Esses problemas são solucionados quando construídas faixas adicionais, que são obras de melhoria de baixo custo de construção e menor impacto ambiental quando comparado à duplicação de rodovias. Com o intuito de propor diretrizes para implantação de faixas adicionais em aclives de rodovias de pista simples brasileiras, este trabalho visou adaptar, às condições de tráfego e veículos nacionais, os critérios estabelecidos no Livro Verde da AASHTO. Os aspectos adaptados às condições brasileiras foram: (i) curvas de desempenho de caminhões; (ii) redução máxima admissível de velocidade dos caminhões em rampas; e (iii) fluxos mínimos de veículos e porcentagens de caminhões que justificam economicamente a construção da faixa adicional.

ABSTRACT: On upgrades, the flow of trucks decreases the speed, causes platooning and increases the operational cost, the time of travel of the fast vehicles and also the accidents on the roads. These problems may be solved when the climbing lanes are built, these lanes are cheaper and less damaged to the environment than the building of multi-lane highways. The aim of this work was to adapt the AASHTO criteria for implantation of climbing lanes to Brazilians conditions. The aspects of Green Book adapted for Brazilians conditions were: (i) truck performance curves; (ii) maximum allowable reduction of speed of trucks on upgrades; and (iii) minimum vehicles flow and truck percents that it justify economically to building of the climbing lane.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o modo rodoviário é o meio de transporte mais utilizado para o escoamento de produtos agrícolas, de produtos industrializados e para o deslocamento de passageiros, sendo responsável por 62% do transporte de carga e 96% do transporte interurbano de passageiros [GEIPOT, 2002]. Devido à importância do transporte rodoviário para a economia brasileira, é necessário propor melhorias para o sistema rodoviário existente, de forma que o transporte seja feito de maneira rápida, econômica e segura.

As rodovias pavimentadas brasileiras constituem 164.246 quilômetros, ou 9,5% do total da rede viária, dos quais 149.464 quilômetros são de pista simples e 14.782 quilômetros em pista dupla [CNT, 2001; GEIPOT, 2002]. Como boa parte das rodovias de pista simples não apresentará crescimento de tráfego que justifique a sua duplicação, deve-se estudar maneiras de melhorar a operação desse tipo de rodovia, em especial nos trechos de rampas ascendentes que circulam caminhões carregados (veículos lentos).

Devido às suas características de desempenho, os caminhões carregados perdem velocidade em aclives e provocam a formação de pelotões, principalmente em rodovias de pista simples em que as oportunidades de ultrapassagem são menores. A interferência dos veículos lentos sobre os veículos rápidos (geralmente, automóveis e ônibus) reflete-se em acréscimos dos tempos de viagens, dos custos operacionais dos veículos e na possibilidade de acidentes [DNER, 1999].

Com a finalidade de melhorar o nível de serviço em aclives, reduzir tempo de viagem, custo operacional de veículos e tornar a viagem mais segura podem ser implantadas faixas adicionais de subida (ou terceiras faixas), que são faixas auxiliares construídas ao lado direito da faixa de rolamento, no sentido ascendente, destinada exclusivamente ao tráfego de veículos lentos [DNER, 1999]. A faixa adicional é uma melhoria que pode ser construída rapidamente, a baixo custo e que causa menor impacto ambiental se comparada à obra de duplicação.

Desde os anos 60, a AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation*

Officials) estabelece diretrizes para projetos de implantação de faixas adicionais que estão entre as mais difundidas no mundo e serviram como referência para o desenvolvimento de diretrizes específicas para muitos países, como Alemanha, Canadá, Israel e México. No Brasil, essas diretrizes costumam ser usadas sem nenhuma adaptação; ainda que as normas do antigo DNER indiquem especificamente que há a necessidade da realização de estudos para adequá-las às condições das rodovias brasileiras.

2 OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo primordial deste trabalho é apresentar os principais resultados obtidos num estudo visando adaptar, às condições nacionais, as diretrizes de implantação de faixas adicionais preconizadas pela AASHTO (2001). Especificamente, este trabalho propõe um critério de volumes mínimos de tráfego que justifiquem economicamente, a construção de faixas adicionais em aclives de rodovias de pista simples brasileiras.

3 DIRETRIZES DA AASHTO

As diretrizes da AASHTO estabelecem que a implantação de uma faixa adicional justifica-se quando são satisfeitos três critérios:

- 1) Existe uma taxa de fluxo de tráfego no aclive maior que 200 veíc/h; e
- 2) O fluxo de caminhões é maior que 20 caminhões por hora no aclive; e
- 3) Uma das seguintes condições é satisfeita:
 - 3.1) Ocorre uma redução de 15 km/h ou mais na velocidade do caminhão típico (120 kg/kW) trafegando ao longo do aclive; ou
 - 3.2) O nível de serviço calculado para a rampa é igual ao nível E ou F; ou
 - 3.3) Ocorre uma redução de dois ou mais níveis de serviço em relação ao trecho antecedente ao aclive.

Além desses critérios, se houver a necessidade de aumentar a segurança durante as viagens, a redução de acidentes pode ser usada como critério de decisão para justificar a implantação de faixas adicionais (AASHTO, 2001; p. 248)

Também é importante mencionar a proposta de Schulze e Lamm (2000), na Alemanha, os critérios propostos pelo *Alberta Transportation and Utilities* (ATU, 1999) e *Ministry of Transportation of Ontario* (MTO, 1990), no Canadá, os estudos realizados pelo *Instituto Mexicano del Transporte* Mendonza e Mayoral, 1994

e por Polus *et al.* (1981), em Israel. No Brasil, devem ser destacadas as diretrizes estabelecidas pelo DNER (1999) e a pesquisa desenvolvida por Kabbach (1992). A principal constatação é que todos esses estudos, à exceção do DNER, fundamentam-se nas diretrizes estabelecidas no Livro Verde da AASHTO, com adaptações para adequá-las às condições locais de tráfego e de veículos.

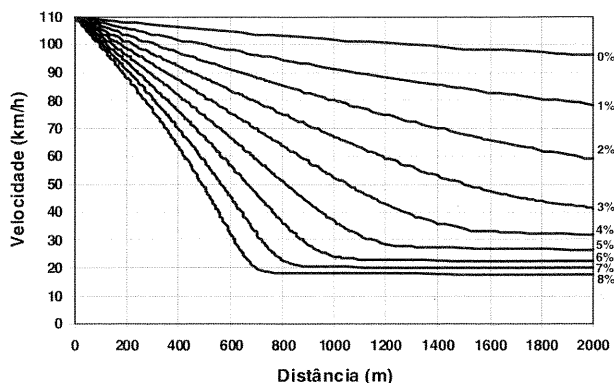
4 PROPOSTA DE ADAPTAÇÃO DAS DIRETRIZES DA AASHTO

Para adaptar as diretrizes da AASHTO às condições brasileiras, determinou-se que seria necessário tratar três aspectos: (i) curvas de desempenho de caminhões; (ii) redução máxima admissível de velocidade dos caminhões em rampas; e (iii) volumes mínimos de veículos e porcentagens de caminhões que justificam economicamente a construção da faixa adicional.

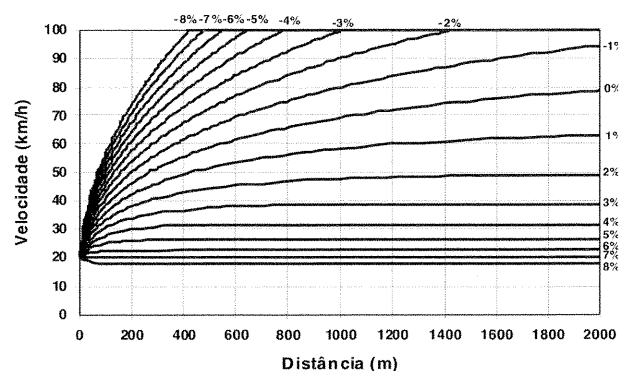
4.1 *Curvas de desempenho para caminhões carregados brasileiros*

Com relação ao primeiro aspecto, constatou-se, por meio de dados de massa e potência obtidos em balanças móveis em balanças fixas e móveis, que a relação massa/potência dos caminhões brasileiros varia de 100 kg/kW a 380 kg/kW, sendo significativamente maior que a adotado pela AASHTO para o caminhão típico norte-americano (120 kg/kW) (Melo, 2002; Demarchi e Setti, 1999; Demarchi e Pierin, 2001).. Em virtude disso, as curvas de desempenho usadas pela AASHTO não deveriam ser usadas em projetos de faixas adicionais de rodovias brasileiras.

Para propor curvas de desempenho que pudessem ser representativas dos caminhões nacionais, um modelo de locomoção de veículos foi validado e recalibrado com dados de massa e potência obtidos em balanças móveis em balanças fixas e móveis [Melo, 2002; Demarchi e Setti, 1999; Demarchi e Pierin, 2001] e perfis de velocidade obtidos em aclives de rodovias de pista simples paulistas [Demarchi, Melo e Setti, 2001]. Após a recalibração, o modelo foi usado para gerar curvas de desempenho para caminhões típicos da frota brasileira. Essas curvas de desempenho devem substituir as que constam do Livro Verde, uma vez que o projetista escolha o caminhão típico para o trecho em que a faixa adicional será construída. Mais detalhes sobre as curvas de desempenho podem ser encontrados em Melo(2002) e Demarchi, Melo e Setti (2001); a Figura 1 ilustra a curva típica para os caminhões rígidos pesados de 200 kg/kW.



(a)



(b)

Figura 1. Curvas de desempenho propostas para caminhão de 200 kg/kW: (a) curvas de desaceleração, (b) curvas de aceleração [Melo, 2002]

4.2 Critério de redução máxima admissível de velocidade

Quanto ao segundo aspecto, a curva que correlaciona índices de envolvimento de caminhões em acidentes com a diferença entre a velocidade de veículos, proposta originalmente por Glennon (1970), foi adaptada às condições nacionais. Para isso, foram coletados, processados e analisados dados sobre acidentes, fluxos de tráfego e distribuição de velocidades numa rede de 770 km de extensão, na região central do estado de São Paulo. A partir da curva obtida, como hipótese, tomou-se como referência o índice de acidentes (igual a 536) para uma diferença de velocidade de 15 km/h (proposta pela AASHTO) e foi sugerido um valor igual a 20 km/h, como redução máxima admissível para velocidade de caminhões carregados em aclives de rodovias de pista simples brasileiras. Em rampas, nas quais as reduções de velocidades dos caminhões forem maiores do que a proposta, deve-se implantar faixas adicionais. Mais detalhes sobre este critério podem ser encontrados em Melo (2002) ou Melo e Setti (2002).

4.3 Volumes Mínimos de Tráfego

Os critérios de desempenho e de redução máxima admissível para velocidade dos caminhões carregados são necessários mas são suficientes para verificar a

necessidade de implantação de faixas adicionais, pois nas situações em que o fluxo de tráfego é pequeno, a probabilidade de ocorrer formação de pelotões é pequena e, conseqüentemente, poucos veículos são afetados por caminhões lentos nos aclives. Nesses casos, o investimento necessário para implantar faixas adicionais pode ser muito maior que os benefícios gerados aos usuários. Dessa forma, a relação entre o custo do investimento e os benefícios aos usuários é importante para a avaliação de projetos de faixas adicionais.

Várias diretrizes incorporam a análise econômica como critério de decisão para implantação de faixas adicionais em aclives de rodovias de pista simples (MTO, 1990; Jain e Taylor, 1991; Mendonza e Mayoral, 1994; ATU, 1999)]. Neste estudo, os cálculos dos benefícios e dos custos de construção foram feitos de acordo com as definições, critérios e procedimentos desenvolvidos no Brasil para avaliação econômica de projetos de transportes (DNER, 1976, 1979; EBTU, 1981; Kabbach, 1992).

No estudo aqui apresentado, o benefício total BT gerado pela implantação da faixa adicional é dado por:

$$BT = BRCO + BRTV \quad (1)$$

em que

$BRCO$: benefício gerado pela redução dos custos operacionais dos veículos (R\$/ano); e

$BRTV$: benefício gerado pela redução dos tempos de viagem (R\$/ano).

Neste estudo foram incluídos apenas os benefícios gerados pela redução dos custos operacionais dos veículos e dos tempos de viagens, já que a redução do tempo de viagem e a economia de combustível são os benefícios mais facilmente reconhecidos pelos usuários e representam a maior parcela do montante dos benefícios totais em análises econômicas de obras para rodovias (GEIPOT, 1982; McFarland e Chui, 1987). Os benefícios gerados redução de outros custos – como custos de acidentes e de impactos ambientais – não foram incluídos na análise por falta de estudos confiáveis, realizados no Brasil, sobre o efeito da construção de faixas adicionais sobre acidentes, sobre custos de acidentes e sobre a redução de emissões.

O custo operacional de um veículo é a soma dos gastos (combustível, óleo e lubrificantes, manutenção, pneus entre outros) quando o usuário viaja numa rodovia (Pedrozo *et. al.*, 2001). Outros itens que compõem os custos operacionais de veículos comerciais são salário do motorista, depreciação do veículo, remuneração do capital, licenciamento, seguros, administração entre outros (Kabbach, 1992). Neste estudo, o custo operacional unitário para cada veículo foi obtido a partir de dados existentes na

internet (Economia e Transporte, 2001). Em aclives, o acréscimo do custo operacional dos automóveis e ônibus – causado pela inexistência de faixa adicional – é função da distância média de acompanhamento dos caminhões pelos automóveis e ônibus, e dos custos unitários dos veículos (Kabbach, 1992). A distância média de acompanhamento, que dependem da declividade da rampa e da velocidade de operação, pode ser obtida pela estimativa do tempo perdido por automóveis, ônibus e caminhões descarregados (veículos rápidos) por seguirem em pelotões atrás dos caminhões carregados (DNER, 1979).

O benefício gerado pela redução do tempo de viagem é constituído apenas pela soma da redução do tempo de viagem de automóveis e ônibus, já que os caminhões não experimentam nenhum ganho de velocidade com a construção da faixa adicional. O cálculo dos benefícios gerados pela redução do retardamento de carros e ônibus requer a definição do custo horário do usuário, que corresponde ao valor que ele estaria disposto a pagar se fosse reduzida uma hora no tempo de viagem.

O custo de implantação da faixa adicional é a soma dos custos de construção e de manutenção da faixa durante a sua vida útil. Neste estudo, foi considerado apenas o custo de construção. O custo de manutenção foi desprezado porque não se dispunha de dados confiáveis sobre o aumento dos custos de manutenção causados pela construção da área pavimentada adicional representada pela faixa de subida e também porque, na maioria dos estados brasileiros, essa manutenção (remendos e consertos) é praticamente inexistente e consiste da reabilitação periódica da via (recapeamento).

O custo de construção depende da topografia e geotecnia do local, disponibilidade de materiais e respectivas distâncias de transportes, seção transversal adotada, volumes de cortes e de aterros, reforço ou demolição da estrutura do acostamento, drenagem, sinalização, defensas, desapropriações, provisões para contingências, custos de projeto e supervisão da obra (DNER, 1979; Kabbach, 1992; Pedrozo *et al.*, 2001).

5 ESTIMATIVA DOS BENEFÍCIOS ASSOCIADOS À FAIXA ADICIONAL

Para estimar os parâmetros necessários ao cálculo dos benefícios foi usado o *TRARR*, um modelo de simulação microscópico e estocástico capaz de simular um fluxo de tráfego ininterrupto em uma rodovia de pista simples, *com* ou *sem* faixas adicionais e sem interseções. No modelo pode-se avaliar as alterações causadas à operação dos veículos por modificações nos parâmetros relativos à rodovia, ao tráfego (fluxo e composição) e aos veículos, que são armazenados em arquivos específicos (*ROAD*, *TRAF* e *VEHS*, respectivamente). O Departamento de Transportes da

Escola de Engenharia de São Carlos dispõe de uma versão calibrada e validada por Egami (2000) para as condições existentes nas rodovias do estado de São Paulo.

Para realização do estudo foram escolhidos aclives existentes nas rodovias SP225 e SP333, no estado de São Paulo, pela disponibilidade de dados sobre as rampas e o tráfego. A Tabela 1 resume informações sobre o projeto geométrico dos trechos estudados.

Tabela 1. Características geométricas dos aclives de rodovias de pista simples estudados

Rodovia	Trecho (km: início ao fim)	Rampa		Faixa adicional comprim ento proposto
		compri mento	declivi dade	
SP225 oeste	92+600 ao 95	1.500 m	3,08%	1.000 m
SP225 oeste	148 ao 150+400	2.400 m	3,80%	1.800 m
SP333 sul	155+40 ao 157+840	1.400 m	2,60%	1.000 m

Com relação ao tráfego, foram criados 2.310 arquivos de entrada (*TRAF*) dos quais metade constituiu rampas *sem* faixa adicional e a outra metade constituiu as mesmas rampas *com* faixa adicional. As alterações mais importantes foram relacionadas à composição e ao fluxo de veículos: (i) a porcentagem de caminhões carregados que variou de 10% a 40% e (ii) o tráfego de veículos que variou de 50 veíc/h a 700 veíc/h. O volume de ônibus foi considerado constante e igual a 5% do fluxo de tráfego. Um arquivo *VEHS* foi criado para retratar as características dos veículos (massa, potência entre outros) que trafegam pelos trechos analisados.

Neste estudo, a coleta detalhada de dados de tráfego foi feita para um período de apenas quatro horas diárias, em função das restrições nos recursos disponíveis. Como o tráfego varia em função da hora do dia, para fazer as simulações foram feitas as seguintes suposições:

- 1) Considerou-se que das 24 horas diárias, 8 horas corresponderiam às horas de pico e 16 horas corresponderiam às horas entre picos;
- 2) O volume na hora de pico foi adotado como sendo 8% do volume diário médio anual;
- 3) Durante as horas de pico, admitiu-se o fluxo de tráfego constante; para as horas entre picos valeu a mesma consideração; e

- 4) O fluxo horário de tráfego no período entre picos foi considerado como sendo igual a metade do fluxo horário de pico.

Para fazer as simulações, foram criados os arquivos relativos à geometria da rodovia (ROAD) para duas situações de análise: aclives *sem* e *com* faixa adicional. O início da faixa adicional foi definido de acordo com o critério de redução máxima admissível de velocidade de 20 km/h, sendo a velocidade de entrada na rampa igual a 90 km/h. A distância de visibilidade foi calculada pelo método da AASHTO [1994]. Outras informações relativas ao projeto geométrico e à sinalização foram obtidas nas concessionárias e através de visitas aos trechos.

Os resultados das simulações usados para estimar os benefícios para análise econômica foram o tempo de viagem, a velocidade média e a distância média de acompanhamento para cada categoria de veículo, para as situações *com* e *sem* a faixa adicional de subida.

5.1 Estimativa da redução do custo operacional

Os resultados obtidos nas simulações foram usados no cálculo dos benefícios de acordo com os conceitos, parâmetros e procedimentos definidos pelo DNER (1976, 1979), EBTU (1981) e Kabbach (1992). Desse modo, o custo operacional diário dos veículos rápidos em rampas sem faixas adicionais (COD_{SFA}) foi estimado pela equação:

$$COD_{SFA} = Lm \cdot D_d \cdot (VDM_A \cdot COU_A + VDM_O \cdot COU_O + VDM_{CV} \cdot COU_{CV}) \quad (2)$$

em que:

- Lm : distância média de acompanhamento (km);
- D_d : divisão do tráfego por sentido;
- VDM_A : volume diário médio de automóveis (veíc/dia);
- VDM_O : volume diário médio de ônibus (veíc/dia);
- VDM_{CV} : volume diário médio de caminhões vazios (veíc/dia);
- COU_A : custo operacional unitário dos automóveis (R\$/km);
- COU_O : custo operacional unitário dos ônibus (R\$/km);
- COU_{CV} : custo operacional unitário dos caminhões vazios, (R\$/km).

O custo operacional é função da declividade da rampa e da velocidade média do veículo lento.

Com a implantação da faixa adicional, há uma redução nos custos operacionais dos veículos rápidos. A estimativa dos custos operacionais diários dos veículos rápidos (COD_{CFA}), quando implantada a faixa adicional, foi feita de maneira análoga ao que foi descrito anteriormente (com exceção dos custos operacionais unitários para cada tipo de veículo):

$$COD_{CFA} = Lm \cdot D_d \cdot (VDM_A \cdot COU_A + VDM_O \cdot COU_O + VDM_{CV} \cdot COU_{CV}) \quad (3)$$

em que :

- COU_A : custo operacional unitário dos automóveis, que é função da declividade da rampa e da velocidade média dos automóveis (R\$/km);
- COU_O : custo operacional unitário dos ônibus, que é função da declividade da rampa e da velocidade média dos ônibus (R\$/km);
- COU_{CV} : custo operacional unitário dos caminhões vazios, que é função da declividade da rampa e da velocidade média dos caminhões vazios (R\$/km).

Em virtude das simplificações relacionadas ao fluxo de tráfego, os custos operacionais diários dos veículos (*sem* e *com* faixa adicional) foram calculados de acordo com a seguinte expressão:

$$COD_i = 8 \cdot co_{hp, condição_i} + 16 \cdot co_{hep, condição_i} \quad (4)$$

em que

- COD_i : custo operacional diário na condição i , *sem* faixa (SFA) ou *com* (CFA) faixa adicional;
- $co_{hp, condição_i}$: custo operacional dos veículos na hora de pico para condição i ;
- $co_{hep, condição_i}$: custo operacional dos veículos na hora de entre-pico para condição i .

Os benefícios anuais decorrentes da redução dos custos operacionais dos veículos (BOP) foram calculados pela seguinte expressão:

$$BOP = 365 \cdot (COD_{SFA} - COD_{CFA}) \quad (5)$$

Os benefícios anuais gerados pela redução do

tempo de viagem (B_T) foram estimados por:

$$B_T = 365 \cdot Ad \cdot CHu \cdot R \quad (6)$$

em que

- Ad : atraso diário real causado pelos veículos lentos aos veículos rápidos que sobem a rampa, calculado pela diferença entre o tempo médio de viagem dos veículos rápidos nas duas situações – *sem* e *com* faixa adicional (h);
- CHu : média ponderada da hora perdida para os veículos rápidos (em valores monetários, R\$); e
- R : fator adimensional usado para expressar os veículos rápidos (automóveis e ônibus) que são beneficiados pela redução do atraso na viagem, em relação a frota total de veículos rápidos (inclui os caminhões vazios).

A média ponderada da hora perdida para os veículos rápidos CHu foi calculada por (EBTU, 1981):

$$CHu = \frac{P_A \cdot (0,0352 + 0,0123 \cdot N_{pa}) + 0,0123 \cdot P_O \cdot N_{po}}{(P_A + P_O)} \cdot SM \quad (7)$$

em que

- P_A : porcentagem de automóveis dentro da composição do tráfego;
- N_{pa} : número médio de passageiros por automóvel;
- P_O : porcentagem de ônibus dentro da composição do tráfego;
- N_o : número médio de passageiros por ônibus;
- SM : valor do salário mínimo (R\$);

O fator R é calculado por:

$$R = \frac{P_A + P_O}{P_A + P_O + P_{CV}} \quad (8)$$

na qual

P_{CV} é a porcentagem de caminhões vazios na composição do tráfego.

5.2 Estimativa dos custos

Os custos necessários à construção das faixas

adicionais foram estimados a partir dos itens de materiais e de serviços, fornecidos por uma concessionária de rodovias do estado de São Paulo, e dos custos unitários que constam da Tabela de Preços Unitários do DER-SP relativa à junho de 2001 (DER, 2001).

Nos custos de construção admitiu-se, por simplificação, que a plataforma para a execução da faixa adicional estava pronta para ser pavimentada, portanto as parcelas de custos de cortes e aterros foram desprezadas. Essa simplificação foi adotada porque as faixas adicionais são melhoramentos de baixo investimento e, por isso, devem ser construídas inicialmente nos locais onde requeiram o menor movimento de terra possível. Se as condições do local onde a obra será executada exigirem movimentos de terra ou obras de arte especiais, os volumes mínimos determinados nesta análise não serão suficientes para garantir o retorno econômico do investimento e uma avaliação mais detalhada deverá ser feita.

5.3 Determinação do volume mínimo que justifica a construção da faixa adicional

Os volumes mínimos de tráfego que justificam a construção da faixa adicional foram estimados a partir da *relação benefício/custo*, pois além da sua facilidade de uso, o método permite comparações entre diferentes alternativas e projetos. Um projeto é considerado economicamente viável se a relação B/C for maior que a unidade e, quanto maior a relação, mais atraente se torna o projeto.

Após a determinação dos benefícios dos usuários e do custo de construção da faixa adicional, a relação benefício/custo foi calculada e plotada em gráfico como função do fluxo de tráfego no sentido ascendente e da porcentagem de caminhões. A Figura 2 mostra o gráfico obtido uma das rampas estudadas; gráficos similares foram obtidos para as demais rampas estudadas.

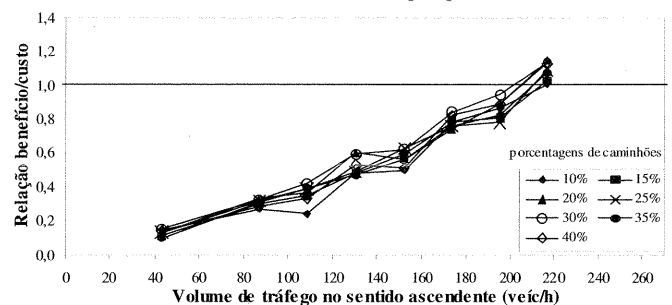


Figura 2. Relação B/C em função do fluxo de tráfego e porcentagem de caminhões para a faixa adicional do km 93,8 Leste da SP-225 (rampa equivalente: 3,08%, extensão: 1 km).

Para identificar quais os volumes mínimos de tráfego que tornam o investimento economicamente viável, nos trechos estudados foram identificados e

locados os fluxos de tráfego (sentido ascendente) em função das porcentagens de caminhões, cuja relação B/C era igual à unidade. Dos pares obtidos, foram feitas análises de regressão com o intuito de estimar a melhor função matemática para correlacioná-los; o melhor ajuste foi obtido pelo uso de função do tipo quadrática. Os resultados estão resumidos na Figura 3.

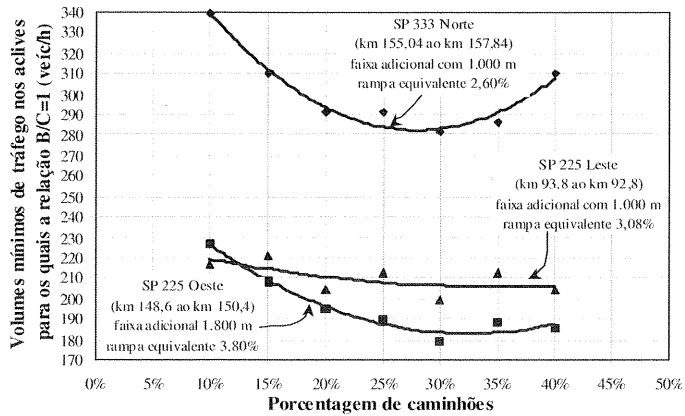


Figura 3. Volumes mínimos de tráfego (sentido ascendente) em função da porcentagem de caminhões, para os quais a relação B/C = 1

Pelos resultados, apresentados nas Figuras 2 e 3, pode-se constatar que os volumes mínimos de tráfego dependem da geometria da rampa e da porcentagem de caminhões. Após a implantação da faixa adicional, o caminhão passa a trafegar numa faixa exclusiva e deixa a faixa normal de tráfego para o veículo mais rápido, que consegue manter a velocidade constante reduzindo o tempo de viagem e o custo operacional, além de minimizar os riscos de acidentes. Esses benefícios são maiores a medida que a declividade da rampa e a porcentagem de caminhões aumenta até 30% de caminhões, a partir daí, os benefícios começam a se reduzir, pois o volume de veículos rápidos (carros, ônibus e caminhões vazios) começa a ficar muito pequeno.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em face da limitação de recursos disponíveis, esta pesquisa foi desenvolvida em rodovias do estado de São Paulo, portanto o estudo desenvolvido não esgota o tema em questão, muito pelo contrário, o mais indicado é que o estudo seja ampliado e dados sejam coletados em outras regiões do país, para que de fato, os resultados aqui apresentados, ora como sugestão, possam vir a constituir um conjunto de diretrizes que possam substituir as existentes no Livro Verde da AASHTO e sirvam como critérios para implantação de faixas adicionais em aclives de rodovias de pista simples brasileiras.

Como foi constatado, a relação massa/potência dos caminhões carregados brasileiros é bem maior do que a dos caminhões carregados norte-americanos. Usar as curvas de desempenho existentes no Livro Verde para projetos de faixas adicionais de rodovias brasileiras seria no mínimo arriscado. Com vistas a solucionar o problema, este estudo propõe curvas que representam o desempenho caminhões carregados típicos da frota nacional para que as mesmas possam ser usadas em projetos de faixas adicionais.

O critério de redução máxima admissível para velocidade de caminhões carregados representa um avanço em relação à proposta da AASHTO, cujo critério não foi atualizado a mais de 30 anos. Além disso, neste estudo foram considerados apenas os acidentes que podem estar relacionados com a diferença de velocidade entre veículos (colisões, abalroamentos e engavetamentos) e as distribuições de velocidade foram medidas diretamente nas rampas; ao passo que no estudo de Glennon (1970), podem ter sido incluídos outros tipos de acidentes não relacionados às rampas (como tombamento e capotamento) e as velocidades foram estimadas a partir de modelos teóricos, no qual foi considerado que a geometria das rodovias era plana.

Quanto aos critérios de fluxos de tráfego, o que está sendo indicado neste estudo é apenas um indicativo para verificação da necessidade de faixas adicionais, pois os autores deste trabalho estão desenvolvendo um estudo com mais de 25.000 simulações, com vistas a determinar, com maior precisão, os volumes mínimos de tráfego que possam justificar a implantação de faixas adicionais em rodovias de pista simples brasileiras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos que contribuíram para o desenvolvimento deste estudo. Ao CNPq, por financiar a pesquisa através de bolsas de estudo (doutorado e produtividade em pesquisa), à FINEP, por conceder um auxílio pesquisa (através do programa RECOPE) e à FIPAI (Fundação para Incremento da Pesquisa e do Aperfeiçoamento Industrial). Às concessionárias Triângulo do Sol e Centrovias, por disponibilizarem informações indispensáveis à realização da pesquisa e aos alunos da pós-graduação do Departamento de Transportes da EESC/USP, por ajudarem na realização das coletas de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASHTO (1994) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Chapter III: Elements of Design, p. 235-254. Fourth Edition. Washington.

- AASHTO (2001) *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington.
- ATU (1999) *Highway Geometric Design Guide*. Alberta Infrastructure, Alberta Transportation and Utilities. Chapter B: Alignment Elements, p. B-55 to B-79. Alberta, Canada.
- CNT (2001) *Pesquisa Rodoviária 2001*. Confederação Nacional do Transporte. <http://www.cnt.org.br/>. (Acessado em 15/03/02).
- Demarchi, S. H. e Pierin, I. (2001) O impacto da sobrecarga no desempenho de caminhões canavieiros em rampas ascendentes. *Anais do XVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Campinas, v. 1, p. 21-29.
- Demarchi, S. H. e Setti, J. R. A. (1999) Caracterização da relação massa/potência de caminhões em rodovias do estado de São Paulo. *Anais do XIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, São Carlos, v. 1, p. 573-84.
- Demarchi, S. H.; Melo, R. A. e Setti, J. R. A. (2001) Validação de um modelo de desempenho de caminhões em rampas ascendentes. *Revista TRANSPORTES*, volume 9, número 1, edição de Maio. Rio de Janeiro.
- DER (2001) *Tabela de Preços Unitários*. Data de referência 30/06/2001. Departamento de Estradas de Rodagem do estado de São Paulo (DER-SP). http://www.der.sp.gov.br/obras/frm_obr.htm. (Acessado em 21/12/01).
- DNER [1976] *Manual de custo de operação*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). Rio de Janeiro. Citado por Kabbach (1992).
- DNER (1999) *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. Capítulo 7: Terceira Faixa nas Rampas Ascendentes, pg. 177-186. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro.
- EBTU (1981) *Manual de avaliação de projetos*. Empresa Brasileira de Transportes Urbanos (EBTU). Brasília. Citado por Kabbach (1992).
- Economia e Transporte (2001) *Economia e Transporte - Custos Operacionais*. <http://www.economiaetransporte.com.br/index2.html>. (Acessado em 14/12/01).
- Engami, C. Y. (2000) *Recalibração de um Modelo para Simulação do Tráfego em Rodovias de Pista Simples*. 137 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- GEIPOT (2002) *Anuário Estatístico de Transportes. Capítulo 5: Transporte Rodoviário (período 1996 a 2000)*. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. Ministério dos Transportes. Brasil. (Acessado em 15/03/02).
- Glennon, J. C. (1970) An Evaluation of Design Criteria for Operating Trucks Safely on Grades. *Highway Research Record* 312, p. 93-112. Texas Transportation Institute, Texas A & M University.
- Jain, M. K. e Taylor, W. C. (1991) Criteria for passing relief lanes on two-lane highways. *ITE Journal*, v. 61, n. 2, p. 25-30, feb. Institute of Transportation Engineers, Washington.
- Kabbach, F. I. J. (1992) *Contribuição para o estudo de implantação de faixas adicionais em rampas ascendentes de rodovias de pista simples*. 333 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, São Paulo.
- McFarland, W. F. e Chui, M. (1987) The value of travel time: new elements developed using a speed choice model. *Transportation Research Record* 1116, p. 15-21.
- Melo, R. A. (2002) *Faixas Adicionais para Aclives de Rodovias Brasileiras*. 175p.. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo.
- Melo, R. A. e Setti, J. R. A. (2002) Critérios para implantação de faixas adicionais em rampas ascendentes das rodovias brasileiras. *CD-ROM do XII Congresso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte*, PANAM, Quito, Equador, 13 p.
- Mendonza, A. e Mayoral, E. [1994] Economic Feasibility Assessment Procedure for Climbing Lanes on Two-Lanes Roads in Mexico. *Transportation Research Record* 1457, p. 26-34.
- MTO (1990) *Cost-effectiveness of Climbing Lanes: Safety, Level of Service and Cost Factors*. Documentation Page TDS-90-08. Ministry of Transportation Ontario.
- Pedrozo, L. G; Senna, L. A. S. e Michel, F. D. (2001) Custos rodoviários – análise e sistematização. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do estado do Rio Grande do Sul (DAER). *Revista Estradas*, ano 1, número 1, p. 16-23, Set..
- Polus, A.; Craus, J. e Grinberg, I. (1981) Applying the Level-of-Service Concept to Climbing Lanes. *Transportation Research Record* 806, p. 28-33.

CONTATOS

¹Nome: Ricardo Almeida de Melo
E-mail: ricardo@ct.ufpb.br

²Nome: José Reynaldo A. Setti
E-mail: jrasetti@usp.br