

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CARLOS EDUARDO BOARON
LUIS FILIPE RODRIGUES TEIXEIRA
PEDRO HENRIQUE PEREIRA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DE
FAIXA ADICIONAL NA RODOVIA BR-277 ENTRE OS KMS 111 E 113
NO SENTIDO OESTE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2018

CARLOS EDUARDO BOARON
LUIS FILIPE RODRIGUES TEIXEIRA
PEDRO HENRIQUE PEREIRA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DE
FAIXA ADICIONAL NA RODOVIA BR-277 ENTRE OS KMS 111 E 113
NO SENTIDO OESTE**

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, Sede Ecoville, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Matheus David Inocente Domingos

CURITIBA
2018



Ministério da Educação

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Campus Curitiba – Sede Ecoville

Departamento Acadêmico de Construção Civil

Curso de Engenharia Civil

FOLHA DE APROVAÇÃO

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA IMPLANTAÇÃO DE FAIXA ADICIONAL NA RODOVIA BR-277 ENTRE OS KMS 111 E 113 NO SENTIDO OESTE

Por

CARLOS EDUARDO BOARON
LUIS FILIPE RODRIGUES TEIXEIRA
PEDRO HENRIQUE PEREIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido no segundo semestre de 2018 e aprovado pela seguinte banca de avaliação presente:

Orientador – Matheus David Inocente Domingos, Dr.
UTFPR

Prof. Adauto José Miranda de Lima, Dr.
UTFPR

Prof. Roberto Gregorio da Silva Junior, Dr.
UFPR

OBS.: O documento assinado encontra-se em posse da coordenação do curso.

UTFPR - Deputado Heitor de Alencar Furtado, 5000 - Curitiba - PR Brasil - CEP 81280-340

secretariadacoc@gmail.com telefone DACOC +55 (41) 3279-4537 www.utfpr.edu.br

AGRADECIMENTOS

Às nossas famílias, que nos acompanharam ao longo desta caminhada, dando amor e apoio incondicional para que alcançássemos mais esta conquista em nossas vidas.

Ao professor Matheus David Inocente Domingos, pela orientação durante esta jornada. Sua dedicação, comprometimento, exigência e paciência foram fundamentais durante este desafio.

Aos professores Aduino José Miranda de Lima e Jair Ferreira de Almeida, por terem aceitado fazer parte da banca examinadora, assim como pelas importantes contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

À Companhia de Concessões Rodoviárias RodoNorte e ao Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, por nos fornecerem os projetos e dados de contagem necessários para a realização deste estudo.

Por fim, agradecemos aos professores do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por todos os ensinamentos transmitidos ao longo desses anos de graduação.

RESUMO

BOARON, C. E.; TEIXEIRA, L. F. R.; PEREIRA, P. H. **Estudo de viabilidade técnica para implantação de faixa adicional na rodovia BR-277 entre os Kms 111 e 113 no sentido oeste.** 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Atuando como a principal via para o transporte de grãos do estado do Paraná, a BR-277 apresenta em grande parte de sua extensão o tráfego de caminhões carregados que, devido às características de desempenho, em aclives mais acentuados reduzem a velocidade de operação e provocam a formação de pelotões. Disso decorrem acréscimos no tempo de viagem, no custo operacional do veículo e na possibilidade de acidentes. Uma solução relativamente simples e barata para este problema é a faixa adicional, elemento auxiliar à faixa de rolamento e destinada ao tráfego de veículos pesados. Pelo exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica para a implantação de uma faixa adicional na BR-277, em um aclive situado entre os marcos quilométricos 111 e 113 no sentido oeste, a partir dos critérios estabelecidos pela ASSHTO. Com base em recomendações do HCM e do DNIT, analisou-se o comprimento crítico da rampa, o volume na hora de projeto, bem como o nível de serviço correspondente no trecho, a fim de estabelecer as condições de tráfego atuais. Através dos resultados obtidos em ambas as recomendações, observou-se que os critérios da ASSHTO são atendidos. Dessa forma, torna-se viável implantar uma faixa adicional no aclive estudado, que proporcionaria aos usuários da via mais segurança e conforto.

Palavras-chave: Faixa adicional, rodovia de múltiplas faixas, nível de serviço, aclive.

ABSTRACT

BOARON, C. E.; TEIXEIRA, L. F. R.; PEREIRA, P. H. **Study of the technical viability for the implementation of an additional lane on highway BR 277 between kms 111 and 113 westbound.** 81 f. Undergraduate Thesis (Bachelor Degree in Civil Engineering) – Federal and Technological University of Paraná, Curitiba, 2018.

Being the main route for grain transportation in the state of Paraná, the BR-277 presents in a large part of its extension, the traffic of loaded trucks that, due to the performance characteristics, in steeper slopes, trucks reduce the speed of operation and cause the formation of platoons. This results in increases in travel time, in the operational cost of the vehicle and in the possibility of accidents. A relatively simple and inexpensive solution to this problem is the additional lane, ancillary to the rolling lane and intended for heavy vehicle traffic. Therefore, the objective of this work is to evaluate the technical viability for the implementation of an additional lane in the BR-277, in a slope located between the kilometer marks 111 and 113 in the western direction, based on the criteria established by ASSHTO. Based on the recommendations of the HCM and the DNIT, the critical length of the ramp, the volume at the project time, and the corresponding service level in the stretch were analyzed in order to establish the current traffic conditions. Through the results obtained in both recommendations, it was observed that the criteria of the ASSHTO are met. In this way, it becomes feasible to deploy an additional lane in the studied slope, which would provide road users more safety and comfort.

Keywords: Additional lane, multilane highways, level of service, slope.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Seção transversal típica de uma rodovia de pista dupla (Adaptado de DNIT, 2010)..... | 17 |
| Figura 2 - Faixa adicional em rodovias de múltiplas faixas (Adaptado de DNER, 1999) | 21 |
| Figura 3 - Relação entre fluxo-velocidade e nível de serviço em rodovias de múltiplas faixas (Adaptado de TRB, 2000) | 25 |
| Figura 4 - Volume horário anual ordenado de forma decrescente (Adaptado de Andrade et al.,2006) | 28 |
| Figura 5 - Níveis de serviços representados no mesmo trecho (Adaptado de TRB, 2000) | 34 |
| Figura 6 - Critérios para determinação dos níveis de serviço em rodovias com quatro ou mais faixas de tráfego (DNIT, 2006)..... | 35 |
| Figura 7 - Variação mensal em rodovias rurais e urbanas estadunidenses (DNIT, 2006) | 41 |
| Figura 8 - Configuração de eixos de veículos de cargo brasileiros (Fernandes Jr., 1994) | 43 |
| Figura 9 - Tipos de eixos de veículos rodoviários brasileiros (Adaptado de DNIT, 2012) | 44 |
| Figura 10 - Categorias de veículos e fatores multiplicadores (DER, 1997) | 45 |
| Figura 11 - Curvas de desempenho X Distância para desaceleração de veículos pesados típicos (ARTESP, 2005)..... | 48 |
| Figura 12 - Curvas de Redução de Velocidade [180 kg/kW] (ARTESP, 2005) | 49 |
| Figura 13 - Rodovia BR-277, Km 11 a 113 - sentido oeste (Adaptado de GOOGLE, 2017)..... | 51 |
| Figura 14 - Fluxograma para análise de segmentos básicos de rodovias de múltiplas faixas (Adaptado de TRB 2000) | 59 |
| Figura 15 - Comprimento dos segmentos da rampa para diferença significativa entre os <i>greides</i> (ARTESP, 2005) | 61 |
| Figura 16 - Inclinação da rampa ascendente (ARTESP, 2005)..... | 61 |
| Figura 17 - Curva fluxo-velocidade e nível de serviço (Adaptado de TRB, 2000) | 68 |
| Figura 18 - Comprimento crítico (Adaptado de ARTESP, 2005) | 70 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Fator de ajuste para largura das faixas (TRB, 1994)..... | 23 |
| Tabela 2 - Fator de ajuste para largura dos acostamentos (Adaptado de TRB,1994) | 24 |
| Tabela 3 - Fator de ajuste para densidade de pontos de acesso (Adaptado de TRB, 1994) | 25 |
| Tabela 4 - Fatores de equivalência para caminhões em aclives específicos do Brasil (Cunha e Setti, 2009) | 31 |
| Tabela 5 - Fator de equivalência de automóveis com reboque ou trailers em carros de passeio (Adaptado de TRB, 1994) | 31 |
| Tabela 6 - Diferenças entre os manuais norte-americanos e brasileiros (os autores) | 40 |
| Tabela 7 - VDM geral por tipo de veículo acumulado (Adaptado de CCR-RodoNorte)..... | 53 |
| Tabela 8 - Fluxo veicular por categoria de 1998 a 2017 [PAGANTES] (Adaptado de CCR-RodoNorte / Praça de São Luiz do Purunã – P5.1) | 55 |
| Tabela 9 - Fluxo veicular por categoria de 1998 a 2017 [PAGANTES] + ônibus metropolitano (Adaptado de CCR-RodoNorte / Praça de São Luiz do Purunã – P5.1) | 56 |
| Tabela 10 - Geometria e características da via (Os autores) | 62 |
| Tabela 11 - Fatores de ajustes vf (Os autores)..... | 64 |
| Tabela 12 - Fatores de ajustes qb (Os autores)..... | 65 |
| Tabela 13 - VDM obtido com a Teoria dos Erros (Os autores)..... | 65 |
| Tabela 14 - Fator de ajuste para veículos pesados (Os autores)..... | 66 |
| Tabela 15 - Critérios de níveis de serviço (Os autores) | 69 |
| Tabela 16 - Capacidade e nível de serviço (Os autores) | 69 |
| Tabela 17 - Critérios e resultados (Os autores)..... | 71 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|----------|--|
| AASHTO | <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> |
| ARTESP | Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo |
| CCR | Companhia de Concessões Rodoviárias |
| CER-1 | Comissão de Estrada e Rodagem nº1 |
| CET | Companhia de Engenharia de Tráfego |
| CNT | Confederação Nacional do Transporte |
| DENATRAN | Departamento Nacional de Trânsito |
| DER | Departamento de Estradas e Rodagem |
| DNER | Departamento Nacional de Estrada e Rodagem |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes |
| ESRS | Eixo Simples de Roda Simples |
| ETD | Eixos Tandem Duplo |
| ETT | Eixos Tandem Triplo |
| HCM | <i>Highway Capacity Manual</i> |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| MAPA | Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento |
| MTPA | Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| SEAB | Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento |
| SEEC | Secretaria de Estado da Cultura do Paraná |
| TRB | <i>Transportation Research Board</i> |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA | 13 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 15 |
| 1.2.1 | Objetivo Geral..... | 15 |
| 1.2.2 | Objetivos Específicos..... | 15 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 17 |
| 2.1 | CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE FAIXAS ADICIONAIS | 20 |
| 2.2 | CAPACIDADE E NÍVEL DE SERVIÇO | 21 |
| 2.2.1 | Velocidade de fluxo livre | 22 |
| 2.2.2 | Fluxo de tráfego..... | 26 |
| 2.3 | MANUAIS | 36 |
| 2.3.1 | Manual de Capacidade de Rodovias dos EUA (HCM) | 36 |
| 2.3.2 | <i>Green Book AASHTO</i> | 37 |
| 2.3.3 | ARTESP | 38 |
| 2.3.4 | DNIT | 38 |
| 2.3.5 | Diferenças entre os manuais | 39 |
| 2.4 | ESTUDOS DE TRÁFEGO | 40 |
| 2.4.1 | Composição do Tráfego em Rodovias Rurais | 40 |
| 2.4.2 | Tipos de Veículos e Eixos..... | 42 |
| 2.5 | CRITÉRIOS PARA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS ADICIONAIS EM ACLIVES DE RODOVIAS DE MÚLTIPLAS FAIXAS | 46 |
| 3 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 51 |
| 3.1 | DESCRIÇÃO DO TRECHO..... | 51 |
| 3.2 | CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA | 52 |
| 3.2.1 | Análise dos dados geométricos | 52 |
| 3.2.2 | Análise dos dados de tráfego | 53 |
| 3.2.3 | Veículo típico e curva de desempenho de veículo..... | 58 |
| 3.2.4 | Avaliação da capacidade e nível de serviço | 58 |
| 3.2.5 | Critérios de implantação da faixa adicional..... | 60 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 62 |
| 4.1 | ANÁLISE ATUAL DE OPERAÇÃO DA RODOVIA | 62 |
| 4.1.1 | Determinação da velocidade de fluxo livre | 63 |
| 4.1.2 | Determinação da taxa de fluxo equivalente | 64 |
| 4.1.3 | Determinação do nível de serviço..... | 67 |
| 4.2 | VERIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE IMPLANTAÇÃO DE FAIXA ADICIONAL | 70 |
| 5 | CONCLUSÃO | 73 |
| 5.1 | SUGESTÃO PARA PESQUISAS FUTURAS | 74 |
| | REFERÊNCIAS | 76 |

1 INTRODUÇÃO

Símbolo de modernidade na década de 50, o automóvel se tornou um fator determinante para alterar a distribuição dos modais na matriz de transporte de cargas no Brasil, até então com predominância do modal ferroviário. O “Plano de Metas” estabelecido pelo então presidente Juscelino Kubitschek (1956-1961), cuja visão desenvolvimentista se resumia no slogan “50 anos em cinco”, foi um grande indutor da instalação de indústrias automobilísticas no País e da popularização do modal rodoviário (MTPA, 2016).

Através do grande incentivo público, o modal rodoviário passou a dominar a matriz logística e é atualmente caracterizado por sua predominância na região Centro-Sul do Brasil, tendo em vista o nível de desenvolvimento econômico e as facilidades ambientais e geográficas presentes na região (IBGE, 2014). Tendo em vista tal predominância, esse sistema de transporte é o mais utilizado para coletar, distribuir e destinar a exportação de quase toda a produção agropecuária brasileira, que atualmente representa 24% do Produto Interno Bruto - PIB (MAPA, 2017). A participação do modal rodoviário é bastante expressiva, sendo representada por cerca de 65 a 75% da matriz de transportes brasileira. Em seguida, tem-se o transporte ferroviário, representado por cerca de 20% e uma porcentagem menos expressiva ainda para o modal hidroviário. Países mais desenvolvidos, como os EUA e China, possuem representação rodoviária de cerca de 30% (RIBEIRO e FERREIRA, 2002).

Diante da importância econômica das rodovias, o Estado do Paraná criou a Comissão de Estrada e Rodagem nº1 (CER-1) na década de 40, a qual ficou responsável por interligar as regiões leste e oeste do estado. Foi então que teve início a idealização da chamada “Grande Estrada”, que se tornaria a principal rodovia de acesso ao porto de Paranaguá. As obras deste projeto foram concluídas em 1969 após cruzar diferentes regiões e chegar até a fronteira com o Paraguai, na cidade de Foz do Iguaçu (DER, 2012). A inauguração dessa rodovia beneficiou metade dos habitantes paranaenses naquela época, além de auxiliar o fluxo de escoamento dos principais produtos agrícolas do estado, que superou os 7 milhões de toneladas/ano na década de 60 (DER, 2013).

Atualmente, a “Grande Estrada” é designada oficialmente como BR-277 e atua como a principal via para o transporte de grãos do Paraná, que ultrapassou os 40 milhões de toneladas em 2017 (SEAB, 2017). Tal rodovia apresenta diversos

entroncamentos rodoviários com rodovias federais e estaduais, a exemplo de seus primeiros quilômetros que se sobrepõem a Rodovia do Café (BR-376). Isto acarreta uma convergência do tráfego sobre uma única estrada, potencializando o risco de congestionamentos e acidentes (DER, 2012).

O movimento intenso das rodovias justifica-se pelo aumento da produção de grãos e matéria-prima, que são reflexos da evolução tecnológica e do crescimento populacional (ONU, 2018). Estas circunstâncias afetam diretamente o fluxo de veículos na atual malha rodoviária, que carece de melhorias como duplicação de trechos, interseções e pavimentação para comportar a demanda de veículos do mercado (MTPA, 2014). Muitas são as alternativas que podem auxiliar as vias existentes a melhorar o fluxo e amenizar os problemas que surgem com esse excesso de veículos, sendo a faixa adicional – por vezes designada popularmente como “3ª faixa” – uma das alternativas mais simples e baratas de serem executadas.

A faixa adicional é um elemento auxiliar da pista de rolamento e destinada a veículos pesados. Estes, afetados por rampas mais acentuadas, trafegam em velocidades baixas e restringem a aceleração dos automóveis, reduzindo significativamente a velocidade média e o padrão operacional das rodovias (TRB, 2001). A presença da faixa adicional permite que os veículos pesados se retirem do fluxo principal da pista e possibilita aos veículos leves o tráfego a velocidades maiores, o que evita acidentes, a perda de capacidade, o retardamento do fluxo e a consequente redução do nível de serviço da via (DNER, 1999).

Então, para ser viável a execução de uma faixa adicional, a elevação ascendente deve ser maior que o comprimento crítico de rampa, representado pela distância máxima que um caminhão carregado trafega sem redução significativa de velocidade. Além disso, a porcentagem de caminhões pesados deve ser considerável no trecho. A união desses dois fatores limita a capacidade de ultrapassagem e segurança operacional (PONTES FILHO, 1998).

Em rodovias de pista simples, a perda de nível de serviço da via é mais recorrente porque os veículos leves são obrigados a ultrapassar pela faixa destinada ao fluxo contrário, e dependem de condições favoráveis para fazê-lo. Por outro lado, rodovias de pista dupla teoricamente minimizam esse tipo de adversidade, pois a pista da direita é destinada aos veículos lentos e a pista da esquerda possibilita que os veículos mais rápidos façam a ultrapassagem sem preocupações com o contra fluxo da via. No entanto, é comum observar em trechos ascendentes o aumento das

manobras de ultrapassagem entre veículos lentos, especialmente quando o volume de tráfego é elevado ou o percentual de veículos pesados na composição do tráfego é expressivo. Isto leva à formação de pelotões, restrição repentina no fluxo de veículos leves, aumento dos riscos de colisões traseiras e perda significativa na qualidade de operação (MELO e SETTI, 2003).

Como destacado acima, as rodovias de pista dupla também podem necessitar de faixas adicionais em locais específicos do traçado, dependendo do volume e da composição do tráfego. Um exemplo característico deste caso foi estudado e recomendado em rodovias estaduais de São Paulo, mais especificamente nas Rodovias dos Bandeirantes (SP-348) e Anhanguera (SP-330) e entre as cidades de São Paulo e Jundiaí. De modo a suprir a demanda dos motoristas que trafegam diariamente entre as duas cidades, sobretudo nos horários de pico, a Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP) determinou a implantação de faixas adicionais em ambas as rodovias. Concluídas as obras em 2017 por parte da atual concessionária, passaram a ser disponibilizadas 4 faixas de rolamento por sentido na SP-330 e 5 faixas por sentido na SP-348 aos motoristas que passam pelo trecho (ARTESP, 2017). Este fato comprova a eficiência da faixa auxiliar em rodovias de pista dupla ou com maior número de faixas que operam próximo de suas condições limites, viabilizando os investimentos neste tipo de intervenção.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com o crescimento populacional e a sua concentração no entorno dos polos industriais, muitas rodovias operam próximo de suas capacidades de tráfego projetadas, o que interfere na livre circulação dos veículos e aumenta a frequência de manutenção e obras para suportar a demanda de 1 automóvel para cada 4 brasileiros (CNT, 2014). Além disso, a má distribuição do transporte de cargas entre os modais também afeta diretamente a economia, visto que o setor de transportes representa cerca de 12% do PIB brasileiro e mais de 70% da produção agrícola é transportada por rodovias (IBGE, 2014).

Frente ao cenário de globalização, a mobilidade tem obtido relevância especial e dentro dela destacam-se os fluxos humanos sobre o espaço geográfico.

Tem-se, portanto, a criação do conceito de movimento pendular, o qual impõe como critério a ocorrência do fenômeno trabalho-moradia entre municípios distintos ou entre áreas periféricas e áreas centrais inseridas em um só município (PERPETUA, 2010). Na região metropolitana de Curitiba (PR), tem-se o deslocamento diário de 7.000 pessoas da cidade de Campo Largo em direção a capital, as quais representam 21% dos trabalhadores dessa (IBGE, 2017). Para suprir esta demanda, todos os dias são realizadas 167 viagens de ônibus, segundo a empresa responsável pelo transporte coletivo, que se somam ao tráfego usual da rodovia que as interliga.

Com isso, as rodovias rurais passam a receber um tráfego atípico em horários determinados no início da manhã e ao final da tarde, acarretando um aumento de veículos e congestionamentos em pontos concentrados, principalmente em regiões íngremes, onde a velocidade média é menor devido ao desempenho dos veículos pesados nesses pontos. Deste modo, nota-se a importância de realizar estudos em pistas já existentes para melhorar a qualidade de serviços e o fluxo de automóveis e caminhões (leves e pesados).

Nesse contexto, o trecho da BR-277 que liga Curitiba a Campo Largo (PR) necessita de melhorias diante das atuais condições de operação, pois, apesar de ser constituída em pista dupla, seus usuários são submetidos ao aumento constante dos volumes do tráfego. Segundo dados da atual concessionária que administra o trecho (CCR-Rodonorte, 2017), estes volumes cresceram 46% nos últimos 10 anos. O fato de a BR-277 ser a única ligação totalmente pavimentada entre Curitiba e o interior do estado do Paraná também contribui para este aumento do tráfego, além do avanço do PIB em 1,0% em 2017 e do aumento do poder de compra da população (IBGE, 2017). Por outro lado, apenas obras de reparos (recape, substituição de base e dreno) e manutenções em viadutos e cruzamentos têm sido feitas na via desde a sua inauguração na década de 60.

Além das questões associadas ao tráfego, o trecho entre Curitiba e Campo Largo também possui vários aclives com extensão considerável, tendo em vista a topografia presente na superfície da região, localizada entre o primeiro e o segundo planalto paranaense. Isto dificulta o deslocamento dos veículos de maior porte e interfere diretamente no fluxo dos veículos leves, acarretando a redução do padrão operacional da rodovia. Em termos práticos, há uma diminuição da velocidade média e da fluidez do tráfego devido à redução das oportunidades de ultrapassagem, o que também reflete no aumento do tempo médio de viagem.

Deve-se ressaltar ainda que a falta de recursos financeiros para o aumento da capacidade das rodovias nos países em desenvolvimento torna muitas vezes impraticável a sua duplicação integral ou projetos mais sofisticados que contemplem, por exemplo, raios de curvas maiores e rampas com menor grau de inclinação. Este cenário impulsiona a busca por soluções de menor custo e, conforme exemplificado acima para as Rodovias dos Bandeirantes e Anhanguera no estado de São Paulo, uma das alternativas consiste justamente na implantação de faixas adicionais em trechos específicos (PECKER et al., 2002).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste na análise da viabilidade técnica da implantação de uma faixa adicional na Rodovia BR-277, em um trecho que atravessa o município de Campo Largo (PR). O trecho em questão se refere a um aclave compreendido entre os marcos quilométricos 111 (coordenadas 25°26'37,6"S e 49°27'59,6"O) e 113 (coordenadas 25°26'47,5"S e 49°29'11,2"O) da pista sentido interior do estado, próximo ao histórico Parque Museu do Mate e a unidade do Colégio Bom Jesus da Aldeia. Essa verificação será baseada no estudo de tráfego e na determinação da capacidade e nível de serviço da via, bem como nos critérios para a implantação de faixa adicional instituídos pelo Manual de Capacidade de Rodovias dos Estados Unidos (HCM – *Highway Capacity Manual*), pelo *Green Book* (AASHTO - *American Association of State Highway and Transportation Officials*) e pelos manuais brasileiros da Agência de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP) e pelo manual do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do estudo são listados a seguir:

- verificar se a situação atual da rodovia comporta o tráfego de acordo com as recomendações do HCM e manuais da ARTESP e DNIT;

- verificar se o trecho atende aos critérios para implantação de faixa adicional estabelecidos pelo *Green Book*; e
- comparar as recomendações instituídas pelo HCM e pelo DNIT através dos resultados obtidos com fatores de cálculos adaptados para as condições brasileiras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Rodovia é uma via de rodagem pavimentada destinada ao tráfego de veículos automotores, podendo ser classificada em quatro critérios básicos: quanto à posição geográfica, à função, à jurisdição e às condições técnicas (PONTES FILHO, 1998). As rodovias são projetadas para suportar com segurança o tráfego previsto durante um horizonte de projeto de 20 anos (AASHTO, 2001).

Em termos estruturais, o conjunto de elementos participantes da infraestrutura e da superestrutura da rodovia é chamado de “plataforma”, sendo “infraestrutura” a parte constituída pelo terrapleno e todas as obras situadas abaixo do *greide* do terrapleno e “superestrutura” a parcela formada pelo pavimento. Os principais elementos da plataforma de uma rodovia estão ilustrados na Figura 1, seguidos de suas respectivas definições (DNER, 1999; DNIT, 2010).

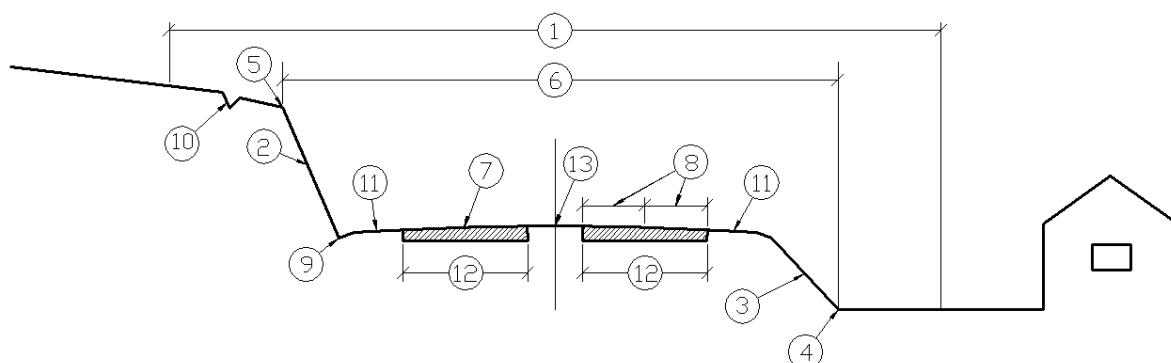


Figura 1 - Seção transversal típica de uma rodovia de pista dupla (Adaptado de DNIT, 2010)

1. **Faixa de domínio** – é a área de desapropriação para a construção da rodovia, com largura suficiente para permitir futuras expansões e facilitar a execução de obras de manutenção.
2. **Talude de corte** – cortes são movimentações de terra ou rocha, cuja execução exige escavação do material que compõe o terreno natural no interior dos limites da seção transversal projetada. O plano inclinado da seção transversal de corte denomina-se “talude de corte”, sendo expresso por uma relação entre a altura e a base de um triângulo retângulo, tomando-se a linha vertical como referência. Na prática, utilizam-se taludes na proporção 1:0

(Vertical:Horizontal) para cortes em rochas, 3:2 (V:H) para solos consistentes e 1:1 (V:H) para solos pouco resistentes.

3. **Saia do aterro** – o termo “aterro” refere-se ao local onde são depositadas porções de terra ou entulho, de modo a tornar plano um terreno que originalmente é em declive ou acidentado. O plano inclinado da seção transversal de aterro denomina-se “saia do aterro”, sendo matematicamente expresso de forma análoga ao talude de corte e proporções variando de 2:3 (V:H) a 1:4 (V:H) dependendo das características do solo.
4. **Pé do corte ou do aterro** – é o extremo inferior do talude de corte ou da saia do aterro.
5. **Crista do corte ou do aterro** – é o ponto onde o plano inclinado da seção transversal de corte se une ao terreno natural; da mesma maneira, é a borda saliente da seção de uma rodovia situada em uma área de aterro.
6. **Plataforma** – é a porção da rodovia compreendida entre os dois pés de corte (no caso de seções em corte pleno) ou de crista a crista do aterro (em casos de seções em aterros plenos), incluindo os dispositivos necessários à drenagem da pista. Nas seções denominadas “mistas”, em que a rodovia apresenta volumes de corte e aterro na mesma seção, a plataforma está compreendida entre o pé do corte e a crista do aterro.
7. **Pista de rolamento** – área da plataforma destinada à circulação de veículos automotores em movimento contínuo, que pode ser formada por uma única pista (designada como pista simples) ou por duas pistas (designada como pista dupla). As pistas de rolamento podem ser do tipo “paralelas” ou “independentes”, sendo paralelas as pistas duplas construídas com plataforma única e independentes as pistas de rolamento que seguem o seu traçado independente uma da outra, tendo cada qual sua plataforma. O tráfego flui em um único sentido em cada pista nas rodovias de pista dupla, o que aumenta a segurança dos usuários.
8. **Faixa de rolamento** - elemento da pista de rolamento destinado ao tráfego de um veículo automotor típico. Cada pista deve ser formada por no mínimo duas faixas de rolamento, a fim de permitir as manobras entre veículos. A distribuição do volume de tráfego por faixa resulta da regulamentação de tráfego, velocidade, volume e composição do tráfego, número de pontos de acesso, origem e destino e hábitos dos motoristas locais (TRB, 2000).

9. **Sarjeta** – dispositivo de drenagem longitudinal construído lateralmente à pista de rolamento, destinado a interceptar a água da chuva que escoar pelo talude ou terrenos marginais e pode comprometer a estabilidade dos taludes, a integridade dos pavimentos e a segurança do tráfego. Por razões de segurança, geralmente tem a forma triangular ou retangular (DNIT, 2004).
10. **Valeta de proteção dos cortes** – semelhante à sarjeta, é um dispositivo de drenagem longitudinal construído entre a crista do corte e o limite da faixa de domínio, com o intuito de desviar as enxurradas das encostas para fora da estrada e evitar a sobrecarga das sarjetas.
11. **Acostamento** – é a faixa que se situa entre a borda do pavimento e a sarjeta no caso de seção em corte, ou a faixa compreendida entre a borda do pavimento e a crista do aterro para seções em aterro. Sendo adjacente à pista de rolamento, o acostamento é destinado ao estacionamento provisório de veículos, à proteção da estrutura do pavimento contra os efeitos de erosão e ao uso como faixa de rolamento extra para casos emergenciais. Em rodovias de pista dupla, os acostamentos à direita do sentido de tráfego são denominados externos e aqueles à esquerda, internos.
12. **Pistas duplas paralelas** – trata-se de uma rodovia de pista dupla formada por apenas uma plataforma, na qual normalmente cada pista possui uma única declividade transversal (usualmente de 1,5% ou 2%). A divisão das pistas geralmente se dá por uma faixa de terreno com largura constante, devidamente gramada e com canteiro central. Outra opção é a utilização de barreira de concreto nos casos onde o canteiro central é praticamente inexistente (duplicação simples), pois existe a possibilidade de um veículo desgovernado atravessar o canteiro central e ocasionar um acidente envolvendo veículos do tráfego oposto.
13. **Canteiro central** – é a faixa de terreno projetada para separar fisicamente uma pista da outra, tendo como finalidade ceder uma maior segurança ao tráfego. Deve possuir uma dimensão que permita uma futura ampliação da largura da pista, caso necessário (DNER, 1999). Costuma-se adotar de 3 a 6 m nos projetos brasileiros, sendo preferível 6 m devido à possibilidade de construção de retornos em nível DNIT (2010).

Devido à importância das rodovias para a economia brasileira, existe uma necessidade contínua de melhorar a infraestrutura viária para lidar com o crescimento do tráfego de veículos, melhorar a operação e reduzir custos e atrasos, bem como proporcionar segurança (MELO, 2002). A implantação de uma faixa adicional consiste em uma das soluções para tornar as viagens mais econômicas, seguras e confortáveis, além de ser uma obra de baixo custo e com menor impacto ambiental quando comparadas às obras de duplicação de rodovias (MELO e SETTI, 2007).

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE FAIXAS ADICIONAIS

O baixo desempenho dos caminhões carregados transitando em trechos íngremes prejudica a operação em rodovias de pista simples por conta da redução da velocidade de operação dos veículos leves, o que aumenta a necessidade de ultrapassagens por parte destes veículos. Nestas circunstâncias, a operação e a velocidade tornam-se dependentes do volume de tráfego oposto e do aparecimento de trechos da rodovia que ofereçam condições seguras para a realização das manobras de ultrapassagem (MELO, 2002).

Em trechos planos, os veículos pesados tendem a viajar em velocidades próximas às dos demais veículos e não afetam significativamente o fluxo da via. No entanto, a perda de desempenho dos caminhões em rampas com declividades superiores a 3% faz com que essa diferença de velocidade aumente de forma expressiva (MELO, 2002). Quando a porcentagem de veículos pesados na corrente de tráfego é considerável, a interferência causada sobre os veículos mais rápidos acarreta em acréscimos no tempo de viagem, nos custos operacionais, na possibilidade de ocorrência de acidentes e na redução do nível de serviço da rodovia (DNER, 1979).

Tais problemas são minimizados em rodovias de pista dupla, pois não há a interferência do tráfego vindo em sentido oposto e as manobras de ultrapassagem podem ser realizadas pela faixa da esquerda. Todavia, é comum observar caminhões que deveriam estar transitando pela faixa da direita utilizarem a faixa da esquerda em regiões de aclive e trechos com grande extensão para ultrapassagens, impedindo os veículos leves de continuarem trafegando em velocidades superiores. Quando ao menos 10% do fluxo da via é formado por caminhões, este cenário é favorável à formação de pelotões, à redução da capacidade e do nível de serviço e ao aumento

da possibilidade de colisões traseiras (AASHTO, 2001; MELO, 2002). Cumpre lembrar que o termo “pelotão” se refere a um grupo de veículos ou pedestres viajando em conjunto, voluntariamente ou involuntariamente, e que se faz presente devido a fatores externos como sinalização e geometria do trecho (TRB, 2000).

De forma a melhorar as condições de operação, reduzir os custos operacionais dos veículos em aclives, reduzir os tempos de viagens e aumentar a segurança dos usuários da via, podem ser realizadas obras de melhorias como faixas adicionais de subida, conforme demonstração na Figura 2. Sendo definida como uma faixa extra, situada à direita do trecho em aclive da via e destinada ao uso exclusivo de veículos lentos, a faixa adicional pode ser implantada tanto em rodovias de pista simples quanto de pista dupla (DNER, 1999).

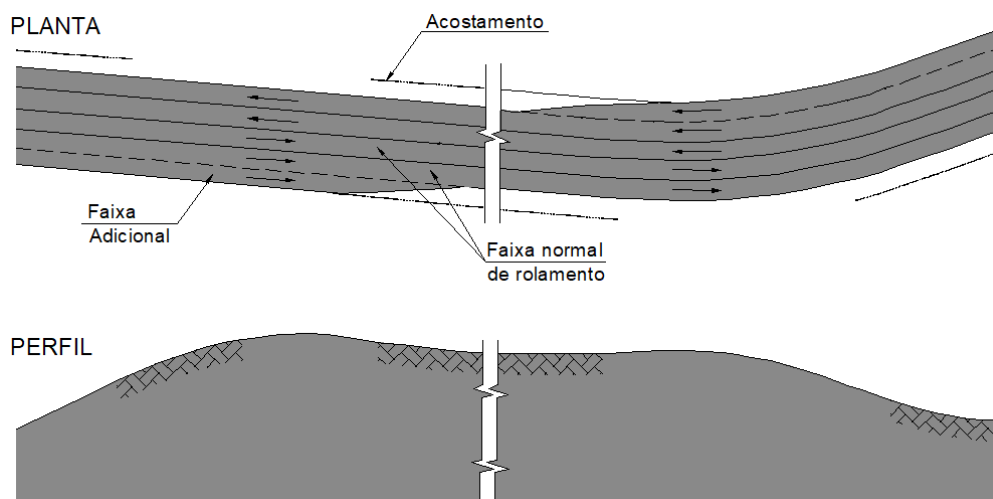


Figura 2 - Faixa adicional em rodovias de múltiplas faixas (Adaptado de DNER, 1999)

2.2 CAPACIDADE E NÍVEL DE SERVIÇO

A capacidade varia de acordo com a velocidade de fluxo livre de uma rodovia. Porém, ela não é determinada de acordo com o maior valor observado no trecho, mas de acordo com taxas de fluxo atingidas repetidamente (ANDRADE, 2012). Cabe destacar que a velocidade designada como “fluxo livre” é a velocidade média dos veículos em um trecho onde não há interação veicular e nem regulamentações de trânsito que causem restrições de velocidade, bem como baixos volumes de tráfego (DNIT, 2006). Em outras palavras, velocidades de fluxo livre são as velocidades dos condutores que viajam conforme desejado, de tal forma que nenhum outro veículo

cause influência em seu percurso. Tais velocidades servem de base para o cálculo da velocidade média do espaço (DEARDOFF, WIESNER e FAZIO, 2011).

Justifica-se o cálculo da capacidade pela dificuldade de sua observação em campo. Isso acontece, principalmente, devido à dois motivos: (1) a dificuldade em determinar se um valor máximo de fluxo observado não poderia ser superado em outro momento e; (2) a possível alteração das condições padrão determinantes da capacidade, como a composição do tráfego, familiaridade dos motoristas com a via, pavimento em boas condições, corrente de tráfego formada somente por carros de passeio, acostamentos com pelo menos 1,80 m de largura sem obstáculos e relevo plano. Caso as condições locais sejam diferentes das condições padrão, o HCM prevê ajustes para refletir essas condições diferentes das ideais (ANDRADE, 2012; SETTI, 2009).

2.2.1 Velocidade de fluxo livre

A velocidade de fluxo livre pode ser estimada através de pesquisa de campo ou a partir de dados locais de velocidade e de cálculos através da comparação com trechos de rodovias semelhantes, caso não haja viabilidade da pesquisa de campo (DEMARCHI, 2003). Sua estimativa é feita com base nos dados de velocidade de veículos leves em horários de baixa demanda, ou ainda a partir do HCM (ARTESP, 2005). A medição em campo deve ser feita para taxas de fluxo inferiores a 1.400 carros de passeio por hora por faixa (cp/h/faixa), podendo ser obtida fora de horários de pico. Tomando como base a velocidade limite da rodovia, estima-se a velocidade ideal de fluxo livre como sendo 10% superior a esta velocidade limite (DEMARCHI, 2003). No cálculo da estimativa da velocidade de fluxo livre, é utilizada uma velocidade ideal de fluxo livre que caracteriza o tráfego e alinhamento da rodovia, aplicando posteriormente fatores de redução que dependem de variáveis como a largura das faixas de tráfego, a largura dos acostamentos e a presença de pontos de acesso ao longo do trecho. Esse cálculo é realizado a partir da Equação (1).

$$Vf = Vf_b - f_{LW} - f_{LC} - f_M - f_A \quad (1)$$

onde Vf é a velocidade de fluxo livre estimada, Vf_b é a velocidade ideal de fluxo livre, f_{LW} é o fator de ajuste para largura das faixas de tráfego, f_{LC} é o fator de ajuste para

largura dos acostamentos, f_M é o fator de ajuste para o tipo de separação entre pistas e f_A é o fator de ajuste para densidade de pontos de acesso.

O fator de ajuste para largura das faixas de tráfego varia de 0,0 km/h para faixas maiores ou iguais a 3,6 m até 10,6 km/h para faixas de até 3,0 m, conforme Tabela 1 (DEMARCHI, 2003).

Tabela 1 - Fator de ajuste para largura das faixas (TRB, 1994)

| Largura da Faixa (m) | Fator de Ajuste f_{LW} (km/h) |
|----------------------|---------------------------------|
| 3,6 | 0,0 |
| 3,5 | 1,0 |
| 3,4 | 2,1 |
| 3,3 | 3,1 |
| 3,2 | 5,6 |
| 3,1 | 8,1 |
| 3,0 | 10,6 |

Para o ajuste da largura dos acostamentos (Flc), o fator de ajuste é obtido pela Tabela 2 a partir da realização da soma das larguras dos acostamentos esquerdo (canteiro central) e direito, ou ainda a partir das somas das distâncias entre um obstáculo existente (como placas de sinalização, defensas metálicas e árvores) e a borda da pista, para ambos os lados. A Equação (2) (TRB, 2000) detalha este procedimento de cálculo:

$$La = La_d + La_e \quad (2)$$

em que La é definida como a largura total dos acostamentos e corresponde à soma da largura do acostamento direito (La_d) e esquerdo (La_e), ou à distância da borda da pista até qualquer obstrução lateral. Conforme descrito pelo HCM (TRB,1994), as larguras maiores que 1,8 m não influenciam na segurança dos motoristas, entretanto, diante dessa situação utiliza-se 1,8 m para fins de cálculos. Caso não exista canteiro central, utiliza-se o valor de 0,0 m.

Tabela 2 - Fator de ajuste para largura dos acostamentos (Adaptado de TRB,1994)

| 4 faixas de tráfego (2 por sentido) | |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| Largura total dos acostamentos (m) | Fator de ajuste f_{LC} (km/h) |
| 3,6 | 0,0 |
| 3,0 | 0,6 |
| 2,4 | 1,5 |
| 1,8 | 2,1 |
| 1,2 | 3,0 |
| 0,6 | 5,8 |
| 0,0 | 8,7 |

O ajuste para o tipo de separação central leva em consideração a presença ou não de algum tipo de separação física entre as pistas da rodovia. Caso não exista separação (exceto faixas pintadas no pavimento), o valor a se considerar para o parâmetro f_M é de 2,6 km/h. Caso exista separação física, considera-se o valor de 0,0 km/h, ou seja, assume-se que não há possibilidade de interação física entre os veículos em sentidos opostos de tráfego na rodovia; portanto não há redução da velocidade de fluxo livre quanto a este requisito (TRB, 1994).

Para realizar o ajuste da densidade de pontos de acesso (Fa), utiliza-se a Tabela 3. Pode-se observar que, a cada acréscimo de 6 pontos de acesso por quilômetro de via, há uma redução de 4 km/h na velocidade de fluxo livre. Esses pontos de acesso caracterizam-se por locais de entrada e saída de veículos, junções ou interseções em nível localizadas na lateral direita da pista na direção do tráfego (TRB, 2000). O HCM ainda cita que para cada ponto de acesso existente por quilômetro, a velocidade de fluxo livre diminui cerca de 0,4km/h. Esses pontos somente devem ser considerados caso influenciem no tráfego.

A terceira edição do HCM, referente ao ano de 1985 e revisada em 1994, foi a primeira a mostrar graficamente a velocidade de fluxo livre. Essa apresentação foi de grande importância por mostrar que há um significativo intervalo de fluxos de tráfego no qual a velocidade média dos automóveis se mantém equivalente à velocidade de fluxo livre. A partir disso, determinou-se, para cada curva, o valor do fluxo de tráfego onde a velocidade média dos automóveis começa a declinar com o

aumento do fluxo, sendo finalizada no ponto conhecido como capacidade do trecho (ANDRADE, 2012). Isso pode ser observado na Figura 3.

Tabela 3 - Fator de ajuste para densidade de pontos de acesso (Adaptado de TRB, 1994)

| Acesso/quilômetro | Fator de ajuste f_A (km/h) |
|-------------------|------------------------------|
| 0 | 0,0 |
| 6 | 4,0 |
| 12 | 8,0 |
| 18 | 12,0 |
| ≥ 24 | 16,0 |

A capacidade de uma rodovia pode ser definida como a quantidade máxima de veículos que cruzam determinado trecho durante um período de tempo, sem que existam alterações significativas de tráfego, controle e geometria da rodovia (DEMARCHI, 2000). Resume-se como capacidade a taxa de fluxo máxima que pode ser atingida constantemente sob as condições existentes do trecho. Segmentos diferentes da mesma rodovia poderão ter capacidades diferentes. A capacidade varia em função da velocidade média dos automóveis e decresce em 100 carros de passeio por hora por faixa a cada 10km/h de redução, sendo estimada a partir de uma velocidade de fluxo livre de 100km/h, conforme Figura 3 (DEMARCHI, 2003).

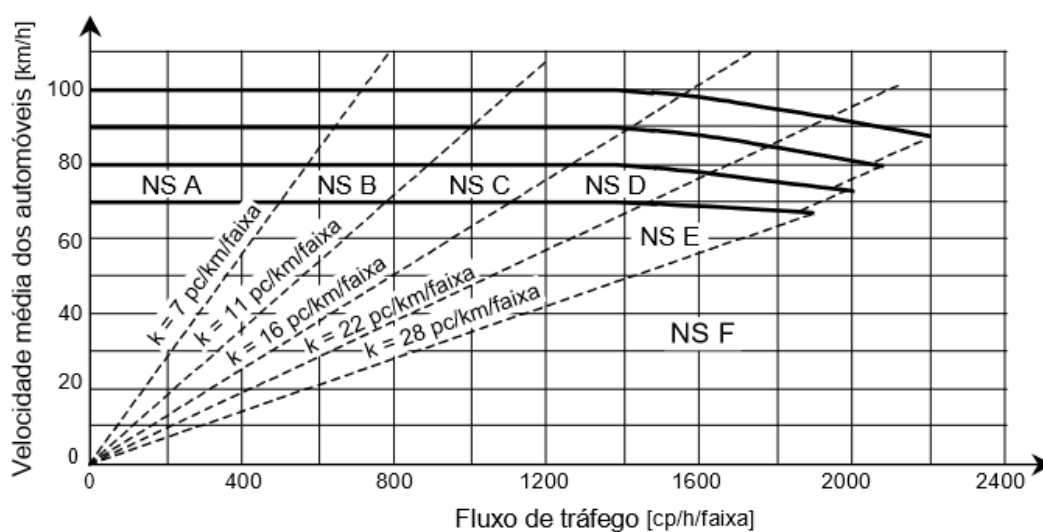


Figura 3 - Relação entre fluxo-velocidade e nível de serviço em rodovias de múltiplas faixas (Adaptado de TRB, 2000)

Conforme cita Setti (2009), para a determinação dos fatores supracitados com confiabilidade para as condições brasileiras, é desejável que exista uma adaptação do HCM para a realidade do país. Segundo ele, para que isso seja possível, deve-se considerar os seguintes aspectos: (1) determinar as medidas de desempenho que melhor relacionam a qualidade de serviço com as condições operacionais das rodovias; (2) em condições ideais, determinar a capacidade básica das rodovias; (3) determinar as relações entre a qualidade de serviço e condições operacionais das rodovias em situações ideais e não-ideais; e (4) determinar a interferência dos caminhões brasileiros sobre a qualidade de serviço e capacidade. Ainda como cita Setti (2009), as principais diferenças entre as rodovias norte-americanas e as rodovias brasileiras são a relação massa/potência dos veículos pesados típicos e a porcentagem de caminhões no tráfego. A relação massa/potência expressa a razão entre a massa bruta total do caminhão e a potência nominal do motor. Quanto maior o valor da relação, pior o desempenho esperado.

2.2.2 Fluxo de tráfego

A taxa de fluxo equivalente representa a corrente de tráfego em unidade de carros de passeio e é representada pela Equação (3) (DEMARCHI, 2003).

$$q_b = \frac{q}{FHP \times N \times f_{hv} \times f_p} \quad (3)$$

onde q_b é a taxa de fluxo equivalente de veículos de passeio nos 15 minutos mais congestionados de uma hora (carros de passeio/hora/faixa), obtida através do volume horário q (veículos/hora), do fator de hora-pico FHP , do número de faixas do tráfego N , do fator de equivalência veicular f_{hv} e do fator de ajuste para o tipo de motorista f_p .

A taxa de fluxo equivalente converte o fluxo observado (em veículos/h) em um fluxo equivalente nos 15 minutos mais congestionados da hora (cp/h/faixa). O fator de hora pico (FHP) é a variação do fluxo de tráfego na hora mais movimentada do período de pico, e os valores de referência para rodovias de pista dupla rurais e urbanas são iguais a 0,88 e 0,92, respectivamente. O valor para o ajuste do tipo de motorista (f_p)

reflete a vivência dos motoristas com o trecho (TRB, 2000). Segundo o HCM, o valor a ser utilizado é de 1,00 para um trecho em que os motoristas, em sua maioria, estejam habituados com o traçado da via e seus acessos. Por outro lado, o valor de 0,85 é utilizado quando os motoristas não possuem grande conhecimento da via. Deve-se utilizar os valores mais condizentes com a realidade do trecho em estudo (DEMARCHI, 2003).

O volume horário é utilizado para a análise das variações do fluxo de tráfego durante um dia. Ele consiste no número de veículos que trafegam no trecho durante uma determinada hora. Ao se ordenar os volumes das horas mais carregadas de um ano em uma sequência decrescente de valores, mediante a coleta de uma série de tráfego de uma rodovia, observa-se um padrão típico na curva formada, denominada “curva da enésima hora”. Há uma redução do gradiente a partir das horas mais carregadas do ano, o qual se estabiliza à medida que os volumes horários diminuem (DNIT, 2006). Segundo o HCM, o volume horário comumente utilizado – e que se refere à quantidade de veículos passantes em um trecho ao longo do dia – é o 30º maior volume diário do ano, denominado Volume Horário de Projeto (VHP). Isso acontece porque os maiores volumes horários se concentram em situações atípicas, como feriados e férias escolares (ANDRADE et al., 2006), e o custo para se projetar uma rodovia que suporte o volume máximo seria muito alto, além do fato de que tal volume não ocorre durante todo o ano (CET, 1977).

Tendo em vista que há uma grande variação de tráfego nos horários de pico, é possível observar o ponto de máxima curvatura a partir do 30º maior volume do ano quando da classificação dos volumes diários em ordem decrescente. Este volume se refere à hora de projeto, e sua localização típica na série histórica do tráfego na via ao longo de um ano é mostrada na Figura 4 (TRB, 2000). Com base nesta metodologia, prevê-se em projeto 30 horas de congestionamento na rodovia durante um ano (CET, 1977).

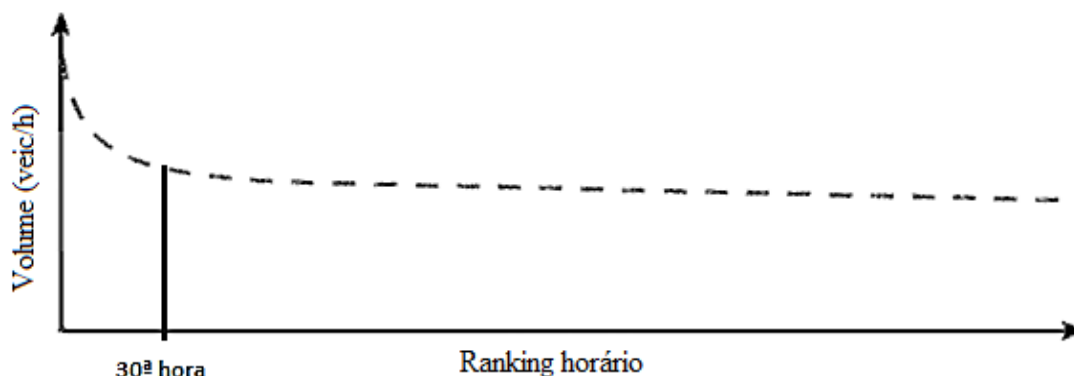


Figura 4 - Volume horário anual ordenado de forma decrescente (Adaptado de Andrade et al.,2006)

Essa curva formada representa a ordenação decrescente dos volumes horários anuais, designando como “fator-K” a porcentagem desses valores em relação ao Volume Diário Médio Anual (VDMA). O VDMA é considerado no momento crítico de operação que deve ser atendido pela oferta de infraestrutura e consiste basicamente na média aritmética do volume de veículos que passam em trecho homogêneo de uma rodovia no intervalo de um dia, ao longo de um ano (ANDRADE et al., 2006; DNIT, 2006). Ainda, os maiores valores do “fator-K” são encontrados em rodovias turísticas, seguidas de rodovias em áreas rurais. Matematicamente, o “fator-K” pode ser expresso pela razão entre o volume horário na “enésima” hora mais carregada do ano no local em análise (V_n), sendo n o número de horas em que admite-se uma qualidade do serviço inferior ao padrão operacional (ANDRADE et al., 2006), e o VDMA, vide Equação (4). O valor de n é estipulado de acordo com as normas locais. O “fator-K” geralmente diminui quando o VDMA aumenta e, quanto maior o desenvolvimento da região, menor o fator (HCM, 2000).

$$K = \frac{V_n}{VDMA} \quad (4)$$

A utilização da 30ª hora mais carregada do ano é recomendada pelo HCM, sendo calculado a partir dos dados do local em análise. No Brasil, o DNIT (2006) ressalta que o valor comumente utilizado se refere à 50ª hora devido às normas locais aceitarem uma maior tolerância para a escolha desse fator e ele geralmente representar os locais onde há contagem permanente de tráfego. Ainda, segundo o manual, a escolha dessa hora depende do local, podendo variar entre a 30ª hora e a

100ª hora. Horas mais próximas da 100ª são escolhidas quando há grande variação sazonal de tráfego ou grandes variações atípicas decorrentes de eventos, por exemplo. Nesses casos devem ocorrer estudos para determinar qual a melhor hora para análise.

Não há no Brasil uma série histórica de valores de volumes horários para referência (ANDRADE et al., 2006). É recomendado pelo HCM a utilização de um valor para o “fator-K” entre 9,1% e 10%, dependendo do tipo da rodovia. O DNIT (2006) recomenda a utilização do valor do “fator-K” como 9,1% do VDMA para a região sul, referente à 50ª hora de projeto. Como cita Andrade et al. (2006), devido à falta de diretrizes para as rodovias brasileiras, seria viável a realização de uma análise da base de dados de séries históricas de tráfego, permitindo estabelecer valores condizentes do “fator-K”, possibilitando comparar a realidade atual das rodovias com os parâmetros adotados pelas normas vigentes.

O conceito de fator de equivalência veicular (f_{hv}) foi inicialmente utilizado pelo HCM e definido posteriormente como o número de carros de passeio que resultam nas mesmas condições operacionais que um veículo pesado, em um tipo particular de rodovia, tráfego e condições de controle. Carros de passeio são os veículos padrão utilizados para estudos de tráfego (TRB, 2000). Em outras palavras, os valores numéricos do tráfego de uma amostra de diferentes veículos são convertidos para uma corrente de tráfego de veículos de passeio equivalentes (PIVA, 2015). Esse ajuste dos veículos pesados é feito devido ao fato de que a presença de tais veículos reduz a velocidade de fluxo livre. Em outras palavras, os veículos pesados são convertidos numericamente em veículos de passeio por meio do fator f_{HV} , considerando o seu percentual na corrente de tráfego (p_t) e um fator de equivalência tabelado (E_t) em função das características do trecho, vide Equação (5). Como este método não estabelece evidências de diferenças nos desempenhos de caminhões e ônibus em rodovias de múltiplas faixas, tais veículos são considerados equivalentes para fins de cálculo (TRB, 2000).

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + p_t(E_t - 1) + p_r(E_r - 1)} \quad (5)$$

em que E_t é um fator relativo aos caminhões e ônibus, e E_r é referente aos automóveis com reboque ou *trailers*. Estes, também estão associados a suas

respectivas porcentagens na corrente de tráfego, p_t e p_r , expressas em frações decimais.

O HCM apresenta as conversões para a determinação dos fatores de equivalência para trechos com diversas declividades, comprimentos de aclives e porcentagens de veículos pesados no tráfego (DNIT, 2006). Ainda, uma seção de uma via pode operar em diferentes níveis de serviços dependendo do instante considerado (TRB, 2000). As tabelas elaboradas pelo HCM levam em consideração a relação massa/potência dos veículos típicos. Assim, existe uma diferenciação entre os caminhões e ônibus em relação aos veículos recreacionais. Enquanto para os primeiros essa relação é igual ou maior que 100kg/kW, para os recreacionais a relação varia em torno de 20 a 40kg/kW (DEMARCHI e SETTI, 2002).

Apesar da aplicação dos conceitos do HCM 2000 nos estudos oficiais de tráfego no Brasil (DNIT, 2006), há uma distorção clara dos resultados para o caso da aplicação direta dos fatores de equivalência de caminhões e ônibus em veículos de passeio (parâmetro E_t). Isto decorre da diferença entre os desempenhos de caminhões, composição do tráfego e comportamento dos motoristas dos EUA e do Brasil. De forma a adaptar tais diferenças para a realidade brasileira, Cunha e Setti (2009) propuseram novos valores de E_t para as rodovias e o tráfego nacionais, conforme exemplo na Tabela 4 para aclives específicos. A metodologia seguida pelos autores foi a mesma do HCM, com exceção dos valores numéricos. Cumpre lembrar que, segundo o HCM, aclives específicos são aqueles que possuem comprimento maior que 800 m e declividades maiores que 3%.

Para o cálculo do fator de equivalência de automóveis com reboque ou *trailers* (E_r) em aclives específicos, utilizam-se os valores da Tabela 5, originárias das pesquisas resultantes no manual do HCM (TRB, 2000). Cumpre destacar que estes veículos causam impacto nos fluxos de tráfego apenas em subidas (DEMARCHI, 2003). Devido à pequena ou quase nula presença de veículos recreacionais no tráfego brasileiro, Setti et al. (2011) desconsideraram a presença desse tipo de veículo no estudo dos fatores de equivalência. Por outro lado, a presença de caminhões e ônibus é bastante relevante, como citam os autores.

Tabela 4 - Fatores de equivalência para caminhões em aclives específicos do Brasil (Cunha e Setti, 2009)

| Greide (%) | Comprimento (km) | Porcentagem de caminhões | | | | |
|------------|------------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| < 2 | ≤ 0,50 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| | 0,50 – 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| | ≥ 2,00 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| ≥ 2-3 | ≤ 0,50 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| | 0,50 – 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| | ≥ 2,00 | 3,0 | 3,0 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| > 3-4 | ≤ 0,50 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| | 0,50 – 2,0 | 3,5 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| | ≥ 2,00 | 5,0 | 4,0 | 3,5 | 3,0 | 3,0 |
| > 4-6 | ≤ 0,50 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| | 0,50 – 2,0 | 5,5 | 4,0 | 3,5 | 3,0 | 3,0 |
| | ≥ 2,00 | 7,0 | 5,0 | 4,0 | 4,0 | 3,5 |
| > 6 | ≤ 0,50 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| | 0,50 – 2,0 | 7,5 | 5,5 | 4,5 | 4,0 | 4,0 |
| | ≥ 2,00 | 9,5 | 6,0 | 5,0 | 4,5 | 4,0 |

Tabela 5 - Fator de equivalência de automóveis com reboque ou trailers em carros de passeio (Adaptado de TRB, 1994)

| Rampa (%) | Extensão (km) | Porcentagem de veículos de recreação | | | | | | | | |
|-----------|---------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 2 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| < 2 | qualquer | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| > 2 – 3 | 0,0 – 0,8 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| | mais de 0,8 | 3,0 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| > 3 – 4 | 0,0 – 0,4 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| | 0,4 – 0,8 | 2,5 | 2,5 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| | mais de 0,8 | 3,0 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,5 | 1,5 |
| > 4 -5 | 0,0 – 0,4 | 2,5 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| | 0,4 – 0,8 | 4,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 2,5 | 2,5 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| | mais de 0,8 | 4,5 | 3,5 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 2,5 | 2,5 | 2,0 | 2,0 |
| > 5 | 0,0 – 0,4 | 4,0 | 3,0 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,5 |
| | 0,4 – 0,8 | 6,0 | 4,0 | 4,0 | 3,5 | 3,0 | 3,0 | 2,5 | 2,5 | 2,0 |
| | mais de 0,8 | 6,0 | 4,5 | 4,0 | 4,0 | 3,5 | 3,0 | 3,0 | 2,5 | 2,0 |

Além de ser quantificada segundo sua capacidade, a rodovia também pode ser avaliada sob um aspecto qualitativo, com a finalidade de exprimir a percepção do usuário em relação às condições da via. Isto costuma ser feito por meio de um conceito com determinado grau de subjetividade e designado na Engenharia de Tráfego como “nível de serviço”. Para defini-lo, devem ser escolhidos parâmetros mensuráveis designados como “medidas de eficácia” ou “medidas de desempenho” (TRB, 2000). As medidas de eficácia ou desempenho podem ser organizadas em algumas categorias como o desconforto do motorista com a operação da via e medidas obtidas em determinado segmento. Tais medidas incluem as seguintes: comprimento médio do pelotão, velocidade média de viagem, densidade de veículos em pelotões, densidade dos automóveis e atraso percentual (BESSA JÚNIOR, 2015).

A classificação de nível de serviço é uma grandeza de qualidade, que descreve as condições operacionais dentro de um fluxo de tráfego. É geralmente tomada em termos de variáveis como velocidade e tempo de viagem, liberdade de manobra, interrupções de tráfego, conforto e conveniência (AASHTO, 2001). Através do valor encontrado, verifica-se o ponto correspondente na curva fluxo-velocidade (Figura 3) e se determina o respectivo nível de serviço (CUNHA, 2007).

Para descobrir a capacidade do trecho, é estimada a velocidade (v). Essa velocidade pode ser determinada tanto graficamente (através da Figura 3) quanto analiticamente, através de uma das Equações (6), (7), (8), (9) e (10) sendo função da velocidade de fluxo livre estimada (vf) e a taxa de fluxo equivalente (qb) (TRB, 2000).

$$v = vf - \left[\left(\frac{9,3}{25} vf - \frac{630}{25} \right) \left(\frac{qb-1400}{15,7vf-770} \right)^{1,31} \right], \quad \text{para } qb > 1400 \text{ e } 90 < vf \leq 100; \quad (6)$$

$$v = vf - \left[\left(\frac{10,4}{26} vf - \frac{696}{26} \right) \left(\frac{qb-1400}{15,6vf-704} \right)^{1,31} \right], \quad \text{para } qb > 1400 \text{ e } 80 < vf \leq 90; \quad (7)$$

$$v = vf - \left[\left(\frac{11,1}{27} vf - \frac{728}{27} \right) \left(\frac{qb-1400}{15,9vf-672} \right)^{1,31} \right], \quad \text{para } qb > 1400 \text{ e } 70 < vf \leq 80; \quad (8)$$

$$v = vf - \left[\left(\frac{3}{28} vf - \frac{75}{14} \right) \left(\frac{qb-1400}{25vf-1250} \right)^{1,31} \right], \quad \text{para } qb > 1400 \text{ e } vf = 70; \quad (9)$$

$$v = vf, \quad \text{para } qb \leq 1400 \quad (10)$$

Os níveis de serviço padronizam as condições de operação de uma corrente de tráfego de acordo com o ponto de vista do usuário (ARTESP, 2005). Os conceitos

utilizados nesta classificação incluem tempo de viagem, velocidade, liberdade de manobras, interrupções no tráfego e conforto. Tais variáveis fornecem um panorama qualitativo das condições de operação de um fluxo de tráfego (TRB, 2000).

Um dos fatores de maior influência para a definição do nível de serviço é a velocidade dos veículos. Aliado a esse fator, é possível citar a liberdade de manobras e a proximidade entre veículos. Em outras palavras, deve-se considerar a densidade da corrente de tráfego (relação entre quantidade de veículos em um trecho e sua extensão) como o fator mais influente para a determinação do nível de serviço (ANDRADE, 2012; TRB, 2000). O nível de serviço representa os diversos níveis de qualidade de fluxo do tráfego, desde o melhor (fluxo livre, nível serviço A) até o pior (congestionamento, nível F) (ARTESP, 2005). Dessa forma, a velocidade média dos veículos ao longo de uma rodovia é fundamental para a determinação desse fator. A velocidade ao longo de um segmento ou da extensão total de uma rodovia é função da relação entre a velocidade e a quantidade de atrasos decorrentes de interseções sinalizadas. Interseções sinalizadas são medidas de controle internas da via ou pontos de entrada ou saída de outras instalações que podem interferir no tráfego. A Figura 5 representa cada nível de serviço em um mesmo trecho. Estes níveis são definidos da seguinte forma (TRB, 2000):

- **NÍVEL A** condição de escoamento livre, acompanhada por baixos volumes e altas velocidades. A densidade do tráfego é baixa, com velocidade controlada pelo motorista dentro dos limites de velocidade e condições físicas da via. Não há impactos causados devido à presença de outros veículos.
- **NÍVEL B:** fluxo estável, com velocidades de operação a serem restringidas pelas condições de tráfego. Os motoristas possuem razoável liberdade de escolha da velocidade e ainda têm condições de ultrapassagem.
- **NÍVEL C:** fluxo ainda estável, porém as velocidades e as ultrapassagens já são controladas pelo alto volume de tráfego. Portanto, muitos dos motoristas não têm liberdade de escolher faixa e velocidade.
- **NÍVEL D:** próximo à zona de fluxo instável, com velocidades de operação toleráveis, mas consideravelmente afetadas pelas condições de operação. Flutuações no volume e restrições temporárias podem causar quedas substanciais na velocidade de operação.

- **NÍVEL E:** é denominado também de capacidade. A via trabalha a plena carga e o fluxo é instável, sem condições de ultrapassagem.
- **NÍVEL F:** descreve o colapso no fluxo de veículos, onde encontram-se velocidades baixas e volumes acima da capacidade da via. Formam-se extensas filas que impossibilitam qualquer manobra. Em situações extremas, velocidade e fluxo podem reduzir-se a zero. O nível F também representa a situação em que a demanda de veículos supera a capacidade do trecho.



Figura 5 - Níveis de serviços representados no mesmo trecho (Adaptado de *TRB*, 2000)

Para determinar o nível de serviço de um trecho de uma rodovia, basicamente quatro etapas são observadas. Primeiramente, a rodovia é dividida em segmentos de características uniformes através dos fatores de ajuste citados anteriormente. Na sequência, as curvas fluxo-velocidade dos trechos são construídas em função das

velocidades de fluxo livre estimadas, conforme Figura 3. Posteriormente, a taxa de fluxo é determinada e utilizada para encontrar a velocidade média da corrente de tráfego e o nível de serviço correspondente na curva de fluxo-velocidade do trecho. Finalmente, a densidade é calculada a partir da razão entre a taxa de fluxo e a velocidade média dos veículos (DEMARCHI, 2003). Conforme mostrado na Figura 6, a densidade também permite a determinação do nível de serviço na via ou em um trecho específico da mesma (DNIT, 2006).

| Velocidade de fluxo livre | Critérios | Níveis de serviço | | | | |
|---------------------------|----------------------------------|-------------------|-------|------|------|------|
| | | A | B | C | D | E |
| 100 km/h | Densidade Máxima (ucp/km/faixa) | 7 | 11 | 16 | 22 | 25 |
| | Velocidade Média (km/h) | 100,0 | 100,0 | 98,4 | 91,5 | 88,0 |
| | Velocidade Média (volume/capac.) | 0,32 | 0,50 | 0,72 | 0,92 | 1,00 |
| | Fluxo Máximo (ucp/h/faixa) | 700 | 1100 | 1575 | 2015 | 2200 |
| 90 km/h | Densidade Máxima (ucp/km/faixa) | 7 | 11 | 16 | 22 | 26 |
| | Velocidade Média (km/h) | 90,0 | 90,0 | 89,8 | 84,7 | 80,8 |
| | Razão máxima | 0,30 | 0,47 | 0,68 | 0,89 | 1,00 |
| | Volume /Capacidade (/c) | | | | | |
| | Fluxo máximo (ucp/h/faixa) | 630 | 990 | 1435 | 1860 | 2100 |
| 80 km/h | Densidade Máxima (ucp/km/faixa) | 7 | 11 | 16 | 22 | 27 |
| | Velocidade Média (km/h) | 80,0 | 80,0 | 80,0 | 77,6 | 74,1 |
| | Razão máxima | 0,28 | 0,44 | 0,64 | 0,85 | 1,00 |
| | Volume /Capacidade (/c) | | | | | |
| | Fluxo máximo (ucp/h/faixa) | 560 | 880 | 1280 | 1705 | 2000 |
| 70km/h | Densidade Máxima (ucp/km/faixa) | 7 | 11 | 16 | 22 | 28 |
| | Velocidade Média (km/h) | 70,0 | 70,0 | 70,0 | 69,6 | 67,9 |
| | Razão máxima | 0,26 | 0,41 | 0,59 | 0,81 | 1,00 |
| | Volume /Capacidade (/c) | | | | | |
| | Fluxo máximo (ucp/h/faixa) | 490 | 770 | 1120 | 1530 | 1900 |

NOTA: O Nível de Serviço F apresenta tráfego instável, em que os valores das variáveis representativas selecionadas são de difícil apuração.

Figura 6 - Critérios para determinação dos níveis de serviço em rodovias com quatro ou mais faixas de tráfego (DNIT, 2006)

De acordo com o contrato de concessão nº 075/97, lote nº 005 do Departamento de Estradas e Rodagem (DER) no Paraná, a concessionária responsável pela rodovia deve garantir todas as condições necessárias para que o trecho opere até 200 horas anuais em um nível de serviço inferior a "D" (DER, 1997). Segundo o Manual da ARTESP, que regulamenta e fiscaliza as concessões rodoviárias do estado de São Paulo e é fundamentado nos protocolos da HCM e da AASHTO, as concessionárias responsáveis pelas rodovias devem realizar revisões anuais de desempenho operacional, visando impedir que os trechos do sistema

superem o nível de serviço “D” em mais de 50 horas anuais. Caso essa condição não seja atendida, as concessionárias devem implantar faixas adicionais de acordo com os critérios dos manuais, conforme consta em contrato. Ainda como consta o Manual da ARTESP, o nível de serviço é um instrumento público de fiscalização da qualidade do serviço ofertado pelas concessionárias e pago pelos usuários, cabendo a estas a fiscalização e estudos para implantação de melhorias, conforme consta em contrato.

2.3 MANUAIS

2.3.1 Manual de Capacidade de Rodovias dos EUA (HCM)

Lançado em 1950 pela *Transportation Research Board* (TRB), o HCM tornou-se padrão de referência mundial para especialistas de transportes e foi o primeiro documento a quantificar o conceito de “capacidade de transporte” em rodovias. A primeira edição com o conceito de “nível de serviço” foi publicada em 1965 e, juntamente com o conceito de capacidade, tornou-se base para determinar a adequação de instalações de transporte nas perspectivas de planejamento, projeto e operações (TRB, 2000). A quinta versão do manual foi lançada em dezembro de 2010. No entanto, o Brasil ainda utiliza como base a quarta versão, referente ao ano de 2000. O manual é recomendado por órgãos brasileiros e tem o intuito de analisar as condições operacionais de rodovias e determinação da necessidade de obras de melhorias (SETTI et al., 2011).

O HCM fornece um conjunto de métodos para avaliar as instalações de transporte através de técnicas para a medição da qualidade do serviço em rodovias. O manual fornece acesso aos resultados de pesquisas que dão uma base sistemática e consistente para a avaliação da capacidade e nível de serviço de elementos do sistema de transporte. Além de determinar qualidade de serviço, o manual também identifica procedimentos analíticos para outras medidas de desempenho, permitindo ao leitor avaliar diferentes aspectos de uma instalação existente ou planejada. Ele igualmente permite a avaliação de sistemas mais amplos de instalações e estabelece ligação entre modelos operacionais e de planejamento (TRB, 2000).

Um grande esforço feito pela TRB na década de 1990 resultou na incorporação de procedimentos utilizados fora da América do Norte aos resultados do HCM, tendo em vista o interesse de utilização do manual em escala internacional. No entanto, deve-se ressaltar o cuidado na utilização de alguns valores do manual por serem aplicáveis somente à América do Norte, mais especificamente nos Estados Unidos. Em decorrência dessas limitações, vários países fizeram adaptações com base nas condições locais de tráfego e operação, como realizado na Alemanha (BRILON e WEISER, 2006). No Brasil, os valores do HCM não possuem fundamento teórico-científico porque fornecem resultados que podem ser subestimados ou superestimados, e até mesmo avaliar incorretamente a qualidade de serviço da rodovia (SETTI, 2009). Conseqüentemente, é necessário criar uma versão do manual adaptado às condições brasileiras, tendo em vista a presença de fatores diferentes dos observados na América do Norte. Dentre esses fatores, deve-se ressaltar a forma de condução dos motoristas, características dos veículos e composição veicular (SETTI et al., 2011).

2.3.2 *Green Book AASHTO*

O manual “Uma Política sobre Desenho Geométrico de Rodovias e Ruas” desenvolvido pela Associação Americana de Autoridades Rodoviárias e de Transporte (AASHTO), teve seu lançamento no ano de 1984. Também conhecido tecnicamente como *Green Book*, o manual não tem como objetivo projetar rodovias, mas sim fornecer uma gama de informações que possam guiar o projetista, sobretudo em situações críticas. De posse destas informações, é possível melhorar o custo-benefício das obras devido à sua importância para o administrador da rodovia e para o sistema rodoviário em geral (AASHTO, 2001). Segundo Mello e Setti (2003), é importante verificar a necessidade de obras de ampliação de rodovias, especialmente em função de possíveis obras que gerem gastos excessivos em comparação com os benefícios gerados.

Desde os anos 60, a AASHTO fornece diretrizes para projetar faixas adicionais, como os critérios a partir da análise da capacidade e do nível de serviço, e que foram difundidas por vários países do mundo. No Brasil, tais diretrizes sempre foram utilizadas sem nenhuma adaptação, por mais que as normas do antigo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER) estabeleçam que seria

necessário realizar estudos para adequar esses parâmetros para as condições brasileiras (MELO e SETTI, 2003).

2.3.3 ARTESP

A Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP) possui relatórios que fornecem diretrizes básicas para a elaboração de projetos executivos e estudos de tráfego pelas concessionárias. Esses relatórios buscam a conformação das condições físicas e operacionais das rodovias às especificidades dos editais de licitação e dos termos contratuais de concessão, tendo referências quanto à avaliação, fiscalização e padronização dos projetos desenvolvidos pelas concessionárias. Por mais que sejam relatórios desenvolvidos para o estado de São Paulo, tomou-se como referência devido ao seu embasamento nos critérios dos manuais da AASHTO e do TRB (ARTESP, 2005).

Os documentos fornecidos pela ARTESP para implantação de faixas adicionais em rampas de expressiva extensão visam, de forma prática, à uniformização e padronização dos procedimentos técnicos para o desenvolvimento dos estudos que determinam a necessidade da ampliação da capacidade ou de condições de segurança em rodovias, mais especificamente para rampas acentuadas, implantando faixas adicionais para veículos lentos. Através de suas metodologias e procedimentos, pode-se avaliar, fiscalizar e padronizar os serviços prestados pelas concessionárias (ARTESP, 2005).

Pela presença de uma seção específica para procedimentos de implantação de faixas adicionais de subida em vias expressas e rodovias de múltiplas faixas em todas as versões do *Green Book*, o que caiu em desuso no HCM desde a sua versão de 1994, o documento da ARTESP utiliza como base para o cálculo destes critérios o documento da AASHTO (ARTESP, 2005).

2.3.4 DNIT

A elaboração do “Manual de Estudos de Tráfego” foi realizada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) juntamente com o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR). Ele reúne informações necessárias para a elaboração de projetos rodoviários, sendo baseado em manuais como o HCM e o

Green Book. O manual é uma atualização do “Manual de Projeto de Engenharia Rodoviária – Estudos de Trânsito”, elaborado em 1974 pelo IPR/DNER (DNIT, 2006). As diretrizes para implantação de faixas adicionais adotadas pelo DNIT constam no “Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais” (DNER, 1999), sendo uma tradução direta dos critérios estabelecidos pelo *Green Book* (ANDRADE e SETTI, 2001).

2.3.5 Diferenças entre os manuais

O HCM é a principal referência utilizada no mundo para a avaliação da qualidade de serviço das rodovias, sendo essa qualidade definida como a percepção dos usuários das vias. Essa percepção é representada pela capacidade e nível de serviço. Como existem diversas diferenças entre as rodovias norte-americanas e as rodovias brasileiras, existe a necessidade de uma adaptação dos valores do HCM para a realidade brasileira (SETTI, 2009; SETTI et al., 2011). Ainda segundo Setti (2009), as diferenças mais importantes a serem consideradas são a relação massa/potência típica dos veículos pesados e a porcentagem de caminhões no tráfego. Segundo o HCM, os valores de massa/potência típicos norte-americanos variam próximos de 90kg/kW. Já para os caminhões brasileiros, a relação típica é de cerca de 180kg/kw. Com relação à composição do tráfego, o HCM não prevê o estudo para rodovias com mais de 25% de caminhões, o que não engloba a realidade brasileira. Setti (2009) ressalta que em alguns casos, a porcentagem de caminhões na composição do tráfego brasileiro pode chegar próxima de 70% e raramente é menor que 19%.

Os manuais brasileiros são basicamente uma tradução dos critérios utilizados pela AASHTO. Porém, existem valores utilizados nos manuais brasileiros que se diferem dos valores utilizados nos manuais norte-americanos, como a relação massa/potência dos caminhões típicos, hora de projeto e “fatores-K”, além de dados que podem ser obtidos empiricamente (ARTESP, 2005; DNIT, 2006). Esses valores foram reunidos na Tabela 6:

Tabela 6 - Diferenças entre os manuais norte-americanos e brasileiros (os autores)

| | Manuais norte-americanos | Manuais brasileiros |
|--|--|--|
| Relação peso/potência de caminhões típicos | 90 kg/kW | 180 kg/kW |
| Porcentagem de veículos pesados | Até 25% | Pode variar entre 19% até 68% |
| Hora de projeto | 30 ^a | 50 ^a |
| Fator-K | Varia entre 9,1% e 10% dependendo do tipo de rodovia | Varia entre 8,0% e 9,1% dependendo da região |

Para os procedimentos e valores de fatores de ajustes, os manuais brasileiros utilizam os valores propostos pelo HCM (CUNHA e SETTI, 2009). Conforme cita Setti (2009), estudos realizados utilizando adaptações específicas para as rodovias brasileiras resultaram em valores com precisão próxima de 90% na estimativa do nível de serviço, sendo que em menos de 2% deles o nível de serviço encontrado nas rodovias foi menor do que o nível existente. Já utilizando as estimativas através do HCM, mais de 70% dos níveis de serviço encontrados eram incompatíveis com a realidade e em cerca de 60% deles o nível de serviço calculado era superestimado.

2.4 ESTUDOS DE TRÁFEGO

2.4.1 Composição do Tráfego em Rodovias Rurais

Compreender a estrutura da movimentação em rodovias é indispensável para o planejamento correto de cada projeto, sem, contudo, desprezar as características geométricas, igualmente fundamentais para a manutenção das vias no setor de transportes (DNIT, 2005). No que se refere às variações do volume de tráfego ao longo de determinados períodos, estas são relacionadas diretamente ao tipo de via e às atividades a que se destina. Por exemplo, as rodovias rurais são trechos que conectam áreas urbanas, de modo que se pode considerar como uma via que recebe principalmente usuários com propósitos turísticos e de recreação. Isto gera grande

variação de fluxo ao longo de diferentes épocas do ano (DNIT, 2006). A grande variação volumétrica do fluxo ocorre devido a feriados, finais de semana de meses de férias ou períodos de escoamento de safras (ANDRADE et al., 2006). A Figura 7 apresenta a alteração do tráfego para rodovias urbanas e rurais estadunidenses, nas quais o período de verão é no meio do ano e no qual há um aumento claro do volume médio diário mensal em época de férias escolares, o que acontece também para a realidade brasileira (DNIT, 2006).

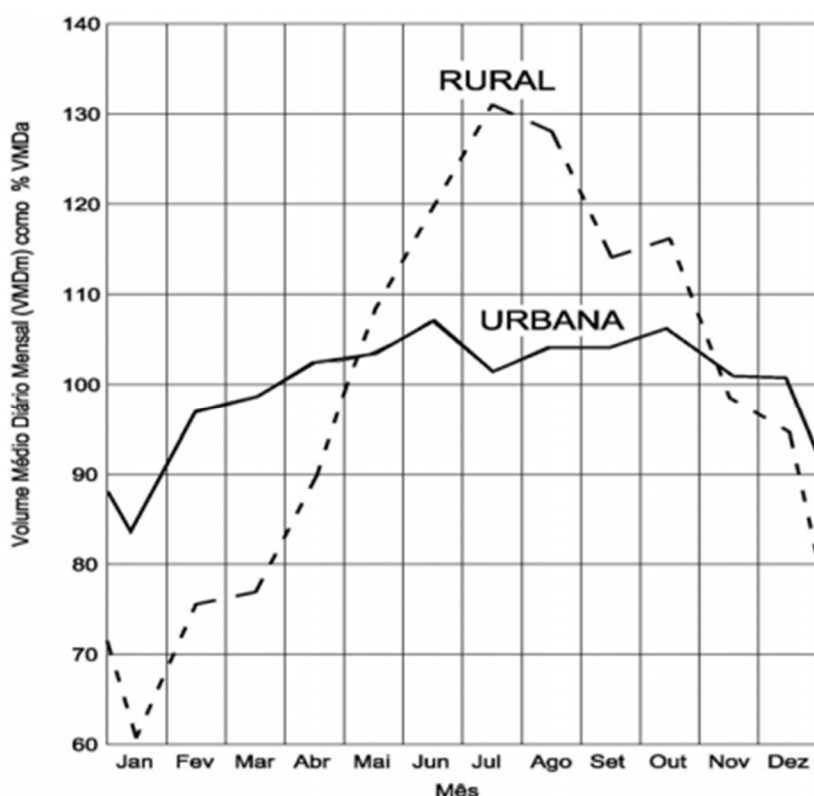


Figura 7 - Variação mensal em rodovias rurais e urbanas estadunidenses (DNIT, 2006)

No que se refere à composição da frota nacional brasileira de veículos automotores, dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) indicaram 42,9 milhões de automóveis registrados no ano de 2016. Assim como a média dos anos anteriores, a divisão do total da frota é constituída por 83% de carros de passeio, 12% de veículos comerciais leves, 1% de ônibus e 4,4% de caminhões (DNIT, 2017). O maior volume de veículos encontra-se concentrado em cinco estados, aqui respectivamente ordenados na forma decrescente: SP, MG, RJ, RS e PR. No caso do Paraná, o estado acumula 8,1% de toda a frota circulante nacional (SINDIPEÇAS e ABIPEÇAS, 2017).

Dentre as inúmeras rodovias rurais que interligam as regiões do Brasil, a BR-277, situada no estado do Paraná e objeto do estudo aqui descrito, contempla cinco praças de pedágio permanentes e pertencentes ao Plano Nacional de Contagem de Trânsito (PNCT). A última contagem, sob responsabilidade do DNIT, foi realizada no ano de 2016 e mostrou que os carros representam cerca de 57,23% dos veículos, os ônibus 1,89% e os caminhões 39%. Esses valores ainda podem ser considerados no presente ano, pois as mudanças na composição do tráfego são relativamente lentas e a localização do ponto de coleta está na região de Balsa Nova (PR). A contagem é realizada de acordo com o tipo de veículo e número de eixos, sendo separada por sentido. Cabe salientar ainda que o volume de veículos tem crescido nos últimos 18 anos a uma taxa média anual de 3,4% (DNIT, 2017). No entanto, o desenvolvimento da agropecuária pode trazer uma maior participação dos caminhões na frota nacional, desde que a manutenção da malha rodoviária seja realizada (DNIT, 2006).

2.4.2 Tipos de Veículos e Eixos

O trânsito em vias urbanas e rurais é composto por veículos de diferentes aspectos, especificações técnicas, dimensões e capacidade de carga. Essa diversidade de veículos deve ser considerada em novos projetos ou em melhorias das pistas já existentes para suportar as demandas necessárias. O “Manual de Projeto de Interseções” (DNIT, 2005) cita cinco tipos básicos de veículos para projetos de rodovias, todos determinados conforme as características predominantes do tráfego:

- **Veículo de passageiros (VP):** representa os veículos leves, similares em termos geométricos e operacionais ao automóvel, e que inclui vans, utilitários, picapes e similares;
- **Veículo comercial rígido (CO):** são os veículos rígidos compostos por uma unidade tratora simples, e que abrangem os caminhões e ônibus convencionais, em geral de dois eixos e quatro a seis rodas;
- **Ônibus de longo percurso (O):** grupo que representa os veículos comerciais não articulados de maiores dimensões. Incluem os ônibus longos e de turismo, bem como caminhões extensos, normalmente de três eixos e dimensões superiores ao veículo tipo CO;
- **Semirreboques (SR):** grupo dos veículos comerciais articulados compostos de uma unidade tratora simples e um semirreboque; e

- **Reboques (RE):** representa os veículos rodoviários de carga com reboque. É composto por uma unidade tratora simples, um semirreboque e um reboque, mais aproximado do veículo geralmente conhecido como “bi-trem”.

Outra especificação ocorre devido à ampla variedade de composições dos eixos de veículos rodoviários, o que é conveniente para a correta regulamentação destes. Conforme o Quadro de Fabricante de Veículos (DNIT, 2012), foram definidos dois tipos de eixos para a padronização: (a) eixo isolado, chamado de eixo simples; e (b) eixos em conjunto, denominados de eixos “em tandem”. Estes últimos possuem um elemento da suspensão que faz a ligação dos eixos, distribuindo igualmente o peso. Em ambos os casos, as rodas podem ser acopladas de forma única em cada extremidade (rodas simples) ou em duplas nas margens (duas rodas). Segundo Fernandes Jr. (1994), estas duas categorias de eixos dividem-se em quatro tipos, normalmente utilizados pelos veículos brasileiros: (a) eixo simples com rodas simples; (b) eixo simples com rodas duplas; (c) tandem duplo; e (d) tandem triplo. A Figura 8 apresenta os tipos de eixos de caminhões e ônibus que circulam nas rodovias brasileiras.

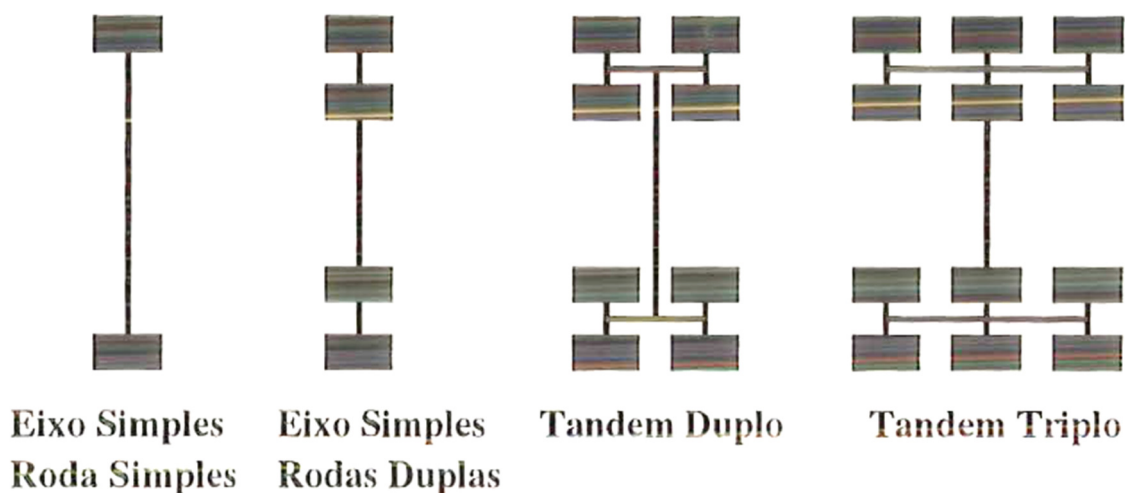


Figura 8 - Configuração de eixos de veículos de carga brasileiros (Fernandes Jr., 1994)

Os tipos supracitados de eixos podem ser distribuídos nos mesmos veículos, porém em um número maior de combinações conforme exemplos típicos mostrados na Figura 9. O Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) regulamenta os limites

para o peso por eixo dos veículos terrestres brasileiros e estabeleceu uma tolerância de 7,5% para os valores (DNIT, 2005). Para o Eixo Simples de Roda Simples (ESRS), a carga máxima é de 6,0 tf. O Eixo Simples de Roda Dupla possui carga máxima de 10,0 tf. Por sua vez, os Eixos Tandem possuem carga máxima maior: a carga máxima é de 17,0 tf para o Duplo (ETD) e de 25,5 tf para o Triplo (ETT). O DNIT (2012) destaca um detalhe importante aplicado aos conjuntos de 2 ou 3 eixos quando a distância entre eles é superior a 2,40 m. Em tais situações, os eixos serão considerados isolados. Também é importante notar que existe a configuração de eixos simples de rodas simples com eixos simples de rodas duplas, denominada de eixo traseiro misto – comum entre os ônibus – o que não configura um eixo tipo tandem duplo.

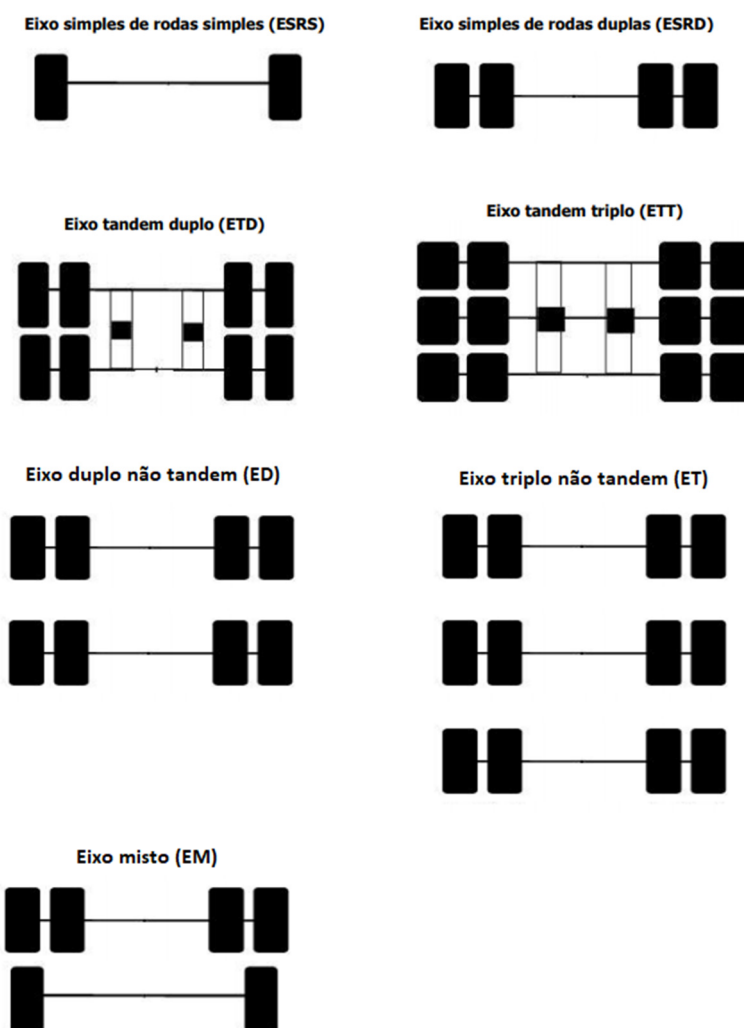


Figura 9 - Tipos de eixos de veículos rodoviários brasileiros (Adaptado de DNIT, 2012)

Segundo o DNER (1999), o eixo padrão rodoviário brasileiro é um eixo simples de rodas duplas e que transmite ao pavimento uma carga total de 8,2 tf (80 kN). A partir dessa definição, a concessionária responsável pela rodovia em análise separa os tipos de veículos em diferentes categorias conforme exemplo da Figura 10, utilizando um fator multiplicador para os veículos de acordo com a carga transmitida, refletindo o desgaste e custo de implantação do pavimento por conta da sua passagem (DER, 1997). De acordo com Peterlini (2006), veículos pesados podem ser pouco danosos ao pavimento, desde que possuam uma carga bem distribuída pelo número de eixos.














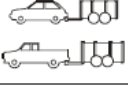








| Cat. | Veículos | Eixos | Modelo | Multiplicador |
|------|--|--|--|---------------|
| 1 | Autos Caminhonete Furgão | 2 eixos  |  | 1,00 |
| 2 | Caminhão Leve Caminhão Trator Furgão | 2 eixos  |  | 2,00 |
| 2a | Ônibus / Micro-ônibus | 2 eixos  |  | 2,00 |
| 3 | Autos ou Caminhonete com semi-reboque | 3 eixos  |  | 1,50 |
| 4 | Caminhão, Caminhão Trator ou Caminhão trator com semi-reboque | 3 eixos  |  | 3,00 |
| 4a | Ônibus / Micro-ônibus | 3 eixos  |  | 3,00 |
| 5 | Autos e/ou Caminhonete com reboque | 4 eixos  |  | 2,00 |
| 6 | Caminhão com reboque ou Caminhão Trator com semi-reboque | 4 eixos  |  | 4,00 |
| 7 | Caminhão com reboque ou Caminhão Trator com semi-reboque | 5 eixos  |  | 5,00 |
| 8 | Caminhão com reboque e Caminhão Trator com semi-reboque | 6 eixos  |  | 6,00 |
| 9 | Moto, Motoneta Bicicleta a motor | 2 eixos  |  | 0,50 |

Figura 10 - Categorias de veículos e fatores multiplicadores (DER, 1997)

2.5 CRITÉRIOS PARA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS ADICIONAIS EM ACLIVES DE RODOVIAS DE MÚLTIPLAS FAIXAS

Segundo a AASHTO, quanto mais um veículo transita em uma velocidade muito distinta da velocidade de projeto desta rodovia, maior a sua chance de se envolver em um acidente, independentemente da velocidade média de projeto de uma rodovia. Nesse aspecto, a redução da velocidade dos veículos pesados devido às rampas ascendentes aumenta a taxa de envolvimento de caminhões e ônibus em ocorrências de trânsito, além de restringir as características operacionais dos demais veículos. Essas limitações podem ser amenizadas pelo aumento das oportunidades de ultrapassagem com a implantação de faixa adicional em aclives (DNIT, 1999).

Faixas adicionais em subidas são justificadas porque grande parte dos seus critérios de implantação são baseados no desempenho de caminhões nos aclives das rodovias, o que pode ser medido por observações em campo ou pela caracterização da frota (LIMA, 2010). No entanto, essas faixas são mais raramente justificáveis em rodovias de múltiplas faixas do que em rodovias de pista simples. Isso acontece porque, em rodovias de pista simples, há um impedimento da ultrapassagem pelos veículos leves devido ao tráfego no sentido oposto, embora existam evidências de que a segurança do tráfego é maior caso o fluxo inteiro se movimente na mesma velocidade. Desta maneira, o projeto da faixa adicional em aclives pode ser justificado em alguns casos (AASHTO, 2001). Mesmo que não haja um investimento inicial em faixas adicionais, recomenda-se preparar a terraplenagem do terreno para possibilitar uma futura implantação da faixa (MELO, 2002).

Segundo Andrade e Setti (2001), a necessidade de se implantar faixas adicionais ocorre de acordo com critérios baseados no volume de tráfego, fluxo e relação de veículos pesados e nível de serviço. Esses padrões operacionais estão ligados às características do fluxo de tráfego que afetam a velocidade e fluidez de operação, tais como as oportunidades de ultrapassagem proporcionadas. Tais condições interferem no padrão de conforto a que estarão sujeitos motoristas e passageiros, além de envolver também aspectos subjetivos. Sob essa ótica, a faixa adicional torna-se indispensável quando o padrão operacional do trecho cai abaixo do limite inferior admissível da sua capacidade (DNIT, 1999).

De modo a seguir o padrão operacional, os parâmetros usualmente empregados são os instituídos pelo HCM. Esses parâmetros são referentes aos seis níveis de serviço que compreendem desde a condição operacional mais favorável até a condição de esgotamento da capacidade. Os critérios para implantação desse tipo de faixa são definidos pelo *Green Book* da AASHTO, tendo em vista que apenas uma versão do HCM (a publicada em 1985) trata do assunto (ARTESP, 2005). A implantação de faixas adicionais é uma medida de baixo custo se comparada com a duplicação da rodovia, e sua aplicação reduz os custos operacionais, tempos de viagem e índices de acidentes (MELO, 2002).

Segundo o *Green Book*, para justificar a implantação de uma faixa adicional em aclives, um dos critérios é um baixo nível de serviço na subida, que não pode exceder o nível de serviço inferior ao nível projetado para a rodovia e em nenhum momento pode ser inferior ao nível D. Geralmente, quando o fluxo no trecho é maior que 1.700 veíc/h/faixa e a porcentagem de caminhões e o comprimento da subida são suficientes para justificar faixas adicionais conforme os critérios, os volumes de carros de passeio equivalentes encontram-se no limite ou excedem a capacidade do trecho. O valor crítico de diminuição de velocidade em subidas é igual a 15 km/h em relação à velocidade normal de fluxo de caminhões. O manual ainda ressalta que a redução da velocidade dos veículos pesados nos aclives não depende apenas das inclinações das rampas, mas também dos seus respectivos comprimentos (AASHTO, 2001). Tem-se então o termo “comprimento crítico” de um aclive, o qual indica a distância máxima em que um caminhão-tipo carregado pode trafegar sem grandes perdas de velocidade críticas (PONTES FILHO, 1998).

Segundo Demarchi (2000), deve-se levar em conta a relação massa/potência para a análise de desempenho de caminhões. Com isso, pode-se elaborar curvas de desempenho e estudar a necessidade de faixas adicionais para o tráfego de veículos lentos. Essas curvas são utilizadas na determinação dos pontos iniciais e no comprimento das faixas adicionais (MELO, 2002). Demarchi (2000) também ressalta que o desempenho de caminhões brasileiros é inferior aos norte-americanos, mostrando que os valores adotados pelo HCM para a relação massa/potência podem ser superestimados em relação aos atuais brasileiros. O DNER (1979) adotou o valor médio da relação massa/potência de 175 kg/kW baseando-se em valores observados de massas e potências de caminhões.

Para o cálculo do comprimento crítico de um aclave, deve-se verificar se o estudo é referente a uma rampa dita “uniforme”, quando não há diferenças algébricas significativas entre as declividades dentro do segmento da rampa, ou uma rampa dita “composta”, quando há uma diferença significativa entre essas declividades. Do ponto de vista numérico, tal diferença se refere a um valor máximo de 2% entre as rampas (ARTESP, 2005). Para a análise dos desempenhos dos caminhões a partir das inclinações das rampas, são desenvolvidos gráficos de curvas de desempenho pela distância percorrida pelos veículos pesados típicos, conforme modelo da AASHTO (1994). Em uma adaptação das referidas curvas aos padrões brasileiros, a ARTESP (2005) desenvolveu os gráficos da Figura 11 para caminhões trafegando a 88 km/h na entrada da rampa e com uma relação peso-potência igual a 180kg/kW.

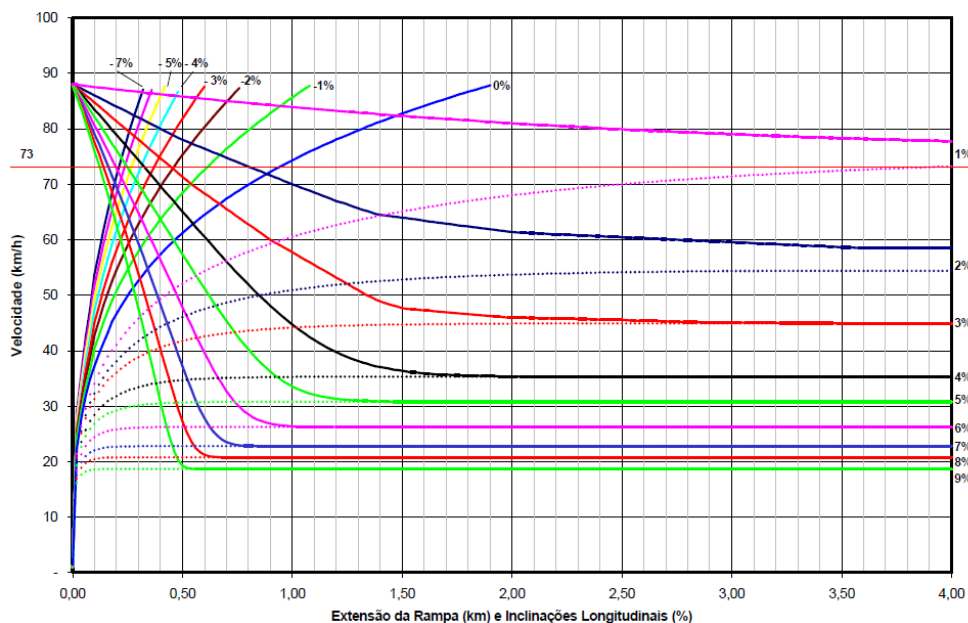


Figura 11 - Curvas de desempenho X Distância para desaceleração de veículos pesados típicos (ARTESP, 2005)

As reduções de velocidade para os esses caminhões podem também ser encontradas a partir da Figura 12, a qual permite a obtenção direta do comprimento crítico da rampa e da sua declividade máxima permitida através da análise da inclinação e da redução máxima de velocidade considerada pela AASHTO de 15 km/h (ARTESP, 2005), bem como outras reduções de velocidade que eventualmente possam ser necessárias para investigações teóricas ou práticas.

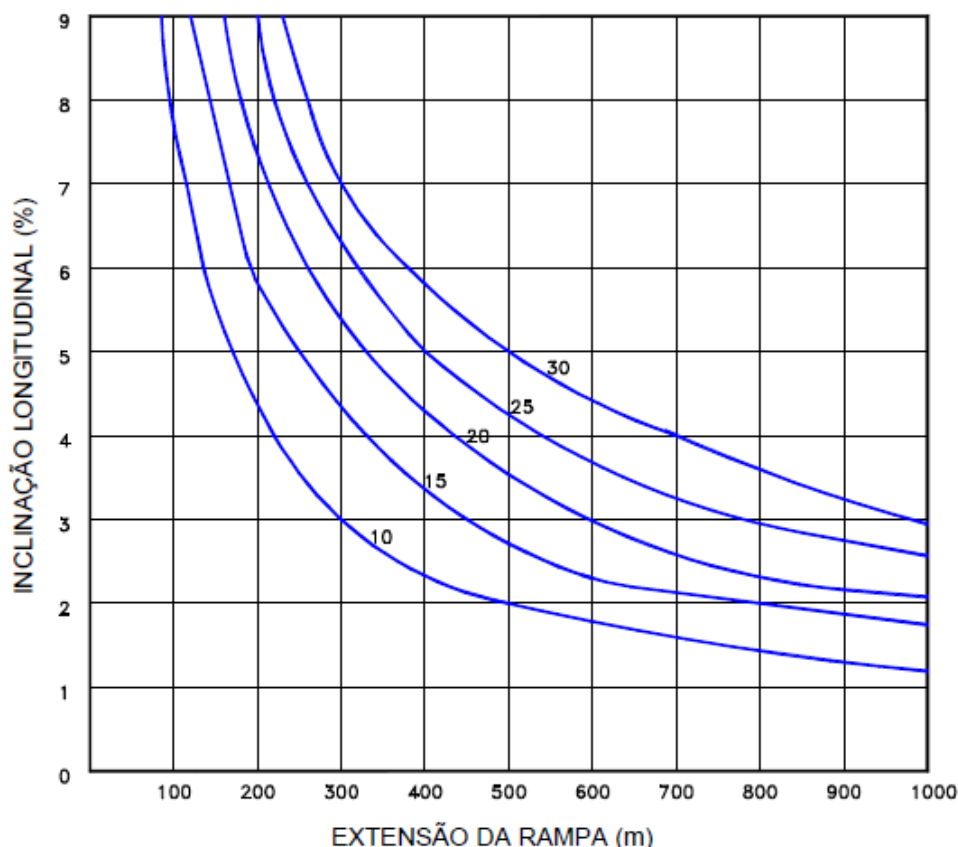


Figura 12 - Curvas de Redução de Velocidade [180 kg/kW] (ARTESP, 2005)

De acordo com o *Green Book*, os critérios necessários para verificar a necessidade da implantação de faixas adicionais em rodovias de múltiplas faixas são os seguintes: (a) o comprimento crítico da rampa é excedido; (b) o nível de serviço no aclive não pode exceder o nível inferior ao adotado como padrão de projeto da rodovia, de acordo com a concessionária responsável e em nenhum momento pode ser inferior ao nível "D"; e (c) o volume na hora de projeto supera 1.000 cp/h/faixa, independentemente da porcentagem de veículos pesados no tráfego. Para justificar a implantação da faixa adicional, todos os critérios devem ser atendidos simultaneamente (ARTESP, 2005).

É importante evidenciar que, segundo o método da AASHTO, a implantação da faixa adicional torna-se justificável se no aclive em estudo houver grande quantidade de acidentes, independentemente da observação dos critérios listados. Os critérios do manual foram realizados de acordo com curvas que correlacionam índices de envolvimento de caminhões em acidentes com a diferença das velocidades entre os veículos (MELO, 2002). Índices de acidentes dependem de fatores como

composição e volumes de tráfego, período do dia, fatores climáticos e comprimento e declividade dos trechos (O'CONNOR, 1995).

Um dos aspectos que viabilizam a implantação de faixas adicionais em aclives de rodovias é a redução do número de acidentes e das gravidades destes (MELO, 2002). Segundo John e Kobett (1978), o índice de acidentes envolvendo caminhões depende da porcentagem destes no tráfego. De acordo com seus estudos, considerando um tráfego composto por 20% de caminhões, os índices de acidentes podem chegar a crescer 200% em rampas. Como cita Melo (2002), segundo estudos realizados na Suécia, a implementação de faixas adicionais em aclives de rodovias reduziu cerca de 25% dos acidentes.

O estudo da viabilidade de implantação de faixa adicional em um aclive se justifica devido ao fato dos possíveis benefícios gerados, principalmente com relação ao conforto dos motoristas, caracterizado pelo nível de serviço (TRB, 2000). A implantação desse tipo de melhoria possibilita uma grande redução no número de acidentes nos trechos (MELO, 2002), reduzindo o índice de congestionamentos e o número de veículos trafegando em pelotões (MELO e SETTI, 2003).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 DESCRIÇÃO DO TRECHO

A rodovia BR-277 é a principal via de ligação entre as cidades paranaenses de Curitiba e Campo Largo, sendo caracterizada pelo grande fluxo gerado através do movimento pendular e por favorecer a conexão da capital do Estado aos municípios do interior. Uma parcela dessa infraestrutura rodoviária, cerca de 46 km (km 94,20 a 140,50), é administrada pela atual concessionária CCR RodoNorte desde 14 de novembro de 1997, porém o término do contrato está previsto para 27 de novembro de 2021.

Neste aspecto, o presente estudo analisa o trecho pertencente à concessão supracitada e que está localizado no perímetro do município de Campo Largo, bairro Rondinha. A rampa ascendente no sentido oeste do tráfego tem seu ponto de início considerado logo após a ponte sobre o rio Rondinha, situada a 220 m antes do marco quilométrico 111 (mais especificamente nas coordenadas 25°26'36,2"S e 49°27'52,0"O), cujo final está estimado a 1.700 m deste ponto de origem (coordenadas 25°26'48,8"S e 49°28'51,2"O), conforme destacado na Figura 13. A referida rampa está compreendida entre o final de outra rampa – esta descendente – e o início da urbanização sobre a faixa de domínio (40 m a partir do eixo da pista de rolamento), onde está presente um ponto de ônibus destinado ao transporte coletivo entre a capital e a região metropolitana.



Figura 13 - Rodovia BR-277, Km 11 a 113 - sentido oeste (Adaptado de GOOGLE, 2017)

Próximo ao início do *greide* encontra-se o antigo Parque Histórico do Mate, cujo acesso ao ponto turístico se faz ao lado do acostamento, sem sinalização ao condutor e sem faixa de desaceleração e aceleração. O Parque está desativado desde 2011 segundo a Secretaria de Estado da Cultura do Paraná (SEEC), de modo que não será considerado como um ponto de acesso influente no fluxo de tráfego. Em contrapartida, há uma grande concentração de veículos junto ao marco quilométrico 112, onde está localizado um comércio às margens da rodovia e também um local de saída de automóveis dos moradores do bairro e ônibus que realizam o transporte dos alunos do Colégio Bom Jesus da Aldeia, situado na Rua Aldeia Franciscana – a qual direciona o fluxo veicular diretamente para a rodovia, sem uma devida interseção.

O terreno sobre a qual a antiga “Grande Estrada” foi concebida é predominantemente ondulado, apresentando taludes e desníveis consideráveis em quase toda a sua extensão e até mesmo entre as pistas de sentidos opostos, ou seja, no próprio canteiro central.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O trabalho se baseou em dados fornecidos pelos órgãos competentes – atual concessionária CCR RodoNorte e DER-PR – os quais possuem a devida licença para coletá-los, bem como aparelhos específicos e aferidos para este fim. Portanto, é um estudo prático e realizado a partir de valores-base, sem a realização de contagens de tráfego em campo.

3.2.1 Análise dos dados geométricos

Por se tratar de uma rodovia existente há 49 anos, as características geométricas foram extraídas do Plano Funcional e Geometria Básica da extensão determinada de “Final Trecho Municipal entre BR-376 (B) / PR-428 (São Luiz do Purunã)”. Esse Projeto Básico foi disponibilizado pelo DER-PR, no qual foram determinados os seguintes dados geométricos: largura das faixas, largura do acostamento, número dos pontos de acesso, extensão e inclinação/relevo. Tais informações são referências para os fatores de correção da velocidade de fluxo livre estimada no trecho em interesse.

Todos esses dados foram verificados *in loco* ante a publicação do próprio Plano supracitado, datado de outubro de 1996. Durante a conferência realizada pelos autores, também foram observadas as distâncias dos obstáculos nas duas laterais da pista, considerando as sinalizações luminosas, placas, arvores, postes, barreiras de tráfego, paredes de contenção e obstruções fixas com folga lateral como tal, segundo o HCM (1994). Frente a descontinuidade destes obstáculos na rampa ascendente de interesse, definiu-se o pior cenário (menor distância), resultando em maiores fatores de ajuste.

3.2.2 Análise dos dados de tráfego

Os dados de tráfego foram fundamentados nos levantamentos realizados e fornecidos pela atual concessionária CCR RodoNorte. Inicialmente, foi examinada a série histórica do fluxo veicular por categoria entre os anos de 1999 e 2017, registrada na Praça de Pedágio de São Luiz do Purunã (BR-277, km 133) e no sentido oeste. A íntegra dos dados é mostrada na Tabela 8. Entretanto, para situar os dados de tráfego em locais mais próximos ao trecho de interesse, foram também coletados os volumes diários médios gerais por tipo de veículo, e acumulados entre os km 99,7 a 114,4 ao longo do ano de 2017 (Tabela 7). É importante destacar que a divisão mostrada na Tabela 7 apenas destaca os veículos comerciais e os de passeio, o que não contempla todas as variáveis necessárias à aplicação dos cálculos. Isto levou ao desenvolvimento de uma correlação entre os dois pontos de contagem, conforme discutido adiante.

Tabela 7 - VDM geral por tipo de veículo acumulado (Adaptado de CCR-RodoNorte)

| | TOTAL | COMERCIAL | PASSEIO |
|------|-------|-----------|---------|
| 2017 | 14394 | 5969 | 8424 |

Com relação aos dados dos veículos pagantes na praça de pedágio, demonstrou-se necessária a incorporação do número de ônibus que realizam o transporte coletivo entre Curitiba e Campo Largo, os quais não são quantificados pela concessionária no referido ponto do km 133 devido à rota intermunicipal destes últimos, mas que trafegam no trecho da pesquisa. A partir dos dados fornecidos pela

empresa responsável pelo transporte coletivo de Campo Largo, uma nova tabela foi obtida (Tabela 9).

Para a analogia em termos das contabilizações e caracterizações dos dados registrados no pedágio e na seção específica do VDM de 2017, utilizou-se a Teoria dos Erros. Esse princípio considera que todo processo de medida tem uma incerteza associada aos valores e que, portanto, necessita de ajustes para estimar os resultados com maior precisão (VUOLO, 1992).

Uma particularidade merece ser registrada na análise dos dados de tráfego, em que os manuais nacionais diferem dos norte-americanos. Essa diferenciação está relacionada ao procedimento para determinação do VH a partir do VDMA, tal como descrito no Capítulo 2. O presente estudo considerou as duas recomendações, que, ao final, foram comparadas para analisar a viabilidade da implantação da faixa adicional. Segundo o HCM (1994), a porcentagem representativa do VDMA para o VH pertence a um intervalo de 9,1% a 10%, sendo que este estudo fez uso do valor médio (9,5%). Tal valor está relacionado às rodovias rurais desenvolvidas, além de impactar menos na taxa de fluxo equivalente, contemplando todo e qualquer grau de complexidade.

Segundo Vuolo (1992), para concretizar a análise estatística e padronizar as medições, foram inicialmente calculados os seguintes valores relativos a cada categoria veicular: média aritmética simples e desvio padrão amostral. Em seguida, foi associada à média uma incerteza dada pelo desvio padrão, conforme intervalos mostrados nas Equações (11) e (12) para os limites inferior (Int_{inf}) e superior (Int_{sup}), respectivamente.

$$Int_{inf} = \bar{x} - \sigma_p \quad (11)$$

$$Int_{sup} = \bar{x} + \sigma_p \quad (12)$$

O desvio padrão qualifica a dispersão da amostra, porém não verifica a confiabilidade da média amostral calculada. Assim, foi necessário encontrar o erro total além de verificar a proximidade com o intervalo.

Tabela 8 - Fluxo veicular por categoria de 1998 a 2017 [PAGANTES] (Adaptado de CCR-RodoNorte / Praça de São Luiz do Purunã – P5.1)

| ANO | CAT 1 | CAT 2 | CAT 2a | CAT 3 | CAT 4 | CAT 4a | CAT 5 | CAT 6 | CAT 7 | CAT 8 | CAT 9 | TOTAL |
|-------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2017 | 6188067 | 377217 | 65148 | 29955 | 564870 | 88207 | 4744 | 217801 | 300082 | 2261833 | 139823 | 10237747 |
| 2016 | 5926851 | 363157 | 62512 | 28689 | 555069 | 88372 | 4371 | 200958 | 315121 | 2058329 | 129693 | 9733122 |
| 2015 | 6072753 | 436767 | 70207 | 30592 | 585571 | 92393 | 4195 | 365647 | 348978 | 1918940 | 121253 | 10047296 |
| 2014 | 6102942 | 387425 | 78937 | 28967 | 659846 | 93466 | 3537 | 198491 | 386227 | 2065121 | 120817 | 10125776 |
| 2013 | 5890786 | 381355 | 79172 | 27524 | 667730 | 95792 | 3325 | 175108 | 436641 | 2003951 | 114859 | 9876243 |
| 2012 | 5740874 | 355348 | 81165 | 25804 | 671041 | 99190 | 2836 | 146885 | 438263 | 1794789 | 118541 | 9474736 |
| 2011 | 5365735 | 342865 | 80455 | 22774 | 678858 | 104553 | 2920 | 111183 | 480808 | 1558630 | 110005 | 8858786 |
| 2010 | 5142558 | 315430 | 70647 | 20324 | 671631 | 108786 | 2685 | 86455 | 536162 | 1368333 | 107165 | 8430176 |
| 2009 | 4709495 | 381454 | 67836 | 19578 | 595362 | 102770 | 2668 | 222484 | 474148 | 963761 | 106036 | 7645592 |
| 2008 | 4458407 | 415554 | 76978 | 18647 | 591265 | 107079 | 2455 | 252876 | 533735 | 835304 | 103575 | 7395875 |
| 2007 | 4096747 | 402181 | 66018 | 16665 | 585030 | 96503 | 2206 | 266969 | 576529 | 801800 | 86323 | 6996971 |
| 2006 | 3732758 | 428296 | 64574 | 15229 | 519536 | 103560 | 2037 | 327971 | 543791 | 660771 | 72469 | 6470992 |
| 2005 | 3652460 | 437873 | 64867 | 16157 | 517307 | 119145 | 1913 | 336023 | 570361 | 638576 | 61735 | 6416417 |
| 2004 | 3607188 | 441302 | 63089 | 15519 | 527994 | 122394 | 1873 | 364204 | 638635 | 629274 | 50425 | 6461897 |
| 2003 | 3302314 | 423480 | 59651 | 14205 | 507483 | 123633 | 1725 | 304818 | 670713 | 533180 | 43474 | 5984676 |
| 2002 | 3328486 | 430156 | 64906 | 13164 | 516909 | 128220 | 1617 | 275162 | 690366 | 389942 | 38239 | 5877167 |
| 2001 | 3292543 | 420974 | 68977 | 12633 | 510090 | 130917 | 1799 | 287835 | 726883 | 289499 | 32434 | 5774584 |
| 2000 | 3444775 | 432816 | 49952 | 11900 | 545910 | 98757 | 1746 | 225530 | 668272 | 177718 | 26050 | 5683426 |
| 1999 | 3524560 | 456012 | - | 12033 | 677719 | - | 1705 | 292461 | 767641 | 130346 | 24551 | 5887028 |

Tabela 9 - Fluxo veicular por categoria de 1998 a 2017 [PAGANTES] + ônibus metropolitano (Adaptado de CCR-RodoNorte / Praça de São Luiz do Purunã – P5.1)

| ANO | CAT 1 | CAT 2 | CAT 2a | CAT 3 | CAT 4 | CAT 4a | CAT 5 | CAT 6 | CAT 7 | CAT 8 | CAT 9 | TOTAL |
|-------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2017 | 6188067 | 377217 | 116866 | 29955 | 564870 | 88207 | 4744 | 217801 | 300082 | 2261833 | 139823 | 10289465 |
| 2016 | 5926851 | 363157 | 114597 | 28689 | 555069 | 88372 | 4371 | 200958 | 315121 | 2058329 | 129693 | 9785207 |
| 2015 | 6072753 | 436767 | 122015 | 30592 | 585571 | 92393 | 4195 | 365647 | 348978 | 1918940 | 121253 | 10099104 |
| 2014 | 6102942 | 387425 | 131246 | 28967 | 659846 | 93466 | 3537 | 198491 | 386227 | 2065121 | 120817 | 10178085 |
| 2013 | 5890786 | 381355 | 131481 | 27524 | 667730 | 95792 | 3325 | 175108 | 436641 | 2003951 | 114859 | 9928552 |
| 2012 | 5740874 | 355348 | 133217 | 25804 | 671041 | 99190 | 2836 | 146885 | 438263 | 1794789 | 118541 | 9526788 |
| 2011 | 5365735 | 342865 | 132540 | 22774 | 678858 | 104553 | 2920 | 111183 | 480808 | 1558630 | 110005 | 8910871 |
| 2010 | 5142558 | 315430 | 122622 | 20324 | 671631 | 108786 | 2685 | 86455 | 536162 | 1368333 | 107165 | 8482151 |
| 2009 | 4709495 | 381454 | 120145 | 19578 | 595362 | 102770 | 2668 | 222484 | 474148 | 963761 | 106036 | 7697901 |
| 2008 | 4458407 | 415554 | 129287 | 18647 | 591265 | 107079 | 2455 | 252876 | 533735 | 835304 | 103575 | 7448184 |
| 2007 | 4096747 | 402181 | 117659 | 16665 | 585030 | 96503 | 2206 | 266969 | 576529 | 801800 | 86323 | 7048612 |
| 2006 | 3732758 | 428296 | 116292 | 15229 | 519536 | 103560 | 2037 | 327971 | 543791 | 660771 | 72469 | 6522710 |
| 2005 | 3652460 | 437873 | 116952 | 16157 | 517307 | 119145 | 1913 | 336023 | 570361 | 638576 | 61735 | 6468502 |
| 2004 | 3607188 | 441302 | 115231 | 15519 | 527994 | 122394 | 1873 | 364204 | 638635 | 629274 | 50425 | 6514039 |
| 2003 | 3302314 | 423480 | 111960 | 14205 | 507483 | 123633 | 1725 | 304818 | 670713 | 533180 | 43474 | 6036985 |
| 2002 | 3328486 | 430156 | 117215 | 13164 | 516909 | 128220 | 1617 | 275162 | 690366 | 389942 | 38239 | 5929476 |
| 2001 | 3292543 | 420974 | 120785 | 12633 | 510090 | 130917 | 1799 | 287835 | 726883 | 289499 | 32434 | 5826392 |
| 2000 | 3444775 | 432816 | 101947 | 11900 | 545910 | 98757 | 1746 | 225530 | 668272 | 177718 | 26050 | 5735421 |
| 1999 | 3524560 | 456012 | - | 12033 | 677719 | - | 1705 | 292461 | 767641 | 130346 | 24551 | 5887028 |

A probabilidade de o valor anual para cada categoria estar na faixa mencionada acima é de 68,67%. No entanto, para os casos em que o percentual da amostra estiver muito distante deste valor, são eliminados os dados que estão mais longe da média obtida, um de cada vez, até que se aproxime da referida porcentagem. Tais dados são classificados como espúrios, pois diferenciam drasticamente de todos os outros, podendo ocasionar anomalias nos resultados obtidos.

A fim de tornar o estudo mais confiável através da estimativa do erro total, foi dividido o desvio padrão pela raiz quadrada do tamanho amostral e incorporado este valor em cada categoria. Posteriormente, extraiu a raiz quadrada da somatória entre o desvio padrão e o erro sistemático, que para a contagem de tráfego na praça de pedágio é insignificante, ou seja, igual a zero.

Para fins de comparação e interpretação dos resultados, o procedimento se baseou na probabilidade de que o resultado se encontre na faixa entre o limite inferior e superior com 95,45% de chance. Portanto, as flutuações aleatórias se situam em um intervalo de confiança representada pela média mais ou menos duas vezes o desvio padrão ($\bar{x} \pm 2\sigma$).

Após a análise dos dados nos pontos de contagem, obteve-se a incerteza do processo de medida. Esta incerteza deve-se propagar nos demais cálculos para alcançar uma aproximação do valor verdadeiro da respectiva grandeza, ou seja, o erro também foi considerado em todos os cálculos que envolvem os dados corrigidos estatisticamente. Para casos com mais de uma variável independente entre si, a propagação foi feita através da equação geral descrita abaixo (Equação (13)):

$$\sigma_w^2 = \left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 \cdot \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2 \cdot \sigma_y^2 + \dots + \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2 \cdot \sigma_z^2 \quad (13)$$

Onde w é a função dependente das variáveis (x, y, \dots, z) e que terá a incerteza incorporada ao seu resultado. Esses diferentes fatores são grandezas experimentais com os erros já associados.

3.2.3 Veículo típico e curva de desempenho de veículo

Diante das características rodoviárias e da composição da frota nacional, tomou-se como referência representativa a relação peso-potência de 180 kg/kW para qualificar os veículos pesados que trafegam no aclave, conforme pesquisas realizadas pelo DNER e pela ARTESP e apresentadas no Capítulo 2. Com base nesta particularidade e na velocidade ideal de fluxo identificada no trecho de interesse (88 km/h), que segundo os preceitos do HCM é 10% superior a velocidade limite da rodovia, tem-se a projeção da Curva de Desempenho Velocidade x Distância, conforme exemplo da Figura 11 (Capítulo 2).

Apesar da diferenciação supracitada, os demais veículos que compõem o tráfego da região em estudo não necessitam de ajustes para sua correta caracterização, prevalecendo, portanto, os fatores de cálculos retratados no manual do HCM. Entretanto, as motocicletas – categoria 9 da Tabela 9 – não interferem significativamente na capacidade da via, muito embora o índice de acidentes envolvendo esse tipo de veículo seja expressivo. Portanto, as operações aqui realizadas não contemplaram os dados referentes a essa categoria (GOLDNER, 2013).

3.2.4 Avaliação da capacidade e nível de serviço

Os procedimentos de análise de capacidade e nível de serviço foram fundamentados na sequência de cálculo exposta em um fluxograma presente no HCM 2000, vide Figura 14. No entanto, os fatores de equivalência a serem utilizados nos cálculos devem ser os definidos na versão de 1994, pois são mais compatíveis com o desempenho dos veículos que compõem a frota nacional. Segundo a ARTESP (2005), esta adaptação é essencial pelo fato da edição do HCM 2000 considerar a relação peso/potência dos veículos pesados como 120 kg/kw, ao invés dos 180 kg/kw definidos na versão de 1994.

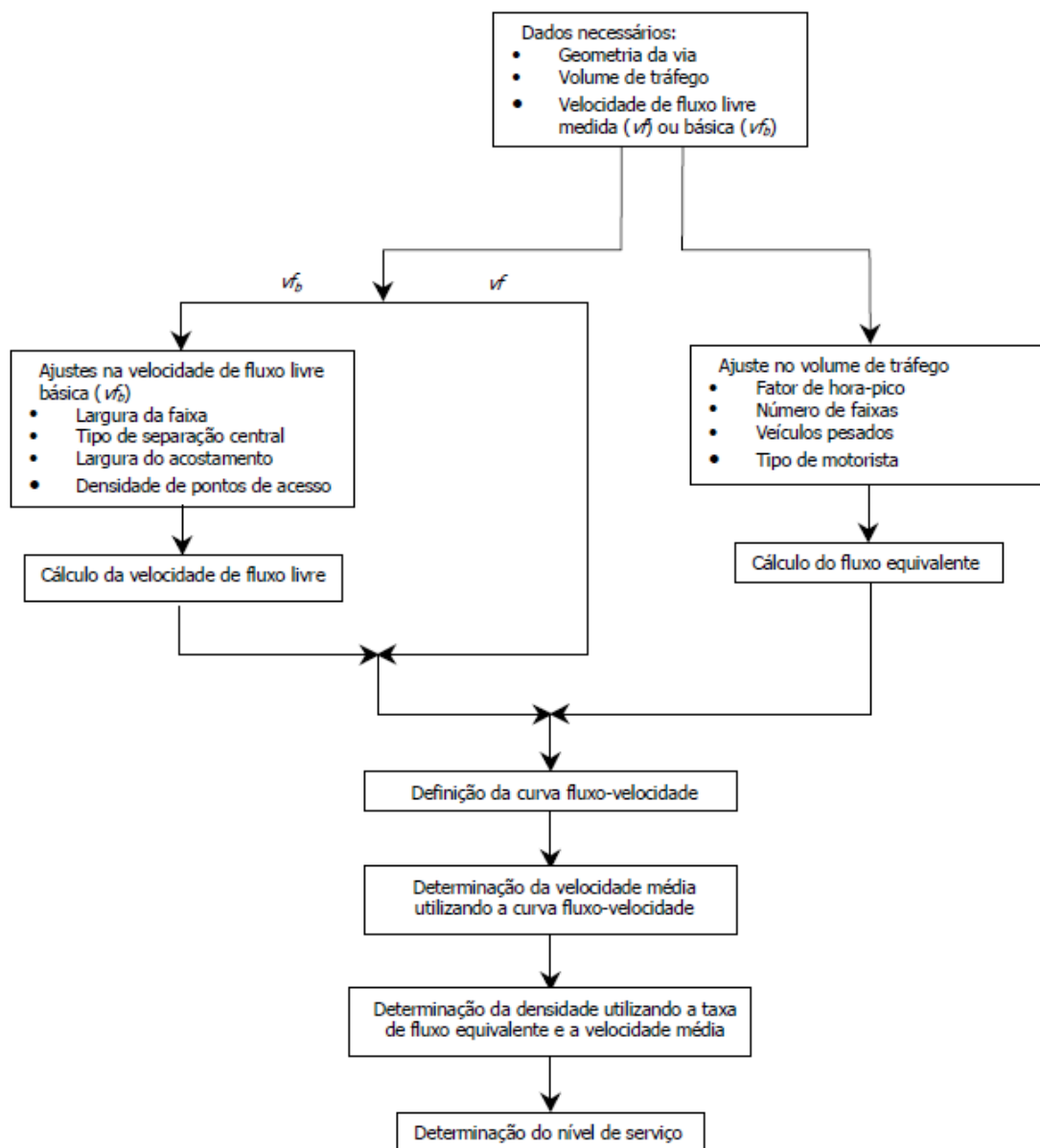


Figura 14 - Fluxograma para análise de segmentos básicos de rodovias de múltiplas faixas (Adaptado de TRB 2000)

O método requer inicialmente as características geométricas e do tráfego, ambas mencionadas nos itens anteriores do presente capítulo. Através desses dados de referência, são obtidos valores ajustados de velocidades em função de fatores que refletem o efeito da largura das faixas de tráfego, da largura dos acostamentos, do tipo de separação entre pistas e da densidade de pontos de acesso no trecho analisado. Em seguida, a taxa de fluxo estimada é convertida para uma taxa de fluxo equivalente (q_b), expressa em cpe/h/faixa, levando-se em consideração o efeito do fator de hora pico (FHP), da porcentagem de veículos pesados (f_{HV}) e do tipo de motorista que utiliza a via (f_p). A partir da taxa de fluxo equivalente, foram

determinadas a velocidade média de operação, a densidade de corrente de tráfego e o nível de serviço em que opera a rodovia. Todas as equações, tabelas e fatores envolvidos nos cálculos já foram descritos no Capítulo 2 do presente trabalho.

3.2.5 Critérios de implantação da faixa adicional

Para a verificação da necessidade de implantação da faixa adicional no sentido da rampa ascendente em estudo, foram adotados os critérios descritos a seguir, tendo como referência principal o *Green Book*, também descrito no Capítulo 2. Em primeiro lugar, a taxa de fluxo de tráfego deve ser maior que 1.000 cpe/h/faixa, o que foi verificado com base nos procedimentos descritos no HCM e detalhados no Capítulo 2. Em segundo lugar, a taxa de fluxo de tráfego deve superar os máximos parâmetros previstos para o nível de serviço “C”. Com base nos cálculos realizados no passo anterior, foi possível obter a taxa de fluxo de tráfego da rampa, a qual deve ser igual ou superior à taxa de fluxo de serviço característico do nível “D”.

Em terceiro lugar, a taxa de fluxo deve exceder o máximo volume de serviço característico do nível de serviço imediatamente pior que o adotado como padrão de projeto para a rodovia. A partir da taxa de fluxo de tráfego encontrado no primeiro tópico, a forma de averiguar esse critério ainda necessita dos dados de projeto do trecho para analisar o nível de serviço padrão de projeto ou operação adotado. Entretanto, esse requisito não se aplica para o caso em que o padrão é o Nível de Serviço “D”, uma vez que o pior nível de serviço subsequente seria o Nível “E”. Caso se confirme esse passo, ele será único e excludente dos anteriores, pois se torna obrigatório o aumento da capacidade da rodovia por estar operando próxima de sua capacidade.

Em quarto lugar, o comprimento da rampa deve ser superior ao seu comprimento crítico. O procedimento para análise deste critério consiste em comparar as características geométricas da rodovia com a máxima extensão que veículos pesados podem operar sem a perda excessiva de velocidade, a qual é limitada a uma redução de 15 km/h por razões de segurança segundo o *Green Book*. Para a determinação do valor deste comprimento, optou-se pelo processo descrito nas etapas a seguir, em face da uniformidade do aclave de interesse e a inclinação que o antecede.

Primeiramente, foi determinado o comprimento do segmento da rampa. Neste caso, foi necessário incorporar $\frac{1}{4}$ da extensão da curva vertical de raio grande para considerar a concordância entre as rampas, como representado na Figura 15. Em seguida, foi obtida a inclinação da rampa ascendente (Figura 16) a partir da razão entre a diferença de cotas do início e fim da rampa considerada e a extensão da projeção vertical do segmento que os une, incluindo as seções de curva vertical. Após a obtenção do comprimento e inclinação efetiva da rampa, foram utilizados os dados para fazer a leitura do gráfico representado na Figura 12 (Capítulo 3) e determinar o comprimento crítico da rampa. Finalmente, para a avaliação da relação entre o comprimento da rampa e comprimento crítico, é necessário estimar a velocidade de entrada dos caminhões e ônibus na rampa. Para tal, pode-se determinar este valor como a velocidade limite de tráfego acrescida de 10%, conforme recomendações do HCM (1994).

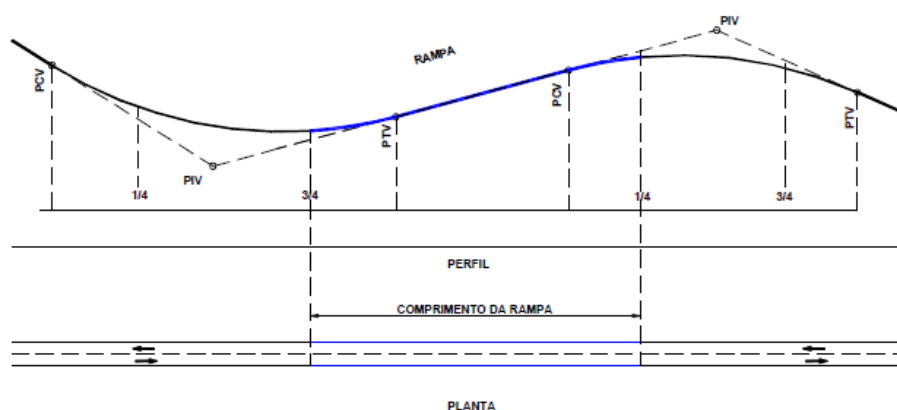


Figura 15 - Comprimento dos segmentos da rampa para diferença significativa entre os greides (ARTESP, 2005)

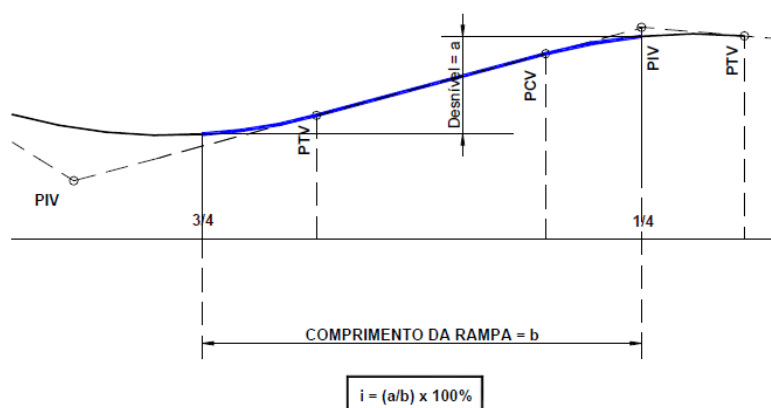


Figura 16 - Inclinação da rampa ascendente (ARTESP, 2005)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De modo a analisar a viabilidade de implantação da faixa adicional na rampa ascendente em estudo, foram realizadas buscas nos projetos e nas características do tráfego atual junto aos órgãos competentes pelo trecho da BR-277 entre Curitiba e Campo Largo (PR), conforme já descrito no Capítulo 3. O presente estudo está fundamentado nos principais manuais internacionais de transportes – HCM da TRB e *Green Book* da AASHTO – e em alterações que adaptam ambos os métodos às características brasileiras, como para a porcentagem de veículos pesados no tráfego e as relações massa/potência. Desta maneira, foram consultadas pesquisas realizadas por diferentes profissionais da área, principalmente da região de São Paulo, estado que contém um departamento próprio para o setor de transportes e um procedimento exclusivo para implantação de faixas adicionais.

4.1 ANÁLISE ATUAL DE OPERAÇÃO DA RODOVIA

Fundamentado no projeto geométrico da rodovia e na conferência desse detalhamento no próprio local do estudo, foram extraídas as características geométricas reportadas na Tabela 10. Esses dados são fundamentais para a estimativa da capacidade e nível de serviço, visto que os cálculos da velocidade de fluxo livre dependem dos dados geométricos.

Tabela 10 - Geometria e características da via (Os autores)

| Dados | Dimensão/Distância/ Quantidade |
|--|---|
| Limite de velocidade ^{1.} | 80 km/h |
| Largura de cada faixa de tráfego | 4 m |
| Largura do acostamento | 3 m |
| Número de pontos de acesso ^{2.} | 0,67 |

^{1.} A Velocidade Máxima Regulamentada é ratificada para veículos leves e pesados, ou seja, o mesmo limite para os dois segmentos, diante a classificação de projeto: Classe I A – relevo ondulado (DNER, 1999).

^{2.} Assim como já exposto, será considerado apenas um ponto de acesso influente na corrente de tráfego (km 112).

4.1.1 Determinação da velocidade de fluxo livre

O processo para estimar a velocidade de fluxo livre resulta dos fatores de redução expostos no Capítulo 2. Os fatores de ajuste da largura das faixas de tráfego, largura dos acostamentos, tipo de separação entre pistas e densidade dos pontos de acesso, além da adoção da velocidade ideal de fluxo livre representada como 10% superior à velocidade limite da rodovia são derivados da geometria e das características da via, sofrendo esses ajustes para se adequar às situações reais de funcionamento. A Tabela 11 apresenta os respectivos valores para o trecho estudado. Como o valor base das larguras das faixas é limitado a largura ideal de 3,6 metros ($f_{LW} = 0,0km/h$), considerou-se que valores acima deste também não necessitam de correções, já que essa medida é superior ao valor padronizado.

Conforme a atual conjuntura dos obstáculos laterais aos bordos da pista, a largura total do acostamento (La) representado pela Equação (2) foi de:

$$La = 1,80 + 1,50 = 3,30m \quad (14)$$

onde,

$La_d = 1,8m$ – acostamento com 3 metros de largura.

$La_e = 1,50m$ – *guardrail* localizado a 1,50 metros da pista de rolamento ao longo dos primeiros 210 metros do trecho considerado - a partir do rio Rondinha. Essa constatação foi adotada por representar a pior situação, apesar de não estar presente ao longo de todo o *greide*.

O valor determinado para o ajuste da largura do acostamento resultou da interpolação dos parâmetros presente na Tabela 2. Ao longo dos 46,3 quilômetros de concessão sob responsabilidade da CCR-Rodonorte, a BR-277 possui separação com canteiro central entre as pistas de sentidos opostos.

Com base nos fatores de ajustes encontrados e relatados a seguir, o cálculo da velocidade de fluxo livre no trecho foi obtido conforme cálculos mostrados na Equação (15):

$$v_f = 88,00 - 0,00 - 0,30 - 0,00 - 0,67 = 87,03km/h \quad (15)$$

Tabela 11 - Fatores de ajustes v_f (Os autores)

| Ajuste | Fatores (km/h) |
|--|-----------------------|
| Velocidade ideal de fluxo livre (Vf_b) | 88,00 |
| Larguras das faixas (f_{LW}) | 0,00 |
| Largura dos acostamentos (f_{LC}) | 0,30 |
| Tipo de separação central | 0,00 |
| Densidade de ponto de acesso | 0,67 |

Como pode ser observado, o valor estimado da velocidade de fluxo livre através da formulação não se difere de forma significativa do valor de velocidade limite da via acrescido em 10%, também conhecido como velocidade ideal de fluxo livre. Conforme o estudo realizado por Deardoff, Wiesner e Fazio (2011) para rodovias americanas, o valor encontrado através de observações em campo também não se difere dessa porcentagem.

4.1.2 Determinação da taxa de fluxo equivalente

Conforme descrito anteriormente no Capítulo 2, a taxa de fluxo equivalente procede especialmente das características de tráfego. No presente estudo, foram estimados dois diferentes volumes horários no aclive a partir da consideração relatada no Capítulo 3, atribuindo duas faixas ao parâmetro N conforme constatação feita no local. Os demais fatores determinantes para estimativa da taxa de fluxo estão representados na Tabela 12.

Também obtido empiricamente e com base na classificação de rodovias rurais pelo HCM, o FHP admitido foi 0,880. Pela importância da BR-277 ao setor de transportes, a maioria dos motoristas que trafegam em suas seções os fazem com certa frequência, por isso da relevância do fator. A conversão dos veículos pesados em carros de passageiros tem como magnitude as porcentagens destes e dos veículos recreacionais na corrente de tráfego. Contudo, é obrigatório estabelecer uma conexão entre essas categorias.

Tabela 12 - Fatores de ajustes q_b (Os autores)

| Ajuste | Fatores |
|--|----------------|
| Fator hora pico (FHP) ^{1.} | 0,880 |
| Fator para tipo de motorista (f_p) ^{2.} | 1 |
| Fator para veículos pesados (f_{HV}) ^{3.} | 0,553 ± 0,020 |

Posteriormente, com base nos dados recentes encontrados para a respectiva rampa (Tabela 7) e a necessidade de correlacioná-los estatisticamente com a contagem de tráfego na Praça de Pedágio de São Luiz do Purunã, sentido oeste (Tabela 9), por não existir uma separação por subcategoria de veículo no VDM fornecido, obteve-se uma melhor exatidão na constatação atual de operação da rodovia a partir dos percentuais de participação de cada tipo de veículo na corrente de tráfego. A Tabela 13 resume estas informações, juntamente com suas respectivas variações estatísticas. Diante da pequena representatividade dos veículos recreacionais no fluxo, estes foram incorporados à categoria dos caminhões e ônibus, tendo em vista que também possuem desempenho menor quando comparados aos automotores comuns.

Tabela 13 - VDM obtido com a Teoria dos Erros (Os autores)

| Subcategoria | Porcentagem | Erro (%) |
|------------------------|--------------------|-----------------|
| Carros de passageiros | 59,216 | ± 0,821 |
| Veículos pesados | 40,056 | ± 3,340 |
| Veículos recreacionais | 0,282 | ± 0,014 |

O procedimento adotado no presente trabalho se assemelha ao adotado por Fernandes (2014), segundo o qual não é possível desconsiderar os veículos recreacionais porque, mesmo com baixa frequência, os automóveis com reboque influenciam na corrente de tráfego quando presentes. Por outro lado, Egami e Setti (2006) e Setti et al. (2011) desprezaram os veículos recreacionais devido à porcentagem nula desse tipo de veículo no tráfego, impedindo a análise da influência destes.

Finalmente, o fator de equivalência para veículos pesados foi encontrado a partir da Tabela 4, descrita no Capítulo 2, comparando-se com a porcentagem de

veículos pesados no tráfego, como mostra a Tabela 14. Esse cálculo leva em consideração a inclinação, comprimento do aclive e porcentagem dos veículos pesados no trecho. O valor do fator de equivalência pode também ser encontrado realizando simulação computacional, como realizado por Egami e Setti (2006).

Tabela 14 - Fator de ajuste para veículos pesados (Os autores)

$$p_t = 40,338 \pm 3,340 \%$$

$$E_t = 3,0$$

De posse dos resultados mostrados anteriormente, os cálculos resultaram em um fator de equivalência de veículos pesados f_{HV} igual a $0,553 \pm 0,020$. Com todos os termos da Equação (3) constatados, as taxas de fluxo equivalentes para a rampa ascendente em questão foram calculadas conforme mostrado a seguir:

| <u>DNIT (2006)</u> | <u>HCM (2000)</u> |
|--|---|
| $q_{b_1} = \frac{(0,091 \times 14494)}{0,88 \times 2 \times (0,553 \pm 0,020) \times 1}$ $q_{b_1} = 1345 \pm 50$ <p style="text-align: center;">∴</p> $q_{b_1} = 1395 \text{ cpe/h/faixa}$ | $q_{b_2} = \frac{(0,095 \times 14494)}{0,88 \times 2 \times (0,553 \pm 0,020) \times 1} \quad (16)$ $q_{b_2} = 1405 \pm 52$ <p style="text-align: center;">∴</p> $q_{b_2} = 1457 \text{ cpe/h/faixa}$ |

Como pode-se observar, para o trecho em estudo os valores da taxa de fluxo equivalente são representados por 1395 carros de passeio por hora por faixa segundo o DNIT e por 1457 carros de passeio por hora por faixa segundo o HCM. Há uma diferença dos valores obtidos pelos métodos devido à diferenciação dos “fatores-K” utilizados. O DNIT (2006) propõe a utilização de “fatores-K” de acordo com a região onde está sendo realizado o estudo. Para a região sul, o valor proposto é de 9,1%. Já segundo o HCM, os valores variam de acordo com o tipo de rodovia em estudo. Para rodovias rurais, o valor utilizado é de 9,5%.

Como no Brasil não existem séries históricas de contagem para análise, como cita Andrade et al. (2006), e o HCM (2000) cita que os “fatores-k” variam de acordo com o desenvolvimento da região, sendo menores quando a região é mais desenvolvida, observa-se que o DNIT (2006) considera que as rodovias brasileiras possuem maior desenvolvimento do que as rodovias norte-americanas.

Os presentes resultados, de acordo com Vuolo (1992), podem incorporar os seus respectivos erros ao valor final, pois pertencem ao intervalo de confiança. Desta maneira, os erros foram somados às taxas de fluxo para caracterizar cenários pessimistas.

4.1.3 Determinação do nível de serviço

Para se determinar o nível de serviço representativo da rampa ascendente no sentido oeste da BR-277, mostrou-se essencial a construção da curva fluxo-velocidade e, posteriormente, a obtenção da respectiva densidade (k) – esta definida como a razão entre a taxa de fluxo equivalente e a velocidade - sendo a principal medida qualitativa da corrente de tráfego. Neste aspecto, considerando os parâmetros referentes à velocidade de fluxo (vf) e à taxa de fluxo equivalente (q_b) calculados no item anterior, fez-se uso das Equações (7) e (10) e de seus respectivos critérios para determinar a velocidade sob diferentes fluxos. Estes dados resultaram na curva em vermelho mostrada na Figura 17, a qual é assumida como representativa dos fluxos presentes na via segundo os critérios do HCM e adaptados às condições dos veículos brasileiros. Pode-se observar que a partir de valores de fluxo de tráfego próximos de 1400 cp/h/faixa para uma velocidade de fluxo livre de 87,03 km/h, o nível de serviço resultante é o nível “D”, sendo este o nível de projeto comumente utilizado pelos manuais e contratos citados anteriormente.

Da mesma forma que ocorreu no estudo de Arun, Velmurugan e Errampalli (2013) referente à análise do nível de serviço para instalações da Índia, o nível de serviço encontrado utilizando a metodologia do HCM pode ser contraditório com relação à realidade do trecho, visto que as condições locais mudam consideravelmente em relação à norte-americana. No estudo supracitado, isso acontece principalmente devido ao fato das rodovias indianas possuírem condições de tráfego heterogêneas e a um comportamento peculiar dos motoristas, sendo

recomendado um estudo aprofundado em cada um dos trechos para capturar corretamente todos esses níveis de complexidade envolvidos.

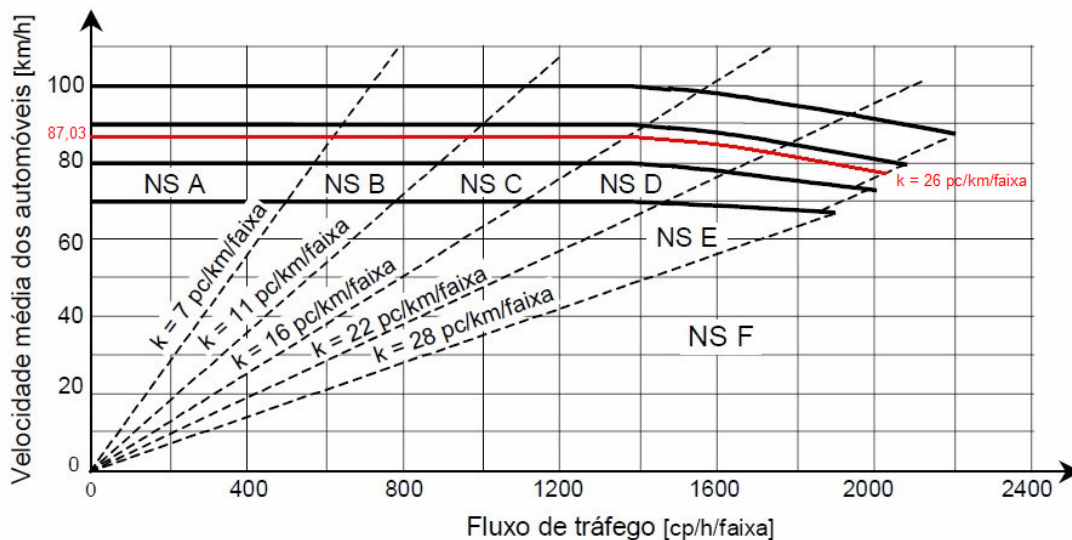


Figura 17 - Curva fluxo-velocidade e nível de serviço (Adaptado de TRB, 2000)

De posse dos valores de velocidade média, taxa de fluxo máxima e da mensuração das densidades sob cada valor de taxa de fluxo máxima por nível de serviço, os limites para cada nível de serviço estão resumidos na Tabela 15, considerando a velocidade de fluxo livre de 87,03 km/h.

A partir da Tabela 15, pode-se observar que a densidade máxima aumenta à medida que o nível de serviço diminui. Então, para níveis de serviço baixos, admite-se uma maior quantidade de veículos equivalentes trafegando por comprimento do trecho. Observa-se que a velocidade média equivale à velocidade de fluxo livre até o nível de serviço “C”. A partir do nível “D”, correspondente a um fluxo de tráfego de 1400 cp/h/faixa, ocorre um decréscimo dessa velocidade, decorrente das interferências causadas pelo tráfego como citado no conceito do nível de serviço “D”. A relação máxima entre o volume e a capacidade aumenta à medida que o nível de serviço diminui. Isso porque quanto menor o nível de serviço, maior o volume de tráfego, chegando na relação 1,00 para o nível de serviço “E”. Nesse caso, o volume é igual à capacidade, impossibilitando manobras e gerando enorme desconforto aos motoristas. A capacidade corresponde à quantidade máxima de veículos equivalentes que podem trafegar no trecho até atingir o correspondente nível de serviço. Observa-se um maior conforto relativo ao nível “A”, devido à menor presença de veículos admitidos para esse item.

Tabela 15 - Critérios de níveis de serviço (Os autores)

| Critério | Nível de serviço | | | | |
|--|------------------|-------|-------|-------|-------|
| | A | B | C | D | E |
| Velocidade de fluxo livre = 87,03 km/h | | | | | |
| Densidade máxima (cpe/h/fx) | 7 | 11 | 16 | 22 | 26 |
| Velocidade média (km/h) | 87,03 | 87,03 | 87,03 | 83,00 | 78,72 |
| Relação v/c máxima | 0,29 | 0,46 | 0,67 | 0,86 | 1,00 |
| Taxa de fluxo máxima (cpe/h/fx) | 609 | 957 | 1377 | 1786 | 2070 |

Por conseguinte, o aclave em estudo pode ser classificado através dos preceitos do DNIT e HCM, como retratado na tabela resumo a seguir (Tabela 16). Nessa tabela foram reunidos os valores encontrados de acordo com os manuais do DNIT e do HCM, que são diferidos devido aos valores encontrados da taxa de fluxo equivalente.

Tabela 16 - Capacidade e nível de serviço (Os autores)

| | DNIT | HCM |
|-------------------------------------|---------------|---------------|
| Velocidade de fluxo livre (v_f) | 87,03 km/h | 87,03 km/h |
| Taxa de fluxo equivalente (q_b) | 1395 cpe/h/fx | 1457 cpe/h/fx |
| Densidade (k) | 16 cpe/h/fx | 17 cpe/h/fx |
| Velocidade mínima | 87,03 km/h | 86,70 km/h |
| Relação v/c | 0,67 | 0,70 |

Como a velocidade de fluxo livre equivale à velocidade média até o valor do fluxo de tráfego de 1400 cp/h/faixa, para a recomendação do HCM o valor da velocidade média sofre uma leve diminuição, o que não acontece para o método do DNIT devido ao seu valor da taxa de fluxo equivalente ser inferior ao valor citado. Isso acarreta em um menor valor da densidade para este método. O mesmo ocorre para a relação entre o volume e a capacidade, visto que o valor da taxa de fluxo equivalente para o DNIT é menor que a encontrada pelo HCM. Apesar de não haver grande diferença entre os valores encontrados, pode-se concluir que o método do DNIT fornece valores mais otimistas em comparação à situação real da rodovia, podendo acarretar em valores superestimados.

4.2 VERIFICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE IMPLANTAÇÃO DE FAIXA ADICIONAL

A viabilidade para implantação de faixa adicional é determinada quando se atendem os parâmetros estabelecidos pela AASHTO (1994). Conforme Capítulo 2, todos os critérios devem ser atendidos para que seja viável a execução da obra.

As análises geométricas do trecho tomaram como base os procedimentos descritos no Capítulo 3, os quais resultaram na caracterização do aclive como um trecho específico – extensão maior que 800 metros e inclinação superior a 3%, segundo o HCM (1994). Conforme os procedimentos citados no Capítulo 3, o comprimento da rampa obtido foi de 1137,5 m e inclinação longitudinal de 3,2%. Para encontrar o comprimento crítico da rampa, utiliza-se a Figura 18 a partir do valor da inclinação juntamente do valor de diminuição limite de velocidade de 15 km/h, conforme estabelece o *Green Book*.

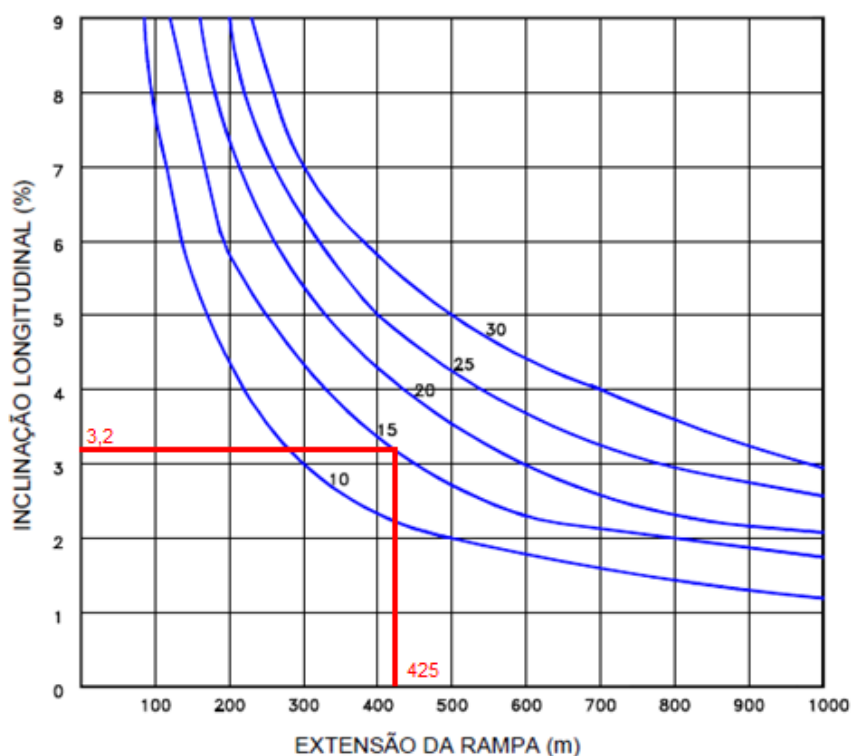


Figura 18 - Comprimento crítico (Adaptado de ARTESP, 2005)

Os critérios de implantação da faixa adicional, conforme estabelece a AASHTO, foram verificados como mostrado na Tabela 17 a partir dos fatores já calculados. Como a AASHTO estabelece valores de referência para a comparação

dos valores obtidos, pôde-se verificar a viabilidade da implantação a partir da comparação entre as recomendações apresentadas pelo DNIT e pelo HCM, que resultam em valores diferentes.

Tabela 17 - Critérios e resultados (Os autores)

| Critérios AASHTO | Rampa específica analisada | | Atende ao critério para implantação de faixa adicional? | |
|--|---|------|---|------|
| | HCM | DNIT | HCM | DNIT |
| Critério n° 1 | | | | |
| Taxa de fluxo (q_b) > 1000 cpe/h/faixa | 1395 | 1457 | Sim | Sim |
| Critério n° 2 | | | | |
| Taxa de fluxo (q_b) > 1377 cpe/h/faixa | 1395 | 1457 | Sim | Sim |
| Critério n° 3 | | | | |
| Exceder a máxima taxa de fluxo do nível de serviço imediatamente inferior ao nível de serviço padrão de projeto da rodovia | Nível de serviço "D" ¹ . | | - | |
| Critério n° 4 | | | | |
| Comp.rampa > Comp.critico | Comp.rampa = 1137,5 m Comp.critico = 425 m | | Sim | |

¹. Segundo o contrato de concessão, o padrão de operação determinado para as rodovias propostas é o nível de serviço "D". Portanto, esse critério não se aplica, conforme exposto pela AASHTO (1994).

Como pode-se observar, para ambos os métodos existe a viabilidade de implantação da faixa adicional ao superar os critérios estabelecidos pelo *Green Book*, apesar da pequena diferenciação entre o manual norte-americano e o brasileiro, relativa à determinação do VH.

Segundo AASHTO (2001), é indispensável a melhoria nas condições da via quando a rampa em estudo excede o comprimento crítico, sobretudo quando a taxa de fluxo de projeto é próxima a capacidade e o fluxo de caminhões é significativo. No aclave de interesse, foi constatado que o comprimento crítico representa apenas 38% de sua extensão total, além da relevância dos veículos pesados na composição do tráfego, cerca de 40%. Porcentagem tão expressiva que os manuais norte-americanos

nem apresentam em seus estudos, devido as características das regiões descritas no Capítulo 1 e 2.

Somado aos fatos anteriores, o referido *greide* manifesta o nível de serviço “D” para as condições de tráfego, equivalente ao nível limite de operação segundo o critério da AASHTO. Isso reflete em um fluxo instável afetado pelas características de operação, o que ocasiona restrições temporárias e, por sua vez, causam quedas substanciais na velocidade de operação (TRB, 2000).

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos apontam que as diferenças entre as duas recomendações utilizadas neste estudo são pequenas e não apresentaram divergências no resultado final, quando comparados aos critérios da AASHTO. Isso deve-se à diferença mínima existente nas determinações de volume horário de projeto sugeridas pelos manuais.

Para rodovias da região sul do país, o DNIT (2006) recomenda a utilização do fator de 9,1% do VDMA, resultando em uma taxa de fluxo equivalente de 1395 cpe/h/faixa. Já o HCM da TRB (2000) sugere que, para rodovias rurais desenvolvidas, seja utilizado um volume horário de projeto correspondente à 9,5% do VDMA, que resulta em uma taxa de fluxo equivalente de 1457 cpe/h/faixa. Ambos os casos superam o limite estabelecido pela ASSHTO de 1000 cpe/h/faixa.

Na avaliação do nível de serviço do aclave, como a taxa de fluxo de tráfego supera a máxima para o nível de serviço “C”, equivalente a 1377 cpe/h/faixa, caracteriza-se a operação da rodovia em nível de serviço “D”. Nestas condições, observa-se a formação de pelotões decorrentes da concentração de veículos e das manobras para ultrapassagem realizadas por caminhões e ônibus, especialmente devido à falta de liberdade de escolha da faixa e velocidade de operação. Embora não se possa determinar através dos cálculos se o nível de serviço apresentado na rodovia supera o nível “D” em algum momento, pelo nível de serviço de operação apresentado já corresponder ao nível limite de acordo com o critério da AASHTO, caso aconteça algum tipo de interferência que cause congestionamentos no trecho ao longo do ano, o nível de serviço de operação irá superar o nível limite, justificando a implantação da melhoria. Pelo contrato de concessão não apresentar nenhuma constatação a respeito da metodologia de fiscalização em relação aos quesitos citados, foi suposto que essa fiscalização não acontece anualmente. Não foram também encontrados os dados de contagem de tráfego necessários para que se possa concluir que existe essa verificação. Caso houvesse essa fiscalização, a concessionária seria responsável por financiar as obras de melhorias sem nenhum acréscimo tarifário para os usuários conforme consta no contrato.

Durante a análise do critério de perda de velocidade admissível de caminhões no aclave, constatou-se que um veículo pesado pode percorrer um comprimento de rampa de até 425 m, sem que haja uma perda de velocidade superior a 15km/h. Este

comprimento é muito inferior ao comprimento de rampa de 1137 m existente, atendendo ao último critério estabelecido pela AASHTO.

Em síntese, pode-se dizer que o aclave estudado opera em condições de tráfego desfavoráveis – a saber, próximo à zona de fluxo instável, com velocidades de operação toleráveis, mas consideravelmente afetadas pelas condições de operação. Tais características, aliadas às flutuações no volume e às restrições temporárias, podem causar quedas substanciais na velocidade de operação, sobretudo com a presença do movimento pendular entre as cidades de Curitiba e Campo Largo.

Portanto, com base nos resultados obtidos e frente ao cumprimento dos critérios do *Green Book* da AASHTO (2001), conclui-se que é viável a implantação de uma faixa adicional ao longo de todo o comprimento do aclave compreendido entre os kms 111 e 113 da BR-277, sentido oeste (capital-interior), com o intuito de sanar os problemas atuais, proporcionando aos usuários da via mais segurança e conforto.

5.1 SUGESTÃO PARA PESQUISAS FUTURAS

A análise realizada nesta pesquisa fez uso de diversas recomendações e aproximações sugeridas pelo manual da TRB. Tais simplificações tendem a se aproximar da realidade, porém não fornecem a mesma precisão alcançada por uma análise que considere uma base de dados coletados em campo. Devido às diversas questões, não foi possível realizar um levantamento dos volumes das horas mais carregadas em um ano no aclave. Considerando que este tipo de análise proporcionaria uma precisão maior à pesquisa (permitindo a determinação do volume horário de projeto através da correta escolha da “enésima” hora), seria interessante elaborar um novo estudo, em posse dos dados coletados no trecho, afim de uma comparação de resultados.

Outro aspecto importante a ser avaliado é o tempo que a rodovia opera dentro do nível de serviço “E”. A ARTESP ainda estabelece uma tolerância de operação nesse nível de serviço – o que não acontece segundo a AASHTO - e determina que as concessionárias responsáveis pelas rodovias devem realizar revisões anuais de desempenho operacional, visando impedir que os trechos do sistema superem o nível de serviço “D” em mais de 50 horas anuais, o que não foi possível avaliar durante o presente estudo.

Ainda, conforme estudo realizado por Cunha e Setti (2009), vale ressaltar que mesmo fazendo uso da adaptação proposta pela ARTESP (que combina o método do HCM2000 com os fatores de equivalência da edição de 1994 do HCM), em 24 dos 300 casos analisados o nível de serviço é superestimado e em 160 dos 300 cenários o nível de serviço é subestimado em até dois níveis. Tais resultados reafirmam a demanda por um manual brasileiro que forneça uma metodologia apropriada para as rodovias de múltiplas faixas do país.

Por fim, para complementar os resultados apresentados nesta pesquisa, seria de grande utilidade a elaboração de um estudo que contemple o projeto planialtimétrico da região em que o aclave se encontra, bem como o projeto geométrico da faixa adicional, a fim de estimar os recursos necessários para a implantação da obra de melhoria.

REFERÊNCIAS

AASHTO. ***A Policy on Geometric Design of Highways and Streets***. 2 ed. Washington, D.C., 1994.

AASHTO. ***A Policy on Geometric Design of Highways and Streets***. 4 ed. Washington, D.C., 2001.

ANDRADE, G. R. DE. **Capacidade e relação fluxo-velocidade em autoestradas e rodovias de pista dupla paulistas**. São Carlos, São Paulo, 2012.

_____; SETTI, J. R. **Diretrizes para a implantação de faixas adicionais em aclives de rodovias de pista dupla**. São Carlos, SP, 2001.

_____. et al. **Distribuição de volumes horários de tráfego e hora de projeto em rodovias**. São Carlos, SP, 2006.

ARTESP. **Procedimentos práticos para elaboração de estudos técnicos e análises para implantação de faixas adicionais em segmentos de rampas acentuadas**. São Paulo, SP, 2005.

_____. **Relatório Anual – Diário Oficial 2017**. São Paulo, SP, 2017. Disponível em: <<http://www.artesp.sp.gov.br/RelatorioAnual/RELAT%C3%93RIO%20DA%20ADMINISTRA%C3%87%C3%83O%202017.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2018.

BESSA JÚNIOR, J. E. **Medidas de desempenho para avaliação da qualidade de serviço em rodovias de pista simples no Brasil**. São Paulo, 2015. Originalmente apresentada como tese de doutorado, USP - Universidade de São Paulo, 2015.

BRILON, W.; WEISER, F. *Two-Lane Rural Highways: The German Experience*. ***Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board***, v. 1988, p. 38–47, 2006.

CET. **Noções Básicas de Engenharia de Tráfego**. São Paulo, 1977.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2014: Relatório gerencial**. Brasília, DF, 2014.

CUNHA, A. L. B. N. DA. **Avaliação do impacto da medida de desempenho no equivalente veicular de caminhões**. São Paulo, 2007. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, USP - Universidade de São Paulo, 2007.

_____; SETTI, J. R. A. **Fatores de equivalência para caminhões em rodovias de pista dupla**. [s.l.] USP - Universidade de São Paulo, 2009.

DEARDOFF, M. D.; WIESNER, B. N.; FAZIO, J. *Estimating Free-flow Speed from Posted Speed Limit Signs*. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 16, p. 306–316, [S.l.], 2011.

DEMARCHI, S. H. **Análise de capacidade e nível de serviço de rodovias de pista dupla convencionais**. [S.l.] Universidade Estadual de Maringá, 2003.

_____. **Influência dos veículos pesados na capacidade e nível de serviço de rodovias de pista dupla**. Universidade Estadual de Maringá. [S.l.], 2000.

_____; SETTI, J. R. A. **Análise de Capacidade e Nível de Serviço de Segmentos Básicos de Rodovias utilizando o HCM 2000**. [S.l.], 2002.

DER. **BR-277 – Curitiba - Paranaguá**. [S.l., 2012]. Disponível em: <<http://www.der.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=16>>. Acesso em: 31 jul. 2018.

_____. **BR-376 - Rodvia do Café - Histórias e Curiosidades**. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.der.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=11>>. Acesso em: 31 mar. 2018.

_____. **Programa de concessão de rodovias no estado do paraná - concorrência pública internacional nº005/96**. Procuradoria Jurídica. Curitiba, PR, 1997.

DNER. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro, 1999.

_____. **Diretoria de trânsito Instruções para implantação de terceiras faixas**. Rio de Janeiro, 1979. 42p.

DNIT. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro, 2006. 384 p. (IPR. Publ., 723).

_____. **Manual de Implantação Básica de Rodovia**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2010. 617p. (IPR. Publ., 742).

_____. **Manual de projeto de interseções**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NORMA DNIT 018/2004 – ES – Drenagem – Sarjetas e valetas – Especificação de serviço**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa/ IPR. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Pesagem: Limites Legais**. [S.l.], 2005. 126 - 139p.

_____. **Quadro de fabricantes de veículos**. Coordenação Geral de Operações Rodoviárias. [S.l.], 2012. 10p.

_____. **Relatório de gestão do exercício de 2016**. Brasília, DF, 2017.

EGAMI, C. Y.; SETTI, J. R. Adaptação do HCM-2000 para rodovias de pista simples sem faixas adicionais no Brasil. **Revista Transportes**, São Paulo, v.14, n. 2, p 27-34, dez. 2006.

FERNANDES, J. M. M. **Análise do Nível de Serviço em Estradas Multivias: Uma Avaliação com Recurso à Metodologia HCM 2010**. 2014. 129 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Universidade da Beira Interior. Covilhã, 2014.

FERNANDES JR, J. L. **Investigação dos efeitos das solicitações do tráfego sobre o desempenho de pavimentos**. São Paulo, 1994. Originalmente apresentada como tese de doutorado, USP - Universidade de São Paulo, 1995.

GLENNON, J. C.; TEXAS, A. **An Evaluation of Design Criteria for Operating Trucks Safely on Grades**. Texas A&M University. Washington, DC, 1941.

GOLDNER, L. G. **Engenharia de Tráfego - 1º Módulo**. Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

IBGE. **Censo Demográfico – Panorama**. População, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/campo-largo/panorama>>. Acesso em: 23 set. 2018.

_____. IBGE mapeia a infraestrutura dos transportes no Brasil. **Agência IBGE Notícias**, Brasil, 25 nov. 2014. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2013-agencia-de-noticias/releases/14707-asi-ibge-mapeia-a-infraestrutura-dos-transportes-no-brasil.html>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

_____. PIB avança 1,0% em 2017 e fecha ano em R\$6,6trilhões. **Agência IBGE Notícias**, Brasil, 10 abr. 2018 [2017]. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2013-agencia-de-noticias/releases/20166-pib-avanca-1-0-em-2017-e-fecha-ano-em-r-6-6-trilhoes.html>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

JOHN, A. D.; KOBETT, D. R. **Grade Effects on Traffic Flow Stability and Capacity**. *NCHRP Report 185. Midwest Research Institute, Kansas City, Missouri. Transportation Research Board, Washington, D.C*, 1978.

LIMA, F. A. A. **Otimização de sistemas de faixas adicionais em aclives de rodovias de pista simples**. 2010. 165p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

MELO, R. A. DE. **Faixas Adicionais Para Aclives de Rodovias Brasileiras**. 2002. 178p. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

_____; SETTI, J. R. A. Faixas adicionais para aclives de rodovias de pistas simples brasileiras: uma adaptação dos critérios da AASHTO. **Revista Transportes**, São Paulo, v.11, p. 41-48, dez. 2003.

_____; _____. Fluxos mínimos de veículos para implantação de faixas adicionais em aclives de rodovias de pista simples. **Revista Transportes**, São Paulo, v. 15, n.1, p. 16-23, jun. 2007.

MTPA. ANTT inicia recebimento de sugestões de melhorias para novas concessões rodoviárias. **Portal Notícias**, Brasil, 17 jun. 2014. Disponível em: <<http://transportes.gov.br/ultimas-noticias/1635-antt-inicia-recebimento-de-sugestes-de-melhorias-para-novas-concesses-rodovirias.html>>. Acesso em: 23 mai. 2018.

_____. Transportes no Brasil - Síntese Histórica. **Portal Notícias**, Brasil, 23 out. 2016. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/conteudo/136-transportes-no-brasil-sintese-historica.html>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

O' CINNEIDE, D. ***The Relationship between geometric design standards and safety***. *Proceedings of International Symposium on Highway Geometric Design Practices*, 1995.

ONU. **A ONU e a Alimentação**. Alimentação, [2018] Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/alimentacao/>>. Acesso em: 23 mai. 2018.

PECKER, C.C et al. **Simulação Microscópica do Desempenho de Veículos em Trechos em Aclives com Implantação de Faixas Adicionais**. In: 12 Congresso Panamericano de Engenharia e Trânsito – Quito, Equador, 2002.

PERPETUA, G. M. Movimentos pendulares e acumulação do capital. **Revista Pegada Eletrônica**, Presidente Prudente, v. 11, n. 2, 31 dez. 2010. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/pegada/article/viewFile/1309/1305>>. Acesso em: 24 mai. 2018.

PETERLINI, P. S. **Cargas por eixo e fatores de veículos obtidos em rodovias federais concessionadas do estado do paraná**. 2006. 192p. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

PIVA, F. J. **Fatores de equivalência de veículos pesados em rodovias de pista dupla**. 2015. 98p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

PONTES FILHO, G. **Estradas de Rodagem - Projeto geométrico**. São Carlos: Bidim, 1998.

RIBEIRO, P. C. C.; FERREIRA, K. A. **Logística e Transportes: Uma discussão sobre os modais de transporte e o panorama brasileiro**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 23 out. 2002. Curitiba, PR, 2002.

SEEC. **Parque Histórico do Mate – dezembro 2016**. [S.l.], 2016. Disponível em: <<http://www.museuparanaense.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=56>>. Acesso em: 23 out. 2018.

SETTI, J. R. **Highway capacity manual ou um manual de capacidade rodoviária brasileiro?** Trabalho premiado e publicado nos canais CBR&C. set. 2009. Florianópolis, SC, 2009.

_____ et al. Adaptação do HCM2000 para análise da capacidade e do nível de serviço em rodovias de pista simples no Brasil. **Revista Transportes**, São Paulo, v.19, n. 2, p 66-78, 2011.

SINDIPEÇAS; ABIPEÇAS. **Relatório da Frota Circulante 2017**. p. 1–5. São Paulo, SP, 2017.

TRB. **Highway Capacity Manual**. Special Report n 209 - *Nacional Research Council*. Washington, D.C., 1994.

TRB. **Highway Capacity Manual**. *Nacional Research Council*. 4 ed. Washington, D.C., 2000.

TRB. **Highway Capacity Manual**. *Nacional Research Council*. Washington, D.C., 2001.

Vuolo, José Henrique. **Fundamentos da teoria de erros**. 2 ed. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, SP, 1992.