



MARIANE DA SILVA VILELA

**ESTUDO DO NÍVEL DE SERVIÇO EM TRECHO DA BR - 265
E A VIABILIZAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS
ADICIONAIS**

LAVRAS - MG

2023

MARIANE DA SILVA VILELA

**ESTUDO DO NÍVEL DE SERVIÇO EM TRECHO DA BR - 265 E A VIABILIZAÇÃO
DA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS ADICIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia Civil,
para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Paulo Roberto Borges

Orientador

LAVRAS - MG

2023

MARIANE DA SILVA VILELA

**ESTUDO DO NÍVEL DE SERVIÇO EM TRECHO DA BR - 265 E A VIABILIZAÇÃO
DA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS ADICIONAIS**

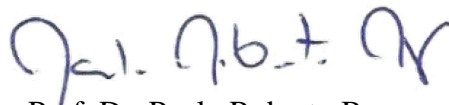
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia Civil,
para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 19 de julho de 2023.

Dr. Paulo Roberto Borges - UFLA

Dr. Ígor José Mendes Lemes - UFLA

Dr. Lucas Henrique Pedrozo Abreu - UFLA



Prof. Dr. Paulo Roberto Borges

Orientador

LAVRAS - MG

2023

*Ao meu querido pai (in memoriam),
com todo meu amor e saudade.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre foi meu alicerce e sinônimo de paz. Foi Nele que me assegurei em todos os momentos em que me parecia faltar fôlego para prosseguir.

Agradeço imensamente a minha mãe Sueli por todo o seu esforço, amor e dedicação. Por sempre sonhar todos os meus sonhos comigo e nunca duvidar da minha capacidade.

Agradeço às minhas irmãs, Míriam e Mayra, por me apoiarem e me incentivarem durante todo esse processo.

Agradeço aos meus sobrinhos, Anna Carolina, Vinícius e Manuela por deixarem essa caminhada mais doce e alegre.

Agradeço aos meus amigos, que lindamente fizeram dessa trajetória algo leve e prazeroso, em especial a Amanda e Cleiton por todo o suporte durante todos esses anos.

Agradeço ao meu orientador, Paulo por todo apoio, auxílio e atenção.

Agradeço à UFLA por me proporcionar um ensino de qualidade e a realização de um sonho.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma estiveram presentes nessa caminhada e torceram por mim.

*“Direi do Senhor: Ele é o meu
Deus, o meu refúgio, a minha
fortaleza, e Nele confiarei.”*

Salmos 91:2

RESUMO

O investimento na infraestrutura e modernização das rodovias impulsiona o desenvolvimento econômico, promove a segurança no trânsito e melhora a qualidade de vida. No Brasil, o modal rodoviário desempenha um papel fundamental na economia, sendo o principal meio de transporte de cargas e passageiros do país. No entanto, a malha rodoviária brasileira enfrenta diversos problemas que afetam sua eficiência e segurança. O aumento da frota de veículos e a presença de veículos pesados, combinados à falta de modernização das rodovias, que em sua maioria possuem pistas simples, contribuem para o aumento dos congestionamentos e a baixa qualidade operacional das vias. Esse cenário é ainda mais problemático em rodovias com perfis íngremes, como ocorre em Minas Gerais, onde a fluidez do tráfego e o tempo de viagem são afetados negativamente. Nesse contexto, a construção de faixas adicionais surge como uma alternativa rápida e econômica para atender ao tráfego de veículos pesados, melhorando a fluidez, a segurança e a visibilidade das rodovias. O presente trabalho analisou o nível de serviço no trecho entre os quilômetros 335 a 331 da BR-265, que se encontra entre as cidades de Lavras-MG e Itumirim-MG, e avaliou a viabilidade da implantação de faixas adicionais nessa área. Para realizar a análise, considerou-se as diretrizes do Manual de Estudo de Tráfego, elaborado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT) em 2006. Através dos dados da contagem de tráfego e levando em consideração os fatores que influenciam no desenvolvimento dos veículos na rodovia, calcularam-se as medidas de desempenho necessárias para determinar o nível de serviço. O trecho apresentou um resultado insatisfatório, atingindo 102,69% no tempo em que os veículos viajam em pelotões, o que leva ao nível de serviço F, indicando tráfego saturado, congestionamento intenso e rodovia totalmente sobrecarregada. Com base nesse resultado, torna-se viável a implantação de faixas adicionais no local como forma de melhorar o nível de serviço, reduzir os congestionamentos e aumentar a segurança.

Palavras-chave: Rodovias. Tráfego. Veículos Pesados. Visibilidade. Segurança.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre o Volume Horário e o Número de Horas no Ano para rodovias rurais norte-americanas.....	18
Figura 2 – Relação Velocidade x Volume.....	21
Figura 3 – Relação Velocidade x Densidade.....	22
Figura 4 – Relação Volume x Densidade.	22
Figura 5 – Tráfego nos diferentes níveis de serviço de uma rodovia.	26
Figura 6 – Critério gráfico para análise do nível de serviço de rodovias Classe I.	27
Figura 7 – Faixa adicional construída em perfil íngreme no sentido crescente e decrescente.	36
Figura 8 – Localização do trecho em estudo.	39
Figura 9 – Perfil de elevação do terreno.....	40
Figura 10 – Corte transversal da rodovia (ilustrativo).....	40
Figura 11 – Acostamento da BR-265.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação nos Níveis de Serviço em Rodovias de Classes I e II.	27
Tabela 2 – Valor do VMDa no ano de 2018 para os dois sentidos da rodovia.	42
Tabela 3 – Valores do Fator K para horas de projeto.	42
Tabela 4 – Classificação das horas de maior volume no sentido decrescente da BR-265.	43
Tabela 5 – Características dos veículos passantes no trecho em análise na 30ª hora.	44
Tabela 6 – Variação volumétrica por quartil de hora da 30ª hora.	44
Tabela 7 – Velocidade de Fluxo Livre (VFL) no trecho em estudo.	46
Tabela 8 – Fluxo de tráfego (V_S) na 1ª interação para VMV ([0 a 300] ucp/h).	48
Tabela 9 – Fluxo de tráfego (V_S) na 2ª interação para VMV ([300 a 600] ucp/h).	48
Tabela 10 – Fluxo de tráfego (V_S) na 3ª interação para VMV (acima de 600 ucp/h).	48
Tabela 11 – Fluxo de tráfego (v_o) no sentido oposto para VMV.	49
Tabela 12 – Velocidade Média de Viagem (VMV) no trecho em estudo.	49
Tabela 13 – Fluxo de tráfego (V_S) na 1ª interação para PTGS ([0 a 300] ucp/h).	50
Tabela 14 – Fluxo de tráfego (V_S) na 2ª interação para PTGS ([300 a 600] ucp/h).	50
Tabela 15 – Fluxo de tráfego (v_o) no sentido oposto para PTGS.	50
Tabela 16 – Valor básico da PTGS no sentido analisado (BPTGS _S)	51
Tabela 17 – Percentagem de tempo gasto seguindo no sentido analisado (PTGS).	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa	12
1.2	Objetivos	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	Manuais em Estudo	14
2.2	Característica do Tráfego	15
2.2.1	Volume de tráfego	16
2.2.1.1	Volume Horário de Projeto (VHP)	17
2.2.1.2	Fator Horário de Pico (FHP).....	19
2.2.2	Velocidade	19
2.2.3	Densidade	20
2.2.4	Relação Volume, Velocidade e Densidade.....	21
2.3	Característica das Rodovias de Pista Simples	23
2.3.1	Capacidade.....	23
2.3.2	Nível de Serviço	24
2.3.2.1	Velocidade de Fluxo Livre (VFL)	28
2.3.2.2	Fluxo de Tráfego.....	29
2.3.2.2.1	Fator de Ajuste do Greide	31
2.3.2.2.2	Fator de Ajuste para Veículos Pesados	31
2.3.2.3	Velocidade Média de Viagem (VMV).....	32
2.3.2.4	Porcentagem de Tempo Gasto Seguindo (PTGS).....	33
2.3.2.5	Determinação do Nível de Serviço	34
2.4	Faixas Adicionais.....	35
3	METODOLOGIA	38
3.1	Caracterização do Trecho em Estudo	39
3.2	Caracterização do Tráfego no Trecho em Estudo.....	41

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1	Determinação da Velocidade de Fluxo Livre (VFL)	46
4.2	Determinação da Velocidade Média de Viagem (VMV).....	47
4.3	Determinação da Percentagem de Tempo Gasto Seguindo (PTGS).....	49
4.4	Nível de Serviço do Trecho em Estudo.....	51
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
	REFERÊNCIAS	56
	ANEXO A – Fatores de ajustes para VFL.....	58
	ANEXO B – Fatores de ajustes para VMV.....	59
	ANEXO C – Fatores de ajustes para PTGS	63

1 INTRODUÇÃO

A qualidade das rodovias está diretamente relacionada ao desenvolvimento de um país ou região. O investimento na sua infraestrutura aumenta sua produtividade, gerando uma maior fluidez no tráfego e uma redução no tempo de viagem. Essa eficiência proporciona uma agilidade no transporte de mercadorias, o que contribui para o crescimento econômico do país. Além disso, o bom estado de conservação das rodovias garante mais segurança aos usuários e melhora a qualidade de vida da população, devido à redução de acidentes e maior facilidade de acessos a serviços essenciais.

O transporte rodoviário brasileiro desempenha um papel fundamental na logística do país, sendo o maior responsável por conectar cidades, regiões e estados. Segundo pesquisas realizadas no ano de 2021 pela Confederação Nacional do Transporte – CNT (2022a), cerca de 60% de toda demanda de cargas transportadas pelo país é realizada pelas rodovias, e mais de 90% dos passageiros utilizam esse meio de transporte. Além disso, o modal rodoviário contribui ativamente para o progresso da economia brasileira, representando mais de 6% do PIB nacional, de acordo com a pesquisa.

No entanto, apesar da importância, o modal rodoviário brasileiro apresenta uma série de problemas que impactam diretamente na sua eficiência e segurança. De acordo com a CNT (2022b), em 2021 o Brasil possuía 1.735.621 quilômetros de malha rodoviária, das quais apenas 12,4% eram pavimentadas. Dentre a totalidade, 85% eram compostas por rodovias de pistas simples de mão dupla. E, 62,1% de toda a extensão pesquisada foi classificada com a geometria regular, ruim ou péssima. Isso mostra a falta de investimentos em melhorias e modernização do setor rodoviário brasileiro.

Em contrapartida, a frota de veículos no Brasil cresceu em torno de 66% nos últimos dez anos, o que representa um aumento expressivo no número de veículos nas ruas e estradas. Houve também um crescimento significativo de 63% no número de veículos pesados que circulam pelas rodovias (CNT, 2022a). Esse crescimento contribuiu para o aumento dos congestionamentos, uma vez que a demanda continua crescendo, enquanto a capacidade das rodovias não acompanha esse aumento, o que leva a filas intensas de veículos na corrente de tráfego e afeta diretamente no tempo de viagem.

Outro problema relacionado a falta de investimento na infraestrutura e logística das rodovias é com relação ao número de acidentes. Em 2022 foram registrados 64.447 acidentes em rodovias federais brasileiras, dos quais 60% foram por colisão (CNT, 2023). Esse tipo de

acidente é recorrente em rodovias de pistas simples de mão dupla. Dada a falta de visibilidade do fluxo oposto, a má qualidade da geometria da via e os altos níveis de congestionamento, os motoristas acabam realizando ultrapassagens perigosas e indevidas, resultando em colisões (LIMA, 2010). Quando esses fatores são combinados com trechos em aclives acentuados, a situação fica ainda mais complexa.

Nesse cenário, uma solução mais rápida e econômica para amenizar os problemas em rodovias de pista simples está na construção de faixas adicionais. No Brasil, de acordo com os dados de 2021 da CNT (2022b), apenas 30% das rodovias possuem esse tipo de faixa. Elas são responsáveis por receber o tráfego de veículos pesados, que, especialmente em trechos íngremes, tendem a diminuir a velocidade do fluxo de tráfego (DNER, 1999). Com elas o tempo de viagem reduz e os veículos leves podem realizar manobras de ultrapassagem com mais visibilidade e segurança.

1.1 Justificativa

O estado de Minas Gerais é detentor da maior malha rodoviária do Brasil, representando cerca de 16% de toda extensão do país, sendo reflexo da importância econômica e geográfica do estado (MINAS GERAIS, 2023). Porém, a qualidade das rodovias não é das melhores. Segundo pesquisas realizadas no ano de 2021, pela CNT (2022b), 69,8% das rodovias mineiras foram classificadas com regulares, ruins ou péssimas, quando analisada a presença de sinalização no local, qualidade do pavimento e conformidades da geometria. Além disso, quase toda a sua extensão é composta de pista simples e, devido as características do estado, 75% dos trechos estão situados em perfis montanhosos.

No contexto das rodovias mineiras, a BR – 265 é considerada uma das mais importantes. Com uma extensão total de 916 quilômetros e classificada como classe I pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT. Ela liga as cidades de Muriaé – MG e São José do Rio Preto – SP, possuindo a maioria de seu percurso em pista simples de mão dupla (DNIT, 2023b). E, Assim como a maioria das rodovias do estado, a BR – 265 apresenta diversos problemas devido à falta de investimentos e modernização de suas vias.

De acordo com a Secretaria de Estado de Justiça e Segurança Pública (2015), a BR – 265 aparece entre as três mais perigosas de Minas Gerais. No trecho entre os km 335 a 331, esse problema é fruto da junção de alguns fatores: o alto número de veículos pesados que passam pelo local, por se tratar de um trecho em perfil montanhoso, acabam retardando o fluxo

na rodovia. E, como o trecho possui pista simples de mão dupla, a visibilidade do fluxo oposto é prejudicada e as oportunidades de ultrapassagens com segurança são praticamente nulas, o que leva a altos níveis de congestionamento. Além disso, a má qualidade do pavimento, a falta de sinalização no local e acostamentos em condições inadequadas, contribuem ainda mais para a ocorrência de acidentes, comprometendo a segurança dos motoristas e a eficiência do tráfego.

Por isso, faz-se necessário a avaliação qualitativa do tráfego nas rodovias, como forma de identificar os principais problemas e buscar soluções eficientes, rápidas e econômicas para aprimorar a sua qualidade operacional.

1.2 Objetivos

Objetivou-se com o presente trabalho elaborar um estudo sobre o nível de serviço em um trecho da BR-265, que abrange os km 335 a 331, localizado entre as cidades de Lavras-MG e Itumirim – MG e, a partir dele, avaliar a necessidade e a viabilidade da implantação de faixas adicionais para atender o tráfego de veículos lentos que circulam pelo local.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manuais em Estudo

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) é um órgão federal autônomo vinculado ao Ministério dos Transportes. Foi estabelecido pela lei nº 10.233 em 5 de junho de 2001, como parte de uma reformulação abrangente do sistema de transporte rodoviário, aquaviário e ferroviário do Brasil. Sua criação implicou no encerramento do antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) (DNIT, 2023a).

Dentre as responsabilidades do departamento estão: manutenção, expansão, construção, fiscalização e elaboração de estudos técnicos relacionados ao Sistema Federal de Transporte. Além do tráfego de pessoas e mercadorias em múltiplos modais, incluindo estradas, ferrovias e vias fluviais (DNIT, 2023a).

O Manual de Estudos de Tráfego foi elaborado pelo DNIT em conjunto com o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), a fim de completar e atualizar o Manual de Projeto de Engenharia Rodoviária – Estudo de Trânsito, desenvolvido pelo DNER em 1974. Ele reúne diretrizes importantes para determinação dos dados de tráfego que são utilizados em projetos rodoviários (DNIT, 2006).

Para criação do Manual de Estudo de Tráfego, o DNIT baseou-se em alguns manuais nacionais e estrangeiros, a fim de padronizar os critérios e valores utilizados. Dentre eles destaca-se a quarta versão do *Highway Capacity Manual* (HCM), lançada no ano de 2000, conhecida como HCM-2000 (DNIT, 2006). Atualmente o manual HCM encontra-se na sua sétima edição lançada no ano de 2022.

O *Highway Capacity Manual* é referência mundial para estudos da capacidade e nível de serviço das rodovias. Sua pesquisa foi desenvolvida com dados de rodovias norte-americanas e, devido a isso, quando aplicada em outras regiões, requer adaptações para maior representatividade local (SETTI et al., 2011).

Porém, o capítulo referente a análise da capacidade e nível de serviço do Manual de Estudo de Tráfego – DNIT (2006), não se adequou a realidade das rodovias brasileiras e trata-se simplesmente da tradução do HCM-2000 para o português (MON-MA, 2008).

A fim de justificar a utilização da metodologia do HCM-2000, o DNIT (2006) esclareceu que:

É preciso, no entanto, observar que a capacidade das vias depende de fatores tão complexos, que é praticamente impossível o seu cálculo com precisão, sendo satisfatória a sua estimativa com valores aproximados. Por esta razão, as variações decorrentes das diferenças de condições daquelas supostas no HCM devem ser bastante significativas, para que sua influência na capacidade e nos níveis de serviço sejam superiores ao “erro” normal do valor estimado. (DNIT, 2006, p. 263).

Outro manual utilizado no trabalho foi o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, publicado pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) em 1999. Ele traz os critérios de avaliação, características geométricas e análise da necessidade da implantação de faixas adicionais em trechos com rampas ascendentes.

Para elaboração, o DNER (1999) se baseou nos critérios estabelecidos pela *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), referência mundial em diretrizes para elaboração de projetos de faixas adicionais (MELO; SETTI, 2003). E, assim como na utilização do HCM-2000, as especificações sobre rampas ascendentes, descritas no manual do DNER (1999), trata-se de uma mera tradução dos critérios da AASHTO para a língua portuguesa (ZANATTA, 2017).

As diretrizes da AASHTO serviram de referência para projetos de faixas adicionais em diversos países, como Alemanha, Canadá, Israel e México. Para isso, foram feitas adaptações coerentes a cada região e suas peculiaridades. Porém, no Brasil, apesar do DNER já descrever a necessidade de estudos voltados às condições das rodovias brasileiras, não é comum a utilização de nenhuma adaptação (MELO; SETTI, 2003).

Segundo DNER (1999), alguns estudos e pesquisas para a introdução das diretrizes da AASHTO em rodovias brasileiras, apresentaram algumas divergências em relação as curvas de desaceleração e as velocidades de sustentação ou arrasto para caminhões. Por isso, os resultados obtidos a partir das diretrizes da AASHTON devem ser usados como caráter representativo e complementar. A familiaridade do projetista com as características do local e seu bom senso técnico e crítico devem prevalecer (DNER, 1999).

2.2 Característica do Tráfego

A forma como os veículos se movem em uma estrada, considerando as suas características e as da via, determina qual será o seu limite de desempenho. Quando aumenta o número de veículos na mesma via, a velocidade de cada um deles passa a ser determinada pela

corrente de tráfego individual, o que pode gerar um baixo valor nos limites impostos pela mecânica da locomoção (SETTI, 2001).

O Manual de Estudo de Tráfego – DNIT (2006) descreveu que as características fundamentais para a avaliação da fluidez do movimento dos veículos são: volume, velocidade e densidade.

2.2.1 Volume de tráfego

O volume de tráfego pode ser definido como a quantidade de veículos que trafegam por uma seção ou faixa de uma via durante um tempo determinado. É comumente expresso em veículos/dia (veic/d) ou veículos/hora (veic/h) (DNIT, 2006).

Assim, para determinar o volume de tráfego, considera-se os veículos totais que transitam na via, seja no sentido analisado ou em ambos, dependendo do objetivo do estudo (RIQUETI, 2019).

O Volume Médio Diário (VMD) é a medida que melhor representa a qualidade do serviço prestado por uma via. Através dele é possível indicar melhorias nas vias existente, calcular taxa de acidentes e até mesmo a necessidade de construção de novas vias. O VMD é obtido através da média de veículos que passam em um trecho da via por um período com duração de 24 horas (DNIT, 2006).

São frequentemente empregados os seguintes termos para descrever o volume médio diário, de acordo com estabelecido pelo DNIT (2006):

- a) Volume Médio Diário Anual (VMDa): Quantidade total dos veículos que trafegam em um ano dividido por 365;
- b) Volume Médio Diário Mensal (VMDm): Quantidade total dos veículos que trafegam em um mês dividido pela quantidade de dias do mês. Sempre acompanhado pelo nome do mês referente;
- c) Volume Médio Diário Semanal (VMDs): Quantidade total dos veículos que trafegam em uma semana dividido pelo número de dias da semana. Sempre acompanhado pelo nome do mês referente. O VMDm utiliza o VMDs como uma amostragem;
- d) Volume Médio Diário em um Dia de Semana (VMDd): Quantidade total dos veículos que trafegam em um dia de semana. Deve vir acompanhado do dia do mês e o mês correspondente.

Para todos os casos expostos acima a unidade padrão é veículos/dia (veic/d); tendo o VMD a maior importância (DNIT, 2006).

Outro aspecto importante que deve ser considerado na caracterização do volume de tráfego é a sua composição. De acordo com Andrade (2012), a corrente de tráfego é composta por veículos com tamanho, peso e velocidades distintas que podem ser classificados de maneira genérica como leves e pesados. Como os veículos pesados são mais lentos e ocupam um espaço maior, ocorre um decréscimo na vazão do tráfego das vias.

Para fins de dimensionamento das vias, é necessário obter uma homogeneidade nessa composição, convertendo veículos pesados para veículos leves, de tal maneira que seja possível o estudo de tráfego (RIQUETI, 2019).

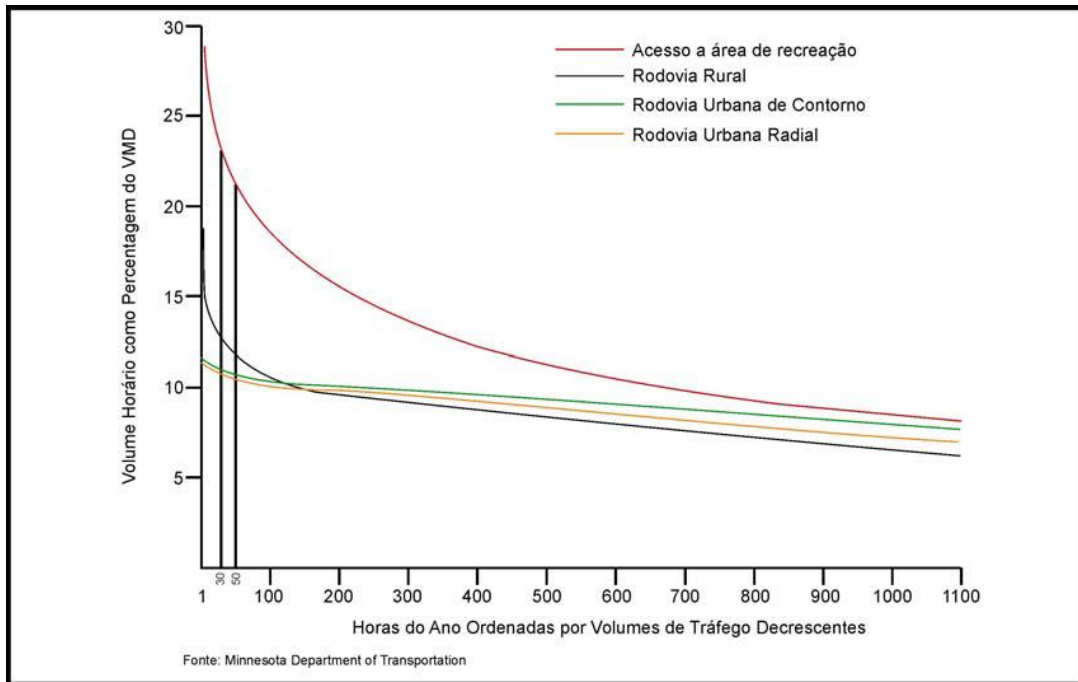
2.2.1.1 Volume Horário de Projeto (VHP)

Para projetar uma rodovia que opere em condições ideais, considera-se um horizonte de 10 anos, após finalizadas as obras, como o ano de projeto. Nesse cenário a rodovia deve apresentar características que suportem a maior demanda horária, a fim de evitar congestionamentos. Porém, ao considerar apenas a máxima demanda, a rodovia ficaria superdimensionada durante a maior parte do ano, o que não seria uma solução econômica. Por isso, é necessário estipular um número de horas congestionadas (DNIT, 2006).

É possível encontrar o volume horário, utilizado em projetos de rodovias, através do critério da “curva de enésima hora”. Ela consiste na ordenação gráfica decrescente da distribuição do tráfego ao longo do dia, durante todo o ano. É expresso em percentagem do Volume Médio Diário (VMD), conhecido como *fator K*. Para sua construção é necessário obter dados de contagens horárias contínuas durante o ano inteiro (DNIT, 2006).

Através da Figura 1 é possível observar que o comportamento do tráfego apresenta uma uniformidade, independentemente do tipo da rodovia. Nota-se também que após algumas horas o gráfico sofre uma mudança no seu comportamento, o que acontece por volta da 30ª hora. Tornando esse trecho o ponto de partida para a escolha do valor de *K*, através do critério da “enésima hora” (DNIT, 2006).

Figura 1 – Relação entre o Volume Horário e o Número de Horas no Ano para rodovias rurais norte-americanas.



Legenda: O gráfico (Horas do Ano Ordenadas por Volume de tráfego Decrescentes \times Volume horário como percentagem do VDM) apresenta a curva da enésima hora para diferentes tipos de rodovias e a 30ª e 50ª hora de projeto são exemplificadas.

Fonte: DNIT, 2006.

Essa mudança de comportamento da curva não acontece sempre no mesmo momento, sendo notável uma variação na escolha da hora de projeto. Nos Estados Unidos usualmente utiliza-se o volume horário entre a 30ª e a 100ª hora. No Brasil, o volume horário escolhido para projetos é feito com base na 30ª hora, admitido uma tolerância de até a 50ª hora em locais que possuem contagens mecanizadas permanentes (DNIT, 2006).

Caso não seja possível a obtenção dos dados em campo, recomenda-se a utilização de parâmetros encontrados para rodovias da mesma região, ou que apresente características similares. Contudo, o uso dessas horas não deve ser feito de forma rígida e sim como uma recomendação, para que técnicos e projetistas possam ajustar seus estudos (DNIT, 2006).

O fator K pode ser obtido através da Equação (1):

$$K = \frac{V_n}{VMDa} \quad (1)$$

em que:

V_n = Volume horário da “enésima” hora mais volumosa do ano;

VMDa = Volume médio diário anual.

2.2.1.2 Fator Horário de Pico (FHP)

A composição do tráfego pode variar significativamente durante o período do dia, sendo comum apresentarem de dois a três períodos de pico, esse período do dia da qual apresenta o maior volume é chamado de hora de pico. Seu conhecimento é de suma importância para a elaboração de projetos da via (SETTI, 2001).

Ao comparar as contagens de tráfego em quatro períodos consecutivos de quinze minutos, observa-se que eles apresentam diferenças entre si. Essa diferença define o “Fator Horário de Pico” (FHP), que estabelece o grau de uniformidade do fluxo e pode ser obtido pela Equação (2) (DNIT, 2006).

$$FHP = \frac{V_{hp}}{4 \cdot V_{15max}} \quad (2)$$

em que:

FHP = Fator horário de pico;

V_{hp} = Volume de hora de pico;

V_{15max} = Volume do período de quinze minutos com maior fluxo de tráfego dentro da hora de pico.

Segundo DNIT (2006) o valor de FHP, teoricamente, pode variar entre 0,25 (fluxo totalmente concentrado em um dos períodos de 15 minutos) e 1,00 (fluxo totalmente uniforme). Na prática nenhum dos dois valores são passíveis de verificação. A faixa mais comum do FHP é de 0,75 a 0,90. Em áreas urbanas o FHP recomendado é de 0,92 e para alto volume de tráfego o FHP chega a valores acima de 0,95. Já para áreas rurais o valor recomendado do FHP é de 0,88 (DNIT, 2006).

2.2.2 Velocidade

A velocidade pode ser definida como a relação entre a distância percorrida por um veículo e o tempo gasto para percorrê-lo. Quando se trata de tráfego a unidade de medida mais utilizada é km/h (DNIT, 2006).

Dentro de um fluxo de tráfego, cada veículo se desloca a uma velocidade distinta, resultando em uma corrente que não possui uma velocidade única e constante, mas sim uma distribuição de velocidades individuais (SETTI, 2001).

Dentre os diversos conceitos de velocidade estabelecidos pelo DNIT (2006), pode-se exemplificar alguns de maior relevância para o presente trabalho, como:

- a) Velocidade Média de Viagem (Velocidade Média no Espaço): É a velocidade em um segmento da via. Pode ser definida como a razão do comprimento do segmento pelo tempo médio gasto pelo veículo para percorrê-lo;
- b) Velocidade Média de Percurso: É a velocidade em um determinado segmento da via, que pode ser definida como a relação do comprimento do segmento pelo tempo médio gasto pelo veículo para percorrê-lo considerando apenas o tempo de movimentação dos veículos;
- c) Velocidade de Fluxo Livre: É a velocidade média da qual o motorista pode trafegar sem imposição de restrições, sejam elas pela velocidade da via ou interação com outros veículos;
- d) Velocidade Diretriz ou Velocidade de Projeto: É a velocidade usada para fins de projeto, pois derivam valores mínimos de características relacionadas ao deslocamento dos veículos. Considerando apenas a geometria da via, essa é na maioria das vezes, a maior velocidade que pode ser percorrida sem riscos (DNIT, 2006).

2.2.3 Densidade

De acordo com o DNIT (2006), a densidade pode ser definida como a relação entre a quantidade de veículos que trafegam na via e o comprimento na mesma.

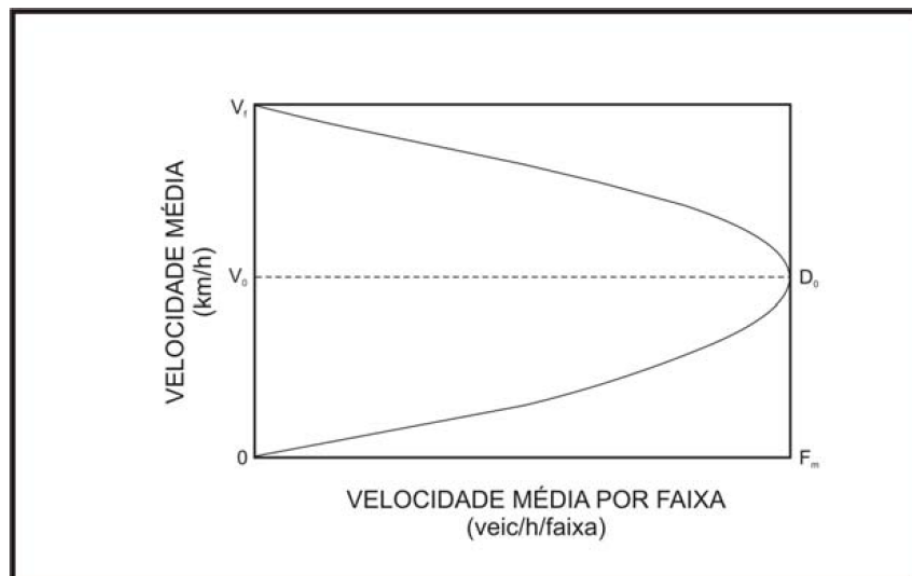
Em outras palavras a densidade pode ser definida como um indicativo de demanda da rodovia, podendo ser relacionada com a quantidade de viagens que foram realizadas por ela. Essa demanda afeta diretamente o volume e a velocidade do fluxo de tráfego, o que influencia na liberdade e conforto dos motoristas ao realizarem as manobras devido à proximidade entre veículos. Por isso, com relação aos três parâmetros (volume, velocidade e densidade) a densidade é o de maior importância na caracterização e qualificação da corrente de tráfego (SETTI, 2001).

2.2.4 Relação Volume, Velocidade e Densidade

Considerando o tráfego em condições de fluxo contínuo, ou seja, sem qualquer tipo de interrupção, o DNIT (2006) apresentou gráficos que relacionam os três parâmetros descritos nos itens anteriores.

Relação velocidade \times volume: ao aumentar o fluxo de veículos, partindo da velocidade de fluxo livre (V_f), a velocidade média diminui gradualmente até atingir um ponto conhecido como densidade ótima (D_o). Nesse ponto, a via está operando em sua capacidade máxima, capaz de suportar o fluxo máximo de veículos. No entanto, à medida que mais veículos são adicionados à corrente, ocorre turbulência, resultando em redução tanto na velocidade como no volume de veículos (DNIT, 2006) (Figura 2).

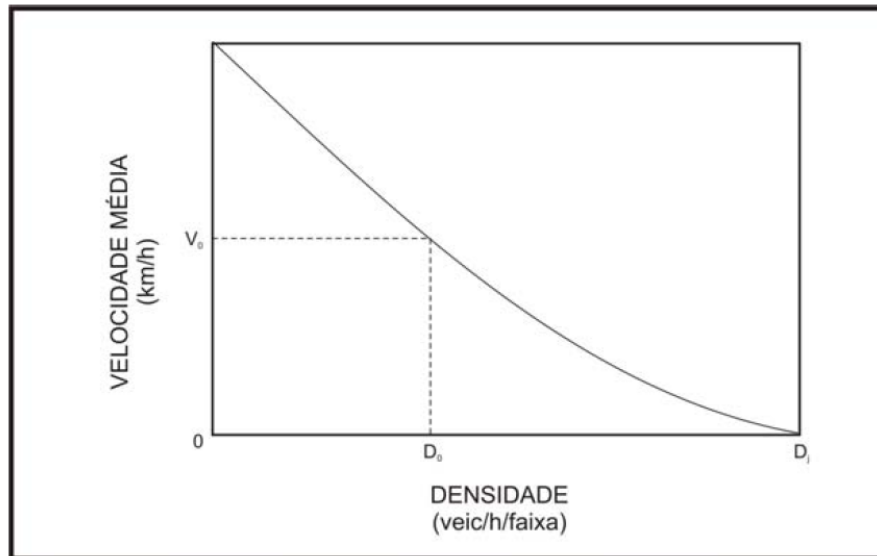
Figura 2 – Relação Velocidade \times Volume.



Fonte: DNIT (2006).

Relação velocidade \times densidade: quando há uma queda na velocidade trafegada pelos veículos na via, a densidade aumenta até chegar em uma densidade ótima (D_o). A partir desse momento a densidade continua crescendo, o que faz com que mais veículos se acumulem em um determinado trecho da via. Por consequência, a velocidade descrese quase que proporcionalmente se considerada vias com acessos controlados (DNIT, 2006) (Figura 3).

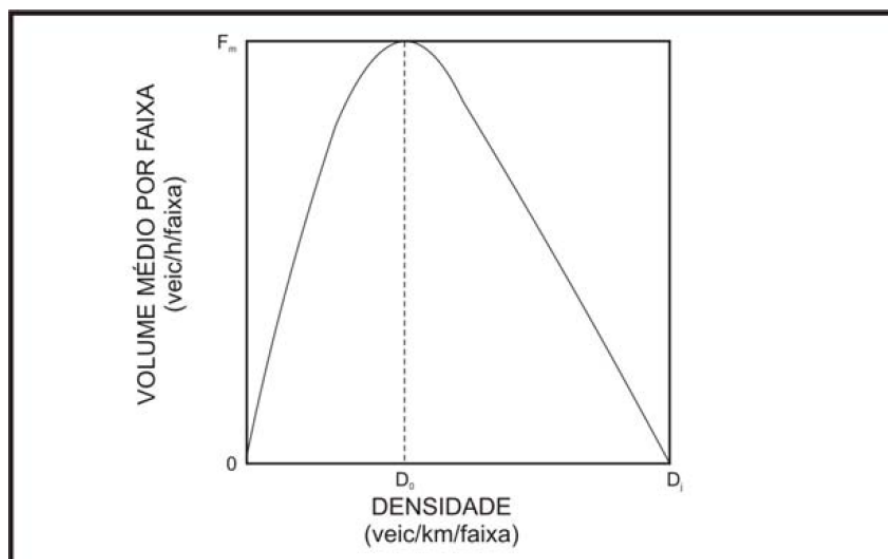
Figura 3 – Relação Velocidade x Densidade.



Fonte: DNIT (2006).

Relação volume x densidade: quando a densidade de tráfego aumenta, o volume de veículos também aumenta, até atingir a densidade ótima. A partir desse ponto o fluxo de veículos começa a diminuir à medida que a densidade continua a aumentar. É importante ressaltar que a densidade ótima pode variar dependendo do tipo de via (DNIT, 2006) (Figura 4).

Figura 4 – Relação Volume x Densidade.



Fonte: DNIT (2006).

2.3 Característica das Rodovias de Pista Simples

Para qualificar o serviço entregue por uma rodovia aos usuários é necessário compreender dois termos: A capacidade e nível de serviço da via.

2.3.1 Capacidade

Segundo DNIT (2006):

O objetivo da determinação da Capacidade de uma via é quantificar o seu grau de suficiência para acomodar os volumes de trânsito existentes e previstos, permitindo a análise técnica e econômica de medidas que asseguram o escoamento daqueles volumes em condições aceitáveis. (DNIT, 2006, p. 263).

A capacidade de uma rodovia pode ser entendida como o volume máximo de veículos que, durante um certo tempo, passem por um trecho da via, sem que haja comprometimento no tráfego e/ou na via (DEMARCHI, 2003).

Por não ter como afirmar que a corrente máxima analisada em um certo momento não será superada por outra, e considerando fatores que podem alterar o fluxo, como familiaridade dos motoristas e composição momentânea do tráfego, torna-se complicada a análise da capacidade em campo (ANDRADE, 2012).

De acordo com as definições do DNIT (2006), as rodovias que apresentam duas faixas e sentidos opostos (rodovias de pista simples) podem ser divididas em duas classes com relação a sua capacidade:

- a) Classe I: rodovias onde os motoristas esperam poder trafegar com velocidades relativamente elevadas. Essa classe tem função de ligação as vias arteriais; vias estaduais e federais de grande importância; percurso diário de trabalho;
- b) Classe II: rodovias onde os motoristas não esperam poder trafegar com velocidades relativamente elevadas. Funcionam como rotas turísticas; fornece acesso as vias de Classe I; sua expansão apresenta relevos acidentados.

Algumas condições ideais para que uma rodovia não exceda a sua capacidade estão descritas no Manual de Estudo de Tráfego – DNIT (2006):

- a) Largura das faixas de tráfego $\geq 3,60$ m;

- b) Afastamento mínimo lateral, de obstruções ou obstáculos fixos das bordas das faixas de tráfego igual a 1,80 m;
- c) Velocidade de fluxo livre ≥ 100 km/h, para rodovias que possui mais de duas faixas, e 90 km/h, para vias de pista simples com duas faixas de tráfego;
- d) Apenas o tráfego de veículos de passeio no fluxo do tráfego;
- e) Terreno apresente características planas;
- f) As rodovias de pista simples não possuem trechos com proibição de ultrapassagem;
- g) Não possuir impedimentos ao tráfego de passagem nas interseções, para que ocorra o controle de tráfego ou para atender a manobras de giro.

Para as rodovias de duas faixas e dois sentidos de tráfego, o DNIT (2006) determinou que a capacidade máxima suportada por cada sentido de tráfego é de 1.700 carros de passeio por hora (ucp/h) e o fluxo total da rodovia não pode passar de 3.200 ucp/h.

2.3.2 Nível de Serviço

O DNIT (2010) define Nível de Serviço como:

Avaliação qualitativa das condições de operação de uma corrente de tráfego, tal como é percebida por motoristas e passageiros. Indica o conjunto de condições operacionais que ocorrem em uma via, faixa ou interseção, considerando-se os fatores velocidade, tempo de percurso, restrições ou interrupções de trânsito, liberdade de manobra, segurança, conforto, economia e outros. (DNIT, 2010, p. 77).

A verificação do nível de serviço de uma rodovia é de suma importância não só para a sua manutenção, mas também na fase inicial do projeto (DNIT, 2010).

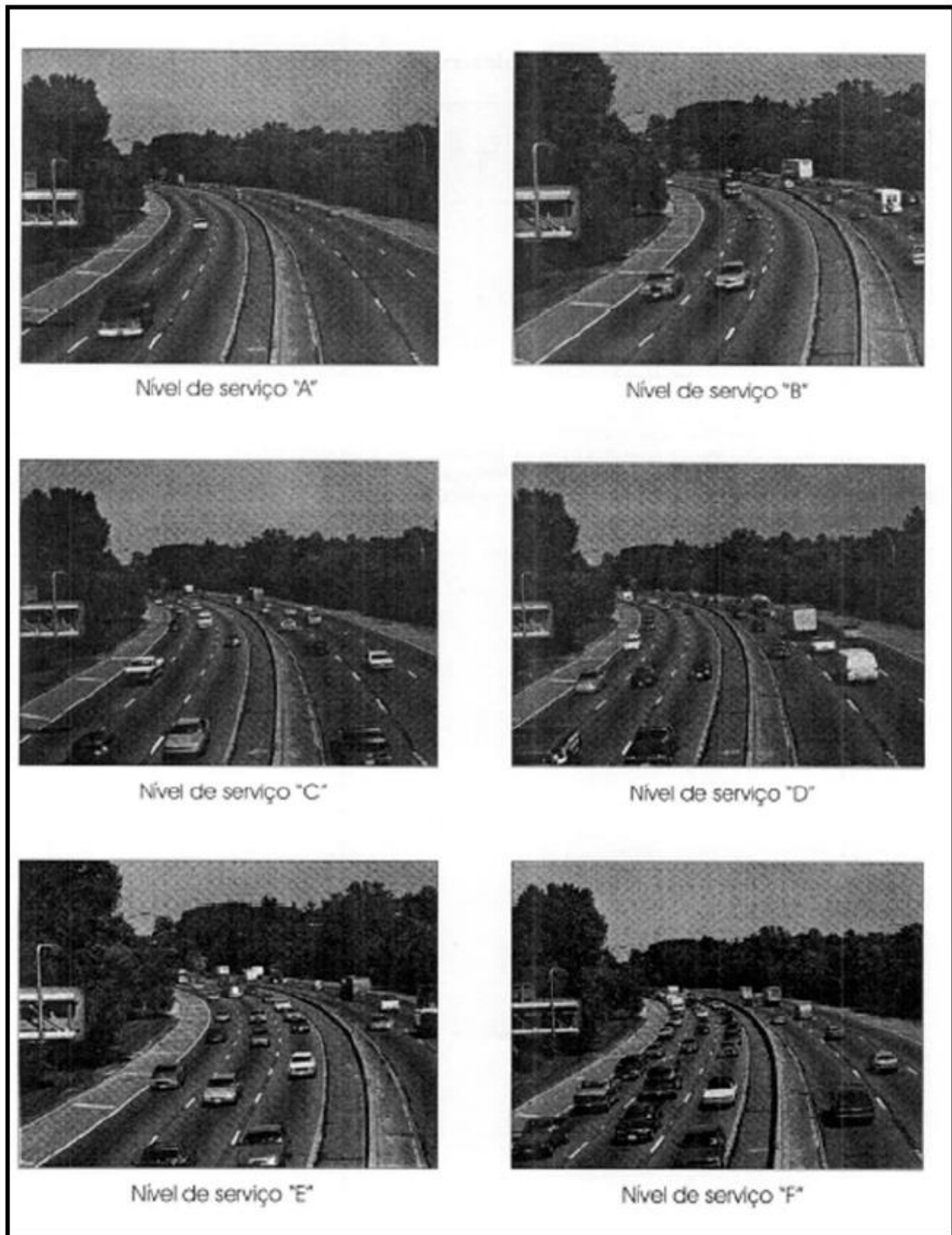
O Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias do DNIT (2010), considerou o tipo de rodovia e o nível de serviço como a primeira decisão que deve ser tomada no momento do planejamento de uma rodovia no quesito segurança.

O DNIT (2006) determinou uma estratificação de 6 (seis) níveis de serviço que englobam diferentes condições de velocidade e volume de tráfego usados para avaliar o desempenho das rodovias. Esses níveis de serviço são definidos de acordo com o tipo da rodovia e fornecem uma indicação da qualidade da operação e do conforto percebido pelos usuários. São eles:

- a) Nível A: Rodovias com a maior qualidade de serviço. Motoristas possuem a liberdade nas velocidades trafegadas (fluxo completamente livre). A velocidade média trafegada na via é pouco alterada mesmo na presença de pequenas interrupções;
- b) Nível B: Rodovias com corrente de tráfego pouco maiores ou até a mesma do nível A (fluxo livre). No entanto a margem para liberdade de manobra torna-se um pouco menor. A velocidade média trafegada na via é pouco alterada mesmo na presença de pequenas interrupções ligeiramente maiores;
- c) Nível C: Há um aumento no fluxo de tráfego. O que resulta em filas mais frequentes, dificuldades para ultrapassar e a possibilidade de engarrafamentos devido a manobras de conversão e veículos mais lentos. A velocidade média trafegada na via é alterada devido as interrupções, levando a uma queda no nível de serviço;
- d) Nível D: Fluxo instável. Filas de carros são perceptíveis aumentando a demanda por ultrapassagens, porém a capacidade da via já está próxima da saturação. A liberdade de manobras dos motoristas é extremamente limitada. A velocidade média trafegada na via cai e com isso afeta drasticamente o nível de serviço;
- e) Nível E: Fluxo instável e praticamente saturado. Os veículos circulam próximos uns dos outros para manter a uniformidade do fluxo, e qualquer perturbação pode resultar em congestionamentos. A corrente de tráfego torna-se volátil e imprevisível;
- f) Nível F: Fluxo interrompido. Congestionamento intenso, onde a demanda de tráfego excede a capacidade da via. O fluxo de veículos está abaixo da capacidade máxima e as velocidades são altamente variáveis.

A distribuição do fluxo nos diferentes níveis de serviço pode ser verificada na Figura 5 como uma exemplificação do que acontece nas rodovias.

Figura 5 – Tráfego nos diferentes níveis de serviço de uma rodovia.



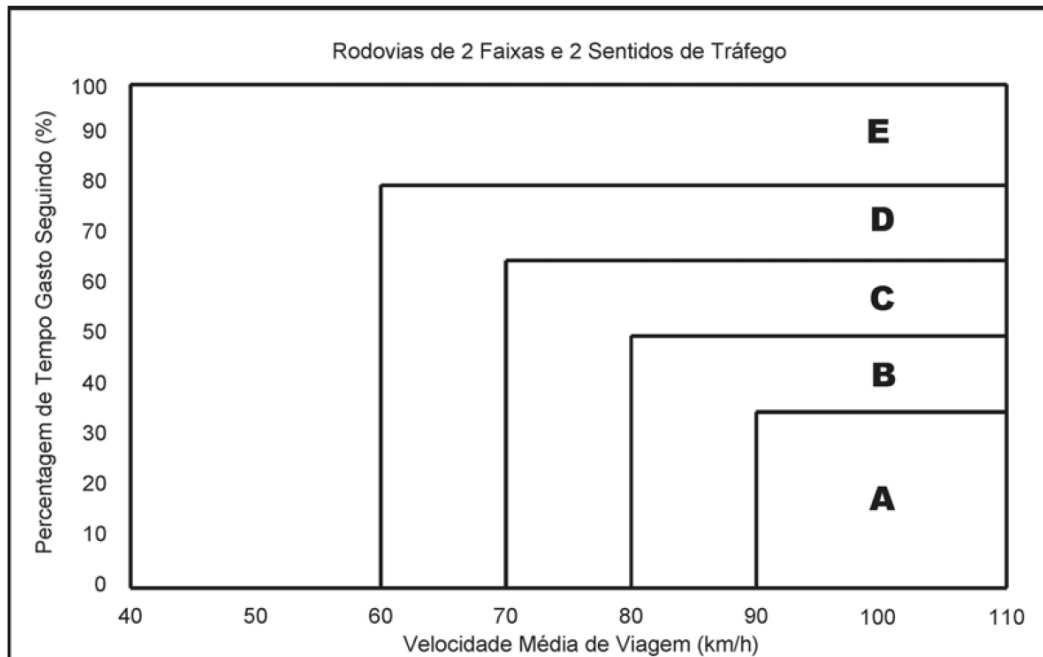
Fonte: DNIT (2006).

Para determinar o nível de serviço de rodovias de Classe I são utilizadas duas medidas de desempenho: a velocidade média de viagem (VMV) e a percentagem de tempo gasto seguindo (PTGS). As duas medidas devem ser atendidas ao mesmo tempo, como pode ser observado na Figura 6. Já as rodovias que se enquadram na Classe II consideram apenas a

percentagem de tempo gasto seguindo (PTGS) como medida de desempenho (SETTI et al., 2011).

São enquadrados na Tabela 1 os níveis de serviço de uma rodovia de pista simples de Classes I e II.

Figura 6 – Critério gráfico para análise do nível de serviço de rodovias Classe I.



Fonte: DNIT (2006).

Tabela 1 – Classificação nos Níveis de Serviço em Rodovias de Classes I e II.
Classificação nos Níveis de Serviço

Nível de Serviço	Classe I		Classe II
	Velocidade Média (km/h)	Tempo Seguindo (%)	Tempo Seguindo (%)
A	$V \geq 30$	$t \leq 35$	$t \leq 40$
B	$80 < V < 90$	$35 < t < 50$	$40 < t < 55$
C	$70 < V < 80$	$50 < t < 65$	$55 < t < 70$
D	$60 < V < 70$	$65 < t < 80$	$70 < t < 85$
E	$V \leq 60$	$t \geq 80$	$85 \geq t$
F	Demanda excede a capacidade. Fluxo severamente congestionado.		

Fonte: Adaptado, DNIT (2006).

Considerando as diferentes condições topográficas e a sua influência na análise da capacidade e nível de serviço de uma rodovia, o DNIT (2006) dividiu o relevo em plano, ondulado e montanhoso, que, mediante definição, tem-se:

- a) Plano: É possível que os veículos pesados mantenham praticamente a velocidade dos carros de passeios. Possuem rampas curtas de 1% a 2% de inclinação do greide;
- b) Ondulado: Os veículos pesados têm suas velocidades reduzidas e o tempo de locomoção aumenta significativamente. Essas áreas não apresentam trechos extensos;
- c) Montanhoso: Os veículos se deslocam lentamente por trechos longos, ou a intervalos frequentes.

Em relevos planos e ondulados a metodologia de avaliação do nível de serviço é feita a partir da análise das rodovias nos dois sentidos simultaneamente, em trechos que possuem no mínimo 3km de extensão. Já para terrenos montanhosos a avaliação se dá através de rampas de subida e de descida específicas, com trechos acima de 0,4 km e com inclinação do greide de pelo menos 3%. Com ou sem a presença de faixas adicionais (DNIT, 2006; SETTI et al., 2011).

Esses procedimentos requerem o cálculo de alguns parâmetros, como descritos no Manual de Estudos de Tráfego – DNIT (2006) que serão apresentados nos tópicos a seguir.

2.3.2.1 Velocidade de Fluxo Livre (VFL)

A velocidade de fluxo livre deve ser aferida em campo, com pelo menos 100 veículos para amostragem e corresponde a fluxos de até 200 ucp/h. (DNIT, 2006).

Para relevos montanhosos o cálculo da Velocidade de Fluxo Livre (VFL) deve ser feito separadamente para cada sentido analisado. A Equação (3) é utilizada caso o fluxo na via supere 200 ucp/h (DNIT, 2006).

$$VFL = V_{MF} + 0,0125 \cdot \frac{V_F}{f_{VP}} \quad (3)$$

em que:

VFL = Estimativa da velocidade de fluxo livre (km/h);

V_{MF} = Velocidade média do fluxo medida no campo (km/h);

V_F = Volume médio horário do fluxo medido (veic/h);

f_{VP} = Fator de ajustamento para veículos pesados.

Caso não seja possível a aferição em campo o DNIT (2006) recomendou que o V_{MF} seja correspondente a valores obtidos em trechos de rodovias semelhantes. Esse valor será usado como um valor básico (BVFL) que servirá de parâmetro para rodovias semelhantes em condições ideais. Encontrado esse valor é possível calcular a velocidade de fluxo livre pela Equação (4).

$$VFL = BVFL - f_{fa} - f_A \quad (4)$$

onde:

VFL = Estimativa da velocidade de fluxo livre (km/h);

BVFL = Valor básico da velocidade de fluxo livre (km/h);

f_{fa} = Fator de ajustamento de larguras de faixas e de acostamento;

f_A = Fator de ajustamento para o número de acessos.

O fator de ajuste de faixas e acostamento (f_{fa}), considera o impacto que a redução da largura da faixa de rolamento e do acostamento causam na velocidade básica de fluxo livre (EGAMI, 2006).

Já o fator de ajuste para os acessos (f_A), considera a influência de interseções ou construções na fluidez do tráfego ao longo da rodovia, resultando em uma redução na velocidade de fluxo livre. Esses pontos de acesso incluem interseções, desvios, entradas e saídas da rodovia, ou qualquer local que possa ter um impacto significativo no tráfego na direção analisada (EGAMI, 2006).

2.3.2.2 Fluxo de Tráfego

A fim de compreender o efeito de diferentes tipos de veículos, como caminhões e ônibus no tráfego, é importante calcular a taxa de fluxo de tráfego, em termos de unidades por hora, conhecidas como ucp/h. Esse cálculo permite determinar como a presença desses veículos afeta a corrente de tráfego de uma via (SETTI et al., 2011).

Em suma, ao observar quantos veículos, de diferentes categorias, passam por uma determinada rodovia em uma hora, pode-se avaliar o impacto desses veículos no fluxo geral de tráfego, através da Equação (5) (SETTI et al., 2011).

$$V_P = \frac{V}{FHP \cdot f_G \cdot f_{VP}} \quad (5)$$

sendo:

V_P = Volume horário nos 15 minutos mais carregados da hora de pico, e carros de passeio equivalentes (ucp/h);

V = Volume de hora de pico em tráfego misto (veic/h);

FHP – Fator de hora de pico;

f_G = Fator de ajustamento do greide;

f_{VP} = Fator de ajustamento de veículos pesados.

Como em terrenos montanhosos a análise do nível de serviço é feita em rampas específicas, é necessário considerar o fluxo de tráfego no sentido oposto, que pode ser obtido através da Equação (6) (DNIT, 2006).

$$v_o = \frac{V_o}{FHP \cdot f_G \cdot f_{VP}} \quad (6)$$

em que:

v_o = Volume horário nos 15 minutos mais carregados da hora de pico do sentido analisado, que vêm no sentido oposto, em carros de passeio equivalentes (ucp/h);

V_o = Volume na hora de pico no sentido analisado, que vem no sentido oposto, em tráfego misto (veic/h);

FHP = Fator de hora de pico no sentido analisado.

Caso não seja possível determinar o FHP em campo, deve-se utilizar os valores recomendados pelo DNIT (2006), que são de 0,88 para áreas rurais e 0,92 para áreas urbanas.

2.3.2.2.1 Fator de Ajuste do Greide

O fator de ajustamento de greide (f_G) permite que as velocidades e o tempo de viagem sejam ajustados por conta das variações de inclinação da rodovia. Isso é importante porque, o terreno pode afetar a eficiência do veículo e influenciar na velocidade e no tempo gasto para percorrer determinadas distâncias. Portanto, ao considerar o fator de ajustamento de greide, pode-se obter estimativas mais precisas das velocidades e do tempo de viagem, quando avaliadas as características do terreno (DNIT, 2006).

2.3.2.2.2 Fator de Ajuste para Veículos Pesados

Os caminhões têm um impacto significativo na corrente de tráfego, especialmente em trechos com aclives, devido às suas características físicas e mecânicas. Em geral, os caminhões tendem a ter velocidades mais baixas, o que resulta na redução da velocidade dos demais veículos que estão na mesma corrente. Além disso, devido ao seu maior comprimento em comparação com os automóveis de passeio, são necessários espaços maiores no fluxo oposto, para que os caminhões possam ser ultrapassados (MON-MA, 2008).

Para que haja uma equivalência entre os veículos na corrente de tráfego, os veículos pesados são transformados em automóveis, possibilitando a determinação da velocidade média entre cada automóvel na pista (ANDRADE, 2012).

Para isso, o DNIT (2006) considerou dois grupos de veículos pesados: o de caminhões (C), que incluem os ônibus, e o grupo de veículos de recreação (VR).

Após análise dos valores de equivalência, o Fator de Ajustamento para Veículos pesados (f_{VP}) é encontrado através da Equação (7) abaixo. (DNIT, 2006).

$$f_{VP} = \frac{1}{1 + P_C(E_C - 1) + P_{VR}(E_{VR} - 1)} \quad (7)$$

sendo:

P_C = Proporção de caminhões e ônibus na corrente de tráfego, em decimal;

P_{VR} = Proporção de veículos de recreio na corrente de tráfego, em decimal;

E_C = Equivalente de caminhões e ônibus, em carros de passeio;

E_{VR} = Equivalente de veículos de recreio, em carros de passeio.

Durante a coleta dos dados em campo para determinar o fator de ajuste para veículos pesados, em rodovias de pista simples no Brasil, a presença de veículos de recreação observada foi praticamente nula. Esse cenário levou a desconsideração dessa classe de veículos para os cálculos dos fatores de equivalência (EGAMI, 2006).

SETTI et al. (2011) explicaram que, para a determinação dos fatores de ajuste E_C e f_G é necessário determinar primeiramente o valor do fluxo de tráfego, porém através da metodologia do HCM-2000 isso não é possível.

Uma alternativa para resolução dessa questão foi a criação de uma sequência interativa de cálculo. Primeiramente calcula-se o fluxo V/FHP em veículo por hora (veic/h). Depois, obtém-se os fatores F_G , E_C , e E_{VR} que serão utilizados no cálculo de V_P , pela Equação (5). Se o resultado do cálculo de V_P estiver dentro do intervalo da qual foram retirados os fatores F_G , E_C , e E_{VR} , o valor encontrado está correto. Caso o valor do V_P não caia dentro do intervalo, deve-se repetir o processo como novos valores para os fatores F_G , E_C , e E_{VR} até que o resultado de V_P caia dentro do intervalo tabelado (DNIT, 2006).

2.3.2.3 Velocidade Média de Viagem (VMV)

Como descrito no item 2.2.2, a velocidade média de viagem tem sido amplamente utilizada como a principal métrica para avaliar o desempenho das rodovias de pista simples. Isso devido a sua facilidade de obtenção em campo (OLIVEIRA, 2021).

Seu valor é obtido através da Equação (8) retirada do Memorial de Estudo de Tráfego (DNIT, 2006).

$$VMV = VFL - 0,0125V_P - f_{up} \quad (8)$$

onde:

VMV = Velocidade média de viagem para ambos os sentidos (km/h);

VFL = Velocidade de fluxo livre encontrada nas Equações (3) e (4) (km/h);

V_P = Volume horário nos 15 minutos mais carregados da hora de pico, em carros de passeios equivalentes (ucp/h);

f_{up} = Fator de ajustamento para zonas de ultrapassagem proibida.

Nos trechos da qual a análise é feita por rampas específicas, deve-se considerar o sentido oposto ao fluxo estudado, assim como é feito no cálculo dos fluxos de tráfego. Por isso, é

necessário acrescentar a Equação (8) um parâmetro V_O , que leva em consideração o fluxo no sentido opostos ao estudado, em ucp/h (DNIT, 2006). O cálculo para esses casos pode ser feito através da Equação (9).

$$VMV_S = VFL_S - 0,0125(V_S + v_O) - f_{up} \quad (9)$$

onde:

VMV_S = Velocidade média de viagem no sentido de análise (km/h);

VFL_S = Velocidade de fluxo livre no sentido de análise (km/h);

V_S = Fluxo em unidades de carros de passeio no período de 15 minutos de pico no sentido de análise (ucp/h);

v_O = Fluxo em unidades de carros de passeio no período de 15 minutos de pico no sentido oposto ao de análise, determinado pela Equação (6) (ucp/h);

f_{up} = Fator de ajustamento para a percentagem de zonas de ultrapassagem proibida para o sentido de análise.

2.3.2.4 Percentagem de Tempo Gasto Seguindo (PTGS)

Diferentemente da velocidade média de viagem, a percentagem de tempo gasto seguindo é extremamente difícil de ser medida diretamente em campo, o que tornou o uso da simulação essencial durante na fase de adaptação do método do HCM-2000 (MON-MA, 2008).

Por isso, primeiro deve-se estimar um valor básico (BPTGS) utilizando a Equação (10) (DNIT, 2006).

$$BPTGS = 100(1 - e^{-0,000879v_p}) \quad (10)$$

Para trechos montanhosos, considerando o fluxo no sentido oposto, tem-se a Equação (11):

$$BPTGS = 100(1 - e^{aV_s^b}) \quad (11)$$

Os coeficientes a e b são tabelados e obtidos através do fluxo no sentido oposto ao da corrente em estudo (DNIT, 2006).

Encontrado o valor básico (BPTGS) de acordo com o trecho em análise, calcula-se a percentagem de tempo gasto seguindo, utilizando-se a Equação (12) quando o trecho analisado for em rodovias de pista simples para ambos os sentidos de tráfego (DNIT, 2006).

$$PTGS = BPTGS + f_{d/up} \quad (12)$$

em que:

PTGS = Percentagem do tempo gasto seguindo;

BPTGS = Valor básico da percentagem do tempo gasto seguindo;

$f_{d/up}$ = Fator de ajustamento para o efeito combinado da distribuição do tráfego por sentido e da percentagem das zonas de ultrapassagem proibida.

E a Equação (13) é utilizada para trechos de rampas específicas da qual é necessário a análise do fluxo oposto ao estudado (DNIT, 2006).

$$PTGS = BPTGS_s + f_{up} \quad (13)$$

onde:

PTGS = Percentagem do tempo gasto seguindo no sentido analisado;

BPTGS_s = Valor básico da percentagem do tempo gasto seguindo no sentido analisado;

f_{up} = Ajustamento, função da percentagem de zonas de ultrapassagem proibida no sentido de análise.

2.3.2.5 Determinação do Nível de Serviço

Inicialmente determina-se a capacidade de uma rodovia de pista simples, que, para cada sentido de tráfego, é de 1700 (ucp/h), acima desse valor a rodovia está supersaturada e o nível de serviço é F. Nesse nível o tempo gasto seguindo é quase 100% e as velocidades sofrem uma grande variação o que dificulta a sua estimativa (DNIT, 2006).

Em razão da intensa interação entre os fluxos em ambas as direções, quando a capacidade em um sentido é alcançada, a capacidade no sentido oposto é diminuída, resultando em uma capacidade bidirecional de 3200 ucp/h (BESSA JR, 2015).

Para rodovias de classe I, da qual o fluxo é menor ou igual a capacidade (≤ 1700 ucp/h), a determinação do nível de serviço pode ser feita a partir da Figura 6, localizando-se o ponto correspondente a velocidade média de viagem (VMV) e a percentagem de tempo gasto seguindo (PTGS). Já para rodovias de classe II com fluxo menor ou igual a capacidade (≤ 1700 ucp/h), o nível de serviço é determinado em função da percentagem de tempo seguido e pode ser obtido através da Tabela 1 (DNIT, 2006).

2.4 Faixas Adicionais

A liberdade e segurança dos motoristas ao realizarem manobras em uma rodovia de pista simples são fortemente influenciadas por dois fatores. O primeiro é sobre a necessidade de trechos que forneçam uma visibilidade adequada para realização de ultrapassagens com segurança. Esses trechos devem proporcionar aos condutores uma visão clara do fluxo oposto, garantindo que não haja o risco de acidentes (DNER, 1999).

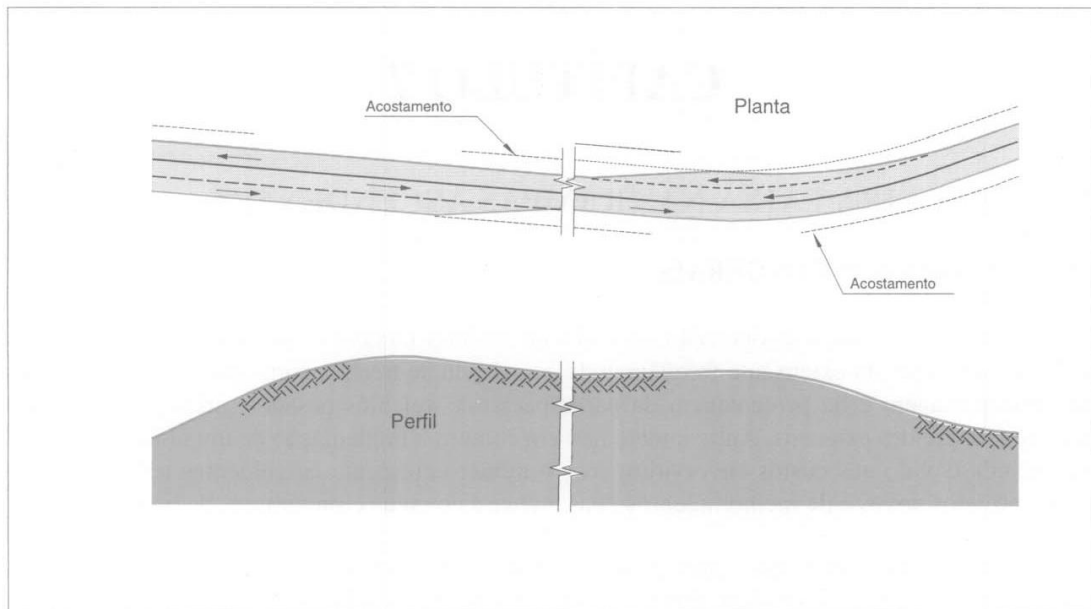
Outro fator é com relação a proporção de veículos pesados trafegando nas rodovias, principalmente quando o trecho possui rampas extensas. A liberdade e capacidade de ultrapassagens dos motoristas é impactada com a presença de veículos pesados na via. Isso ocorre porque, devido à natureza de sua carga e seu tamanho, os veículos pesados geralmente têm sua velocidade reduzida em subidas íngremes, dificultando as manobras de ultrapassagens dos outros veículos (DNER, 1999).

Ribeiro (2015) explicou que em rodovias de pista simples quanto maior o fluxo de veículos na via, maior é a demanda por ultrapassagens e se esse aumento for notável também no sentido oposto, as oportunidades de ultrapassagens são diminuídas. Quando combinados a falta de visibilidade da via, volume de veículos pesados e zonas de proibição de ultrapassagem, a situação se agrava gerando congestionamentos. Melo e Setti (2007) acrescentaram ainda que, esses fatores contribuem para o aumento nos custos de operação e no tempo de viagem. Além de aumentarem os riscos de acidentes devido à realização de ultrapassagens perigosas ou diferenças entre as velocidades dos veículos que trafegam a rodovia.

Como forma de solucionar esses problemas é inserido o conceito de faixas adicionais que consistem em faixas auxiliares que são construídas do lado direito da pista em estudo, no sentido ascendente, com a finalidade de receber o tráfego de veículos lentos, fazendo com que o fluxo na subida seja mais fluido e as manobras de ultrapassagens mais seguras (DNER, 1999).

A Figura 7 foi retirada do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais – DNER (1999) como exemplo de construções de faixas adicionais em acive em um ou nos dois lados de uma rodovia.

Figura 7 – Faixa adicional construída em perfil íngreme no sentido crescente e decrescente.



Legenda: No projeto geométrico das faixas adicionais, quando analisado o trecho em planta, observa-se também a presença dos acostamentos. Já em perfil observa-se que a construção das faixas adicionais se dá em trechos com rampas acentuadas.

Fonte: DNIT (1999).

Segundo Melo e Setti (2003), a construção de faixas adicionais é uma alternativa rápida e com custos e impactos ambientais menores do que em obras de duplicação da rodovia. Mon-Ma (2008) acrescentou que, as faixas adicionais possuem uma grande eficiência na dispersão dos pelotões causados pela presença dos veículos lentos.

Em um novo estudo, Melo e Setti (2007) descreveram que a construção de faixas adicionais contribui para a segurança e aumento nas ocorrências de manobras de ultrapassagens. Com isso, segundo eles, o número de veículos que viajam em pelotões diminui, consequentemente a velocidade aumenta e o tempo de viagem reduz. Fazendo com que o nível de serviço entregue pela rodovia melhore e reduza os índices de acidentes.

Para Lima (2010) a falta de segurança ao realizar uma manobra de ultrapassagem aumenta o risco de acidentes graves, como colisões frontais. E em rodovias de pista simples,

nos trechos com aclives íngremes, a melhor solução para reduzir a ocorrência desse problema está na implantação de faixas adicionais.

Quanto aos benefícios econômicos, Melo e Setti (2007) explicaram que a implantação de uma faixa adicional requer baixo investimento, principalmente se a plataforma já estiver pronta e houver pouca movimentação de terra. Para Lima (2010), apesar de se tratar de uma obra de baixo custo, fatores como topografia, qualidade do subleito e localização da rodovia, influenciam nos gastos com a implantação das faixas adicionais. Para ele, a execução pode variar desde um reforço do acostamento já existente até a construção de uma nova faixa.

Melo e Setti (2003) analisaram que não há necessidade de implantação de faixas adicionais se o fluxo na rodovia for baixo. Eles explicam que as chances de formação de pelotões nesses casos são pequenas, e que os veículos de passeio serão pouco afetados pelos veículos pesados. Com isso, o investimento em faixas adicionais será superior aos benefícios que elas trarão aos motoristas, tornando assim a análise do fluxo um importante parâmetro na avaliação dos projetos de faixas adicionais.

Para viabilizar a implantação de faixas adicionais o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais – DNER (1999) trouxe alguns critérios que devem ser atendidos. São eles:

- a) Se na faixa de subida o VH (Volume horário) for superior a 200 veículos por hora;
- b) Se esse volume tiver uma representatividade de pelo menos 10% de veículos pesados;
- c) Se alguma das condições forem constatadas:
 - Os veículos pesados tiverem sua velocidade reduzida em pelo menos 15 km/h;
 - A faixa de subida tiver um nível de serviço E ou F;
 - Houver um prejuízo de dois ou mais níveis de serviço no trecho de subida da rodovia.

3 METODOLOGIA

Primeiramente, realizou-se estudos e pesquisas bibliográficas para melhor entendimento da problemática. Tal estudo teve um enfoque maior nos manuais normativos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), mais precisamente no Manual de Estudo de Tráfego (2006) e no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (1999), que trazem diretrizes quanto a determinação da capacidade, nível de serviço e faixas adicionais em rodovias brasileiras.

Após os estudos, foram determinadas todas as características geométricas e os fluxos da rodovia BR-265, no trecho do km 335 (Ponte do Rio Capivari – Lat: -21.275739, Long: -44.884402) até o km 331 (Trevo da cidade de Itumirim – MG – Lat: -21.285702, Long: -44.850397). Em seguida calculou-se todos os fatores necessários para determinação da capacidade e do nível de serviço no trecho.

Como a rodovia em estudo é classificada como classe I, as medidas calculadas para definirem o nível de serviço foram, a Velocidade Média de Viagem (VMV) e a Percentagem de Tempo Gasto Seguindo (PTGS). Por se tratar de um terreno montanhoso, toda a metodologia foi baseada na análise de um único sentido de tráfego (sentido decrescente da rodovia), considerando-o como uma rampa específica.

Por fim, aplicou-se uma análise sobre a viabilização da implantação de faixas adicionais no trecho em estudo.

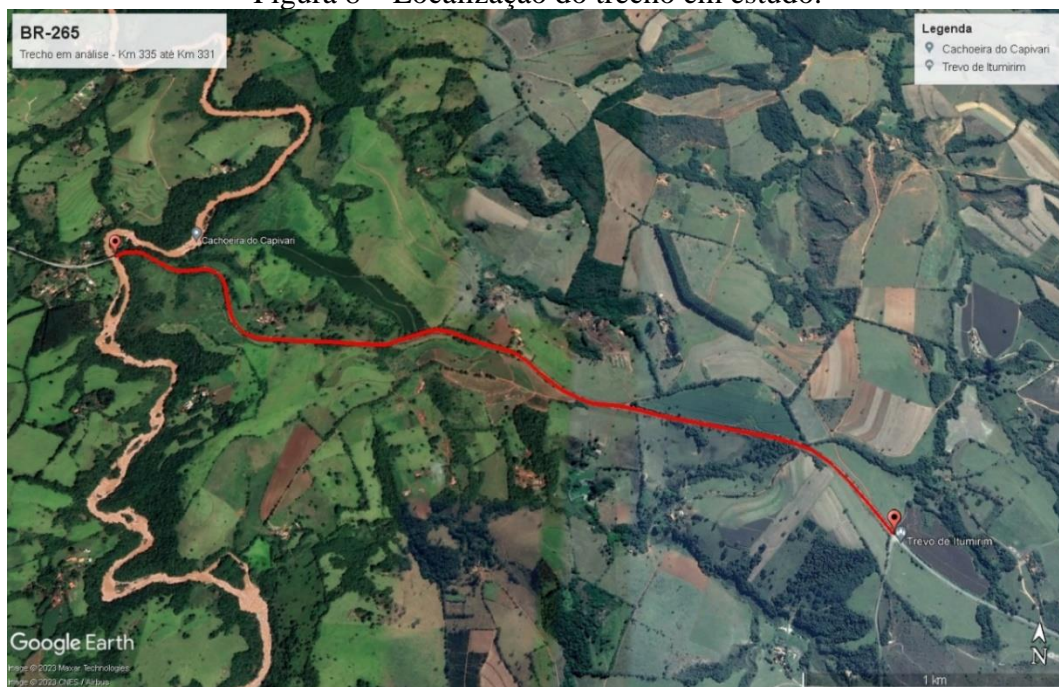
Os dados do tráfego utilizados no trabalho foram retirados da Plano Nacional de Contagem de Tráfego (DNIT – PNCT), que realiza contagens contínuas em tráfego misto a fim de buscar melhorias e maior conhecimento sobre o funcionamento das rodovias brasileiras. O ponto de contagem mais próximo localiza-se no km 311, no município de Itutinga/MG (Lat: -21.29786, Long: -44.67539) a uma distância de aproximadamente 20 km do trecho em estudo. A contagem mais representativa neste ponto de coleta aconteceu durante o ano de 2018, da qual foram considerados 362 dias de análise para os dois sentidos da rodovia.

Por se tratar da mesma rodovia, com uma distância consideravelmente pequena e por existir apenas um acesso – o Distrito de Macuco de Minas – MG – entre os municípios de Itumirim – MG e Itutinga – MG, o trabalho considerou que todos os veículos passantes na contagem também passaram pelo trecho analisado. Por isso, os dados do PNCT realizado DNIT (2018) foram utilizados na íntegra, sem a necessidade de adequações quanto ao local.

3.1 Caracterização do Trecho em Estudo

O trecho em estudo compreende uma extensão de aproximadamente 4 km, em terreno montanhoso, no sentido decrescente da BR-265, entre os quilômetros 335 e 331, dispostos entre a ponte do Rio Capivari no município de Lavras/MG e o trevo da cidade de Itumirim/MG, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Localização do trecho em estudo.



Fonte: Google Earth (2023).

Para a inclinação do greide foi considerada a inclinação média de todo o percurso, no valor de aproximadamente 4,5%. Esse valor foi obtido pela ferramenta do Google Earth que forneceu o perfil do terreno (Figura 9) e informações como: o ganho/perda de elevação de 136 metros; inclinação máxima de 11,7%; elevação mínima de 823 metros; elevação média de 904 metros e elevação máxima de 948 metros.

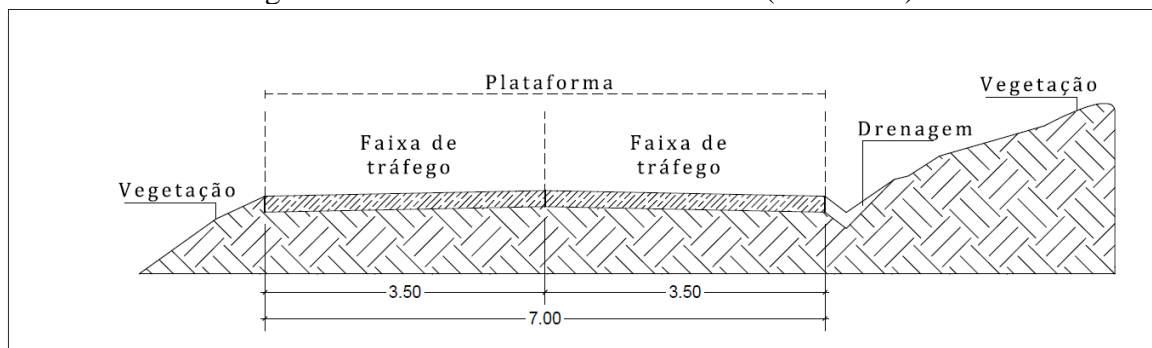
Figura 9 – Perfil de elevação do terreno.



Fonte: Google Earth (2023).

A plataforma possui duas faixas de rolamento, em sentidos opostos, com largura de 3,5 metros cada, durante todo o percurso em estudo, como demonstrado de maneira ilustrativa na Figura 10. Essa dimensão foi obtida através da ferramenta do Google Earth.

Figura 10 – Corte transversal da rodovia (ilustrativo).



Fonte: Da Autora (2023).

Em alguns trechos do segmento analisado possuem acostamentos, porém, na sua grande maioria encontram-se sem nenhuma viabilidade de uso, seja por apresentarem extensões insuficientes, deterioração do pavimento ou até mesmo pela presença de vegetação, que avançou em grande parte da faixa destinada para esse fim, como pode ser visto na Figura 11. Por isso, tendo em vista a falta de segurança aos motoristas ao utilizarem essas faixas, o trabalho fixou a inexistência de acostamentos, nos dois sentidos, durante todo o trecho em estudo.

Figura 11 – Acostamento da BR-265.



Fonte: Google Earth (2023).

Por se tratar de um trecho com perfil sinuoso e aclive acentuado, existe apenas um intervalo da qual é permitido que os motoristas realizem manobras de ultrapassagem. No restante do percurso é proibida a realização da manobra em ambos os sentidos. Por esse motivo, o trabalho considerou que, durante todo o percurso, a ultrapassagem é proibida nos dois sentidos.

A velocidade de fluxo livre básica considerada no trabalho, foi a mesma da velocidade de projeto, 80 km/h, conforme sinalização presente no trecho.

Apesar de existir alguns acessos em ambos os lados da rodovia durante o percurso, nenhum deles apresentam grande importância, tratando-se apenas de acessos a propriedades privadas ou pequenas comunidades rurais. Por isso, o trabalho não considerou a existência de acessos/km.

3.2 Caracterização do Tráfego no Trecho em Estudo

Através dos dados retirados da contagem contínua em tráfego misto, realizada pelo DNIT no Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT) no ano de 2018, foi possível caracterizar o tráfego do trecho em estudo.

Na Tabela 2 estão representados os dados do Volume Médio Diário Anual (VMDa), para o trecho em análise.

Tabela 2 – Valor do VMDa no ano de 2018 para os dois sentidos da rodovia.

Volume Médio Diário Anual (VMDa)	
Sentido	Veículos/dia
Crescente da BR-265	1539
Decrescente da BR-265	1861
TOTAL	3400

Fonte: Adaptado, PNCT – DNIT dados referentes ao ano de 2018.

O DNIT também fornece os valores do volume horário de todos os dias do ano, no período de duração de 24 horas. Para cada hora do ano é possível saber quantos e quais tipos de automóveis passaram por aquele trecho nos dois sentidos da rodovia. Através desses dados é possível ordenar todas as horas mais volumosas do ano e construir o gráfico da “curva da enésima hora”, para então calcular o fator K na hora de projeto escolhida.

Com a base de dados gerada a partir da contagem contínua, o DNIT já disponibiliza o valor do fator K, que foi obtido através da Equação (1), para algumas horas que normalmente são utilizadas como referência na escolha do volume horário de projeto, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Valores do Fator K para horas de projeto.

Sentido	Fator K				
	1ª hora	30ª hora	50ª hora	100ª hora	200ª hora
Crescente	0,1631	0,1378	0,1248	0,1098	0,0962
Decrescente	0,1832	0,1526	0,1451	0,1333	0,1161

Fonte: Adaptado, PNCT – DNIT dados referentes ao ano de 2018.

Para o desenvolvimento do trabalho e caracterização do tráfego, foi considerada a 30ª hora como a hora de projeto referência para a análise do volume horário. Portanto, os dados do tráfego da rodovia, no trecho em estudo, foram obtidos com relação a 30ª hora mais volumosa do ano de 2018.

Porém, na 30ª hora, o DNIT não disponibiliza a variação do tráfego, ou seja, não é possível saber quais tipos de veículos passaram na rodovia naquela determinada hora de projeto. Com isso, foi necessário encontrar a qual dia e hora do ano referem-se à 30ª hora.

Como a direção de interesse do estudo foi o sentido decrescente da rodovia, todos os dados de volume horário, de todas as horas do ano nesse sentido, foram ordenados das horas mais volumosas às menos volumosas. Sendo possível então, determinar que a 30ª hora mais volumosa do ano foi atingida no dia 20 de outubro às 14 horas com um total de 284 veículos passantes no trecho no sentido decrescente da BR-265, conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação das horas de maior volume no sentido decrescente da BR-265.

Volume Horário			
Posição	Dia	Horário (horas)	Veículos Passantes
1ª hora	07/03/2018	13:00	341
2ª hora	16/03/2018	10:00	330
3ª hora	10/02/2018	11:00	327
4ª hora	08/03/2018	12:00	325
5ª hora	11/02/2018	11:00	322
30ª hora	20/10/2018	14:00	284
50ª hora	01/01/2018	13:00	270

Fonte: Adaptado, PNCT – DNIT dados referentes ao ano de 2018.

Os maiores fluxos de veículos no ano ocorreram entre às 10 e 14 horas. O mês que apresentou o maior número de horas mais volumosas foi o mês de março. Os meses de maio a agosto não apresentaram nenhuma hora entre as 100 horas mais volumosas do ano. No dia 20 de outubro o volume total de veículos que passaram pelo trecho foi de 6791 veículos, no sentido de interesse (sentido decrescente) passaram 3.896 veículos.

Para o dia 20 de outubro às 14:00 horas o DNIT fornece as características do tráfego passante na rodovia. Esses dados estão representados na Tabela 5. Para veículos pesados foram considerados ônibus e caminhões de 2 a 9 eixos. Os veículos leves incluem os carros de passeio, motos e outros.

Tabela 5 – Características dos veículos passantes no trecho em análise na 30ª hora.

Sentido	Tipos de Veículos		TOTAL
	Veículos Leves	Veículos Pesados	
Crescente	148	39	187
Decrescente	254	30	284
TOTAL	402	69	471

Fonte: Adaptado, PNCT – DNIT dados referentes ao ano de 2018.

Com isso, pode-se determinar que, 10,56% do tráfego na 30ª hora mais volumosa do ano, no sentido decrescente da rodovia, é composto por caminhões e ônibus. Não foi considerada a existência de veículos de recreação.

O Fator Hora Pico (FHP) foi calculado a partir dos 4 períodos consecutivos de 15 minutos dentro da hora de projeto (30ª hora). O DNIT já fornece os dados da variação volumétrica, por quartil de hora no dia 20 de outubro às 14:00 horas (Tabela 6).

Tabela 6 – Variação volumétrica por quartil de hora da 30ª hora.

Quartil de Hora	Veículos Passantes no Sentido Decrescente
14:00 – 14:15	74
14:15 – 14:30	81
14:30 – 14:45	70
14:45 – 15:00	59

Fonte: Adaptado, PNCT – DNIT dados referentes ao ano de 2018.

O período de quinze minutos com maior volume de tráfego ocorreu das 14 horas e 15 minutos até as 14 horas e 30 minutos, com um total de 81 veículos. Aplicando esses dados na Equação (2), chega-se ao valor do FHP de 0,88. Esse resultado é totalmente condizente com os valores recomendados pelo DNIT para rodovias rurais.

Um resumo de todas as características da via e do tráfego, que foram consideradas para determinação do nível de serviço da BR-265 no segmento analisado é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1– Resumo das Características Consideradas no Trabalho.

Características Gerais do Trecho	
Extensão do trecho em estudo	4 km
Inclinação do greide	4,5%
Largura da faixa de rolamento	3,5 metros
Largura da faixa de acostamento	Não foi considerado
Tráfego na hora de projeto no sentido analisado	284 veic/h (sentido decrescente da BR-265)
Tráfego no sentido oposto	187 veic/h (sentido crescente da BR-265)
Presença de veículos pesados	10,56%
Presença de veículos de recreio	Não foi considerado
Zona de ultrapassagem proibida	100% do trecho
Acessos/km	0
VFL básica	80 km/h
FHP	0,88

Fonte: Da Autora (2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base no referencial teórico e após definidas todas as características geométricas e do tráfego da rodovia, determinou-se o nível de serviço, na hora de projeto, no trecho em estudo. Para isso, foram calculadas a velocidade média de viagem (VMV) e a percentagem de tempo gasto seguindo (PTGS), assim com os seus respectivos fatores de influências, f_G (fator de ajustamento de greide) e f_{vp} (fator de ajustamento de veículos pesado). Também foram analisadas a necessidade e a viabilidade da implantação de uma faixa adicional, para receber o tráfego de veículos lentos que trafegam no segmento.

Vale ressaltar que, por se tratar de um trecho em terreno montanhoso e bastante íngreme, e considerando as normativas do DNIT, todos os cálculos foram feitos para um sentido de tráfego, no trecho do km 335 ao km 331, no sentido decrescente da BR-265, tratando-se de uma subida específica.

4.1 Determinação da Velocidade de Fluxo Livre (VFL)

A Velocidade de Fluxo Livre (VFL) foi determinada pela Equação (4). Como não houve medição em campo, utilizou-se a velocidade de projeto do trecho da rodovia como o valor básico de velocidade de fluxo livre (BVFL).

Para o cálculo da VFL, considerou-se também o quanto a inexistência de acostamentos e a largura da faixa de rolamento (3,5 metros), influenciam na liberdade dos motoristas trafegarem livremente no trecho. Para isso, determinou-se o fator de ajustamento de largura de faixa e acostamento (f_{fa}), encontrado no Quadro A. 1, do Anexo A.

Outro fator de influência é o fator de ajustamento para o número de acesso (f_A), que pode ser obtido pelo Quadro A. 2, do Anexo A. No trecho em estudo não foi considerado a existência de acessos, em ambos os lados, portanto, esse fator não influenciou na redução da Velocidade de Fluxo Livre. Todos os itens determinados estão apresentados na Tabela 7, assim como o resultado do cálculo para a VFL.

Tabela 7 – Velocidade de Fluxo Livre (VFL) no trecho em estudo.

BVFL (km/h)	f_{fa}	f_A	VFL (km/h)
80	7,5	0,0	72,5

Fonte: Da Autora (2023).

Quanto menor a extensão da faixa de rolamento, combinada com acostamentos pequenos, ou até mesmo a inexistência deles, maior será a influência na VFL da via. E, se no trecho ainda tiver a presença de muitos acessos, a Velocidade de Fluxo Livre será consideravelmente reduzida.

O valor de 72,5 km/h encontrado para a Velocidade de Fluxo Livre foi utilizado nos cálculos da Velocidade Média de Viagem (VMV) e Percentagem de Tempo Gasto Seguindo (PTGS).

4.2 Determinação da Velocidade Média de Viagem (VMV)

Para determinar a Velocidade Média de Viagem (VMV), primeiramente calculou-se o fluxo de tráfego no sentido de análise, em unidade de carro de passeio por hora (ucp/h), pela Equação (5).

Inicialmente, para o cálculo do fluxo de tráfego, foi determinado o quanto a presença dos veículos pesados afetam a movimentação dos demais veículos, através do fator de ajustamento de veículos pesados (f_{vp}), obtido pela Equação (7). Para esse fator foi necessário encontrar a equivalência dos veículos pesados em carros de passeio (E_C), de acordo com o Quadro B. 2, do Anexo B.

Outro fator necessário para o cálculo do fluxo do tráfego foi o fator de ajustamento de greide (f_G), encontrado no Quadro B. 1, do Anexo B, que leva em consideração a influência da topografia na velocidade dos veículos.

Os valores dos parâmetros E_C e f_G são encontrados a partir do valor do fluxo de tráfego (V_s) em ucp/h, porém, como expostos no referencial teórico, isso não foi possível. Por isso, esses parâmetros foram encontrados de forma interativa.

Primeiramente considerou-se que o fluxo de tráfego no sentido de análise (V_s) estava no intervalo de [0 a 300] ucp/h, e determinou-se os valores de E_C pelo Quadro B. 2 do Anexo B e f_G pelo Quadro B. 1, do Anexo B. Em seguida, calculou-se o f_{vp} pela Equação (7), para que então pudesse ser calculado o valor do fluxo de tráfego (V_s), no sentido de análise, pela Equação (5).

Como a extensão do trecho é de 4 km realizou-se as devidas interpolações lineares em todas as interações para ambos os fatores. Os valores determinados para cada etapa da primeira interação encontram-se na Tabela 8, assim como o valor calculado para o V_s .

Tabela 8 – Fluxo de tráfego (V_s) na 1ª interação para VMV ([0 a 300] ucp/h).

E_c	P_c	f_{vp}	f_G	FHP	VOLUME (veic/h)	V_s (ucp/h)
12,7	0,1056	0,45	0,56	0,88	284	1281

Fonte: Da Autora (2023).

Como o valor de 1281 ucp/h deu acima do intervalo estabelecido de [0 a 300] ucp/h para o fluxo de tráfego (V_s), realizou-se uma nova interação considerando o intervalo de]300 a 600] ucp/h. Os valores determinados para cada etapa da segunda interação encontram-se na Tabela 9, assim como o valor calculado para o V_s .

Tabela 9 – Fluxo de tráfego (V_s) na 2ª interação para VMV (]300 a 600] ucp/h).

E_c	P_c	f_{vp}	f_G	FHP	VOLUME (veic/h)	V_s (ucp/h)
12,6	0,1056	0,45	0,84	0,88	284	854

Fonte: Da Autora (2023).

O valor de 854 ucp/h também não se encontra dentro do intervalo estipulado na segunda interação, portanto, realizou-se a última interação considerando o fluxo de tráfego (V_s) acima de 600 ucp/h. Os valores determinados para cada etapa da terceira interação encontram-se na Tabela 10, assim como o valor calculado para o V_s .

Tabela 10 – Fluxo de tráfego (V_s) na 3ª interação para VMV (acima de 600 ucp/h).

E_c	P_c	f_{vp}	f_G	FHP	VOLUME (veic/h)	V_s (ucp/h)
11,8	0,1056	0,47	0,96	0,88	284	716

Fonte: Da Autora (2023).

O valor calculado na terceira interação encontra-se acima de 600 ucp/h, portanto o fluxo de tráfego (V_s), nos 15 minutos mais carregados da hora de projeto, no sentido analisado, foi de 716 ucp/h.

Após encontrado o fluxo de tráfego no sentido de análise, calculou-se o fluxo de tráfego no sentido oposto (v_o) pela Equação (6). Os valores dos fatores foram os mesmos utilizados do cálculo de V_s , pois trata-se de uma análise por sentido do fluxo, sobre a interferência do fluxo

oposto. Os valores determinados para cada parâmetro, assim como o valor calculado para o v_o , encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11 – Fluxo de tráfego (v_o) no sentido oposto para VMV.

E_C	P_C	f_{vp}	f_G	FHP	Volume no sentido oposto (veic/h)	v_o (ucp/h)
11,8	0,1056	0,47	0,96	0,88	187	471

Fonte: Da Autora (2023).

Com o valor do fluxo de tráfego no sentido oposto (v_o) foi possível determinar o fator de ajustamento das zonas proibidas (f_{up}), encontrado na Tabela B. 1, do Anexo B. Como v_o está entre 400 e 600 ucp/h, foram realizadas as devidas interpolações lineares.

Após encontrados todos os parâmetros, calculou-se a Velocidade Média de Viagem (VMV) pela Equação (8). Os valores determinados para cada parâmetro, assim como o resultado do cálculo para VMV, encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12 – Velocidade Média de Viagem (VMV) no trecho em estudo.

FVL (km/h)	V_S (ucp/h)	v_o (ucp/h)	f_{up}	VMV (km/h)
72,5	716	471	3,8	65,6

Fonte: Da Autora (2023).

4.3 Determinação da Percentagem de Tempo Gasto Seguindo (PTGS)

Para a determinação da Percentagem de Tempo Gasto Seguindo (PTGS), assim como na Velocidade Média de Viagem (VMV), primeiramente calculou-se o fluxo de tráfego no sentido de análise (V_S), pela Equação (5).

Porém, na PTGS o fator ajustamento de greide (f_G) e o fator de equivalência de veículos pesados em veículos de passeio (E_C), possuem uma menor influência no fluxo de tráfego, quando comparados com a VMV. A análise de ambos os fatores se dá da mesma forma, mas o f_G é determinado pelo Quadro C. 1, do Anexo C e o E_C pelo Quadro C. 2, do Anexo C, por apresentarem valores diferentes dos da VMV.

No cálculo do fluxo de tráfego para PTGS também houve a necessidade do processo iterativo. As etapas de cada interação foram feitas exatamente iguais as da VMV. Os valores

determinados em cada interação, assim como o valor do fluxo de tráfego para PTGS, encontram-se nas Tabela 13 e Tabela 14.

Como a extensão do trecho é de 4 km realizou-se as devidas interpolações lineares em todas as interações para ambos os fatores.

Tabela 13 – Fluxo de tráfego (V_s) na 1ª interação para PTGS ([0 a 300] ucp/h).

E_c	P_c	f_{vp}	f_G	FHP	Volume (veic/h)	V_s (ucp/h)
1,95	0,1056	0,91	0,67	0,88	284	530

Fonte: Da Autora (2023).

Tabela 14 – Fluxo de tráfego (V_s) na 2ª interação para PTGS ([300 a 600] ucp/h).

E_c	P_c	f_{vp}	f_G	FHP	Volume (veic/h)	V_s (ucp/h)
1,6	0,1056	0,94	0,89	0,88	284	386

Fonte: Da Autora (2023).

Por se tratar de uma análise por um sentido do tráfego, também foi necessário determinar o fluxo de tráfego no sentido oposto (v_o), pela Equação (6). E, assim como foi feito na VMV, os fatores foram os mesmos do fluxo de tráfego no sentido da análise (V_s). Os valores determinados para cada parâmetro, assim como o valor calculado para o v_o , encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15 – Fluxo de tráfego (v_o) no sentido oposto para PTGS.

E_c	P_c	f_{vp}	f_G	FHP	Volume no sentido oposto (veic/h)	v_o (ucp/h)
1,6	0,1056	0,94	0,89	0,88	187	254

Fonte: Da Autora (2023).

Com o valor do fluxo de tráfego no sentido oposto (v_o), determinou-se os coeficientes a e b, encontrados no Quadro C. 3, do Anexo C, e em seguida calculou-se o valor básico da PTGS no sentido analisado (BPTGS_s) pela Equação (11). Os valores determinados para cada parâmetro, assim como o resultado do cálculo do BPTGS_s, encontram-se na Tabela 16. Para os coeficientes a e b realizou-se as devidas interpolações lineares.

Tabela 16 – Valor básico da PTGS no sentido analisado (BPTGS_s)

a	b	V_s (ucp/h)	BPTGS_s
-0,025	0,617	386	62,69

Fonte: Da Autora (2023).

Por fim, determinou-se o ajuste das zonas de ultrapassagens proibidas (f_{up}), para PTGS, encontrado na Tabela C. 1, do Anexo C, e calculou-se a PTGS, pela Equação (13). Os valores determinados para cada parâmetro, assim como o resultado do cálculo da PTGS, encontram-se na Tabela 17.

Tabela 17 – Percentagem de tempo gasto seguindo no sentido analisado (PTGS).

BPTGS_s	f_{up}	PTGS (%)
62,69	40,12	102,69

Fonte: Da Autora (2023).

4.4 Nível de Serviço do Trecho em Estudo

Para determinar o nível de serviço da BR-265 no trecho entre os km 335 a 331, primeiramente comparou-se os resultados dos fluxos de tráfegos no sentido analisado (V_s), encontrados no cálculo da Velocidade Média de Viagem (VMV) e da Percentagem de Tempo Gasto Seguindo (PTGS), com a capacidade máxima para rodovias de Classe I, com sentido único de análise, no valor de 1.700 ucp/h.

Os valores do fluxos obtidos tanto para a Velocidade Média de Viagem, de 716 ucp/h (Tabela 10), quanto para Percentagem de Tempo Gasto Seguindo, de 386 ucp/h (Tabela 14), não excederam o valor máximo da capacidade da rodovia de 1.700 ucp/h.

Isso significa que, o fluxo de veículos, em ucp/h, nos 15 minutos mais movimentados do trecho, na hora de projeto, está dentro da máxima capacidade suportada pela via. Caso os valores excedessem os 1.700 ucp/h o trecho estaria totalmente congestionado e, independentemente da influência de outros fatores, a rodovia já apresentaria o nível de serviço F.

Apenas pelo resultado da Velocidade Média de Viagem, de 65,6 km/h (Tabela 12), o trecho da rodovia já não atingiria o nível de serviço C, como pode ser visto na Tabela 1. O que já apresenta uma situação de fluxo instável, da qual a capacidade do trecho está próxima do seu limite, gerando filas de carros na maior parte do tempo.

Prosseguiu-se então com a análise do nível de serviço em função da Velocidade Média de Viagem (VMV) e da Percentagem de Tempo Gasto Seguindo (PTGS). A princípio essa análise seria feita pelo critério gráfico, como mostrado na Figura 6. Porém, no cálculo da PTGS o valor encontrado já excedeu os 100%, como pode ser visto na Tabela 17.

Portanto, o valor da VMV não influenciaria na determinação do nível de serviço, pois o trecho da rodovia já se encontra saturado, o que leva a um nível de serviço F, da qual a demanda é superior ao que a via pode suportar e os fluxos encontram-se totalmente congestionados.

Nota-se que, pouco pode ser feito, nas condições atuais calculadas, para que o nível de serviço no trecho melhore. Isso porque, as viagens continuarão acontecendo e os tipos de veículos que passam pelo trecho serão dos mais diversos possíveis, além disso as condições topográficas do local são praticamente inviáveis de mudanças. Logo, o fluxo de tráfego da rodovia não é um parâmetro passivo de intervenções para melhorias no nível de serviço.

O único fator que possibilitaria uma melhora no nível de serviço do trecho é fator de ajustamento de largura de faixa e acostamento (f_{fa}). Caso o trecho demonstrasse uma melhor condição dos acostamentos a VFL aumentaria. Esse aumento na VFL levaria a um aumento da VMV e uma redução da PTGS. Porém, pouco seria a alteração no nível de serviço final do trecho, pois como os outros fatores não sofreriam mudança, a relevância dessas alterações seria pequena.

Caso o segmento em estudo apresentasse mais trechos de possibilidades de ultrapassagens, o fator de ajustamento para zonas de ultrapassagens proibidas (f_{up}) seria reduzido, o que contribuiria para um aumento no nível de serviço. Porém, a configuração topográfica do local não permite que isso seja feito. Pois trata-se de um trecho em aclive acentuado, com várias curvas perigosas, além de não apresentar nenhuma segurança para as manobras de ultrapassagens devido à falta de visibilidade no local.

Diante disso, a intervenção mais rápida, a fim de melhorar o nível de serviço do trecho, seria a implantação de uma faixa adicional à direita no sentido de análise.

Considerando os critérios estabelecidos pelo DNER (1999), o segmento em estudo atende à todos os itens que viabilizam essa implantação, como: volume horário, na hora de projeto, de 284 veic/h; presença de 10,56% do tráfego em veículos pesados; nível de serviço F no trecho.

Com a implantação da faixa adicional, o tráfego de veículos lentos que passa pelo trecho seria destinado a ela. Com isso, o número de veículos em filas diminuiria e a velocidade do fluxo aumentaria, conseqüentemente o tempo de viagem seria reduzido.

Além disso, haveria maiores oportunidades de ultrapassagens, pois, com o tráfego de veículos lentos destinados a faixa adicional, a visibilidade dos motoristas, com relação ao fluxo oposto, aumentaria. E, com um menor número de veículos em pelotões, os motoristas teriam uma maior liberdade ao realizarem as manobras de ultrapassagens.

Com uma melhor visão do fluxo oposto as manobras de ultrapassagens seriam realizadas com mais segurança, com isso, o número de acidentes no trecho, vinculados a ultrapassagens indevidas e/ou perigosas, reduziriam.

Portanto, com a faixa adicional a velocidade de fluxo livre (VFL) do trecho aumentaria, assim como a velocidade média de viagem (VMV), e o tempo gasto em filas (PTGS) seria reduzido, logo o trecho entregaria um nível de serviço superior ao calculado e a capacidade da rodovia suportaria a demanda.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por intermédio do Manual de Estudo de Tráfego (DNIT, 2006) e dos estudos realizados, foi possível determinar o nível de serviço do trecho entre os quilômetros 335 e 331, utilizando os dados da contagem de tráfego mista realizada pelo PNCT – DNIT no ano de 2018 na BR – 265.

O resultado encontrado, de acordo com a classificação do DNIT, foi o mais agravante, chegando ao nível de serviço F. Situação preocupante para os motoristas e usuários.

A análise mostrou que o trecho estudado se encontra totalmente sobrecarregado. O tráfego está saturado e os motoristas viajam o tempo todo em pelotões, com velocidades baixas e variadas. Os acostamentos do trecho não estão em condições de uso e o pavimento apresenta várias patologias. Além disso, o perfil íngreme do local, a presença dos veículos pesados e a impossibilidade de ultrapassagens dificultam ainda mais a fluidez do tráfego.

O trecho necessita de intervenções rápidas na sua infraestrutura para que possa atender à demanda da rodovia. Pois, o ano de projeto da rodovia já foi superado, e, até então, não foram feitas melhorias efetivas para que a capacidade da rodovia acompanhasse o aumento da frota de veículos. Por esse motivo, e por atender as condições do Manual de Projeto Geométrico (DNER, 1999), faz-se viável a implantação de faixas adicionais no trecho como uma alternativa rápida e econômica para melhorar a qualidade operacional da rodovia.

Essas permitirão que os veículos pesados tenham uma faixa exclusiva para circulação, o que ajudará na fluidez do tráfego e redução do tempo de viagem. O congestionamento reduzirá e os motoristas terão uma melhor visibilidade para realizarem manobras de ultrapassagens, o que contribuirá para segurança e redução do número de acidentes, principalmente por colisão.

Contudo, os manuais normativos utilizados nos estudos não possuem adaptações para as rodovias e tráfegos brasileiros. Isso resulta, muitas vezes, em análises que não são representativas da realidade, levando a um superdimensionamento dos trechos e, conseqüentemente, a gastos desnecessários. Por outro lado, se o dimensionamento for insuficiente, a capacidade da rodovia não comportaria a demanda total ao longo de seu tempo de projeto. Portanto, torna-se necessário que as autoridades responsáveis promovam adaptações nos manuais já existentes, a fim de garantir uma abordagem mais precisa e eficiente para o cenário brasileiro.

Para trabalhos futuros, recomenda-se que, a contagem do tráfego seja realizada em campo, a fim de obter dados mais atualizados. Em casos que não seja possível realizar a

contagem em campo, pode-se calcular as devidas projeções do volume de tráfego utilizando os dados de 2018 como referência e assim chegar a resultados mais representativos. Além disso, como forma de complementar os estudos, sugere-se a elaboração do projeto geométrico das faixas adicionais.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, G. R. **Capacidade e relação fluxo-velocidade em autoestradas e rodovias de pista dupla paulistas**. 2012. 144p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18144/tde-21062012-103018/publico/GustavoRientedeAndrade.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2023.
- BESSA JR, J. E. **Medidas de desempenho para avaliação da qualidade de serviço em rodovias de pista simples no Brasil**. 2015. 127p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18144/tde-10062015-102520/publico/BessaJr.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2023.
- CNT, Confederação Nacional do Transporte. **O Transporte Move o Brasil**. Brasília, 2022a. Disponível em: <https://cnt.org.br/propostas-cnt-transporte>. Acesso em: 22 mar. 2023.
- CNT, Confederação Nacional do Transporte. **Painel CNT de Consultas Dinâmicas dos Acidentes Rodoviários**. 2023. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/painel-acidente>. Acesso em: 28 abr. 2023.
- CNT, Confederação Nacional do Transporte. **Pesquisa CNT de Rodovias 2022 - Painel**. 2022b. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/painel>. Acesso em: 28 fev. 2023.
- DEMARCHI, S. H. **Análise de capacidade e nível de serviço de rodovias de pista dupla convencionais**. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2003.
- DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro, 1999. 228p.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Apresentação**. 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/acesso-a-informacao/institucional>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **DNIT autoriza início das obras remanescentes da BR-265/MG**. 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/dnit-autoriza-inicio-das-obras-remanescentes-da-br-265-mg>. Acesso em: 24 jun. 2023.
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Manual de Estudo de Tráfego**. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro, 2006. 384p. (IPR. Publ., 723).
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias**. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro, 2010. 282p. (IPR. Publ., 741).
- DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Plano nacional de contagem de tráfego: Contagem contínua**. 2018. Disponível em: <http://servicos.dnit.gov.br/dadospnt/ContagemContinua>. Acesso em: 08 fev. 2023
- EGAMI, C. Y. **Adaptação do HCM-2000 para determinação do nível de serviço em rodovias de pista simples sem faixas adicionais no Brasil**. 2006. 240p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-10022011-105402/publico/CintiaEgami.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023.
- 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. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18144/tde-14092010-093115/publico/Lima2010_vfinal.pdf. Acesso em: 06 mar. 2023.

MELO, R. A.; SETTI, J. R. **Faixas adicionais para aclives de rodovias de pista simples brasileiras**: uma adaptação dos critérios da AASHTO. *Revista Transportes*, v. 11, n. 2, p. 41-28, 2003. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/147/129>. Acesso em: 28 fev. 2023.

MELO, R. A.; SETTI, J. R. **Fluxos mínimos de veículos para implantação de faixas adicionais em aclives de rodovias de pista simples**. *Revista Transportes*, v. 15, n. 1, p. 16-23, 2007. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/43/32>. Acesso em: 24 fev. 2023.

MINAS GERAIS. Governo Estadual. **Rodovias**. 2023. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/pagina/rodovias>. Acesso em: 21 jun. 2023.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Justiça e Segurança Pública. **MG-050 é a ‘rodovia da morte’ de Minas Gerais**. 2015. Disponível em: <http://www.seguranca.mg.gov.br/component/gmg/story/2705-mg-050-e-a-rodovia-da-morte-de-minas-gerais>. Acesso em: 16 abr. 2023.

MON-MA, M. L. **Adaptação do HCM-2000 para rodovias de pista simples com faixas adicionais típicas do estado de São Paulo**. 2008. 160p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-31052022-092929/publico/TeseMonMaMarciaLikaVDef.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2023.

OLIVEIRA, J. K. S. **Adaptação do HCM-6 para análise de rodovias de pista simples sem faixas adicionais no Brasil**. 2021. 99p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/41823/3/Adapta%C3%A7%C3%A3o%20do%20HCM%20para%20rodovias%20de%20pista%20simples%20no%20Brasil%20%282%29.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2023.

RIBEIRO, R. C. **Estudo de nível de serviço e capacidade viária – Método HCM 2010**. 2015. 78p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel – Engenharia Civil) – Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2015. Disponível em: https://bibliotecadigital.uniformg.edu.br:21015/xmlui/bitstream/handle/123456789/305/TCC_RamonCastroRibeiro.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 03 abr. 2023.

RIQUETI, A. C. **Estudo de volume de tráfego e nível de serviço na alta e baixa temporada da rodovia SC-401**. 2019. 92p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel – Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/197517/ilovepdf_merged.pdf?sequence=1. Acesso em: 02 mar. 2023.

SETTI, J. R. A. **Fluxo de veículos e capacidade viária**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 141p. São Carlos, 2001.

SETTI, J. R. *et al.* **Adaptação do HCM2000 para análise da capacidade e do nível de serviço em rodovias de pista simples no Brasil**. *Revista Transportes*, v. 19, n. 2, p. 66-78, 2011. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/510/396>. Acesso em: 25 fev. 2023.

ZANATTA, M. C. **A Influência da Implantação de Faixas Adicionais nas Rodovias Federais da Região Oeste de Santa Catarina**. 2017. 51p. Trabalho de Conclusão (Curso de Pós-Graduação *lato sensu* em Perícia de Acidentes de Trânsito) – Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/826/Marcos_Zanatta.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 30 mar. 2023.

ANEXO A – Fatores de ajustes para VFL

Quadro A. 1 – Ajustamento de larguras de faixa e de acostamento (f_{fa}).

Largura da Faixa (m)	Redução no valor de VFL (km/h) Largura do acostamento (m)			
	$\geq 0,0 < 0,6$	$\geq 0,6 < 1,2$	$\geq 1,2 < 1,8$	$\geq 1,8$
$2,7 < 3,0$	10,3	7,7	5,6	3,5
$\geq 3,0 < 3,3$	8,5	5,9	3,8	1,7
$\geq 3,3 < 3,6$	7,5	4,9	2,8	0,7
$\geq 3,6$	6,8	4,2	2,1	0,0

Fonte: DNIT (2006).

Quadro A. 2 – Ajustamento devido à densidade de acessos (f_A).

Acessos por km (ambos os lados)	Redução em VFL (km/h)
0	0,0
6	4,0
12	8,0
18	12,0
≥ 24	16,0

Fonte: DNIT (2006).

ANEXO B – Fatores de ajustes para VMV

Quadro B. 1 – Fator de ajustamento de greide para estimar a VMV em greides específicos (f_G).

Greide (%)	Fator de ajustamento de greide, f_G			
	Intervalo de fluxo em um sentido v_S (ucp/h)			
	Comprimento (km)	0 – 300	> 300 – 600	> 600
$\geq 3,0 < 3,5$	0,4	0,81	1,00	1,00
	0,8	0,79	1,00	1,00
	1,2	0,77	1,00	1,00
	1,6	0,76	1,00	1,00
	2,4	0,75	0,99	1,00
	3,2	0,75	0,97	1,00
	4,8	0,75	0,95	0,97
	$\geq 6,4$	0,75	0,94	0,95
$\geq 3,5 < 4,5$	0,4	0,79	1,00	1,00
	0,8	0,76	1,00	1,00
	1,2	0,72	1,00	1,00
	1,6	0,69	0,93	1,00
	2,4	0,68	0,92	1,00
	3,2	0,66	0,91	1,00
	4,8	0,65	0,91	0,96
	$\geq 6,4$	0,65	0,90	0,96
$\geq 4,5 < 5,5$	0,4	0,75	1,00	1,00
	0,8	0,65	0,93	1,00
	1,2	0,60	0,89	1,00
	1,6	0,59	0,89	1,00
	2,4	0,57	0,86	0,99
	3,2	0,56	0,85	0,98
	4,8	0,56	0,84	0,97
	$\geq 6,4$	0,55	0,82	0,93
$\geq 5,5 < 6,5$	0,4	0,63	0,91	1,00
	0,8	0,57	0,85	0,99
	1,2	0,52	0,83	0,97
	1,6	0,51	0,79	0,97
	2,4	0,49	0,78	0,95
	3,2	0,48	0,78	0,94
	4,8	0,46	0,76	0,93
	$\geq 6,4$	0,45	0,76	0,93
$\geq 6,5$	0,4	0,59	0,86	0,98
	0,8	0,48	0,76	0,94
	1,2	0,44	0,74	0,91
	1,6	0,41	0,70	0,91
	2,4	0,40	0,67	0,91
	3,2	0,39	0,67	0,89
	4,8	0,39	0,66	0,88
	$\geq 6,4$	0,38	0,66	0,87

Fonte: DNIT (2006).

Quadro B. 2 – Equivalentes em carros de passeio de caminhões para estimar a VMV em subidas específicas (E_C).

Greide (%)	Equivalente em carros de passeio de caminhões, E_C			
	Intervalo de fluxo em um sentido v_s (ucp/h)			
	Comprimento (km)	0 – 300	> 300 – 600	> 600
$\geq 3,0 < 3,5$	0,4	2,5	1,9	1,5
	0,8	3,5	2,8	2,3
	1,2	4,5	3,9	2,9
	1,6	5,1	4,6	3,5
	2,4	6,1	5,5	4,1
	3,2	7,1	5,9	4,7
	4,8	8,2	6,7	5,3
	$\geq 6,4$	9,1	7,5	5,7
$\geq 3,5 < 4,5$	0,4	3,6	2,4	1,9
	0,8	5,4	4,6	3,4
	1,2	6,4	6,6	4,6
	1,6	7,7	6,9	5,9
	2,4	9,4	8,3	7,1
	3,2	10,2	9,6	8,1
	4,8	11,3	11,0	8,9
	$\geq 6,4$	12,3	11,9	9,7
$\geq 4,5 < 5,5$	0,4	4,2	3,7	2,6
	0,8	6,0	6,0	5,1
	1,2	7,5	7,5	7,5
	1,6	9,2	9,0	8,9
	2,4	10,6	10,5	10,3
	3,2	11,8	11,7	11,3
	4,8	13,7	13,5	12,4
	$\geq 6,4$	15,3	15,0	12,5
$\geq 5,5 < 6,5$	0,4	4,7	4,1	3,5
	0,8	7,2	7,2	7,2
	1,2	9,1	9,1	9,1
	1,6	10,3	10,3	10,2
	2,4	11,9	11,8	11,7
	3,2	12,8	12,7	12,6
	4,8	14,4	14,3	14,2
	$\geq 6,4$	15,4	15,2	15,0
$\geq 6,5$	0,4	5,1	4,8	4,6
	0,8	7,8	7,8	7,8
	1,2	9,8	9,8	9,8
	1,6	10,4	10,4	10,3
	2,4	12,0	11,9	11,8
	3,2	12,9	12,8	12,7
	4,8	14,5	14,4	14,3
	$\geq 6,4$	15,4	15,3	15,2

Fonte: DNIT (2006).

Tabela B. 1 – Fator de ajustamento da VMV por ação das zonas de ultrapassagem proibida em segmentos analisados por sentido de tráfego (f_{up}).

(continua)

Fluxo no sentido oposto	Redução da velocidade média de viagem (km/h)				
	Zonas de ultrapassagem proibida (%)				
V_o (ucp/h)	≤ 20	40	60	80	100
VFL = 110 km/h					
≤ 100	1,7	3,5	4,5	4,8	5,0
200	3,5	5,3	6,2	6,5	6,8
400	2,6	3,7	4,4	4,5	4,7
600	2,2	2,4	2,8	3,1	3,3
800	1,1	1,6	2,0	2,2	2,4
1000	1,0	1,3	1,7	1,8	1,9
1200	0,9	1,3	1,5	1,6	1,7
1400	0,9	1,2	1,4	1,4	1,5
≥ 1600	0,9	1,1	1,2	1,2	1,3
VFL = 100 km/h					
≤ 100	1,2	2,7	4,0	4,5	4,7
200	3,0	4,6	5,9	6,4	6,7
400	2,3	3,3	4,1	4,4	4,6
600	1,8	2,1	2,6	3,0	3,2
800	0,9	1,4	1,8	2,1	2,3
1000	0,9	1,1	1,5	1,7	1,9
1200	0,8	1,1	1,4	1,5	1,7
1400	0,8	1,1	1,3	1,3	1,4
≥ 1600	0,8	1,0	1,1	1,1	1,2
VFL = 90 km/h					
≤ 100	0,8	1,9	3,6	4,2	4,4
200	2,4	3,9	5,6	6,3	6,6
400	2,1	3,0	3,8	4,3	4,5
600	1,4	1,8	2,5	2,9	3,1
800	0,8	1,1	1,7	2,0	2,2

Tabela B. 1– Fator de ajustamento da VMV por ação das zonas de ultrapassagem proibida em segmentos analisados por sentido de tráfego (f_{up}).

(conclusão)

Fluxo no sentido oposto	Redução da velocidade média de viagem (km/h)				
	Zonas de ultrapassagem proibida (%)				
V_o (ucp/h)	≤ 20	40	60	80	100
1000	0,8	0,9	1,3	1,5	1,8
1200	0,8	0,9	1,2	1,4	1,6
1400	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4
≥ 1600	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1
VFL = 80 km/h					
≤ 100	0,3	1,1	3,1	3,9	4,1
200	1,9	3,2	5,3	6,2	6,5
400	1,8	2,6	3,5	4,2	4,4
600	1,0	1,5	2,3	2,8	3,0
800	0,6	0,9	1,5	1,9	2,1
1000	0,6	0,7	1,1	1,4	1,8
1200	0,6	0,7	1,1	1,3	1,6
1400	0,6	0,7	1,0	1,1	1,3
≥ 1600	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0
VFL = 70 km/h					
≤ 100	0,1	0,6	2,7	3,6	3,8
200	1,5	2,6	5,0	6,1	6,4
400	1,5	0,8	3,2	4,1	4,3
600	0,7	0,5	2,1	2,7	2,9
800	0,5	0,5	1,3	1,8	2,0
1000	0,5	0,5	1,0	1,3	1,8
1200	0,5	0,5	1,0	1,2	1,6
1400	0,5	0,5	1,0	1,0	1,2
≥ 1600	0,5	0,5	0,7	0,7	0,9

Fonte: Adaptado, DNIT (2006).

ANEXO C – Fatores de ajustes para PTGS

Quadro C. 1 – Fator de ajustamento de greide para estimar a PTGS em greides específicos (f_G).

Greide (%)	Fator de ajustamento de greide, f_G			
	Intervalo de fluxo em um sentido v_S (ucp/h)			
	Comprimento (km)	0 – 300	> 300 – 600	> 600
$\geq 3,0 < 3,5$	0,4	0,81	1,00	1,00
	0,8	0,79	1,00	1,00
	1,2	0,77	1,00	1,00
	1,6	0,76	1,00	1,00
	2,4	0,75	0,99	1,00
	3,2	0,75	0,97	1,00
	4,8	0,75	0,95	0,97
	$\geq 6,4$	0,75	0,94	0,95
$\geq 3,5 < 4,5$	0,4	0,79	1,00	1,00
	0,8	0,76	1,00	1,00
	1,2	0,72	1,00	1,00
	1,6	0,69	0,93	1,00
	2,4	0,68	0,92	1,00
	3,2	0,66	0,91	1,00
	4,8	0,65	0,91	0,96
	$\geq 6,4$	0,65	0,90	0,96
$\geq 4,5 < 5,5$	0,4	0,75	1,00	1,00
	0,8	0,65	0,93	1,00
	1,2	0,60	0,89	1,00
	1,6	0,59	0,89	1,00
	2,4	0,57	0,86	0,99
	3,2	0,56	0,85	0,98
	4,8	1,00	1,00	1,00
	$\geq 6,4$	1,00	1,00	1,00
$\geq 5,5 < 6,5$	0,4	1,00	1,00	1,00
	0,8	1,00	1,00	1,00
	1,2	1,00	1,00	1,00
	1,6	1,00	1,00	1,00
	2,4	1,00	1,00	1,00
	3,2	1,00	1,00	1,00
	4,8	1,00	1,00	1,00
	$\geq 6,4$	1,00	1,00	1,00
$\geq 6,5$	0,4	1,00	1,00	1,00
	0,8	1,00	1,00	1,00
	1,2	1,00	1,00	1,00
	1,6	1,00	1,00	1,00
	2,4	1,00	1,00	1,00
	3,2	1,00	1,00	1,00
	4,8	1,00	1,00	1,00
	$\geq 6,4$	1,00	1,00	1,00

Fonte: DNIT (2006).

Quadro C. 2 – Equivalentes em carros de passeio de caminhões e veículos de recreio para estimar a PTGS em subidas específicas (E_C).

Greide (%)	Equivalente em carros de passeio de caminhões, E_C				
	Intervalo de fluxo em um sentido v_S (ucp/h)				
	Comprimento (km)	0 – 300	> 300 – 600	> 600	$VR_{59}E_{VR}$
$\geq 3,0 < 3,5$	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0
	2,4	1,0	1,0	1,0	1,0
	3,2	1,0	1,0	1,0	1,0
	4,8	1,4	1,0	1,0	1,0
	$\geq 6,4$	1,5	1,0	1,0	1,0
$\geq 3,5 < 4,5$	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0
	2,4	1,1	1,0	1,0	1,0
	3,2	1,4	1,0	1,0	1,0
	4,8	1,7	1,1	1,2	1,0
	$\geq 6,4$	2,0	1,5	1,4	1,0
$\geq 4,5 < 5,5$	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0
	2,4	1,1	1,2	1,2	1,0
	3,2	1,6	1,3	1,5	1,0
	4,8	2,3	1,9	1,7	1,0
	$\geq 6,4$	3,3	2,1	1,8	1,0
$\geq 5,5 < 6,5$	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,6	1,0	1,2	1,0	1,0
	2,4	1,5	1,6	1,6	1,0
	3,2	1,9	1,9	1,8	1,0
	4,8	3,3	2,5	2,0	1,0
	$\geq 6,4$	4,3	3,1	2,0	1,0
$\geq 6,5$	0,4	1,0	1,0	1,0	1,0
	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
	1,6	1,3	1,4	1,6	1,0
	2,4	2,1	2,0	2,0	1,0
	3,2	2,8	2,5	2,1	1,0
	4,8	4,0	3,1	2,2	1,0
	$\geq 6,4$	4,8	3,5	2,3	1,0

Fonte: DNIT (2006).

Quadro C. 3 – Valores dos coeficientes usados na estimativa da PTGS para análise por sentido.

Fluxo no sentido oposto V_0 (ucp/h)	a	b
≤ 200	- 0,013	0,668
400	-0,057	0,479
600	- 0,100	0,413
800	- 0,173	0,349
1000	- 0,320	0,276
1200	- 0,430	0,242
1400	- 0,522	0,225
≥1600	- 0,665	0,199

Fonte: DNIT (2006).

Tabela C. 1 – Fator de ajustamento da PTGS por ação das zonas de ultrapassagem proibida em segmentos analisados por sentido de tráfego (f_{up}).

(continua)

Fluxo no sentido oposto	Redução da velocidade média de viagem (km/h)				
	Zonas de ultrapassagem proibida (%)				
V_0 (ucp/h)	≤ 20	40	60	80	100
VFL = 110 km/h					
≤ 100	10,1	12,2	20,2	21,0	21,8
200	12,4	19,0	22,7	23,8	24,8
400	9,0	12,3	14,1	14,4	15,4
600	5,3	7,7	9,2	9,7	10,4
800	3,0	4,6	5,7	6,2	6,7
1000	1,8	2,9	3,7	4,1	4,4
1200	1,3	2,0	2,6	2,9	3,1
1400	0,9	1,4	1,7	1,9	2,1
≥ 1600	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4
VFL = 100 km/h					
≤ 100	8,4	14,9	20,9	22,8	26,6
200	11,5	18,2	24,1	26,2	29,7
400	8,6	12,1	14,8	15,9	18,1
600	5,1	7,5	9,6	10,6	12,1
800	2,8	4,5	5,9	6,7	7,7

Tabela C. 1– Fator de ajustamento da PTGS por ação das zonas de ultrapassagem proibida em segmentos analisados por sentido de tráfego (f_{up}).

(continua)

Fluxo no sentido oposto	Redução da velocidade média de viagem (km/h)				
	Zonas de ultrapassagem proibida (%)				
V_o (ucp/h)	≤ 20	40	60	80	100
1000	1,6	2,8	3,7	4,3	4,9
1200	1,2	1,9	2,6	3,0	3,4
1400	0,8	1,3	1,7	2,0	2,3
≥ 1600	0,6	0,9	1,1	1,2	1,5
VFL = 90 km/h					
≤ 100	6,7	12,7	21,7	24,5	31,3
200	10,5	17,5	25,4	28,6	34,7
400	8,3	11,8	15,5	17,5	20,7
600	4,9	7,3	10,0	11,5	13,9
800	2,7	4,3	6,1	7,2	8,8
1000	1,5	2,7	3,8	4,5	5,4
1200	1,0	1,8	2,6	3,1	3,8
1400	0,7	1,2	1,7	2,0	2,4
≥ 1600	0,6	0,9	1,2	1,3	1,5
VFL = 80 km/h					
≤ 100	5,0	10,4	22,4	26,3	36,1
200	9,6	16,7	26,8	31,0	39,6
400	7,9	11,6	16,2	19,0	23,4
600	4,7	7,1	10,4	12,4	15,6
800	2,5	4,2	6,3	7,7	9,8
1000	1,3	2,6	3,8	4,7	5,9
1200	0,9	1,7	2,6	3,2	4,1
1400	0,6	1,1	1,7	2,1	2,6
≥ 1600	0,5	0,9	1,2	1,3	1,6

Tabela C. 1– Fator de ajustamento da PTGS por ação das zonas de ultrapassagem proibida em segmentos analisados por sentido de tráfego (f_{up}).

(conclusão)

Fluxo no sentido oposto	Redução da velocidade média de viagem (km/h)				
	Zonas de ultrapassagem proibida (%)				
V_o (ucp/h)	≤ 20	40	60	80	100
VFL = 70 km/h					
≤ 100	3,7	8,5	23,2	28,2	41,6
200	8,7	16,0	28,2	33,6	45,2
400	7,5	11,4	16,9	20,7	26,4
600	4,5	6,9	10,8	13,4	17,6
800	2,3	4,4,1	6,5	8,2	11,0
1000	1,2	2,5	3,8	4,9	6,4
1200	0,8	1,6	2,6	3,3	4,5
1400	0,5	1,0	1,7	2,2	2,8
≥ 1600	0,4	0,9	1,2	1,3	1,7

Fonte: Adaptado, DNIT (2006).