

Emitente :

ARTESP

DIRETORIA DE INVESTIMENTOS - DIN

Resp. Técnico / Projetista

Res. Técnico / Concessionária

Lote :

GERAL

Rodovia :

D E - DER

Trecho :

Verificado - ARTESP

Objeto : PROCEDIMENTO PRÁTICO PARA IMPLANTAÇÃO DE
FAIXAS ADICIONAIS

Aprovado - ARTESP

Documentos de Referência:

Documentos Resultantes:

Observação :

0	01/04/05					
Rev.	Data	Resp.Téc/Proj	Resp. Téc/Conces	DE - DER	Ver - ARTESP	Aprovado - ARTESP

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO.....	2
INTRODUÇÃO	3
1. DEFINIÇÕES E CONCEITOS BÁSICOS.....	4
2. PADRÕES DE EXIGÊNCIA E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DEFINIDAS NOS EDITAIS DE CONCESSÃO.....	6
2.1 A Abordagem Contida nos Editais	6
2.2 Comentários sobre a Abordagem Contida nos Editais	8
2.2.1 Tipos de Faixas Adicionais considerados nos Editais	8
2.2.2 Rampas Ascendentes Acentuadas em Rodovias de Pistas Simples.....	10
2.2.3 Rampas Ascendentes em Rodovias de Múltiplas Faixas e Vias Expressas.	11
3. MANUAIS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS VIGENTES E SUA APLICABILIDADE AOS ESTUDOS PARA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS ADICIONAIS ASCENDENTES	12
3.1 O “Green Book” da AASHTO	12
3.1.1 As Versões do “Green Book”	12
3.1.2 A Aplicabilidade das Versões do “Green Book”	16
3.2 O Manual de Capacidade do TRB	18
3.2.1 As versões do HCM	18
3.2.2 Aplicabilidade das versões do HCM.....	20
4. PROCEDIMENTOS PARA OS ESTUDOS PARA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS ADICIONAIS DE SUBIDA PARA VEÍCULOS LENTOS.....	22
4.1 Rodovias de Pista Simples (duas faixas)	22
4.1.1 Procedimentos para determinação da necessidade de implantação de Faixas Adicionais de Subida em Rodovias de Pista Simples (Duas Faixas)	22
4.1.2 Critérios para a Implantação das Faixas Adicionais de Subida em Rodovias de Pista Simples.....	31
4.2 Rodovias de duas faixas ou mais por sentido – Rodovias de Múltiplas Faixas e Vias Expressas.....	34
4.2.1 Critérios para determinação da necessidade de implantação de faixa adicional ascendente em Rodovias de duas ou mais faixas por sentido.....	34
5. PROCEDIMENTOS PARA OS ESTUDOS DE RAMPAS DESCENDENTES EXTENSAS E DE DECLIVIDADES ACENTUADAS	42
5.1 Procedimentos para a Análise Operacional de segmentos de rampas descendentes em Vias de Duas Faixas.	42
5.2 Procedimentos para a análise operacional de segmentos de rampas descendentes em Vias Expressas e Rodovias de Múltiplas Faixas.....	43
APÊNDICE A – RELAÇÃO MÉDIA PESO / POTÊNCIA DOS VEÍCULOS DA FROTA PEDAGIADA NAS CONCESSÕES DE SÃO PAULO.....	46
APÊNDICE B – CURVAS DE DESEMPENHO E DE REDUÇÃO DE VELOCIDADE.....	47

APRESENTAÇÃO

O presente relatório dá continuidade à sistemática adotada pela **ARTESP**, para consolidação de diretrizes básicas para o desenvolvimento de Projetos Executivos e Estudos de Tráfego elaborados pelas Concessionárias.

Neste sentido, procura explicar e conformar às especificidades apresentadas pelas condições físicas e operacionais das rodovias sob concessão, as metodologias e especificações definidas nos Editais de Licitação e nos Termos Contratuais, referentes à avaliação, fiscalização e padronização dos estudos e projetos desenvolvidos pelas Concessionárias, conforme o consta do Anexo 7 dos Editais do **Programa** de Concessão de Rodovias de São Paulo.

Este relatório apresenta especificamente os **PROCEDIMENTOS PRÁTICOS PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDOS TÉCNICOS E ANÁLISES PARA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS ADICIONAIS EM SEGMENTOS DE RAMPAS ACENTUADAS**, objetivando a padronização de entendimento dos conceitos e uniformização dos critérios de cálculo e apresentação de estudos e projetos para as rodovias concessionadas, especificamente nos segmentos de rampas de declividade e extensão significativas, nos termos dos Editais de Concessão.

INTRODUÇÃO

O presente documento, denominado “PROCEDIMENTOS PRÁTICOS PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDOS TÉCNICOS E ANÁLISES PARA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS ADICIONAIS EM SEGMENTOS DE RAMPAS ACENTUADAS” foi elaborado, em conformidade com o previsto nos Editais de Concessão, com base nas metodologias preconizadas pelos manuais “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets” - o “Green Book” - da American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO) e “Highway Capacity Manual” – o “HCM”, do Transportation Research Board dos Estados Unidos da América (TRB).

Conforme destacado na Apresentação, este documento visa estabelecer uma padronização no entendimento de conceitos, assim como possibilitar, da forma mais prática possível, a uniformização dos procedimentos técnicos para o desenvolvimento dos estudos necessários para a determinação da necessidade para a ampliação de capacidade ou das condições de segurança operacional das rodovias, especificamente em Rampas Acentuadas através da implantação de Faixas Adicionais para Veículos Lentos.

O documento se desenvolve em cinco capítulos técnicos e dois apêndices..

O Capítulo 1 contém definições, termos técnicos e conceitos básicos de elementos de projeto e parâmetros referidos no presente documento.

O Capítulo 2 contém um sumário dos principais Padrões Operacionais relacionados com o objeto do presente documento, conforme exigidos nos Contratos de Concessão, e as Especificações Técnicas a serem adotadas no projeto e operação de Faixas Adicionais em Rampas Acentuadas. Nele são indicadas as seções de referência destes elementos componentes do Edital, incluindo a reprodução dos principais itens dos anexos ao Edital e um Comentário sobre a abordagem da questão da ampliação de capacidade e manutenção das condições de segurança em segmentos de rampas acentuadas.

No Capítulo 3 é referido o conteúdo dos manuais e especificações técnicas contemplados nos Editais de Concessão, mais especificamente do “Green Book” da AASHTO e do manual de capacidade “HCM” do TRB. Nele são abordados o conteúdo essencial e as diferenças encontradas nas diversas versões ou edições destes Manuais, incluindo os critérios recomendados para a implantação de Faixas Adicionais de Subida em Rampas Acentuadas e uma avaliação da Aplicabilidade das diversas versões dos manuais para o projeto e operação de faixas adicionais à luz das condições definidas no Edital, das condições particulares da frota de veículos e das condições de operação na rede concessionada no Estado de São Paulo.

O Capítulo 4 apresenta os procedimentos a serem aplicados em estudos para implantação de faixas adicionais de subida para veículos lentos em rampas acentuadas na rede concessionada. Considera separadamente os casos de Rodovias de Duas Faixas (para dois sentidos) e de Mais de Duas Faixas por sentido, em função de particularidades definidas nos manuais de referência para os dois casos. Este capítulo define procedimentos e condições para a verificação da necessidade de implantação das Faixas Adicionais e para o tratamento dos segmentos iniciais e finais destas faixas.

O Capítulo 5 apresenta os procedimentos a serem aplicados nos estudos para implantação de faixas adicionais em rampas descendentes extensas e de declividade acentuada. São, finalmente, apresentados dois apêndices contendo documentos técnicos de apoio à aplicação dos procedimentos.

1. DEFINIÇÕES E CONCEITOS BÁSICOS

Pista: É a parte da plataforma da estrada compreendida entre as bordas dos acostamentos.

Pista de rolamento: É a parte da pista destinada ao tráfego dos veículos.

Faixa de tráfego: É a parte da pista de rolamento destinada ao tráfego de uma única fila de veículos num só sentido

Faixa adicional para veículos lentos: é aquela destinada ao tráfego de veículos lentos, principalmente caminhões pesados, em rampas ascendentes ou descendentes, íngremes e/ou extensas, e construída, do lado direito da pista de rolamento, de tal maneira que os veículos mais leves e velozes possam utilizar-se da faixa de tráfego normal para ultrapassagem dos veículos lentos. A existência da faixa adicional permite que as ultrapassagens no auge ou no declive acentuado sejam feitas com segurança sem interferência do tráfego de fluxo oposto, no caso de pistas simples, ou sem demoras excessivas, no caso de pistas de mais de duas faixas por sentido. Para isso, os veículos lentos devem utilizar-se da faixa adicional, à direita, até que, terminada a rampa que restringe a velocidade dos veículos pesados, estes possam recuperar sua velocidade normal e retornar à faixa normal.

Inclinação da rampa de um segmento de rodovia existente ou em fase de projeto: É o valor, em percentagem, da relação entre as distâncias vertical e horizontal, entre o início e o final de uma rampa de inclinação longitudinal uniforme. Valores positivos dessa inclinação indicam rampas ascendentes (aclives) e valores negativos indicam rampas descendentes (declives).

Rampas Ascendentes Acentuadas: Rampas com composições de inclinação longitudinal e extensão capazes de provocar redução substancial na velocidade dos veículos pesados típicos, em relação à velocidade mantida pelos veículos leves. Segundo o “Green Book” da AASHTO, são consideradas substanciais as reduções de velocidade de 15 km/h, ou mais.

Rampa simples: É aquela que apresenta inclinação longitudinal uniforme e contínua.

Rampa composta: É aquela formada de vários segmentos de rampas simples de inclinações longitudinais diferentes, podendo, mesmo, incluir entre seus componentes, segmentos em nível ou de inclinação contrária.

Rampa equivalente à uma Rampa Composta: é a rampa simples, de mesma extensão que a rampa composta considerada, cuja inclinação uniforme levaria à uma redução de velocidade, para um veículo pesado típico, igual à que efetivamente ocorre, entre o início e o final da rampa composta. Neste caso, a inclinação da rampa simples equivalente é denominada **Inclinação Uniforme Equivalente**.

Relação Peso x Potência de um veículo: É a relação entre o peso bruto total e a potência nominal do motor do veículo ou composição de veículos, geralmente expressa em termos de kg/kw. Essa relação pode também ser expressa em termos de lb/hp ou cv/t.

Veículo Pesado Típico: É o veículo de projeto para efeito destes procedimentos, cuja relação Peso / Potência é de 180 kg/kw, que equivale a, aproximadamente, 300 lb/hp, ou 7,4 cv/t.

Comprimento crítico de uma rampa: O termo “Comprimento Crítico de Rampa” é usado no Manual da AASHTO para indicar a máxima extensão, de determinada inclinação de rampa, ao longo da qual um Veículo Pesado Típico pode operar com uma redução de velocidade considerada razoavelmente segura. O Manual da AASHTO recomenda adotar como limite para esta redução de velocidade, o valor de até 15 km/h em relação à velocidade mantida pelos veículos leves.

Gráficos de Curvas de Desempenho: Gráficos de eixos cartesianos que apresentam as Curvas de Desempenho do Veículo Pesado Típico para diversas Inclinações Longitudinais das Rampas, para determinação da Velocidade Final de Operação deste veículo, em função da Velocidade de Entrada na Rampa(ordenadas) e da distância percorrida no segmento de rampa (abscissas). Salvo casos excepcionais, devidamente demonstrados, para efeito dos presentes procedimentos, devem ser utilizadas as curvas de desempenho do Veículo de Projeto de 180 kg/kW.

Gráficos de Curvas de Redução de Velocidade - Comprimentos Críticos de Rampa: Gráficos de eixos cartesianos que apresentam as Curvas de Redução de Velocidade do Veículo Pesado Típico, em função da Inclinação Longitudinal das Rampas (ordenadas) e da distância percorrida no segmento de rampa (abscissas). Salvo casos excepcionais, devidamente demonstrados, para efeito dos presentes procedimentos, devem ser utilizadas as Curvas de Redução de Velocidade do Veículo de Projeto de 180 kg/kW.

Níveis de serviço : são padrões de referência qualitativos definidos e utilizados para caracterizar as condições de operação de uma corrente de tráfego, sob o ponto de vista do usuário. Os níveis de serviço representam os diversos estágios de qualidade de fluxo de tráfego, desde o melhor (fluxo livre) até o pior (congestionamento). Para defini-los tecnicamente foram definidos intervalos de valores dos parâmetros físicos que constituem as variáveis básicas envolvidas no fluxo de tráfego, a Velocidade, o Volume (ou Taxa de Fluxo) e a Densidade de tráfego, classificados em seis níveis nomeados através das seis primeiras letras do alfabeto: **A, B, C, D, E e F.**

O conceito de fluxo totalmente livre está associado ao Nível de Serviço **A**, enquanto que o Nível de Serviço **F** foi referido ao conceito de congestionamento completo. Por definição, a **Capacidade** é a Máxima Taxa de Fluxo de Serviço para o Nível de Serviço **E**.

2. PADRÕES DE EXIGÊNCIA E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DEFINIDAS NOS EDITAIS DE CONCESSÃO

2.1 A Abordagem Contida nos Editais

A questão da Ampliação de Capacidade das rodovias concessionadas é abordada no Capítulo I e no ANEXO 7 dos Editais, em diversas seções, dentre as quais foram destacadas as seguintes:

✍ **Seção 20 do Capítulo I - Execução dos Serviços:**

? “Os projetos executivos de que trata este item, inclusive suas revisões e alterações, mesmo durante a execução dos serviços, deverão obedecer normas, padrões e especificações técnicas básicas adotadas pelo CONTRATANTE, vigentes à época da realização da obra, para o mesmo padrão de rodovia”.

✍ **Seção 2.1. do Anexo 7 - Conceitos básicos:**

? “Todos os melhoramentos do sistema deverão atender aos padrões e especificações de operação, projeto e construção do CONTRATANTE. Em caso de divergência no conteúdo dos manuais, normas e especificações, deverão prevalecer os definidos nos documentos mais atuais, aprovados pela CONTRATANTE” (Este item figura em todos os Editais, com exceção dos relativos aos Lotes 1 e 22).

✍ **Seção 2.2. do Anexo 7 - Critérios para Adequação da Capacidade:**

? A CONCESSIONÁRIA realizará obrigatoriamente, revisões anuais de desempenho operacional em conjunto com a CONTRATANTE, visando impedir que qualquer trecho das vias do Sistema venha a superar o nível de Serviço D em mais de 50h/ano, em acordo com os critérios estabelecidos pelo Highway Capacity Manual (“HCM”). Este limite não poderá ser ultrapassado no período da Concessão” (Este item figura em todos os Editais).

✍ **Seção 2.3. do Anexo 7 - Melhoramentos Mínimos. Descrição, Padrões e Especificações**

A Seção 2.3. do Anexo 7 tem quatro redações distintas para os Editais das Concessões contratadas:

? **Redação dos Editais dos Lotes 3, 5, 11, 12.**

? Seção 2.3.8. - Faixas Adicionais Ascendentes (LOTES 3, 5, 11, 12):

? “A CONCESSIONÁRIA deverá implantar sob sua responsabilidade e às suas expensas, faixas adicionais ascendentes sempre que as condições operacionais, conforme indicado no item 2.2, assim exigirem”.

? “Deverão ser seguidos os conceitos do item 2.1”.

? “A implantação dessas faixas deverá atender as recomendações da American Association Of State Highway And Transportation Officials (AASHTO) e do Highway Capacity Manual

(HCM), observando o nível de serviço “D “ no máximo em 50 h/ano como mínimo para cada uma das rodovias e seus equipamentos, e atender aos padrões do CONTRATANTE”.

A ARTESP esclareceu através de Expediente específico que deve ser entendido que o padrão referido corresponde a, no máximo, 50 horas por ano no nível de serviço “E” ou pior.

? Seção 2.3.9. - Faixas adicionais / ... (LOTES 3, 5, 11, 12):

- ? *“Sempre que as condições operacionais, conforme indicado no item 2.2 assim exigir a CONCESSIONÁRIA deverá implantar sob sua responsabilidade e suas expensas, faixas adicionais ou via marginais adequadas”.*
- ? *“Deverão ser seguidos os conceitos do item 2.1”*
- ? *“Os estudos funcionais, bem como o projeto executivo para essas vias deverão seguir as recomendações da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) da HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM) e obedecer aos padrões do CONTRATANTE”.*
- ?

? **Redação dos Editais dos Lotes 6, 8, 9, 10, 13, 20.**

? Seção 2.3.9. - Faixas adicionais/(LOTES 6, 8, 9, 10, 13, 20):

- ? *“A CONCESSIONÁRIA deverá implantar, sob sua responsabilidade e às suas expensas, faixas adicionais ascendentes, em trechos definidos por determinado greide; faixas adicionais contínuas ao longo da rodovia ou em segmentos da via definidos por determinada demanda de tráfego (podendo incluir duplicações com barreira), sempre que as condições operacionais, conforme, indicado no item 2.2. assim exigirem”.*
- ? *“Deverão ser seguidos os conceitos do item 2.1”.*
- ? *“A implantação dessas faixas deverá atender as recomendações da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), e do Highway Capacity Manual (HCM), observando o nível de serviço "D " no máximo em 50 h/ano como mínimo para cada uma das rodovias e seus equipamentos, e atender aos padrões do CONTRATANTE”.*

A ARTESP esclareceu através de Expediente específico que deve ser entendido que o padrão referido corresponde a, no máximo, 50 horas por ano no nível de serviço “E” ou pior.

? **Redação do Edital do Lote 22 - Seção 2.3.8:**

- ? *“A CONCESSIONÁRIA deverá implantar, sob sua responsabilidade e às suas expensas, faixas adicionais, ao longo da rodovia ou em segmentos da via definidos por determinada demanda de tráfego, sempre que as condições operacionais, conforme, indicado no item 2.2. assim exigir”.*
- ? *“Deverão ser seguidos os conceitos do item 2.1”.*
- ? *“A implantação dessas faixas deverá atender as recomendações da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), do Highway Capacity Manual*

(HCM)) observando o nível de serviço "D " no máximo em 50 h/ano como mínimo para cada uma das rodovias e seus equipamentos, e atender aos padrões do CONTRATANTE".

A ARTESP esclareceu através de Expediente específico que deve ser entendido que o padrão referido corresponde a, no máximo, 50 horas por ano no nível de serviço "E" ou pior.

? **Redação do Edital do Lote 1.**

? Seção 2.2.10 - Faixas Adicionais Ascendentes (LOTE 1)

? *Os trechos que dentro do período de CONCESSÃO atingirem nível de serviço D em 50 h/ano, em acordo aos critérios estabelecidos pelo HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM), deverão obrigatoriamente ser objeto de estudos a serem desenvolvidos pela CONCESSIONÁRIA e submetidos ao CONTRATANTE com o objetivo de se definir a melhor alternativa e prazos para implantação.*

? Seção 2.2.11- Faixas Adicionais / (LOTE 1)

? *Os trechos que dentro do período de CONCESSÃO atingirem nível de serviço D em 50 h/ano, em acordo aos critérios estabelecidos pelo HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM), deverão obrigatoriamente ser objeto de estudos a serem desenvolvidos pela CONCESSIONÁRIA e submetidos ao CONTRATANTE com o objetivo de se definir a melhor alternativa e prazos para implantação.*

2.2 Comentários sobre a Abordagem Contida nos Editais

Observa-se que existem quatro abordagens ligeiramente diferentes da questão da implantação de faixas adicionais em rampas nos Editais de Concessão Rodoviária no Estado de São Paulo.

Para os quatro tipos de Edital publicados, está claro que a responsabilidade pela implantação de faixas adicionais é da Concessionária e que a implantação destas faixas deverá atender às recomendações do Highway Capacity Manual (HCM) do TRB – explicitamente para todos os lotes – e da AASHTO – explicitamente todos os lotes, menos para o Lote 1.

Ainda assim, mesmo para o caso do Lote 1, está claro, no item 20.8.1 do Capítulo I do Edital, que, as normas, padrões e especificações técnicas básicas a serem utilizadas são as **adotadas pelo CONTRATANTE**, vigentes à época da realização da obra, para o mesmo padrão de rodovia (destaque em negrito acrescentado neste documento).

O Contratante adota as especificações e recomendações do "Green Book" da AASHTO para o projeto de Faixas Adicionais, o que coloca o contrato do Lote 1 na mesma situação que os demais.

O documento técnico atual tem, como um de seus objetivos, o de esclarecer dentre as fontes e critérios vigentes, quais os que devem ser adotados nos estudos e projetos para a implantação de faixas adicionais em rampas acentuadas.

2.2.1 Tipos de Faixas Adicionais considerados nos Editais

Os Editais fazem distinção entre “Faixas Adicionais Ascendentes” e simplesmente “Faixas Adicionais”, com exceção do Lote 22 em que todas são referidas apenas como “Faixas Adicionais”.

Deve ser considerado que, para todos os contratos, deverá haver distinção no tratamento das Faixas Adicionais Ascendentes em relação ao tratamento dos demais tipos de Faixas Adicionais.

Segundo o Glossário de Termos Técnicos Rodoviários do DNER, as Faixas Adicionais de Subida são definidas como “Faixas Auxiliares destinadas ao trânsito de veículos pesados nas rampas fortemente ascendentes” que aqui serão tratadas como *rampas ascendentes acentuadas*.

As Faixas Adicionais de Subida em Rampas Acentuadas, quando destinadas aos veículos que operam em baixa velocidade são denominadas, em Inglês, de “Climbing Lanes”, que significa Faixas de Subida.

No Manual de Capacidade as rampas acentuadas são denominadas como “Specific Grades”, ou “Significant Grades” incluindo as rampas ascendentes e as rampas descendentes cuja combinação de extensão e inclinação longitudinal têm influência significativa no desempenho dos veículos pesados.

Os Editais citam as “Faixas Adicionais Ascendentes”, as “Faixas Adicionais Contínuas” e as “Faixas Adicionais em Segmentos definidos por determinada demanda”, sendo que não há referência específica às “Faixas Adicionais em Rampas Descendentes”.

Para dirimir quaisquer dúvidas, deve ser entendido que, com exceção das Faixas Adicionais de Subida, a análise da necessidade de implantação de todos os demais tipos de faixa adicional, inclusive das Faixas Adicionais em Rampas Descendentes Acentuadas, deve resultar da *Análise Operacional de Capacidade e Níveis de Serviço*, de acordo com os critérios do “HCM” e com os preceitos definidos no item 2.2 do Anexo 7 dos Editais, conforme fica claro no item 2.2.11 do Edital do Lote 1 e no item 2.3.9 de todos os outros Editais. Estes procedimentos e critérios são, portanto, os definidos no [Relatório nº 42 da EAG - Procedimentos Práticos para Cálculo da Capacidade Viária e Determinação do Nível de Serviço de Operação](#), de Dezembro / 2002.

Para maior facilidade de consulta, um resumo do tratamento a ser dado no caso das faixas adicionais em rampas descendentes é incluído no Capítulo 5 do presente documento.

Desta forma, foi considerado como escopo principal do presente relatório a definição do tratamento a ser dado às Faixas Adicionais de Subida em Rampas Ascendentes Acentuadas, destinadas ao tráfego de veículos pesados, ou seja, as “Cimbing Lanes” conforme denominadas no “HCM” do TRB e no “Green Book” da AASHTO.

Para efeito dos presentes procedimentos, entre as Rampas Ascendentes Acentuadas ocorrentes na rede concessionada, devem ser considerados três casos, definidos no Manual de Capacidade HCM:

- ? Rampas Ascendentes Acentuadas em Rodovias de Pista Simples de Duas Faixas
- ? Rampas Ascendentes Acentuadas em Rodovias de Múltiplas Faixas
- ? Rampas Ascendentes Acentuadas em Rodovias Expressas

2.2.2 Rampas Ascendentes Acentuadas em Rodovias de Pistas Simples

Nas rodovias de pista simples com duas faixas de tráfego, as ultrapassagens são realizadas pela faixa de tráfego de sentido contrário e, por isso, envolvem a questão de segurança criada pelo risco de colisão entre veículos operando em sentidos contrários. Neste caso, para justificar a implantação de uma faixa adicional, a segurança operacional é a questão preponderante a ser considerada, além da questão da suficiência da capacidade do segmento ou do padrão de nível de serviço prevalecente.

2.2.2.1 Caso dos Lotes 6, 8, 9, 10, 13, 20.

Para o caso dos Lotes 6, 8, 9, 10, 13, 20, está explícito no item 2.3.9 dos respectivos Editais que “A CONCESSIONÁRIA deverá implantar, sob sua responsabilidade e às suas expensas, faixas adicionais ascendentes, em trechos definidos por determinado greide”.

Diz ainda que: “A implantação dessas faixas deverá atender às recomendações da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)”.

A redação deste item sugere que as condições do greide, ou seja, a composição dos elementos geométricos (declividades e extensões) da rampa acentuada determinam, de acordo com as recomendações da AASHTO, se nesta rampa deverá ser implantada ou não uma Faixa Adicional para Veículos Lentos.

Como o “HCM” não trata de critérios para determinação do início e final das faixas adicionais, estes são obviamente os definidos no “Green Book” da AASHTO.

2.2.2.2 Caso dos Lotes 1, 3, 5, 11, 12 e 22.

Para estes lotes, a redação dos itens do Capítulo 2 do Anexo 7 que tratam da implantação de faixas adicionais referem-se especificamente ao atendimento do item 2.2 do mesmo Anexo 7 que remetem, ao HCM, a análise da necessidade de aumento de capacidade através da implantação de faixa adicional ascendente.

O Highway Capacity Manual (HCM) de 1994, correspondente à Quinta Impressão da Terceira Edição, que era a versão vigente quando da realização das concorrências públicas para os Contratos de Concessões Rodoviárias no Estado de São Paulo, foi definido como referência para a implantação destas faixas nos Editais de todos os lotes.

Naquela versão do Manual de Capacidade HCM, as rampas íngremes e extensas em rodovias de pista simples (duas faixas) são denominadas “Specific Grades”, e a questão da implantação de faixas adicionais em rampas ascendentes acentuadas é tratada em um item específico do Capítulo 8, denominado “Climbing Lanes”, que se encontra na página 8-20.

Na 4ª Edição do HCM, publicada no ano 2000, esta questão é tratada no item “Directional Segments with Climbing Lanes” na página 20-28.

Em ambos os casos, os critérios adotados pelo “HCM” para a definição da necessidade da implantação de faixas adicionais ascendentes em rodovias de pista simples são os critérios da AASHTO, mais especificamente os definidos no Manual “Green Book” da AASHTO, que são, justamente, os definidos explicitamente no Edital dos Lotes 6, 8, 9, 10, 13, 20, acima citados.

Desta forma, o critério para a definição da necessidade da implantação de faixas adicionais em rodovias de pista simples (duas faixas) é, no final das contas, o mesmo, para todos os Lotes concessionados e corresponde aos critérios da AASHTO do Green Book, de 1994, edição vigente quando da realização dos certames para as concessões.

Como o “HCM” não trata de critérios para determinação do início e final das faixas adicionais, estes são obviamente os definidos no “Green Book” da AASHTO.

2.2.3 Rampas Ascendentes em Rodovias de Múltiplas Faixas e Vias Expressas.

O “Green Book” da AASHTO, em todas as suas versões, apresenta uma seção específica contendo procedimentos para o tratamento de Faixas Adicionais de Subida em Vias Expressas e Rodovias de Múltiplas Faixas, abordando os seus aspectos essenciais.

No “HCM” isto não ocorre.

Apenas a primeira versão da terceira edição do “HCM” (1985) trata especificamente a questão das Faixas Adicionais de Subida para Veículos Lentos (Climbing Lanes) em rodovias de mais de duas faixas por sentido, apresentando (pg. 3-24) uma técnica para o cálculo da capacidade da faixa adicional implantada, não abordando a questão da necessidade de implantação de faixas adicionais deste tipo. Tal técnica caiu em desuso e não é mais apresentada a partir da versão de 1994.

A única outra referência a “Climbing Lanes” em rodovias de mais de duas faixas, no “HCM”, encontra-se na página 7-19 da versão de 1994 (7-18 da versão de 1997/1998), segundo a qual: *“o capítulo 3 contém um procedimento detalhado para projeto e avaliação de Climbing Lanes”*. Uma análise detida do capítulo 3 (que trata de Vias Expressas) daquelas versões revelou que o assunto não é nelas tratado e que a referência, provavelmente, não teria sido retirada no texto do capítulo 7 (que trata de Rodovias de Múltiplas Faixas), quando da revisão para nova impressão.

Em função disso, deve ser entendido que, para o caso de rodovias com mais de duas faixas por sentido, os critérios para implantação de Faixa Adicional de Subida em rampas acentuadas são definidos no “Green Book” da AASHTO, contidos em seção específica do capítulo III, denominada “Climbing Lanes on Freeways and Multilane Highways”.

3. MANUAIS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS VIGENTES E SUA APLICABILIDADE AOS ESTUDOS PARA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS ADICIONAIS ASCENDENTES

Conforme evidenciado no item 2.1 deste documento, os Editais de Concessão definem que implantação das faixas adicionais deverá atender às recomendações da American Association Of State Highway And Transportation Officials (AASHTO) e do Highway Capacity Manual (TRB)

Já foi relatado que as recomendações da AASHTO, são definidas no documento “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”, denominado “Green Book” pela comunidade técnica, e que teve edições publicadas em 1984, 1994, e 2001, com revisões anuais de capítulos específicos a partir de então.

As recomendações do “Highway Capacity Manual”, o “HCM”, estão definidas em versões publicadas em 1994, em 1998 e em 2000, que também tem revisões, periodicamente.

3.1 O “Green Book” da AASHTO

3.1.1 As Versões do “Green Book”

3.1.1.1 O “Green Book” de 1984

O “Green Book” da AASHTO foi publicado pela primeira vez em 1984, incorporando revisões e consolidando, em um documento único, os manuais de Projeto da AASHTO para rodovias rurais (Blue Book), de 1965, e de vias urbanas (Red Book), de 1973, até então, os principais manuais de projeto viário utilizados pela comunidade técnica no Brasil.

No que diz respeito aos critérios para a implantação de faixas adicionais em rodovias rurais, o “Green Book” de 1984 difere pouco do “Blue Book” de 1965, quanto à forma e quanto aos principais conceitos. Porém, os parâmetros adotados, em 1965, para a aplicação dos critérios de necessidade da implantação de faixas adicionais em rampas eram significativamente diferentes dos adotados em 1984.

Estas diferenças se prendiam principalmente às características de desempenho dos veículos comerciais que operavam naquela época, bem como no que diz respeito à redução de velocidade e velocidade final que eram admitidas para a operação em rampas acentuadas sem a necessidade de implantação de uma faixa adicional para ultrapassagem de veículos lentos.

A versão de 1984 mantinha o conceito, definido no “Blue Book”, de que a implantação de uma faixa adicional em um segmento de rampa ascendente acentuada se justificava quando o comprimento desta rampa era superior ao que foi denominado “comprimento crítico” da rampa considerada.

O conceito de comprimento crítico de uma rampa derivou da tentativa de determinar padrões de projeto para “máxima inclinação longitudinal” ou “máximo greide” de rampas, quando se observou que a definição de um “aclive máximo” não constituía, isoladamente, um padrão de projeto suficiente para garantir que a operação dos veículos pesados fosse adequada em determinado segmento de rodovia. Era

necessário considerar, também, a extensão da rampa considerada com determinado aclave em função do desempenho dos veículos que iriam operar naquele segmento.

Neste sentido, o termo “comprimento crítico de rampa” passou a ser usado para indicar a máxima extensão de determinada inclinação de rampa na qual um caminhão carregado pode operar com uma redução de velocidade considerada segura.

Para dada inclinação, comprimentos inferiores ao crítico resultam em variações de velocidade consideradas aceitáveis.

Este critério abrange também o preceito de que, se a manutenção de velocidades razoáveis não é possível, devem ser consideradas a relocação da rampa, com redução de sua inclinação ou a implantação de uma faixa adicional.

O “Green Book” de 1984 apresentava unidades de medidas no Sistema Inglês e considerava a determinação dos comprimentos críticos de rampas segundo os seguintes parâmetros básicos principais:

- ? Relação Peso/Potência do Veículo de Projeto a ser considerado como Caminhão Pesado Típico: 300 lb/HP (180 kg/kW).
- ? Velocidade: Velocidade de Média de Entrada dos caminhões no segmento de rampa (average running speed)
- ? Velocidade mínima admissível para os Caminhões pesados nos segmentos de rampa: Velocidade correspondente a uma redução de 10 mph em relação à Velocidade Média de Operação.

No “Green Book” de 1984 a Velocidade Média de Entrada apresentada nos gráficos de aceleração e desaceleração de veículos pesados típicos é de 55 mph (88 km/h).

De acordo com esta versão do manual, tanto para rodovias de duas faixas como para rodovias de múltiplas faixas, “quando o comprimento crítico de rampa é excedido, deve ser considerada a implantação de uma faixa adicional ascendente para veículos lentos, mais especificamente quando o fluxo (de projeto) é próximo ou igual à capacidade e o fluxo de caminhões é significativo”.

A edição de 1984 considerava a implantação de Faixas Adicionais de Subida (Climbing Lanes) quando a extensão de determinada rampa superasse o seu comprimento crítico desde que o fluxo de tráfego e o percentual de veículos pesados carregados operando neste sentido justificassem economicamente sua implantação. O “Green Book” de 1984 não quantifica, no entanto, o que denominou de “alto volume de tráfego” ou “alto percentual de veículos carregados”.

3.1.1.2 O “Green Book” de 1994

O documento “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”, de 1994 constituiu uma versão métrica do Green Book, com algumas alterações, na forma e no conteúdo, em relação à Edição de 1984, inclusive nos critérios para implantação de faixas adicionais.

Esta segunda edição do documento mantinha o conceito de “comprimento crítico de rampa” e os parâmetros e valores de parâmetros indicados para sua determinação, porém com unidades no Sistema Métrico e valores arredondados para o novo sistema de unidades:

- ? Relação Peso/Potência do Veículo de Projeto a ser considerado como Caminhão Pesado Típico: 180 kg/kw;
- ? Velocidade de Média de Entrada dos Caminhões Pesados Típicos no segmento de rampa (average running speed), definida como 90 km/h no texto, mas apresentada, no eixo das ordenadas, na posição de 88 km/h (correspondente a 55 mph) nos gráficos referenciais (aceleração / desaceleração e comprimento crítico) apresentados no documento; e
- ? Velocidade mínima admissível para os Caminhões pesados carregados nos segmentos de rampa: Corresponde à uma redução de 15 km/h em relação à velocidade operacional dos outros veículos.

Foi mantido o critério de que, tanto para rodovias de duas faixas como para rodovias de múltiplas faixas, “quando o comprimento crítico de rampa é excedido, deve ser considerada a implantação de uma faixa adicional ascendente para veículos lentos, especificamente quando o fluxo (de projeto) é próximo ou igual à capacidade e o fluxo de caminhões é significativo”.

Ou seja, para que se justifique da implantação de Faixas Adicionais de Subida o tráfego da rodovia deve resultar em uma operação característica de fluxo instável (nível D ou E) na hora de projeto e a apresentar uma participação significativa dos veículos pesados carregados em sua composição.

Como o critério acima constitui a conclusão da Seção “Critical Lengths of Grade Design” e se aplica, tanto para rodovias de duas faixas quanto para rodovias de múltiplas faixas, será considerado como premissa para a verificação da necessidade de implantação de Faixas Adicionais de Subida para Veículos Lentos.

? **Faixas Adicionais de Subida em Rodovias de Duas Faixas**

No que diz respeito aos critérios para implantação de faixas adicionais em rampas acentuadas de rodovias de pista simples, a Edição de 1994 passa a explicitar, quantitativamente os procedimentos para avaliação da necessidade e justificativa da implantação de faixas adicionais para os veículos lentos.

O critério definido na pág. 241 da edição de 1.994, segundo o qual, para justificar a implantação de uma “Climbing Lane”, o nível de serviço deve ser próximo ou igual à capacidade, ou seja, o Nível de Serviço deve ser serviço Instável, ou seja, Nível “D” ou “E”, deve ser verificado a priori.

Caso o nível de serviço seja o nível “D”, se aplicam os procedimentos definidos na página 242 da edição de 1994, que consistem em verificar três condições e critérios que refletem considerações técnicas e econômicas e devem ser satisfeitas para justificar a implantação da faixa adicional.

Dentre os três requisitos a serem satisfeitos para justificar a adoção de faixa de subida para veículos lentos, os requisitos 1 e 2 (critérios de demanda), da mesma forma que o nível de serviço “D”, são requisitos necessários, mas não suficientes, enquanto que o terceiro compreende um conjunto de três condições, sendo que qualquer uma delas, ocorrendo em conjunto com os dois requisitos definidos pela AASHTO, é suficiente para justificar a implantação de uma faixa adicional em rampa ascendente.

Requisitos para a Implantação de Faixas Adicionais Ascendentes em Vias de Duas Faixas
1 - Taxa de Fluxo de tráfego, no sentido de subida*, superior a 200 veículos por hora.
2 - Taxa de Fluxo de veículos pesados, no sentido de subida*, superior a 20 veículos por hora.
3 - Existência de uma das seguintes condições: 3.1 - Redução esperada da velocidade, superior a 15 km/h para um caminhão pesado (carregado) típico. 3.2 - Existência de nível de serviço “E” ou “F” na rampa**. 3.3 - Redução em dois ou mais patamares do nível de serviço, na rampa, em comparação com o segmento de aproximação**.

* : A taxa de fluxo de veículos ascendente, neste caso considerada em veículos mistos, é determinada pela multiplicação do volume horário pelo fator de distribuição direcional, do sentido em estudo, e dividido pelo fator de hora pico - FHP.

** : Sob taxas de fluxo em equivalentes características da hora de projeto de acordo com os critérios do “HCM” para rampas específicas de rodovias de duas faixas.

Preservada a premissa de que o nível de serviço na rampa deve ser no mínimo “D”, nos segmentos de rodovias de pista simples em que os critérios de demanda (itens 1 e 2 do quadro acima) são satisfeitos, basta que o comprimento crítico de rampa seja superado para que se justifique a implantação da Faixa Adicional.

Nos casos em que o comprimento crítico de rampa não é superado, a implantação da faixa adicional de subida para veículos pesados será obrigatória nos casos em que o nível de serviço, na hora de projeto, for “E” ou “F”, ou quando houver defasagem de, pelo menos, dois níveis (para pior) em relação ao segmento imediatamente anterior à rampa analisada.

? **Faixas Adicionais de Subida em Rodovias de Mais de Duas Faixas por sentido**

Para o caso de rodovias de mais de duas faixas, as condições definidas no “Green Book”, de 1994, são as seguintes:

(i) A implantação de uma Faixa Adicional de Subida deve ser considerada quando o Comprimento Crítico da Rampa é excedido;

(ii) O Volume de serviço na rampa (em equivalentes carros de passageiros) não pode exceder o Máximo Volume de Serviço característico do Nível de Serviço imediatamente pior ao adotado como padrão de projeto para a rodovia;

(iii) Para rodovias de quatro faixas (duas por sentido), não se considerará a implantação da Faixa Adicional, a menos que o Volume Direcional de Projeto seja igual ou superior a Volumes de Serviço característicos do Nível de Serviço “D” ⁽¹⁾, quando a percentagem de caminhões é normal ⁽²⁾;

Notas do redator:

(1) Qualquer volume acima do Máximo Volume de Serviço característico do Nível de Serviço “C”

(2) Nos estudos e quadros de parâmetros apresentados no “Green Book” da AASHTO, os percentuais de caminhões mais ônibus considerados são de, no máximo, 25%.

(iv) Para rodovias de quatro faixas (duas por sentido), não se justifica a implantação de Faixa Adicional de Subida para veículos lentos quando o Volume de Serviço for menor que 1.000 cp/h.fx (carros de passageiro por hora, por faixa), independente do percentual de caminhões.

Naturalmente, a condição (ii) não se aplica para o caso em que o padrão de projeto ou operação é o Nível de Serviço “D”, uma vez que o pior nível de serviço subsequente seria o Nível “E”.

3.1.1.3 O “Green Book” de 2001

Encontra-se, também, com uso bastante difundido no Brasil, a Edição de 2001 do “Green Book”, em edição que apresenta dimensões e medidas de grandezas físicas e operacionais nos dois sistemas de Unidades utilizados na América do Norte, o Sistema Métrico e o Sistema Inglês.

Para as Seções do Capítulo III que tratam da implantação de faixas adicionais, a redação dos textos técnicos é quase que idêntica à redação da Edição de 1994.

Há, no entanto, diferenças importantes em valores de parâmetros e no Veículo de Projeto adotados que implicam em sensíveis alterações nos resultados dos procedimentos utilizados na definição dos comprimentos críticos de rampa e, por consequência, na definição da necessidade da implantação de faixas adicionais.

O mais importante é a Relação Peso / Potência adotada para o Veículo Pesado Típico e da Velocidade de Entrada a serem consideradas na determinação da perda de velocidade em rampas.

A Relação Peso / Potência do Veículo Pesado Típico é adotada como 120 kg/kW (200lb/HP) na Edição de 2001, ao invés dos 180 kg/kW (300 lb/HP) adotados nas versões de 1984 e 1994.

Tal alteração resultou da verificação de uma sensível evolução de desempenho das unidades de tração dos veículos que operam na rede de rodovias dos países da América do Norte, que já vinha sendo acompanhada desde o “Blue Book” de 1.965, sendo que na Edição de 2001, a AASHTO passou a adotar veículos de melhor desempenho para calcular os comprimentos críticos de rampa.

Nos gráficos de desempenho utilizados para representar as distâncias para aceleração e desaceleração dos veículos pesados típicos a AASHTO passou a adotar a velocidade de 110 km/h, como a velocidade média de marcha dos veículos pesados típicos, no ponto de entrada das rampas.

Como consequência disso, os comprimentos críticos de rampas calculados pelos procedimentos da Edição de 2001 resultam muito mais extensos do que aqueles calculados com os parâmetros adotados no “Green Book” de 1994, embora os critérios para a implantação das Faixas Adicionais de Subida tenham sido mantidos.

3.1.2 A Aplicabilidade das Versões do “Green Book”

A versão do “Green Book” vigente na época das Licitações dos Contratos de Concessão é a de 1994.

Os procedimentos, critérios e parâmetros contidos nesta versão devem ser considerados adequados para as finalidades referidas no Edital e ser utilizados, como referência básica, pelas partes contratantes, em todas as atividades técnicas, análises operacionais, estudos e projetos incluídos nos contratos.

Segundo a Seção 2.1-Anexo 7: *"Todos os melhoramentos do sistema deverão atender aos padrões e especificações de operação, projeto e construção do CONTRATANTE. Em caso de divergência no conteúdo dos manuais, normas e especificações, deverão prevalecer os definidos nos documentos mais atuais, aprovados pelo CONTRATANTE"*

O Contratante não considera adequados os valores de parâmetros de cálculo de comprimento crítico de rampa adotados na versão "Green Book" de 2001 e por isso não aprova sua utilização para efeito da elaboração de estudos e projetos de Faixas Adicionais para Veículos Lentos.

Conforme já relatado, a Edição de 2001, considera a Relação Peso/Potência do Veículo Pesado Típico como 120 kg/kW (200lb/HP), ao invés dos 180 kg/kW (300 lb/HP) definidos nas versões de 1994.

Além disso, os gráficos utilizados para representar as distâncias para aceleração e desaceleração dos veículos pesados típicos passaram a adotar a velocidade de 110 km/h como a velocidade média de marcha destes veículos no ponto de entrada, ao invés dos 88 km/h da Edição de 1994.

? **Relação Peso / Potência a ser utilizada**

O APÊNDICE A, no final dos presentes procedimentos, apresenta os dados finais de um estudo realizado pela EAG da ARTESP, cujos resultados indicam que um caminhão de relação peso / potência de 180 kg/kW pode ser considerado como representativo da média da frota pedagizada nas Concessões Rodoviárias do Estado de São Paulo.

Na falta de informações específicas sobre a composição da frota que opera em cada segmento da rede, podem ser considerados, como Caminhões Pesados Típicos, os veículos de 180 kg/kW, adotados na versão de 1994 do manual da AASHTO, já que esta é a relação peso / potência que melhor se enquadra no perfil da frota que opera na rede concessionada, como fica demonstrado no APÊNDICE A.

Todavia, poderá haver locais em que a utilização desta relação não seja apropriada. Nestes casos, o analista poderá utilizar outras relações peso / potência mais apropriadas, desde que baseadas e amplamente comprovadas através levantamentos de dados e estudos específicos, a serem reportados nos projetos e estudos a serem apresentados à ARTESP.

? **Velocidade de Operação de Caminhões nas Rodovias Concessionadas**

Por orientação do DER/SP, todas as rodovias paulistas, inclusive as concessionadas, têm limitação de velocidade máxima para caminhões que varia de 80 km/h, nas rodovias de pista simples, a 90 km/h, nas rodovias de múltiplas faixas, sendo que existem segmentos concessionados de rodovias de pista dupla em que o limite é de 80 km/h, tanto para caminhões como para automóveis.

A velocidade de operação de veículos pesados poderá exceder a velocidade máxima regulamentada e, segundo estudos reportados pelos "HCM" de 1994 e de 1997/1998, as velocidades médias de operação, quando o fluxo é livre, geralmente excedem em cerca de 8 km/h, as velocidades regulamentadas quando estas são da ordem de 80 a 90 km/h.

No Manual de 1994 as velocidades de entrada nas rampas para efeito da utilização de gráficos de aceleração e desaceleração são assumidas como 88 km/h (55 milhas).

Em nenhuma rodovia concessionada é permitida a operação de caminhões à velocidade de 110 km/h como considerado no "Green Book" de 2001.

Nestas circunstâncias e na falta de dados específicos sobre a velocidade de operação dos veículos pesados (carregados) na aproximação dos segmentos de projeto, deverá ser adotada, como limite da velocidade representativa das velocidades de operação dos caminhões nos pontos de acesso às rampas ascendentes, o valor de 88 km/h, sendo utilizados os Gráficos de Curvas de aceleração e desaceleração e de Redução de Velocidade para determinação de comprimentos críticos de rampas, adotados na versão de 1994.

Todavia poderá haver locais em que a utilização desta velocidade inicial não seja apropriada. Nestes casos, o analista poderá utilizar outras velocidades, mais apropriadas, desde que baseadas e amplamente comprovadas através levantamentos específicos das velocidades de veículos pesados típicos (carregados) a serem reportados nos projetos e estudos de implantação de faixas adicionais apresentados à ARTESP.

Para possibilitar a utilização de velocidades iniciais superiores às consideradas no Manual da AASHTO, são apresentados no APÊNDICE B, ao final do presente documento, os gráficos de desempenho de aceleração e desaceleração em rampas, a serem utilizados para os veículos pesados típicos de 180 kg/kW, para velocidades de 88 km/h e 98 km/h.

3.2 O Manual de Capacidade do TRB

3.2.1 As versões do HCM

3.2.1.1 O "HCM" 1994

A versão vigente à época das licitações é a que corresponde à quinta impressão da terceira edição ("Special Report nº 209"), publicada em outubro de 1994, conhecida como "HCM" 1994.

Os procedimentos, critérios e parâmetros contidos nesta versão podem, de uma maneira geral, ser considerados adequados para as finalidades referidas no Edital e podem ser utilizados, como referência básica, pelas partes contratantes, em todas as atividades técnicas, análises operacionais, estudos e projetos incluídos nos contratos de concessão.

Há, no entanto, uma limitação no "HCM" de 1994, que pode ser considerada importante para sua aplicação nas rodovias concessionadas do Estado de São Paulo.

Trata-se dos valores Fatores de Equivalência de veículos comerciais, dados através de tabelas, em função de faixas de inclinação e extensão de rampas, e que considera como sua faixa superior, as rampas maiores que 6% de inclinação longitudinal, nas rodovias de mais de 4 faixas, e rampas maiores que 7% nas rodovias de pista simples. Isso se explica porque, nos países da América do Norte, as rampas de maior inclinação que estas são muito pouco comuns.

Em função desta limitação, para efeito da determinação de fatores de equivalência de veículos pesados, por exemplo, em rampas de 7% ou de 13%, de mesma extensão, os veículos pesados teriam os mesmos fatores de equivalência.

No programa de concessões paulista, que inclui uma grande quantidade de duplicações paralelas a pistas simples pré-existentes, as rampas íngremes ocorrem em frequência significativa e não estão contempladas nos quadros do manual "HCM".

Para que os cálculos de capacidade e análise de nível de serviço de operação, ou para que os projetos resultem adequados às reais condições de operação em rampas íngremes, é necessário utilizar valores extrapolados a partir dos quadros de fatores de equivalência apresentados no Manual "HCM" de 1994.

3.2.1.2 O "HCM" 1997/1998

Uma nova revisão do manual foi concluída em dezembro de 1997 e publicada, após o início de muitos dos contratos de concessão, em abril de 1998, sendo que esta se constituiu na última impressão da terceira edição do HCM. Esta versão é conhecida tanto como "HCM" 1997, quanto como "HCM" 1998.

A revisão concluída em 1997 foi a mais importante da terceira edição porque incluiu uma extensiva alteração, entre outros, nos Capítulos 3 – Segmentos Básicos de Vias Expressas (Basic Freeway Sections) e 7 – Rodovias de Múltiplas Faixas (Multilane Rural and Suburban Highways).

Estas alterações implicam na alteração dos procedimentos para a análise de níveis de serviço em segmentos específicos de rampas que é utilizado como um dos critérios para a definição da obrigatoriedade de implantação de Faixas Adicionais para Veículos Lentos nestes tipos de rodovia.

Por sua vez, a metodologia para Rodovias de Duas Faixas, Pista Simples, foi mantida inalterada desde a impressão de 1985.

No capítulo referente às Vias Expressas, foi alterado o procedimento de cálculo de capacidade baseado na Densidade de Tráfego, além do que foi introduzido o conceito de que a capacidade sob condições ideais é função da velocidade de fluxo livre.

As alterações publicadas em 1998, executadas sobre a mesma edição (terceira) vigente na época da concorrência para licitação das concessões, foram resultado de uma enorme quantidade de pesquisas e estudos levados a efeito dentro e fora dos Estados Unidos da América e representaram um avanço na metodologia para cálculo de capacidade e análise de níveis de serviço.

3.2.1.3 O "HCM" 2000

No ano 2000, foi publicada a Quarta Edição do HCM, introduzindo alterações principalmente na forma de apresentação, mas também mudanças em alguns parâmetros e procedimentos importantes.

A alteração mais positiva para utilização do "HCM" 2000, no Brasil, foi a publicação de uma versão completa do manual com unidades no sistema métrico. Anteriormente, o manual de 1997 possuía uma impressão com unidades métricas, apenas para as tabelas e gráficos.

A nova edição foi formatada em cinco partes: Resumo, Conceitos, Metodologias, Análise de Corredores e Áreas, e Modelos de Simulação, com um total de 31 capítulos.

No que diz respeito à avaliação da capacidade e níveis de serviço em segmentos de rampas específicas, a parte III do "HCM" 2000 contem as metodologias analíticas que correspondem aos capítulos 3,7 e 8 da terceira Edição, referidos aos diversos tipos de vias ou dispositivos.

As alterações mais importantes quanto ao conteúdo, tendo em vista sua aplicação na implantação de Faixas Adicionais de Subida para Veículos Lentos, são as seguintes:

? Rodovias de Duas Faixas (pista simples): Foi introduzida uma nova metodologia para avaliação de capacidade e análise de níveis de serviço para rodovias de pista simples, considerando fluxos unidirecionais para rampas específicas. Passa a incluir metodologias para análise de segmentos com faixas adicionais implantadas.

? Rodovias de Múltiplas Faixas:

Foram introduzidos novos fatores de equivalência para caminhões. Os novos fatores introduzidos são muito inferiores aos definidos na terceira edição do manual, sendo que em alguns casos foram reduzidos em mais de 50%.

Foi alterada a densidade limite para o nível de serviço "D", de 21 para 22 cp/h.faixa.

? Rodovias Expressas:

Foram introduzidos novos fatores de equivalência para caminhões a exemplo dos definidos para as rodovias de múltiplas faixas.

Foi alterada a densidade limite para o nível de serviço "D", de 20 para 22 cp/h.faixa.

3.2.2 Aplicabilidade das versões do HCM

No Manual de 1997/1998, nem as metodologias definidas, nem os parâmetros de fatores de equivalência de veículos pesados e de restrição da capacidade sofreram alterações significativas e podem ser, por isso, utilizados.

A exemplo do que foi definido para o "HCM"1994, também para o "HCM"1997/1998, para que os cálculos de capacidade e análise de nível de serviço de operação, ou para projetos, resultem adequados às reais condições de operação, em rampas de mais de 7%, será necessário utilizar valores extrapolados a partir dos quadros de fatores de equivalência apresentados no manual.

Segundo o Relatório nº 42 da EAG da ARTESP, não há restrições, com exceção das abaixo formuladas, para a utilização dos conceitos, parâmetros e procedimentos metodológicos da quarta edição (HCM 2000), para efeito de estudos e projetos relativos aos contratos de Concessão, mesmo que a última versão do manual seja mais complacente com os limites máximos de densidade para o nível de serviço D, fato que, na prática, flexibiliza, ligeiramente, o limite admitido como padrão adequado de operação definido contratualmente.

A primeira restrição a ser colocada para a adoção do "HCM" 2000 é relativa à utilização dos fatores de equivalência para veículos comerciais apresentados no manual de 2000.

Desta forma, mesmo que utilizados os procedimentos metodológicos previstos no "HCM" 2000, os fatores de equivalência a usar devem ser os definidos na versão de 1994 que são mais compatíveis com o desempenho dos veículos da frota que opera nas rodovias concedidas, considerando, ainda, que a terceira edição, na versão de 1.994, era a versão vigente do "HCM" quando da licitação para as concessões.

No caso específico das rodovias de pista simples com duas faixas operando em dois sentidos, a metodologia do "HCM" 2000, para análise de níveis de serviço, é totalmente diversa da metodologia da terceira edição do HCM, **versão de 1994, sendo que esta última deverá prevalecer.**

As Concessionárias e Fiscalizadoras poderão, no entanto, optar por apresentar seus estudos contemplando as duas metodologias, para efeito de comparação dos resultados e submetê-las à análise da ARTESP.

Caso se deseje analisar níveis de serviço de rampas ascendentes após a implantação das faixas adicionais, em rodovias de pista simples, a metodologia a ser utilizada é a apresentada no "HCM" 2000, por ser a única edição que trata deste tipo de segmento.

4. PROCEDIMENTOS PARA OS ESTUDOS PARA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS ADICIONAIS DE SUBIDA PARA VEÍCULOS LENTOS

Estes procedimentos para estudos e projetos de Faixas Adicionais de Subida para veículos lentos (Climbing Lanes) estão referidos a dois casos que demandam tratamento específico:

- ? Rodovias de Duas Faixas em Pista Simples
- ? Rodovias de Duas ou Mais Faixas por Sentido (Vias Expressas e Rodovias de Múltiplas Faixas)

Em qualquer caso, primeiramente, há que se selecionar os segmentos a serem analisados.

Não será necessário analisar os segmentos de vias incluídos em trechos com características de Terreno Plano (Level Terrain, conforme os manuais adotados).

Devem ser analisados segmentos em aclive de trechos ondulados ou montanhosos, ou seja, trechos que incluam segmentos com inclinações longitudinais e extensões capazes de provocar uma redução substancial na velocidade dos veículos pesados em relação à velocidade mantida pelos veículos leves.

Nestes trechos devem ser analisados todos os aclives com inclinação de mais de 2%, além dos aclives de inclinação longitudinal menor que 2% que tenham extensão superior a 800 m.

Isto se deve ao fato de que, em aclives como estes, os veículos pesados típicos podem vir a apresentar reduções de velocidade iguais ou maiores do que 15 km/h, de acordo com os padrões de desaceleração previstos no “Green Book” da AASHTO (ver figura III-29, página 239 da edição de 1.994, e Gráficos de Curvas de Redução de Velocidade em função de Inclinação x Distância, do APÊNDICE B).

Para todos os casos, será considerado que a implantação de faixas adicionais, de subida, em rampas ascendentes acentuadas envolve três tipos de critérios:

- ? Critérios para a verificação da necessidade da implantação da faixa adicional,
- ? Critérios para a determinação do ponto de início da faixa adicional, e
- ? Critérios para determinação do ponto final da faixa adicional.

4.1 Rodovias de Pista Simples (duas faixas)

4.1.1 Procedimentos para determinação da necessidade de implantação de Faixas Adicionais de Subida em Rodovias de Pista Simples (Duas Faixas)

Para a verificação da necessidade da implantação de uma faixa adicional em rampa ascendente a ser analisada, com base nos “Requisitos para a Implantação de Faixas Adicionais Ascendentes em Vias de Duas Faixas” apresentados no item 3.1.1.2, acima, devem ser seguidos os seguintes passos:

Passo nº 1 – Verificar o nível de serviço na rampa analisada;

Passo nº 2 – Verificar se as Taxas de Fluxo de Tráfego Total e de Veículos pesados, no sentido da Rampa Ascendente, atende aos Requisitos para a Implantação de Faixas Adicionais Ascendentes em Vias de Duas Faixas;

Passo nº 3 – Determinar o comprimento efetivo e a declividade da Rampa Ascendente;

Passo nº 4 – Calcular o Comprimento Crítico da rampa analisada;

Passo nº 5 – Verificar se o comprimento efetivo da rampa excede o Comprimento Crítico de rampa;

Passo nº 6 – Verificar o nível de serviço no segmento imediatamente anterior à rampa analisada.

4.1.1.1 Passo nº 1 – Verificar o Nível de Serviço na rampa analisada

Conforme reportado anteriormente, o critério básico definido na página 241 da edição de 1.994, segundo o qual, para que se justifique a implantação de uma “Climbing Lane”, o nível de serviço deve ser próximo ou igual à capacidade, ou seja, o nível de serviço deve ser instável, nível D ou E, e deve ser verificado a priori.

Esta premissa é lógica, pois não se justificaria tecnicamente a implantação de uma faixa adicional em uma rampa ascendente em que o nível de serviço na hora de projeto fosse livre (nível A) ou estável (níveis B e C), uma vez que sob estes níveis de serviço, as oportunidades de ultrapassagem de veículos lentos surgem com frequência razoável, desde que haja distância de visibilidade de ultrapassagem suficiente. Caso a distância de visibilidade seja restrita, este fato irá se refletir no cálculo do nível de serviço, fazendo com que o nível de serviço resultante seja tanto pior quanto maior for a restrição de visibilidade.

Em função disso, primeiramente se verifica a condição básica de que o nível de serviço deve ser, o nível “D” ou pior.

Para rodovias de pista simples de duas faixas, o nível de serviço “D” corresponde à condição de fluxo instável em que ambas as correntes de fluxo oposto operam sob altos volumes, de modo que as manobras pela pista de sentido contrário passam a ser muito difíceis e arriscadas e a capacidade de ultrapassagens tende a zero, haja distância de visibilidade ou não, na medida em que o fluxo aumenta. Quando a operação atinge o nível de serviço “E”, as ultrapassagens seguras são impossíveis.

O Nível de Serviço de Operação, no segmento de rampa analisada, deve ser verificado pela metodologia do “HCM” de 1.994 ou 1997/1998, conforme procedimentos e restrições definidos no capítulo 8 (páginas 8-6, 8-8, 8-14 e 8-15 – “Operacional Analysis”), pelos procedimentos de análise operacional.

Alternativamente, poderá ser utilizada a metodologia prevista no capítulo 20 do “HCM” 2000.

Através de uma ou outra versão do “HCM”, o procedimento a ser aplicado dependerá da inclinação e da extensão do alicive analisado.

Para efeito dos presentes procedimentos, caso o nível de serviço resultante da análise seja “A”, “B” ou “C”, não ficará caracterizada a obrigatoriedade da implantação de faixa adicional, independente de outras circunstâncias que possam indicá-las como economicamente viáveis.

Caso o nível de serviço resultante seja o nível “E” ou “F”, estará configurada a condição prevista no Edital para a obrigatoriedade da implantação de ampliação de capacidade no segmento da rampa e não se necessita avaliar a necessidade de faixa adicional pelos critérios da AASHTO.

Apenas para os casos em que o nível de serviço resultante seja o nível “D”, aplicam-se os procedimentos definidos na página 242 do “Green Book” de 1994 da AASHTO, que associadas ao Nível de Serviço de Operação, indicam a necessidade de implantação de faixa adicional de subida em um segmento de rampa ascendente. Tais procedimentos são abordados nos passos a seguir apresentados.

4.1.1.2 Passo nº 2 - Verificação das Taxas de Fluxo de Tráfego

As Taxas de Fluxo Total de Veículos Mistos e a Taxa de Fluxo de Veículos Pesados, no sentido ascendente da Rampa, devem ser calculadas a partir dos dados de Volume da Hora de Projeto, no segmento da rampa analisado.

A taxa de fluxo de veículos mistos, no sentido ascendente, é determinada pela multiplicação do volume horário de tráfego a ser considerado, pelo fator de distribuição direcional “D”, do sentido em estudo, e dividido pelo fator de hora pico – “FHP”, conforme definido no HCM.

A Taxa de Fluxo de Total de Tráfego de Veículos Mistos, no sentido de subida, deve ser superior a 200 veículos mistos / hora.

A Taxa de Fluxo de Veículos Pesados, no sentido de subida, deve ser superior a 20 veículos / hora.

Se a demanda da rampa considerada atende a ambos os requisitos acima, a análise da necessidade da implantação da faixa adicional deve prosseguir.

Se não atende, a implantação da Faixa Adicional não se justifica pelos critérios de demanda.

Para efeito da verificação destes critérios, caso a hora de projeto considerada tenha ocorrido em circunstâncias especiais de operação, que não incluam o tráfego de caminhões, como operações em feriados em que se proíbe o tráfego de veículos pesados, há que se verificar os fluxos de caminhões nas horas ordenadas de demanda similar, classificadas no entorno da 50ª hora, correspondentes a horas de operação normal durante o ano.

4.1.1.3 Passo nº 3 – Determinação do comprimento e da declividade da Rampa Ascendente.

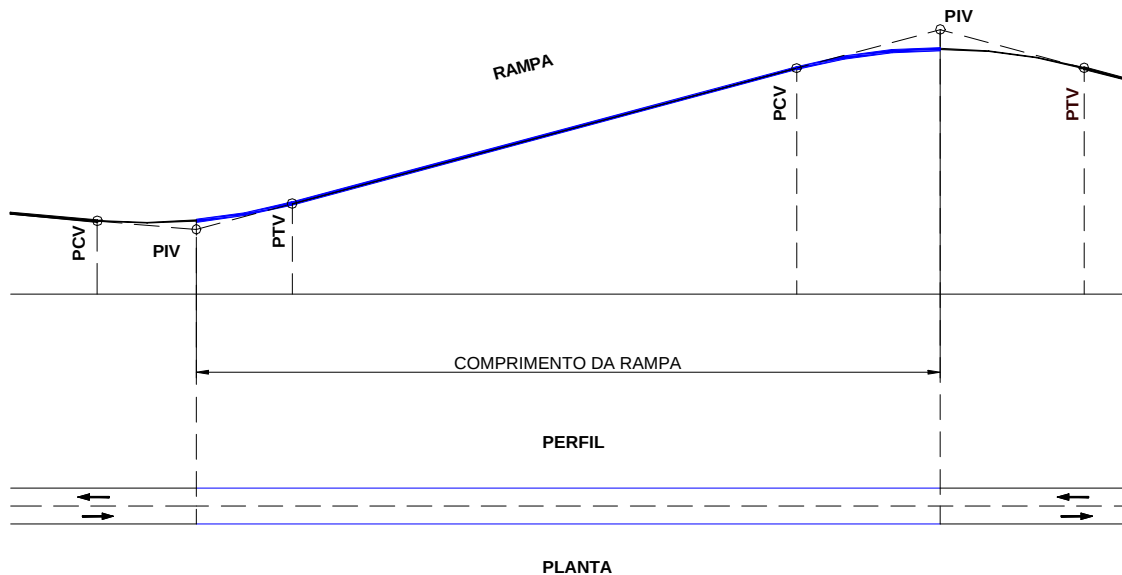
? Determinação do comprimento dos segmentos de rampa

Segundo o “Green Book” de 1994, página 239, há dois casos a considerar.

O primeiro quando não há diferença algébrica significativa entre os greides do próprio segmento de rampa e do segmento que o antecede e, o segundo, quando há uma significativa diferença.

? Se houver pequena variação algébrica entre os greides das rampas adjacentes

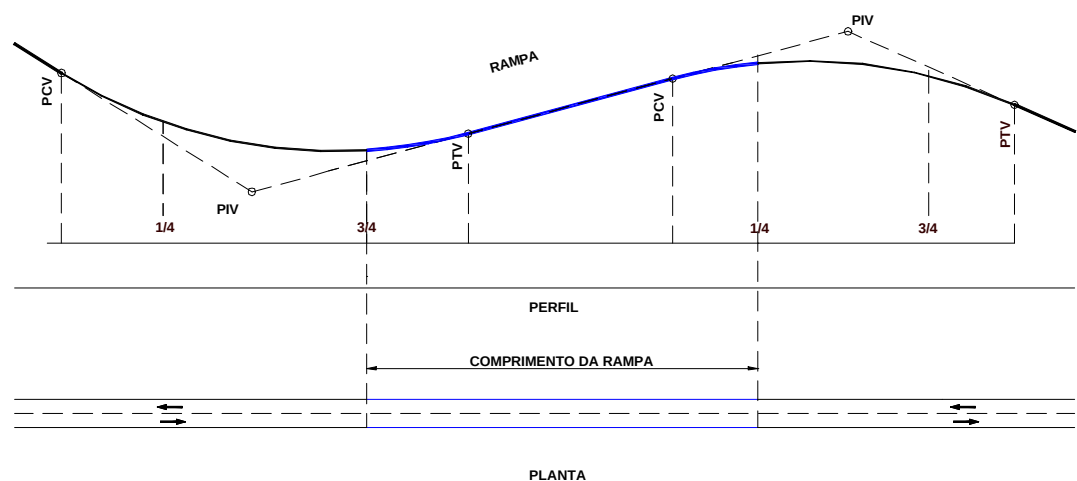
Neste caso, a extensão da curva deve ser considerada a partir da projeção do PI, ou seja, da projeção do ponto de encontro das tangentes que compõem as rampas contíguas, sendo que, este preceito vale tanto para o início da rampa de análise, em relação à rampa anterior, como para o final da rampa em análise, em relação à rampa posterior.



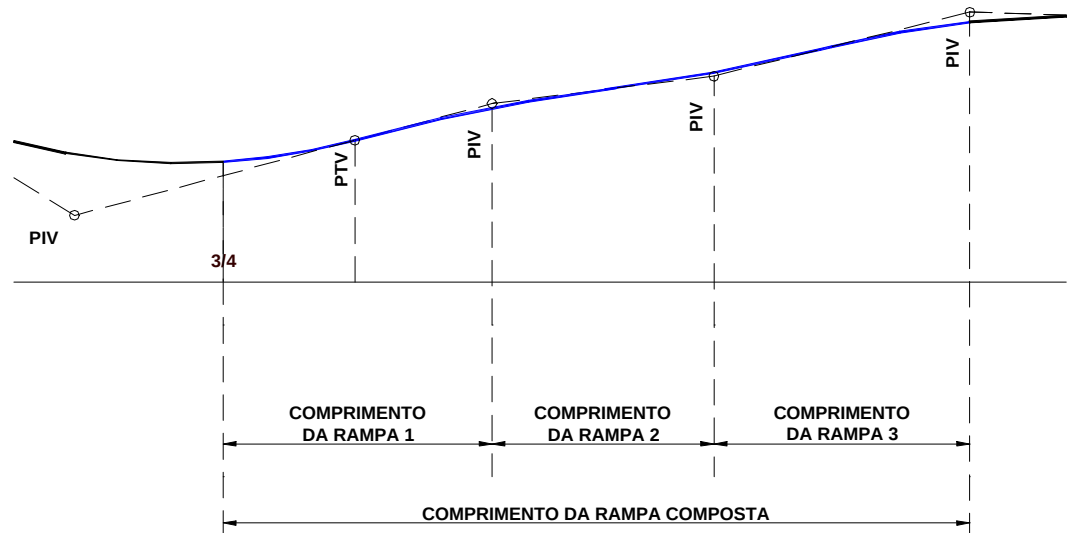
? Se houver grande variação algébrica entre os greides das rampas adjacentes

Neste caso, as rampas são concordadas através de curvas verticais de raio grande, e o comprimento efetivo da rampa deve incorporar $\frac{1}{4}$ da extensão da curva vertical.

Este preceito vale tanto para o início da rampa de análise em relação à curva vertical que a antecede, como para o final da rampa em análise em relação à curva vertical posterior.

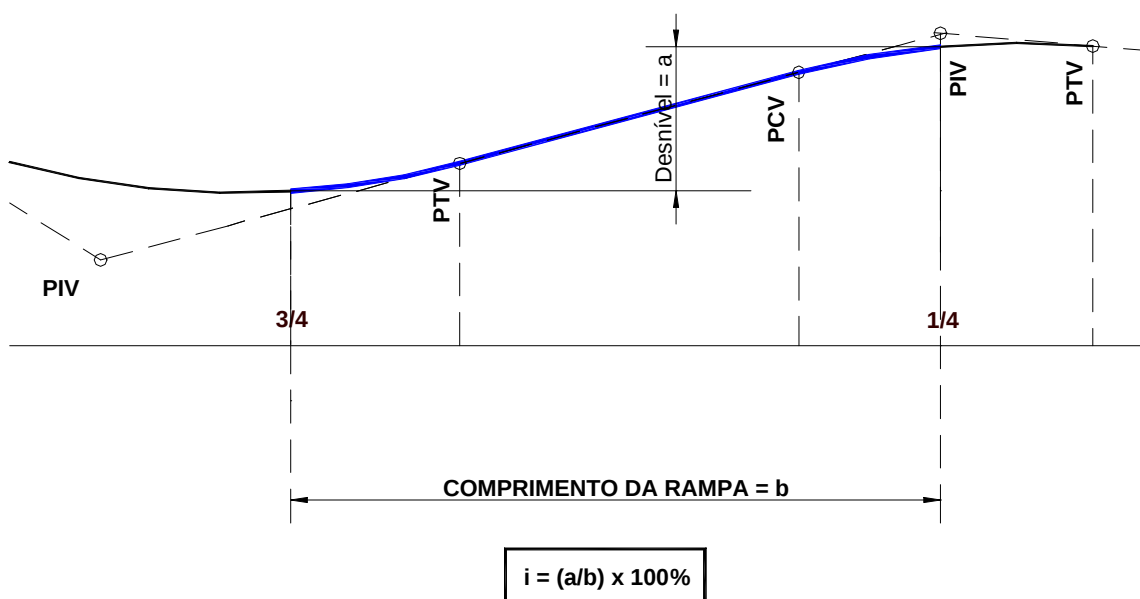


Quando duas rampas de mesmo sentido formam uma rampa composta e são concordadas através de uma curva vertical, metade do comprimento total da curva vertical deve ser incorporada à extensão de cada uma das rampas parciais, para efeito da determinação da extensão das rampas para o processo de cálculo da rampa de inclinação uniforme equivalente.



? Inclinação da Rampa Ascendente em Rampas Uniformes (Simples)

A inclinação a considerar será dada pela razão entre a diferença de cotas entre o início e o fim da rampa considerada e a extensão da projeção vertical do segmento que os une, incluindo os segmentos de curva vertical eventualmente incorporadas às rampas, conforme critérios acima descritos.



? Inclinação Equivalente para Rampas Compostas

Em muitos casos, as rampas ascendentes existentes não são constituídas de um segmento de inclinação longitudinal uniforme desde o ponto baixo até o ponto alto, mas são rampas compostas de segmentos parciais de inclinações diferentes. Estas rampas denominam-se Rampas Compostas.

Toda rampa de subida antecedida por rampa ascendente que tenha inclinação longitudinal superior a 2% (a antecedente), deve ser tratada como rampa composta, incluindo a rampa antecedente.

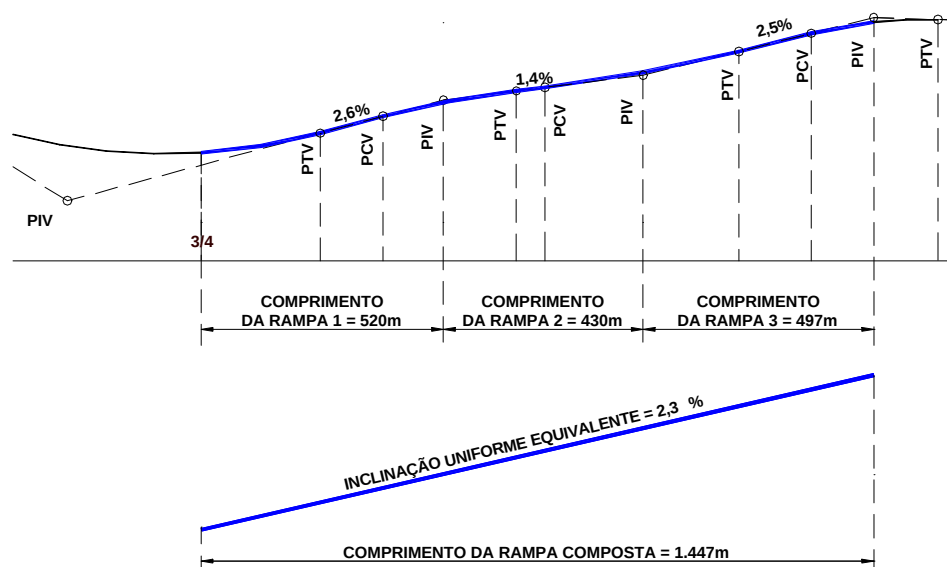
Para analisar a inclinação de uma rampa composta, é utilizado, segundo recomendação do "Green Book" 1994, página 227, o Gráfico de Curvas de Desempenho Velocidade x Distância para desaceleração de Veículos Pesados Típicos, apresentado na Figura III-25(A). O APÊNDICE B, no final do presente documento, apresenta este gráfico de desempenho, adaptado para velocidades (de entrada no segmento de rampa) de caminhões de 88, 93 e 98 km/h

Com os gráficos de desempenho pode ser determinada a distância a ser percorrida por um caminhão, desde o início da subida, a partir de qualquer velocidade inferior a 98 km/h, através de vários segmentos de rampas ou composição de segmentos antes que determinada velocidade seja atingida.

Da mesma forma poderá ser definida a velocidade no final de cada uma das rampas componentes e no término da rampa composta.

Por extensão de conceito, é possível, também, determinar a inclinação equivalente de uma rampa uniforme (isto é: de inclinação ascendente uniforme) de extensão igual à da rampa composta, que provocaria uma velocidade final igual à atingida através da subida pela rampa composta.

Para tanto, devem ser seguidas as instruções contidas no tópico específico apresentado no **APÊNDICE B**, ao final do presente documento.



A Inclinação Uniforme Equivalente da Rampa Composta calculada através deste procedimento deve ser adotada, exclusivamente, para efeito da análise de rampas e implantação de faixas adicionais pelo critério de comprimento crítico de rampa.

Notar que estes procedimentos são baseados nos preceitos do “Green Book” da AASHTO e são diferentes daqueles que devem ser utilizados, segundo os critérios do HCM, para definição de rampas de inclinação uniforme equivalentes, para efeito da análise de Níveis de Serviço.

4.1.1.4 Passo nº 4 – Calcular o Comprimento Crítico da Rampa analisada.

Foi definido na introdução deste capítulo que as rampas potencialmente críticas que devem ser analisadas para a eventual implantação de Faixas Adicionais de Subida para Veículos Lentos são as rampas cujas extensões podem exceder o Comprimento Crítico de Rampa.

Os Gráficos de Curvas de Redução de Velocidade em função da relação Inclinação x Distância, apresentados nas Figuras B.4 a B.6 do APÊNDICE B, ao final do presente documento, bem como os procedimentos para sua utilização contidos no mesmo APÊNDICE, permitem o cálculo dos Comprimentos Críticos de Rampas em função do percentual de inclinação longitudinal e da extensão da rampa (uniforme ou equivalente) para os alicives a analisar.

A extensão e a inclinação efetiva ou equivalente da rampa a analisar resultam da aplicação dos procedimentos correspondentes ao Passo nº 3, acima, possibilitando verificar o respectivo comprimento crítico.

4.1.1.5 Passo nº 5 – Verificar se o Comprimento da Rampa excede o Comprimento Crítico de Rampa.

A velocidade de entrada dos veículos carregados na rampa ascendente é função das condições físicas e operacionais da rodovia, nos segmentos que antecedem a rampa a analisar.

No caso das rodovias de duas faixas da rede concessionada do Estado de São Paulo, a velocidade dos veículos de carga é limitada, por regulamentação, a 80 km/h. Esta constitui uma decisiva limitação operacional para a velocidade dos veículos pesados, em qualquer segmento da rodovia, inclusive na seção de início dos segmentos de rampa ascendente.

A velocidade de operação de veículos pesados poderá exceder a velocidade máxima regulamentada e, segundo estudos reportados pelo “HCM” 1994 e 1997/1998, as velocidades médias de operação, quando o fluxo é livre, geralmente excedem em cerca de 8 km/h, as velocidades regulamentadas quando estas são da ordem de 80 a 90 km/h.

Neste caso, as velocidades médias praticadas pelos veículos pesados provavelmente se situam no entorno dos 88 km/h, velocidade que, por uma coincidência muito conveniente, é a velocidade de entrada adotada nos gráficos de determinação de redução de velocidade e de determinação de comprimento crítico de rampas contidos no “Green Book” de 1994.

Por conta disso, a velocidade média de marcha de 88 km/h será, em princípio, a velocidade de entrada a ser adotada para os veículos pesados em rodovias de duas faixas, em rampas antecedidas por segmentos planos e por segmentos ascendentes de baixa inclinação longitudinal (até 2%).

Toda rampa de subida antecedida por rampa ascendente com inclinação longitudinal superior a 2% deve ser tratada como rampa composta, incluindo a rampa antecedente.

As rampas antecedidas por rampas descendentes acentuadas e longas permitem a aceleração inercial do veículo pesado que poderá atingir velocidades maiores do a velocidade de 88 km/h.

O usuário terá a tendência de aumentar a velocidade do veículo para mais facilmente vencer a rampa ascendente à frente, entre outras circunstâncias, quando não houver controle de velocidade, quando não houver faixa adicional de subida ou quando o início da faixa adicional estiver muito à frente.

No entanto, como há regulamentação de velocidade para caminhões que, pressupõe-se, deve ser controlada na operação da rodovia, deverá ser considerado, no processo de avaliação e no projeto para implantação das faixas adicionais de subida, que a velocidade de entrada, em rampas ascendentes de rodovias de duas faixas, em princípio, para efeito dos presentes procedimentos, é limitada a, no máximo, 88 km/h.

A diretriz de definir a velocidade de 88 km/h como máxima velocidade de entrada na rampa, tem, ainda, entre outras, as seguintes razões:

- ? O conceito de comprimento crítico de rampa, definido nas páginas 235 a 238 do “Green Book” de 1994, corresponde à extensão percorrida por um veículo pesado típico, desde o início da rampa até atingir uma velocidade que seja inferior, em um valor razoável, à velocidade média de operação dos outros veículos, no segmento inicial da rampa. A AASHTO recomenda que este “valor razoável” não seja maior que 15 km/h, por razões de segurança.
- ? Via de regra, por força da regulamentação de velocidades limites imposta pelo DER/SP nas rodovias de pista simples (Velocidade Máxima Regulamentada é de 100 km/h, para veículos leves, e de 80 km/h, para caminhões) há uma inquestionável tendência de que, em qualquer ponto da rodovia, inclusive nos pontos de início das rampas, se verifique uma diferença significativa entre as velocidades de veículos leves e dos veículos pesados. Isto vale para os trechos antecedidos por descidas acentuadas, até porque, não somente os motoristas de caminhões, mas também os condutores de automóveis têm a tendência de aumentar a velocidade dos veículos, apesar dos limites da velocidade regulamentada, nas descidas que antecedem subidas íngremes. Naturalmente há segmentos de rodovias concessionadas em que os limites de velocidade são inferiores a estes, em função de condicionantes específicos, inclusive segmentos em que as velocidades limites de veículos leves e pesados são as mesmas, para os quais não valem as considerações acima formuladas.
- ? No trecho inicial das rampas ascendentes, a perda de velocidade dos veículos pesados é muito maior que a dos veículos leves que praticamente não perdem velocidade nas primeiras centenas de metros de rampa, mesmo para altas taxas de aclave.

- ? Adotando-se o critério de redução de 15 km/h na velocidade dos veículos pesados típicos (veículos carregados), se estará admitindo, na prática, no caso das rodovias paulistas, uma diferença de velocidades (entre veículos leves e pesados) significativamente maior do que os 15 km/h recomendados, até mesmo em casos em que a rampa ascendente é antecedida por rampa descendente.
- ? Em resumo, se, já no ponto de início da rampa, a velocidade de entrada dos caminhões, por força da regulamentação, é da ordem de 20 km/h menor que velocidade dos veículos leves, a velocidade média de marcha do restante do tráfego também será bastante superior à dos veículos pesados e esta diferença aumentará significativamente até o ponto em que a velocidade do veículo pesado típico irá reduzir-se em 15 km/h. Em função disso, não se pode admitir, para o caso de rodovias paulistas, que se considere, mesmo para rampas antecedidas por descidas íngremes e extensas, uma velocidade de entrada maior do que a velocidade de 88 km/h para os veículos pesados, para efeito de cálculo dos comprimentos críticos de rampa.

Caso a extensão da rampa analisada supere o comprimento crítico de rampa correspondente à sua inclinação longitudinal, a rampa deve ser considerada crítica e a implantação de uma Faixa Adicional de Subida para Veículos Lentos será necessária, uma vez que já terá sido verificado que o Nível de Serviço ocorrente na hora de projeto na rampa analisada é “D” ou pior.

Caso contrário, não se justifica a implantação de faixa adicional pelo critério de Redução da Velocidade de Veículos Pesados, devendo ser analisadas as condições relativas ao Nível de Serviço na rampa.

4.1.1.6 Passo nº 6 – Verificar o Nível de Serviço no segmento anterior à rampa analisada

O Nível de Serviço de Operação no segmento anterior ao da rampa analisada deve ser verificado pela metodologia do HCM, conforme procedimentos e restrições definidos no capítulo 8, do “HCM” de 1.994 ou 1997/1998.

De acordo com os Requisitos para a Implantação de Faixas Adicionais Ascendentes em Vias de Duas Faixas, apresentados na página 242 do “Green Book” de 1994 da AASHTO, as condições, associadas ao Nível de Serviço de Operação que indicam a necessidade de implantação de faixa adicional de subida em um segmento de rampa ascendente são:

- ? Redução em dois ou mais patamares de nível de serviço, na rampa, em comparação com o segmento de aproximação.
- ? Existência de nível de serviço “E” ou “F” na rampa

O nível de serviço no segmento de rampa já terá sido calculado no passo nº 1 e, se o Nível de Serviço calculado no segmento anterior situar-se em dois ou mais patamares acima ao do nível da rampa, a Faixa Adicional de Subida para Veículos Lentos deve ser implantada.

Como foi estabelecido como premissa para obrigatoriedade da implantação da faixa adicional, que o nível de serviço na rampa deve ser “D” ou pior, os casos em que se enquadra o critério de “redução de dois níveis de serviço ou mais” são os casos em que os segmentos anteriores operem em nível “A” ou “B”.

4.1.2 Critérios para a Implantação das Faixas Adicionais de Subida em Rodovias de Pista Simples

Para a implantação dos segmentos de Faixas Adicionais de Subida consideradas necessárias, será preciso definir os pontos de início e final das Faixas Adicionais.

Estes pontos normalmente não coincidem com o início e o final das rampas de subida, sendo que tanto o início como o final da faixa adicional geralmente são implantados após o início e o final da rampa de subida.

4.1.2.1 A determinação do Ponto de Início das Faixas Adicionais de Subida em Rodovias de Pista Simples

O ponto de início da faixa adicional é definido em função de dois fatores:

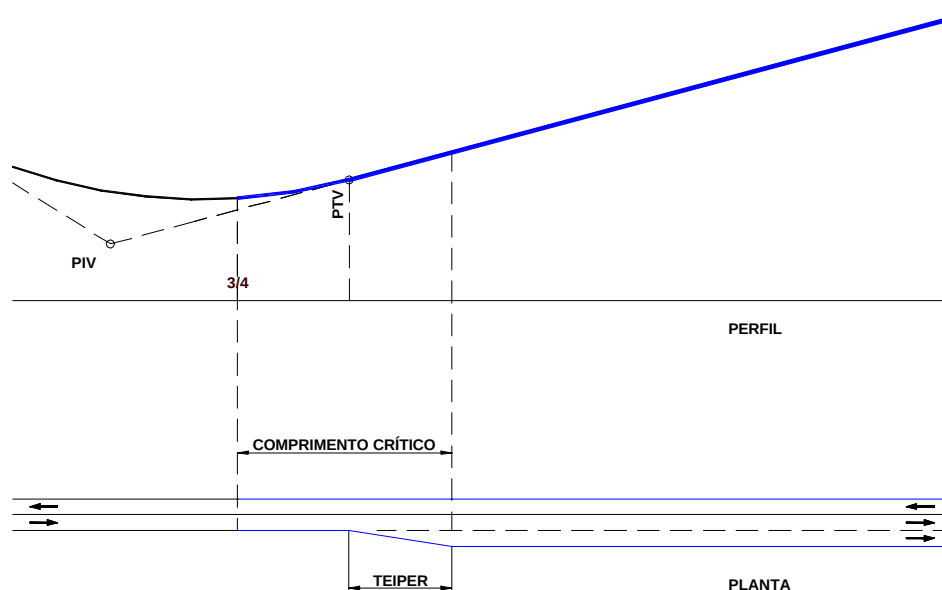
- A Distância de Visibilidade de Ultrapassagem no ponto de início da rampa; e
- A Velocidade de Entrada dos Caminhões na Rampa,

Existem padrões para a determinação de Mínima Distância de Visibilidade em rodovias de duas faixas. Estes padrões são determinados em função da Velocidade Diretriz da Rodovia e estão definidos na Seção 5.3 do Manual de Projeto de Rodovias Rurais do DNER – 1.999.

? Segmentos sem Restrição de Velocidade ou Visibilidade

Quando não existe fator restritivo da velocidade de entrada no início da rampa, o início da faixa adicional deve se dar no ponto em que a velocidade do veículo pesado típico reduz-se em 15 km/h em relação à velocidade de operação dos demais veículos, ou seja, ao final da extensão que corresponde ao comprimento crítico da rampa, calculada no passo nº 4, acima.

O início da rampa para efeito da determinação do início da faixa adicional (com a adição do comprimento crítico) é o ponto definido na seção 4.1.1.3, acima.

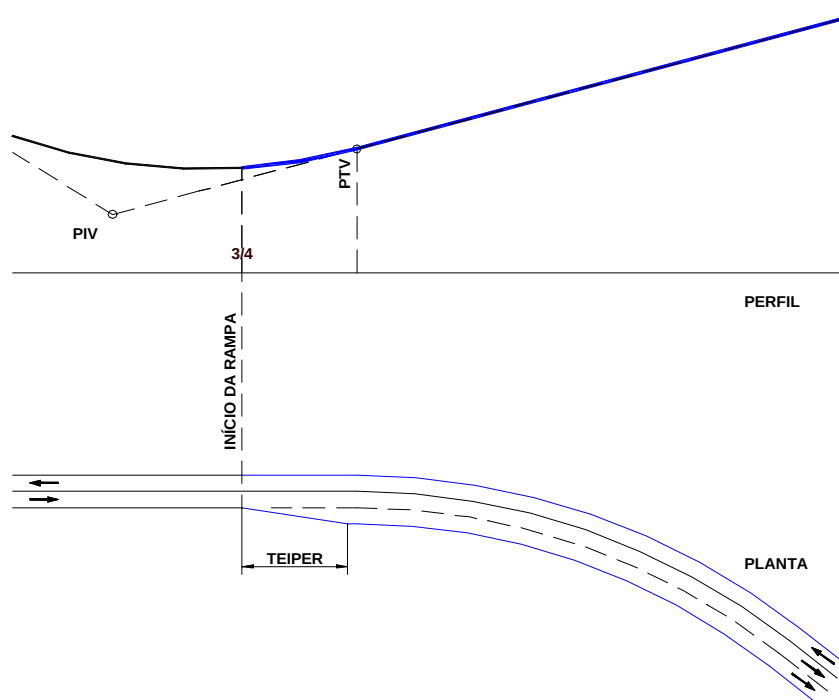


? Segmentos com Restrição de Velocidade ou Visibilidade

Quando a distância de visibilidade de ultrapassagem é insuficiente para a transposição de um veículo no ponto de início da rampa, a transição de largura (teiper) para a faixa adicional deve ser implantada a partir do ponto de início da rampa e a faixa adicional deve se iniciar ao final do trecho de transição da largura. O ponto de início da rampa citado é o ponto definido na seção 4.1.1.3, acima.

Enquadram-se neste caso os segmentos de rampa em que, devido à regulamentação vigente, a velocidade máxima dos caminhões na entrada da rampa ascendente resulta limitada e inferior, em pelo menos 15 km/h, em relação à velocidade regulamentada para os veículos leves.

No caso de rampas compostas cuja primeira rampa componente é uma rampa suave, ao longo da qual a redução de velocidade dos veículos pesados não atinge 15 km/h, o início da faixa adicional poderá ser postergado para o início da segunda rampa componente.



Quando a restrição de visibilidade se inicia em um ponto posterior ao início da rampa e anterior ao ponto que corresponde ao comprimento crítico da rampa, a Faixa Adicional de subida deve iniciar-se no ponto em que se inicia a restrição de visibilidade para ultrapassagem.

Nestes casos, como no anterior, o início da Faixa Adicional deve ser precedido de um trecho de transição de largura da pista com teiper definido conforme Seção 7.3 do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do DNER, assim como os demais elementos de projeto da faixa adicional e acostamento.

4.1.2.2 Determinação do Ponto Final das Faixas Adicionais Ascendentes em Rodovias de Pista Simples

A faixa adicional deve se estender para além do ponto alto da rampa.

É desejável que a faixa adicional termine em um ponto à frente da seção em que o veículo pesado típico atinge uma velocidade de, pelo menos, 15 km/h abaixo da velocidade de operação dos demais veículos que, nesse caso pode ser considerada como a velocidade de fluxo livre no ponto ou mesmo a velocidade diretriz da rodovia. Caso estas velocidades sejam superiores à regulamentada para os caminhões, deve ser adotada a velocidade regulamentada.

A determinação das velocidades do veículo pesado típico deve ser realizada através da aplicação dos Gráficos de Desempenho apresentados no APÊNDICE B.

O término do teiper deverá se situar em um ponto sem restrição de visibilidade para os veículos que operam no sentido contrário e a concordância entre o teiper e a pista existente deve ser realizada de acordo com a boa técnica de projeto geométrico.

Poderá haver casos em que a aplicação dos procedimentos “desejáveis” resulte em distâncias excessivamente longas para além do ponto alto e, portanto, impraticáveis. Nestes casos, a composição da distância e da inclinação do segmento, entre o ponto alto e o final da faixa adicional, deverá garantir a retomada da velocidade do veículo pesado típico para, no mínimo, 60 km/h. Além disso, o ponto final da faixa deverá se dar à frente do ponto em que existe visibilidade de ultrapassagem suficiente, de preferência, a 60 m à frente deste ponto.

O final da Faixa Adicional deve ser seguido de um trecho de transição de largura da pista (teiper).

4.1.2.3 Determinação do Ponto de Análise de Níveis de Serviço nas Faixas Adicionais Ascendentes

De acordo com o Manual de capacidade, para a análise do nível de serviço de rampas de subida de inclinação uniforme, o ponto de interesse é o final da rampa (ponto alto), onde os veículos pesados operam com sua menor velocidade.

Exceção a este caso é o de rampas compostas em que as rampas iniciais são mais íngremes que as subseqüentes e, por isso, presumivelmente, há retomada da aceleração do veículo, em um segmento intermediário da rampa composta. Neste caso, o ponto crítico a analisar é a seção em que se registra a menor velocidade dos veículos pesados ao longo da rampa composta.

Podem ocorrer, ainda, outros fatores de redução de capacidade em conjunção com uma rampa ascendente, como por exemplo, a entrada e saída de fluxos de tráfego, ocasionando manobras de entrelaçamento em um ponto intermediário de uma rampa, podendo ocasionar situações operacionais mais críticas para a capacidade do que as ocorrentes no ponto alto.

4.2 Rodovias de duas faixas ou mais por sentido – Rodovias de Múltiplas Faixas e Vias Expressas

Conforme esclarecido no item 2.2.3 do presente documento, para o caso de rodovias com duas ou mais faixas por sentido, os critérios para implantação de Faixa Adicional de Subida em rampas acentuadas são os definidos no “Green Book” da AASHTO, contidos em seção específica do capítulo III, denominada “Climbing Lanes on Freeways and Multilane Highways”, uma vez que o “HCM” não contém critérios ou procedimentos para isso.

O “Green Book” recomenda que, *“quando o comprimento crítico de rampa é excedido, deve ser considerada a implantação de uma faixa adicional ascendente para veículos lentos, particularmente quando o fluxo (de projeto) é próximo ou igual à capacidade e o fluxo de caminhões é significativo”*.

Ou seja, reforça especialmente a justificativa da implantação de Faixas Adicionais de Subida quando houver ocorrência de um nível de serviço instável na hora de projeto e a participação significativa dos veículos pesados carregados na composição do fluxo. Estes conceitos se refletem nos critérios para a verificação de necessidade de implantação de faixas adicionais.

4.2.1 Critérios para determinação da necessidade de implantação de faixa adicional ascendente em Rodovias de duas ou mais faixas por sentido

Segundo o “Green Book”, da mesma forma que para o caso de rodovias de pista simples, os principais determinantes da necessidade de implantação de faixas adicionais são os comprimentos críticos de rampa e os níveis de serviço ocorrentes nas rampas.

Também, o conceito e o procedimento para determinação do comprimento crítico de rampas em rodovias de múltiplas faixas são os mesmos definidos para o caso de rodovias de duas faixas.

Para as rodovias de múltiplas faixas está explícito no “Green Book” o conceito de que o volume de serviço na rampa não pode exceder o Máximo Volume de Serviço referente ao nível de serviço imediatamente pior que o nível de serviço padrão de projeto ou (por extensão de conceito) de operação da rodovia.

Além disso, o manual da AASHTO afirma que as Faixas de Subida não devem ser consideradas a menos que o fluxo de subida seja maior ou igual ao volume de serviço do nível “D”, ou seja, maior que o máximo volume de serviço do Nível “C” (transição para o nível “D”).

Com base nestas condições e conforme definido em 3.1.1.2, para o caso de rodovias de duas ou mais faixas por sentido, as condições definidas no “Green Book” de 1994, na seção “Climbing Lanes on Freeways and Multilane Highways” são as apresentadas a seguir.

Requisitos para a Implantação de Faixas Adicionais Ascendentes em Vias de Duas ou Mais Faixas por sentido

(i) Quando o Comprimento Crítico da Rampa é excedido por sua extensão, a implantação de uma Faixa Adicional de Subida deve ser avaliada;

(ii) O Volume de serviço na rampa (em equivalentes carros de passageiros) não pode exceder o Máximo Volume de Serviço característico do Nível de Serviço imediatamente pior que o adotado como padrão de projeto para a rodovia. No caso das concessões rodoviárias do estado de São Paulo, o nível adotado como padrão é o nível "D" e, por isso, este critério se torna dispensável, porque, por definição, o Máximo Volume de Serviço do nível imediatamente pior que o nível "D", ou seja, Nível "E", não pode ser superado por se tratar da própria capacidade do segmento. Além disso, não se aplica para o caso em que o padrão de projeto ou operação é o Nível de Serviço "D", caso em que o critério contemplaria a possibilidade de operação no Nível "E", o que não se enquadra nos padrões operacionais contratados nas Concessões do Estado de São Paulo;

(iii) Para rodovias de quatro faixas, não se considerará a implantação da Faixa Adicional de Subida, a menos que o Volume Direcional de Projeto seja igual ou superior ao Volume de Serviço característico do Nível de Serviço "D", quando a percentagem de caminhões é normal.

(iv) Para rodovias de quatro faixas, não se justifica a implantação de Faixa Adicional de Subida para veículos lentos quando o Volume de Serviço for menor que 1.000 cp/h.fx (carros de passageiro por hora, por faixa), independente do percentual de caminhões.

Para a verificação da necessidade da implantação de uma faixa adicional em rampa ascendente a ser analisada, com base nas condições acima, devem ser adotados os seguintes passos:

- ? Passo nº 1 – Nas rodovias de Duas Faixas por Sentido: Verificar se o Volume Direcional na Hora de Projeto supera 1.000 cp/h.fx
- ? Passo nº 2 – Nas rodovias de Duas Faixas por Sentido: Verificar se o Volume Direcional na Hora de Projeto supera a Máxima Taxa de Fluxo de Serviço para o Nível de Serviço "C".
- ? Passo nº 3 – Para rodovias de Duas ou Mais Faixas por Sentido: Verificar se o Volume Direcional na Hora de Projeto supera a Máxima Taxa de Fluxo de Serviço para o Nível de Serviço "D".
- ? Passo nº 4 – Determinar o comprimento e a declividade da Rampa Ascendente
- ? Passo nº 5 – Calcular o Comprimento Crítico da Rampa analisada
- ? Passo nº 6 – Verificar se o Comprimento da Rampa excede o Comprimento Crítico de Rampa

4.2.1.1 Passo nº 1 – Apenas para o caso de rodovias de Duas Faixas por Sentido: Verificar se o Volume Direcional na Hora de Projeto representado pela Taxa de Fluxo de Tráfego no sentido da Rampa Ascendente supera 1.000 cp/h.fx

A verificação desta condição deverá ser realizada de acordo com os procedimentos contidos no Relatório nº 42 da EAG da ARTESP, para efeito do cálculo da Taxa de Fluxo de Serviço no sentido ascendente.

Se a Taxa de Fluxo da Hora de Projeto na rampa supera 1.000 cp/h.fx, atende à condição (iv) apresentada acima e passa-se ao Passo nº 2, no processo de verificação da necessidade de implantação da faixa adicional.

Se não atende, a implantação da Faixa Adicional deve ser desconsiderada uma vez que não se justifica pela condição de demanda mínima.

4.2.1.2 Passo nº 2 – Apenas para o caso de rodovias de Duas Faixas por Sentido: Verificar se o Volume Direcional na Hora de Projeto representado pela Taxa de Fluxo de Tráfego no sentido da Rampa Ascendente supera a Máxima Taxa de Fluxo de Serviço para o Nível de Serviço “C” na Rampa Específica Analisada.

A verificação desta condição deverá ser realizada de acordo com os procedimentos contidos no HCM, para efeito do cálculo da Taxa de Fluxo de Serviço no sentido ascendente.

Para o caso de rodovias de múltiplas faixas, o Nível de Serviço de Operação no segmento de rampa analisada deve ser verificado pela metodologia de Análise Operacional prevista no capítulo 7 do HCM, página 7-15, ou, alternativamente, pela metodologia prevista no capítulo 21 do “HCM”2000, com as restrições definidas na seção 3.2.2 do presente documento.

Através de uma ou outra versão do “HCM”, o procedimento a ser aplicado dependerá da inclinação e da extensão do aclave analisado.

Se a Taxa de Fluxo ou a Densidade de Tráfego resultante supera os máximos parâmetros previstos para o Nível “C”, o nível de serviço na rampa é o nível “D”, atende à condição (iii) apresentada acima e passa-se ao Passo nº 3, no processo de verificação da necessidade de implantação da faixa adicional.

Se não atende, a implantação da Faixa Adicional não se justifica pela condição de demanda mínima.

4.2.1.3 Passo nº 3 – Para o caso de rodovias de duas ou mais faixas por sentido, verificar se o Volume Direcional na Hora de Projeto representado pela Taxa de Fluxo de Tráfego no sentido da Rampa Ascendente supera a Máxima Taxa de Fluxo de Serviço para o Nível de Serviço “D” na Rampa Específica Analisada.

A verificação desta condição deverá ser realizada de acordo com os procedimentos citados na seção anterior e já realizados no procedimento previsto no passo nº 2.

Trata-se de uma variação da verificação da condição (ii) acima, uma vez que o pior padrão operacional admitido, nos termos do contrato de concessão, para a Hora de Projeto (50ª hora ordenada) é o nível de serviço “D”.

Caso a Taxa de Fluxo de Serviço esperada para a Hora de Projeto supere a Máxima Taxa de Fluxo para o Nível ‘D’, no segmento de rampa considerado, o aumento de capacidade é obrigatório.

Neste caso, se fará a opção entre a implantação de uma Faixa Adicional para os Veículos Lentos ou de uma ampliação na seção transversal da rodovia.

A Faixa Adicional de Subida para Veículos Lentos deverá ser implantada quando a ampliação de capacidade necessária se limitar ao segmento de rampa analisado, não envolvendo os segmentos viários contíguos, ao mesmo tempo em que a quantidade de Veículos Lentos no sentido ascendente for significativa.

No caso em que a Taxa de Fluxo de Serviço não supera a Máxima Taxa de Fluxo de Serviço do Nível de Serviço “D”, mas supera a Máxima Taxa de Fluxo de Serviço do Nível de Serviço “C”, a ampliação de capacidade na rampa específica será considerada se for excedido o comprimento crítico de rampa, conforme procedimentos definidos nos próximos passos.

4.2.1.4 Passo nº 4 – Determinação do comprimento e da declividade da Rampa Ascendente.

? Determinação do comprimento dos segmentos de rampa

O procedimento a ser aplicado é o mesmo recomendado para rampas em rodovias de pista simples, apresentado no tópico de mesmo nome do item 4.1.1.3.

? Inclinação da Rampa Ascendente em Rampas Simples

O procedimento a ser aplicado é o mesmo recomendado para rampas em rodovias de pista simples, apresentado no tópico de mesmo nome do item 4.1.1.3.

? Inclinação da Rampa Ascendente em Rampas Compostas

O procedimento a ser aplicado é o mesmo recomendado para rampas em rodovias de pista simples, apresentado no tópico de mesmo nome do item 4.1.1.3.

4.2.1.5 Passo nº 5 – Calcular o Comprimento Crítico da Rampa analisada.

Deve ser entendido que as rampas potencialmente críticas que devem ser analisadas para a eventual implantação de Faixas Adicionais de Subida para Veículos Lentos são as rampas cujas extensões podem exceder o comprimento crítico de rampa, dependendo da velocidade de entrada dos caminhões pesados no segmento de rampa ascendente.

No APÊNDICE B são apresentados os Gráficos de Curvas de Redução de Velocidade em função da Inclinação e Extensão de Rampas, para velocidades de entrada de 88 a 98 km/h, bem como os procedimentos para o cálculo dos Comprimentos Críticos de Rampas em função do percentual do aclave (uniforme ou equivalente) e da extensão da rampa.

A extensão efetiva e a inclinação da rampa a analisar resultam da aplicação do procedimento correspondente ao Passo nº 4, acima, possibilitando calcular o respectivo comprimento crítico.

4.2.1.6 Passo nº 6 – Verificar se o Comprimento da Rampa excede o Comprimento Crítico de Rampa.

A velocidade de entrada dos veículos carregados na rampa ascendente é função das condições físicas e operacionais da rodovia, nos segmentos que antecedem a rampa a analisar.

No caso das rodovias de mais de duas faixas, por sentido, da rede concessionada do Estado de São Paulo, a velocidade dos veículos de carga é limitada, por regulamentação, a, no máximo, 90 km/h, mas existem segmentos em que a velocidade máxima regulamentada para veículos pesados é menor do que esta.

A limitação da máxima velocidade dos veículos pesados em um patamar muito inferior à velocidade máxima dos veículos leves constitui uma decisiva limitação operacional para os veículos pesados, em qualquer segmento da rodovia, inclusive na seção de início dos segmentos de rampa ascendente.

Na prática, no entanto, a velocidade de operação de veículos pesados poderá exceder a velocidade máxima regulamentada e, segundo estudos reportados pelo "HCM" 1994 e 1997/1998, as velocidades médias de operação, quando o fluxo é livre, geralmente excedem, em cerca de 8 km/h, as velocidades regulamentadas quando estas são da ordem de 80 a 90 km/h.

Neste caso, as velocidades médias praticadas pelos veículos pesados poderão se situar no entorno dos 98 km/h, velocidade que supera a velocidade de entrada adotada nos gráficos de determinação de redução de velocidade e de determinação de comprimento crítico de rampas contidos no "Green Book" de 1994.

Apesar disso, para os segmentos com velocidade máxima de caminhões regulamentada em 90 km/h, a velocidade média de marcha de 98 km/h será, em princípio, a velocidade de entrada a ser adotada para os veículos pesados em rodovias de mais de duas faixas por sentido, em rampas antecedidas por segmentos planos e por segmentos ascendentes de baixa inclinação longitudinal (até 2%).

As rampas de subida antecedidas por rampas ascendentes de inclinação longitudinal superior a 2% devem ser tratadas como rampas compostas que incorporem a rampa antecedente.

As rampas antecedidas por rampas descendentes acentuadas e longas permitem a aceleração inercial do veículo pesado que poderá atingir velocidades maiores do que a velocidade de 98 km/h.

O usuário terá a tendência de aumentar a velocidade do veículo para mais facilmente vencer a rampa ascendente à frente, entre outras circunstâncias, quando não houver controle de velocidade, quando não houver faixa adicional de subida ou quando o início da faixa adicional estiver muito à frente.

No entanto, o analista deverá, em princípio, considerar, no processo de avaliação e no projeto para implantação das faixas adicionais de subida, que a velocidade de entrada, em rampas ascendentes de rodovias de duas faixas, é limitada a um máximo de 98 km/h.

Esta diretriz tem, entre outras razões, para o caso específico das rodovias Paulistas, em função das seguintes considerações:

- ? O conceito de comprimento crítico de rampa, definido nas páginas 235 a 238 do “Green Book” de 1994, corresponde à extensão percorrida por um veículo pesado típico, desde o início da rampa até atingir uma velocidade que seja inferior, em um valor razoável, à velocidade média de operação do restante do tráfego, no segmento inicial da rampa. A AASHTO recomenda que este “valor razoável” não seja maior que 15 km/h, por razões de segurança.
- ? Via de regra, por força da regulamentação de velocidade imposta pelo DER/SP nas rodovias de pista duplicada (Velocidade Máxima Regulamentada é de 110 km/h a 120 km/h, para veículos leves, e de 90 km/h, para caminhões) há uma inquestionável tendência de que, em qualquer ponto da rodovia, inclusive nos pontos de início das rampas, se verifique uma diferença significativa entre as velocidades de veículos leves e dos veículos pesados (da ordem de 20 km/h ou mais). Isto vale, também, para os trechos antecedidos por descidas acentuadas, até porque, não somente os motoristas de caminhões, mas também os condutores de automóveis têm a tendência de aumentar a velocidade dos veículos, apesar dos limites da velocidade regulamentada, nas descidas que antecedem subidas íngremes. Naturalmente há segmentos de rodovias duplicadas concessionadas em que os limites de velocidade são inferiores a estes em função de condicionantes específicos, inclusive segmentos em que as velocidades limites de veículos leves e pesados são as mesmas, para os quais não valem as considerações acima formuladas.
- ? No trecho inicial das rampas ascendentes, a perda de velocidade dos veículos pesados é muito maior que a dos veículos leves, que mais facilmente mantêm sua velocidade nas primeiras centenas de metros de rampa, mesmo para altas taxas de acentuação.
- ? Exceto para os casos em que a velocidade máxima regulamentada para automóveis e caminhões é a mesma, adotando-se o critério de redução de 15 km/h na velocidade dos veículos pesados típicos (veículos carregados), se estará admitindo, na prática, no caso das rodovias paulistas, uma redução significativamente maior do que os “15 km/h abaixo da velocidade média de operação do restante do tráfego”, até mesmo em casos em que a rampa ascendente é antecedida por rampa descendente.
- ? Em resumo, exceto nos segmentos em que as velocidades de veículos leves e pesados são as mesmas, a velocidade de entrada dos caminhões, já no ponto de início da rampa, por força da regulamentação, é da ordem de 20 km/h menor

que velocidade dos veículos leves, a velocidade média de marcha dos outros veículos também será bastante superior à dos veículos pesados e esta diferença aumentará significativamente até o ponto em que a velocidade do veículo pesado típico irá reduzir-se em 15 km/h. Em função disso, não se pode admitir, para o caso de segmentos de rodovias em que há diferença significativa entre as velocidades regulamentadas para autos e caminhões, que se considere, mesmo para rampas antecedidas por descidas íngremes e extensas, uma velocidade de entrada maior do que a velocidade de 98 km/h para os veículos pesados, para efeito de cálculo dos comprimentos críticos de rampa.

Caso a extensão da rampa analisada supere o comprimento crítico de rampa correspondente à sua inclinação longitudinal, a rampa deve ser considerada crítica e a implantação de uma Faixa Adicional de Subida para Veículos Lentos é necessária, quando o Nível de Serviço ocorrente na hora de projeto na rampa analisada é o nível de serviço "D" ou pior.

Caso contrário, não se justifica a implantação de faixa adicional pelo critério de Redução da Velocidade de Veículos Pesados.

4.2.1.7 A determinação do Ponto de Início das Faixas Adicionais Ascendentes em Rodovias de mais de duas faixas por sentido

O ponto de início da faixa adicional é definido em função da Velocidade de Entrada dos Caminhões na Rampa e da inclinação da mesma.

? Segmentos sem Restrição de Velocidade de Entrada na Rampa

Quando não existe fator restritivo da velocidade de entrada no início da rampa, o início da faixa adicional deve se dar no ponto em que a velocidade do veículo pesado típico reduz-se em 15 km/h em relação à velocidade de operação dos demais veículos, ou seja, ao final da extensão que corresponde ao comprimento crítico da rampa, calculada no passo nº 5, acima.

O início da rampa para efeito da determinação do início da faixa adicional (com a adição do comprimento crítico) é o ponto definido pelos critérios contidos na seção 4.1.1.3.

? Segmentos com Restrição de Velocidade

Quando existe significativa restrição de velocidade para os veículos pesados em relação à velocidade dos veículos leves, a transição de largura (teiper) para a faixa adicional deve ser implantada a partir do ponto de início da rampa (ponto baixo) e a faixa adicional deve se iniciar ao final do trecho de transição da largura.

Enquadram-se neste caso os segmentos de rampa em que, devido à regulamentação vigente, a velocidade máxima dos caminhões na entrada da rampa ascendente resulta limitada e inferior, em pelo menos 15 km/h, em relação à velocidade regulamentada para os veículos leves.

No caso de rampas compostas cuja primeira rampa componente é uma rampa suave, ao longo da qual a redução de velocidade dos veículos pesados não

atinge 15 km/h, o início da faixa adicional poderá ser postergado para o início da segunda rampa componente.

Em ambos os casos, o início da Faixa Adicional deve ser precedido de um trecho de transição de largura da pista com teiper definido conforme Seção 7.3 do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do DNER, assim como os demais elementos de projeto da faixa adicional e acostamento.

4.2.1.8 Determinação do Ponto Final das Faixas Adicionais Ascendentes

A faixa adicional deve se estender para além do ponto alto da rampa.

É desejável que a faixa adicional termine em um ponto à frente da seção em que o veículo pesado típico atinge uma velocidade de, pelo menos, 15 km/h abaixo da velocidade de operação dos demais veículos que, nesse caso pode ser considerada como a velocidade de fluxo livre no ponto ou mesmo a velocidade diretriz da rodovia. Caso estas velocidades sejam superiores à regulamentada para os caminhões, deve ser adotada a velocidade regulamentada.

A determinação das velocidades do veículo pesado típico deve ser realizada através da aplicação dos Gráficos de Desempenho apresentados no APÊNDICE B.

O término do teiper deverá se situar em um ponto em que a concordância entre o teiper e a pista existente possa ser realizada de acordo com a boa técnica de projeto geométrico.

Poderá haver casos em que a aplicação dos procedimentos “desejáveis” resulte em distâncias excessivamente longas para além do ponto alto e, portanto, impraticáveis. Nestes casos, a distância e inclinação do segmento entre o ponto alto e o final da faixa adicional deverá garantir a retomada da velocidade do veículo pesado típico para, no mínimo, 60 km/h.

O final da Faixa Adicional deve ser seguido de um trecho de transição de largura da pista com teiper definido conforme Seção 7.3 do Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do DNER.

4.2.1.9 Determinação do Ponto de Análise de Níveis de Serviço nas Faixas Adicionais Ascendentes

Considerar as mesmas recomendações contidas no item 4.1.2.3

5. PROCEDIMENTOS PARA OS ESTUDOS DE RAMPAS DESCENDENTES EXTENSAS E DE DECLIVIDADES ACENTUADAS

Segundo o “Green Book” da AASHTO, as rampas descendentes íngremes, podem, a exemplo das ascendentes, ter um efeito degradante sobre a capacidade e a segurança das rodovias que têm altos fluxos de tráfego e muitos caminhões pesados.

Aquele manual da AASHTO, todavia, não estabelece critérios para estas condições em rodovias de pista simples, reportando-se aos critérios estabelecidos pelo “HCM”, para o caso das rodovias duplicadas.

Em função disso, a avaliação da necessidade de implantação de faixas adicionais em Rampas Descendentes Acentuadas, deve resultar da *Análise Operacional de Capacidade e Níveis de Serviço*, a ser desenvolvida de acordo com os critérios do Highway Capacity Manual e com os preceitos definidos no item 2.2 do Anexo 7 dos Editais de Concessão.

5.1 Procedimentos para a Análise Operacional de segmentos de rampas descendentes em Vias de Duas Faixas.

? Declives Suaves

As versões do “HCM” de 1994 e 1997/1998 não dão tratamento especial a rampas descendentes para efeito de análise de capacidade e níveis de serviço.

Destaca, no entanto, que para declives suaves, assim definidas, no HCM, as rampas de inclinação igual ou menor que 3%, a operação é comparável à dos segmentos planos, sendo que para estes, a análise de segmentos de rampas descendentes é desenvolvida com base na metodologia adotada para análise de segmentos planos, ou seja, não é necessário desmembrar a rampa descendente de um segmento extenso (segmento genérico) para efeito da avaliação de capacidade e de níveis de serviço.

A análise dos segmentos em declive suave é desenvolvida com base na metodologia adotada para análise de segmentos genéricos, em terreno plano, conforme metodologia do HCM, com procedimentos e restrições definidos no capítulo 8, páginas 8-7 e 8-14 – “Operational Analysis of General Terrain Segments”, do HCM de 1.994 ou 1997/1998.

? Declives Severos

Segundo a terceira edição do HCM, nas versões de 1994 e 1997/1998, nos declives severos (acentuados e extensos) a operação corresponde aproximadamente a um “meio termo” entre a operação no plano e na rampa ascendente de mesmas condições físicas (mesmas inclinação, extensão e seção), e operacionais (mesma demanda e percentagem de veículos pesados).

Aquelas versões do HCM, no entanto, não definem o que seria uma rampa descendente severa, nem o que quer dizer “meio termo”, da mesma forma que não sugerem um procedimento de cálculo a ser aplicado para o caso da análise operacional de rampas descendentes severas.

Em função disso, não há alternativa senão aplicar os procedimentos de análise de segmentos direcionais de rampas descendentes contidos no Manual “HCM” 2.000.

Neste caso, os parâmetros de cálculo a serem adotados devem ser os do “HCM” 2.000, e a avaliação deverá ser feita para todos os segmentos de descida com declividade de 3% ou mais, ao mesmo tempo em que, com extensão igual ou maior que 1 km.

Os procedimentos a serem aplicados são os descritos no Capítulo 20 do “HCM” 2000, contidos nas páginas 20 -14 a 20 - 22.

Nos casos em que os parâmetros de velocidade ou tempo perdido apontarem Nível de Serviço pior do que o Nível D, a faixa adicional para veículos pesados deverá ser implantada em toda a extensão da rampa descendente, antecedida e sucedida por teipers de comprimento equivalente aos definidos para as rampas ascendentes, no presente documento.

5.2 Procedimentos para a análise operacional de segmentos de rampas descendentes em Vias Expressas e Rodovias de Múltiplas Faixas.

Segundo o “HCM” versão de 1994 e versão 1997/98, a análise deverá ser realizada para:

- ? Declives de vias de múltiplas faixas com mais de 4% de inclinação e mais de 3.200 metros de extensão.
- ? Declives de vias expressas com mais de 4% de inclinação e mais de 6.400 metros de extensão.

Também para as rampas descendentes de rodovias de duas ou mais faixas por sentido, a análise de capacidade requer que o segmento analisado tenha condições homogêneas de tráfego e da rodovia.

Caso ocorram rampas como as acima, o segmento deve ser seccionado e realizada análise pelo procedimento específico para segmentos de rampa íngremes, para a pista descendente.

Recomenda-se que a análise específica de rampas descendentes, para efeito da determinação da necessidade de implantação de faixas adicionais, deva ser feita através dos procedimentos das versões da Terceira Edição do HCM, as versões de 1994 e 1997/1998.

Considerando que, de acordo com o Regulamento da Concessão, a monitoração das condições de tráfego nas rodovias são serviços delegados de competência específica da Concessionária, e que é obrigação da Concessionária dispor dos dados de volume e velocidade nos diversos segmentos homogêneos da rede, os passos a serem adotados para a determinação de níveis de serviço de segmentos homogêneos de vias expressas ou rodovias de múltiplas faixas são os seguintes:

Passo 1: Selecionar os Dados Básicos:

- ✍ No caso de demanda manifesta, os Volumes de Tráfego Classificado (V) e Velocidades Médias Operacionais (S) – considerando apenas a velocidade dos

automóveis - para as horas a serem analisadas no segmento analisado (normalmente, todas as horas do ano de análise)

- ✍ Fator de Pico Horário para horas e dias de características similares aos analisados ou, diretamente, as taxas de fluxo das horas a serem analisadas;
- ✍ No caso de análise de demanda potencial, futura, com dados projetados, os parâmetros de Volume de Tráfego classificado projetados para a hora de projeto para o ano de projeto;
- ✍ Características dos motoristas usuários;
- ✍ Características da rodovia: quantidade e dimensões de faixas, acostamentos e faixas livres laterais, declividade e extensão das rampas.

Passo 2: Selecionar as rampas descendentes elegíveis para análise dentre os segmentos homogêneos.

Passo 3: Determinar a Velocidade de Fluxo Livre (FFS) do segmento em análise, com base nos dados de velocidade de veículos leves para os horários de baixa demanda, ou com base no procedimento teórico a partir da Velocidade Básica de Fluxo Livre, conforme definido no HCM. A partir da FFS são identificados os limites dos parâmetros de Densidade a ser utilizados para análise do Nível de Serviço dos Segmentos (Tabela 3.1 do “HCM” 1994 ou 1997/1998, para vias expressas e tabela 7.1 do “HCM” 1994 ou 1997/1998, para vias de Múltiplas Faixas).

Passo 4: Converter os fluxos horários (V) em taxas de fluxo de serviço (v_p), a partir dos volumes horários e dos Fatores de Pico Horário (PHF) levantados em campo ou considerados para o ano de projeto.

Passo 5: Determinar os fatores de ajuste e equivalência da taxa de fluxo (f_{HV} e f_p). A determinação dos fatores de veículos pesados (f_{HV}) para cada nível de serviço é realizada considerando os fatores de equivalência de veículos pesados (caminhões ou ônibus) para declives acentuados. Para Vias Expressas, conforme Tabela 3-6 do “HCM” 1994 ou da tabela 3-5 do “HCM” de 1997/1998 e, para Vias de Múltiplas Faixas, conforme Tabela 7-10 do “HCM” 1994 ou 1997/1998.

Passo 6: Determinar o valor ajustado da Taxa de Fluxo (v_p) para a hora a ser analisada.

Passo 7: Para o caso de análise de demanda atual, determinar a Densidade de tráfego (D) através da relação entre a Taxa de Fluxo de Serviço (v_p) ajustada e Velocidade Média Operacional (S) para o conjunto de horas do período analisado, definido a 50ª hora (Hora de Projeto) de maior demanda.

Passo 8: Para o caso de análise de demanda atual, comparar a densidade resultante com os limites de densidade para cada nível de serviço, determinando o nível de serviço característico da operação para a hora analisada para o segmento analisado. Para o caso de análise para situação futura, considerar a relação entre a Taxa de Fluxo para a Hora de projeto e a Máxima de Taxa de Fluxo de Serviço correspondente ao Nível de Serviço D, e comparar a relação v/c

resultante com os limites para cada nível de serviço, determinando o nível de serviço característico da operação para a hora de projeto para o segmento analisado.

Nos casos em que os parâmetros de avaliação apontarem Nível de Serviço pior do que o Nível D, a faixa adicional para veículos pesados deverá ser implantada em toda a extensão da rampa descendente, antecedida e sucedida por teipers de comprimento equivalente aos definidos para as rampas ascendentes, no presente documento.

APÊNDICE A – RELAÇÃO MÉDIA PESO / POTÊNCIA DOS VEÍCULOS DA FROTA PEDAGIADA NAS CONCESSÕES DE SÃO PAULO

O quadro A.1, apresentado na seqüência, foi desenvolvido pela EAG da ARTESP, com base nas características de desempenho dos veículos de transporte rodoviários produzidos no Brasil, a partir de dados contidos nos Catálogos Técnicos de Produto.

QUADRO A .1 - Composição da Frota de Veículos Pesados* da Rede Concessionada

Classe Nº de Eixos	PBT (t)				Potência (CV)		Relação Peso / Potência p/ Carga Máxima Legal		Relação Potência / Peso (CV/t)			Composição da frota Pedagiada 2004	Composição da Média Ponderada da Relação Peso/Potência	
	Min	Max	Média (t)	(Lb)	Faixa	Média	(Lb/HP)	(kg/Kw)	Min	Max	Média	%	(Lb/HP)	(kg/Kw)
3	22,0 - 26,0		24,0	52.920	136,0 - 230,0	183,0	293,2	177,4	6,2 - 8,8	7,5		45,9%	134,6	81,4
4	27,0 - 33,0		30,0	66.150	162,0 - 294,0	228,0	294,2	178,0	6,0 - 8,9	7,5		14,8%	43,6	26,4
5	41,5 - 43,0		42,3	93.161	252,0 - 370,0	311,0	303,7	183,8	6,1 - 8,6	7,2		28,4%	86,3	52,2
6	48,5 - 50,0		49,3	108.596	303,0 - 420,0	361,5	304,6	184,3	6,2 - 8,4	7,2		9,3%	28,3	17,1
7	57,0 - 60,0		58,5	128.993	354,0 - 435,0	394,5	331,6	200,6	6,2 - 7,3	6,6		1,1%	3,5	2,1
8	66,5 - 68,0		67,3	148.286	410,0 - 460,0	435,0	345,7	209,1	6,2 - 6,8	6,4		0,2%	0,7	0,4
9	70,0 - 74,0		72,0	158.760	420,0 - 460,0	440,0	365,9	221,4	6,0 - 6,2	6,0		0,3%	1,1	0,7
* : Veículos de PBT > 22 t e três eixos ou mais.												100,0%	298,1	180,4

Nele são considerados caminhões, desde unitários semi-pesados de 3 eixos, até combinados extra-pesados de 9 eixos, com potências de tração nominais e pesos brutos totais, para operação com carga máxima legal. Paralelamente foi considerada a composição, por classe de veículo, da frota pedagiada nas concessões paulistas durante o ano de 2004.

Os estudos realizados demonstraram que as relações peso / potência características para veículos carregados com a carga máxima nominal variam de 177 a 221 kg/kW, e considerando a participação de cada classe de veículo na composição do universo dos veículos pesados pedagiados em 2004, concluiu-se que a média ponderada da relação Peso / Potência dos caminhões é de, aproximadamente, 180 kg/kW.

Há diversas razões para considerar que este padrão não representa uma relação peso / potência alta, uma vez que sabe-se que, em função da tolerância de operação com uma carga excedente de até 5%, muitos veículos operam com PBTC maior do que a Carga Máxima Legal, o que, na prática, faz aumentar a relação peso / potência a considerar.

Além disso, a frota operante é composta predominantemente por veículos usados, incluindo um percentual grande de veículos mais antigos em condição inadequada de manutenção, em que as potências das unidades de tração são, de fato, menores do que as potências nominais das unidades produzidas atualmente.

APÊNDICE B – CURVAS DE DESEMPENHO E DE REDUÇÃO DE VELOCIDADE

Para possibilitar a simulação do desempenho operacional de veículos pesados em rampas, considerando velocidades iniciais superiores às consideradas no Manual da AASHTO, são apresentados neste APÊNDICE B, gráficos de desempenho de aceleração e desaceleração em rampas, a serem utilizados para os veículos pesados típicos de 180 kg / kW, para velocidades de 98 km/h, juntamente com o tradicional gráfico de velocidade inicial de 88 km/h que consta do Manual da AASHTO.

Na seqüência é apresentada uma descrição dos passos para a utilização dos gráficos de desempenho para a determinação de Inclinações Equivalentes de Rampas Compostas e para a determinação de Comprimentos Críticos de Rampas.

? Gráficos de Curvas de Desempenho e de Curvas de Redução de Velocidade

Estes gráficos estão apresentados ao final do APÊNDICE e consideram os mesmos modelos de desempenho com variáveis e parâmetros básicos adotados pela AASHTO no desenvolvimento dos gráficos de desempenho que constam do Manual “Green Book” de 1994, contemplando para os Veículos Pesados Típicos adotados, as Curvas de Desempenho para Aceleração e para Desaceleração e as Curvas de Redução de Velocidade para determinação de Comprimentos Críticos de Rampa.

? Determinação de Inclinações Equivalentes de Rampas Compostas

Para determinar a inclinação equivalente de uma rampa composta, em rampa simples (isto é: de inclinação ascendente constante e contínua), de extensão igual à desta rampa composta, que provocaria uma velocidade final igual à atingida através da subida pela rampa composta, os passos a adotar são os seguintes:

- (i) Atingir a curva de desaceleração correspondente à inclinação da primeira rampa do conjunto, no Gráfico de Curvas de Velocidade x Distância (Figura B1, B2 ou B3, conforme a velocidade inicial), através de uma linha vertical traçada a partir da abscissa correspondente ao comprimento desta primeira rampa parcial, determinando o Ponto nº 1. Do Ponto nº 1, traçar uma linha horizontal até atingir o eixo das velocidades (ordenadas), no Ponto nº 2, cuja ordenada corresponderá à velocidade do caminhão no final desta primeira rampa e à velocidade com que o caminhão inicia a segunda rampa do conjunto.
- (ii) A partir do Ponto nº 2, traçar linha horizontal até encontrar a curva de desaceleração corresponde à inclinação da segunda rampa, no Ponto nº 3 e traçar, a partir deste, uma linha vertical que atingirá o eixo das distâncias no Ponto nº 4, cuja abscissa corresponderá à distância que se necessitaria percorrer, através de uma rampa simples com inclinação igual à da segunda rampa, para atingir a mesma velocidade atingida ao final da primeira rampa. Esta distância é a distância equivalente correspondente à inclinação da segunda rampa em relação à inclinação da primeira rampa.

- (iii) A partir da abscissa do Ponto nº 4, adicionar sobre o eixo das distâncias, a extensão correspondente à segunda rampa, obtendo o Ponto nº 5, a partir do qual se deverá traçar uma linha vertical até a curva de desaceleração referente à inclinação da segunda rampa, determinando o Ponto nº 6. Deste ponto, traçar uma linha horizontal até encontrar o ponto nº 7, no eixo das velocidades, cuja ordenada corresponderá à velocidade do caminhão ao final da segunda rampa.
- (iv) Caso haja outras rampas parciais, as passagens anteriores devem ser repetidas até atingir o final da rampa composta.
- (v) Lançar, finalmente, no gráfico, um ponto cujas coordenadas são a velocidade final atingida e o comprimento real da rampa composta, verificando que curva de desaceleração de inclinação uniforme este ponto atinge, fazendo a interpolação de valores, entre curvas, quando necessário. A inclinação resultante será considerada a Inclinação Uniforme Equivalente da Rampa Composta.

? **Determinação de Comprimentos Críticos de Rampas**

Para determinar o Comprimento Crítico de uma rampa, os dados básicos são o seu comprimento e sua inclinação efetiva (caso de rampas simples) ou inclinação uniforme equivalente (caso de rampas compostas) e os passos a adotar são os seguintes:

- (i) No Gráfico de Curvas de Inclinação x Distância (Figura B1, B2 ou B3, conforme a velocidade inicial), a partir da ordenada correspondente à inclinação efetiva ou equivalente da rampa a analisar, traçar uma linha horizontal até atingir a curva de redução de velocidade correspondente a 15 km/h, determinando o Ponto nº 1.
- (ii) Do Ponto nº 1, traçar uma linha vertical até atingir o eixo das distâncias (abscissas), no Ponto nº 2, cuja abscissa corresponderá ao comprimento crítico da rampa analisada.

Figura B1. Curvas de Desempenho Velocidade x Distância - Aceleração / Desaceleração de Veículos de 180 kg/kW - Velocidade Inicial de 98 km/h.

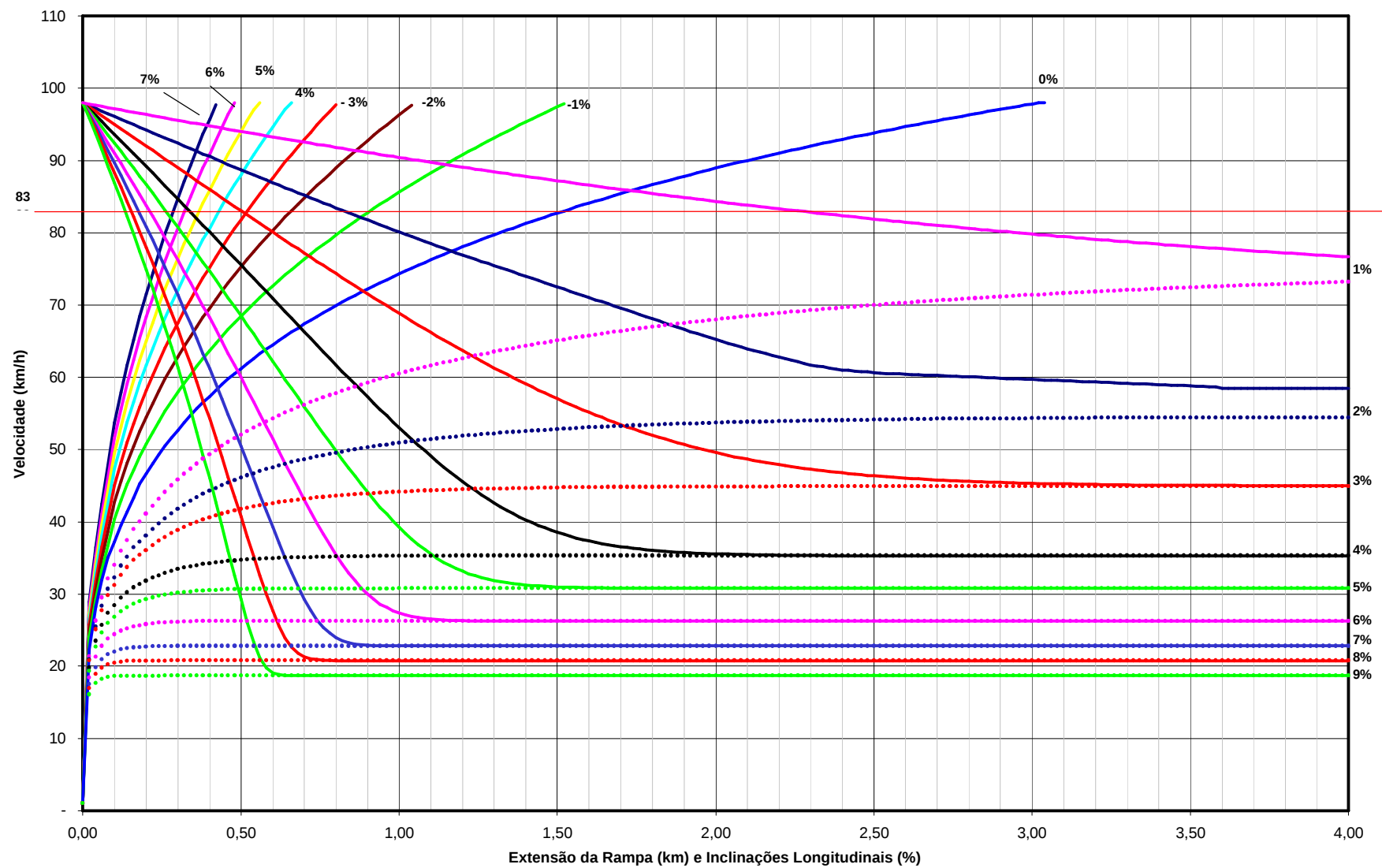


Figura B2. Curvas de Desempenho Velocidade x Distância - Aceleração / Desaceleração de Veículos de 180 kg/kW - Velocidade Inicial de 88 km/h.

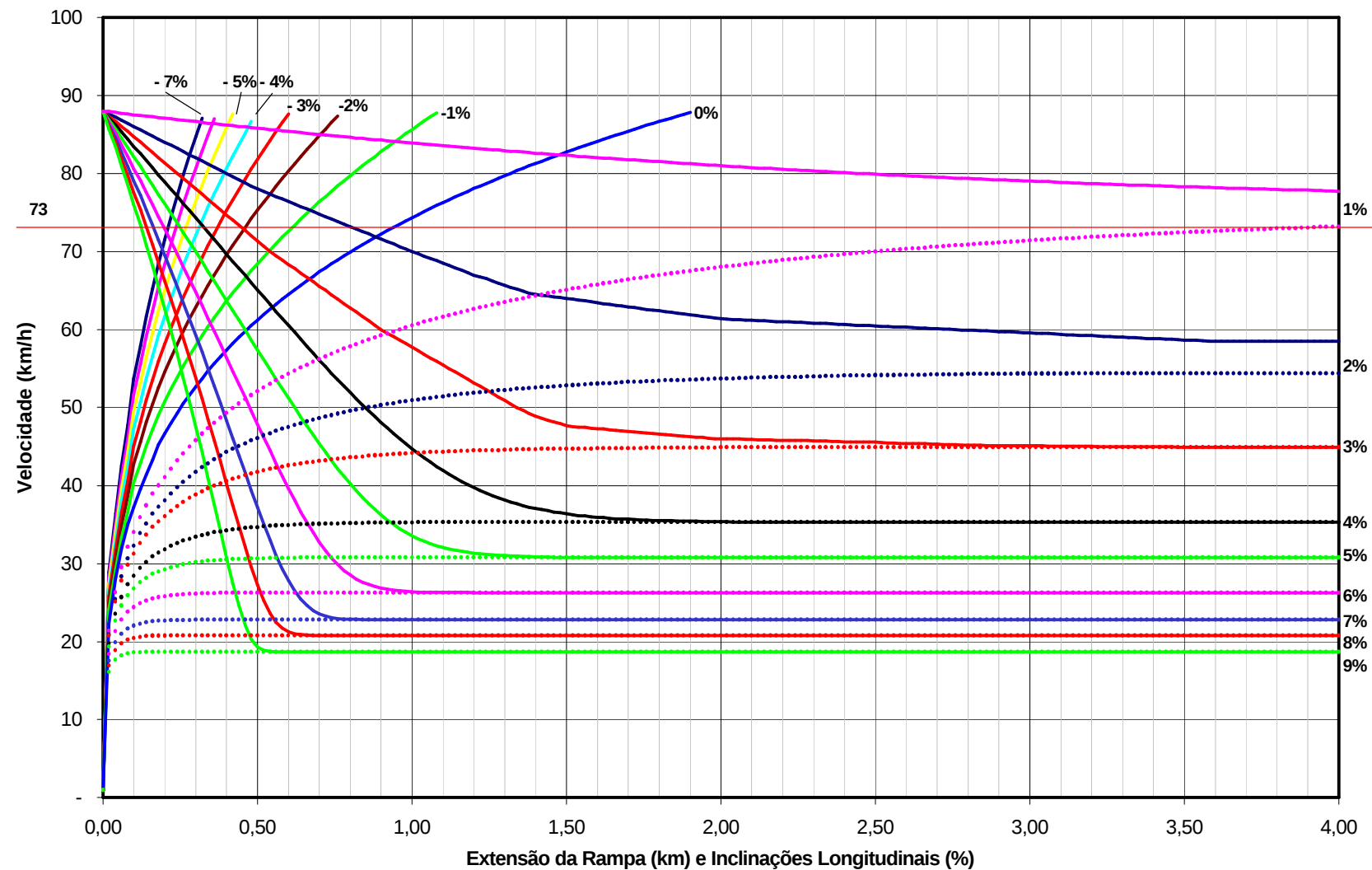


Figura B3. Curvas de Redução de Velocidade para cálculo de Comprimento Crítico de Rampas
Veículos Pesados de 180 kg/kW, com velocidades iniciais de 98 km/h.

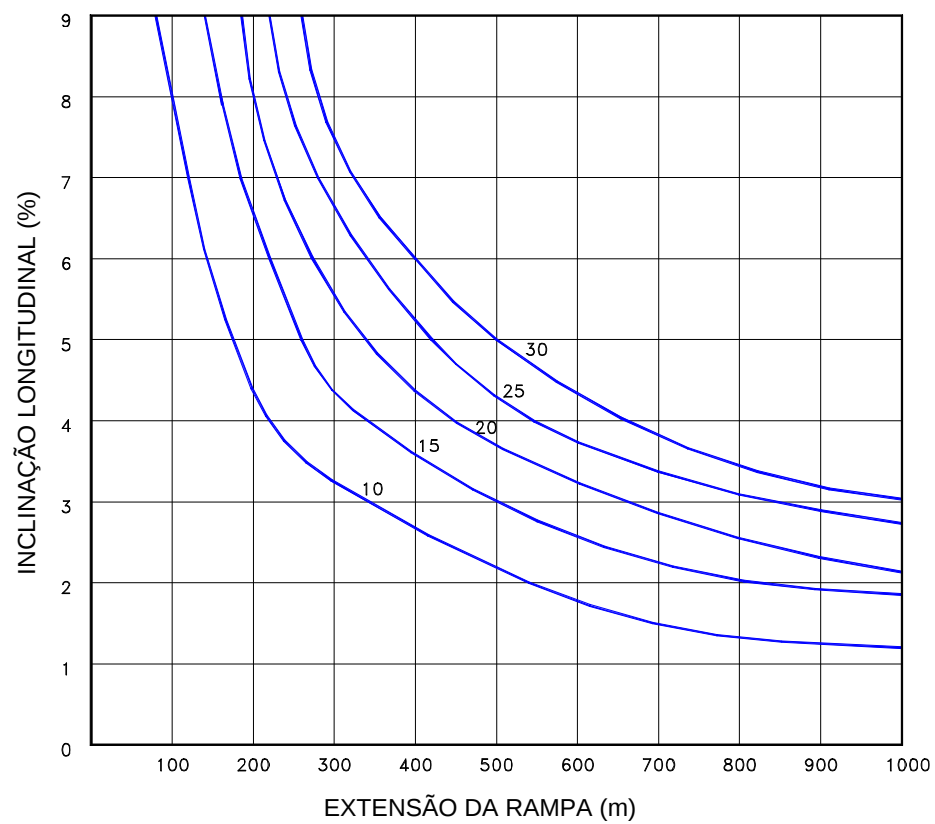


Figura B4. Curvas de Redução de Velocidade para cálculo de Comprimento Crítico de Rampas
Veículos Pesados de 180 kg/kW, com velocidades iniciais de 88 km/h.

