



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Análise do Nível de Serviço em Estradas Multivias: Uma Avaliação com Recurso à Metodologia HCM 2010

João Miguel Machado Fernandes

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(ciclo de estudos integrado)

Orientadora: Prof. Doutora Bertha Maria Batista dos Santos
Coorientador: Prof. Doutor Jorge Humberto Gaspar Gonçalves

Covilhã, outubro de 2014

Aos meus Pais.

Agradecimentos

Quero deixar expresso nesta página o meu agradecimento a todos os que, de uma forma direta ou indireta, me ajudaram durante a elaboração desta dissertação. A todos, o meu muito obrigado!

À Professora Doutora Bertha Maria Batista dos Santos, minha orientadora científica e ao Professor Doutor Jorge Humberto Gaspar Gonçalves, meu coorientador científico, agradeço não só a possibilidade que me deram de realizar um trabalho criativo e desafiante, mas também o seu empenho, a sua contínua orientação, disponibilidade para o esclarecimento de dúvidas e transmissão de conhecimentos ao longo deste trabalho.

À SCUTVIAS, na pessoa do Sr. Eng. José Simões, pela disponibilização dos elementos necessários ao desenvolvimento do caso de aplicação desta dissertação.

Aos meus pais, por toda a sua dedicação e apoio demonstrados em todos os momentos da minha vida e também durante a elaboração desta dissertação.

À minha namorada Sara pelo apoio e paciência demonstrado ao longo da minha carreira académica.

Resumo

As redes de autoestradas dos diversos países devem garantir um nível de serviço compatível com a rápida deslocação de veículos, pessoas e bens. Para avaliar a qualidade do serviço prestado por este tipo de infraestruturas rodoviárias é usual recorrer ao método do Transportation Research Board.

A versão mais recente desta metodologia de referência mundial, que avalia a qualidade do serviço através da análise das condições de circulação que são oferecidas aos usuários de uma estrada (segurança, facilidade de manobra e velocidades de circulação), é o “Highway Capacity Manual 2010” (HCM 2010). Esta metodologia foi concebida atendendo ao sistema rodoviário americano, no entanto, tem sido adotada por diversos países de todo o mundo, inclusive da União Europeia, como Portugal.

A aplicação da metodologia às especificidades próprias da rede de estradas e das características do tráfego português constitui um desafio que deverá ser estudado adequadamente. Assim, o presente estudo tem como objetivo, para além de uma descrição pormenorizada da metodologia para as estradas multivias e a sua adaptação ao sistema internacional de unidades, a aplicação da mesma a um caso de estudo nacional, de forma a avaliar a sua aplicabilidade.

Do trabalho desenvolvido foi possível concluir que embora existam algumas diferenças operacionais entre os dois sistemas rodoviários, a metodologia HCM 2010 pode ser aplicada em Portugal. Salienta-se contudo, que várias formulações adotadas por esta metodologia resultam de extensas bases de dados americanas, cuja realidade rodoviária é distinta da europeia, pelo que os resultados obtidos na aplicação da mesma a outras realidades, apesar de representativos, devem ser alvo de uma leitura cuidada.

Palavras-chave

Nível de Serviço, Capacidade, Estrada Multivias, Highway Capacity Manual 2010 - HCM 2010, Secção Corrente, Rampas de Aceleração e Desaceleração.

Abstract

The highway network in several different countries should guarantee a service quality consistent with the fast movement of vehicles, people and goods. To evaluate the service quality provided by this type of road infrastructure it is customary to use the Transportation Research Board methodology.

The latest version of this worldwide reference methodology, which evaluates the road service quality analyzing the traffic conditions provided to road users (considering safety, maneuverability and the traffic speed), is the "Highway Capacity Manual 2010 "(HCM 2010). This methodology was designed having in mind the American road system, however, it has been adopted worldwide, including European Union countries as well as Portugal.

The application of this methodology to the specific characteristics of a road network and to the Portuguese traffic conditions is a challenge which must be properly studied. Therefore, the purpose of this study is, besides providing a very detailed description of the methodology for multilane highways and its adjustment to the international system of units, to apply such a methodology to a national case study to assess its applicability.

It was concluded that, although there are some operational differences between the road systems, the methodology HCM 2010 can be applied in Portugal. It must be pointed out that several formulations adopted by this methodology are only possible because of the enormous American databases, whose road reality is different from the European one. Hence, the results obtained by its application to different realities, although significant, must be interpreted very carefully.

Keywords

Level of Service, Capacity, Freeway, Highway Capacity Manual 2010 - HCM 2010, Basic Segment, On and Off Ramp.

Índice

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Estado da Arte	3
1.3. Objetivos	7
1.4. Organização do documento	7
CAPÍTULO 2 METODOLOGIA HCM 2010 PARA ANÁLISE DO NÍVEL DE SERVIÇO E DA CAPACIDADE DE ESTRADAS MULTIVIAS	9
2.1. Introdução	9
2.1.1. Estradas multivias	9
2.1.2. Condições de base	13
2.1.3. Níveis de serviço	13
2.2. Análise de secções correntes	15
2.2.1. Âmbito e limitações da metodologia	15
2.2.2. Condições de base	15
2.2.3. Procedimento para a determinação do nível de serviço e da capacidade em secções correntes de estradas multivias	19
2.3. Segmentos junto a rampas de aceleração e desaceleração	31
2.3.1. Segmentos junto a rampas de aceleração e desaceleração	32
2.3.2. Condições de base	35
2.3.3. Procedimento de cálculo para rampas	36
2.3.4. Limitações da metodologia em rampas	57
CAPÍTULO 3 ESTUDO DE CASO	59
3.1. Introdução	59
3.2. Troço analisado	59
3.3. Dados para aplicação da metodologia HCM 2010	62
3.3.1. Enquadramento e tratamento dos dados	62
3.3.2. Dados de entrada para aplicação da metodologia HCM 2010	65
3.4. Cálculo do nível de serviço e da capacidade	77
3.4.1. Secções correntes em condições gerais do terreno	77
3.4.2. Secções correntes com inclinações específicas	81
3.4.3. Segmento junto a rampas de aceleração e desaceleração	83
3.4.4. Resultados da análise troço a troço	90

CAPÍTULO 4 Conclusões e Trabalho Futuro 101

Referências Bibliográficas 105

Anexo A - Gráficos correspondentes aos dias de tráfego significativo em cada um dos sublanços estudados

Anexo B - Dados geométricos e outros dados relativos à análise de cada sublanço e do nó 31

Anexo C - Resultados da análise troço a troço e nó de ligação 31

Lista de Figuras

Figura 1.1:	Rede Rodoviária Nacional.	2
Figura 2.1:	Rampa de aceleração.	10
Figura 2.2:	Rampa de desaceleração.	11
Figura 2.3:	Secção de entrecruzamento.	11
Figura 2.4:	Secção Corrente.	12
Figura 2.5:	Tipos de fluxo em estradas multivias.	16
Figura 2.6:	Curvas de velocidade-fluxo para secções correntes de estradas multivias que verificam as condições de base definidas.	17
Figura 2.7:	Fluxograma da metodologia de análise operacional para secções correntes de estradas multivias.	20
Figura 2.8:	Curvas da velocidade de fluxo livre e nível de serviço para a secção corrente de estradas multivias.	24
Figura 2.9:	Áreas de influência em rampas.	34
Figura 2.10:	Comprimento dos segmentos junto às rampas de aceleração e desaceleração.	35
Figura 2.11:	Variáveis chave em junções de rampas.	36
Figura 2.12:	Fluxograma da metodologia de análise operacional para segmentos de junções de rampas de aceleração e desaceleração.	38
Figura 3.1:	Traçado da A23, Autoestrada da Beira Interior (Escala 1:4000000)	60
Figura 3.2:	Acesso norte aos túneis da Gardunha.	69
Figura 3.3:	Nó de ligação 31 - Covilhã Norte (Escala 1:2000).	71
Figura 3.4:	Fotos do segmento junto à rampa de aceleração e desaceleração tirada do viaduto a norte do nó 31, Covilhã Norte.	71
Figura 3.5:	Foto do segmento junto à rampa de desaceleração tirada do viaduto a norte do nó 31, Covilhã Norte.	72
Figura 3.6:	Segmento junto às rampas de aceleração e desaceleração a sul do nó 31.	73
Figura 3.7:	Segmento junto às rampas de aceleração e desaceleração a norte do nó 31.	73

Figura 3.8: Reta da equação da densidade considerando uma rampa de desaceleração com 290 m de extensão. 99

Lista de Tabelas

Tabela 2.1:	Equações descritivas das curvas de velocidade - fluxo.	18
Tabela 2.2:	Capacidade de estradas multivias para condições de base.	19
Tabela 2.3:	Fatores de ajuste da velocidade de fluxo livre relativamente à largura média das vias.	22
Tabela 2.4:	Fatores de ajuste da velocidade de fluxo livre relativos à desobstrução lateral direita, f_{LC} .	23
Tabela 2.5:	Veículos ligeiros de passageiros equivalentes a um veículo pesado ou de recreio de acordo com o tipo de terreno.	26
Tabela 2.6:	Fatores de equivalência para veículos de recreio (E_R) em rampas com inclinações específicas.	26
Tabela 2.7:	Veículos ligeiros equivalentes a veículos pesados (E_T) em rampas com inclinações específicas.	27
Tabela 2.8:	Veículos ligeiros equivalentes a veículos pesados (E_T) em declives específicos.	28
Tabela 2.9:	Nível de serviço em secção corrente.	29
Tabela 2.10:	Fluxos de serviço máximos, em veículos ligeiros de passageiros por hora por via, para secções correntes de estradas multivias a operar nas condições de base.	30
Tabela 2.11:	Modelos de cálculo do P_{FM} em rampas de aceleração.	41
Tabela 2.12:	Modelos de cálculo do P_{FM} em rampas de aceleração.	42
Tabela 2.13:	Modelos de cálculo do P_{FD} em rampas desaceleração.	44
Tabela 2.14:	Modelos de cálculo do P_{FD} em rampas desaceleração.	44
Tabela 2.15:	Capacidade da junção entre a rampa e a secção corrente da estrada multivias.	50
Tabela 2.16:	Capacidade da junção entre a rampa com altas velocidades em secção corrente da estrada multivias sem controlo de operações e estradas C-D.	50
Tabela 2.17:	Capacidade das rampas.	51

Tabela 2.18:	Nível de serviço para secções junto a rampas de aceleração e desaceleração.	54
Tabela 2.19:	Cálculo da velocidade nas junções de rampas de aceleração.	55
Tabela 2.20:	Cálculo da velocidade nas junções de rampas de desaceleração.	55
Tabela 2.21:	Cálculo da velocidade média de todos os veículos que circulam nas junções de rampas com a secção corrente de estradas multivias.	56
Tabela 3.1:	Concessão Scutvias: Lanços e sublanços.	61
Tabela 3.2:	Dados de tráfego do troço 1: Lanço Gardete/Castelo Branco, sublanço Castelo Branco Sul - Hospital no sentido Norte - Sul.	66
Tabela 3.3:	Dados de geométricos e outros dados necessários à análise do troço 1: Lanço Gardete/Castelo Branco, sublanço Castelo Branco Sul - Hospital no sentido Norte - Sul.	67
Tabela 3.4:	Dados de tráfego relativos ao troço com inclinação específica 9.3: Lanço Alcaria/Belmonte, sublanço Alcaria - Covilhã Sul, sentido Norte - Sul.	69
Tabela 3.5:	Dados geométricos e outros dados necessários relativos ao troço com inclinação específica 9.3: Lanço Alcaria/Belmonte, sublanço Alcaria Covilhã Sul, sentido Norte - Sul.	70
Tabela 3.6:	Dados de tráfego da rampa de aceleração do nó de ligação 31, no sentido Norte - Sul.	74
Tabela 3.7:	Dados de tráfego da rampa de desaceleração do nó de ligação 31, no sentido Norte - Sul.	74
Tabela 3.8:	Dados geométricos e outros dados necessários à análise do segmento junto à rampa de aceleração do nó de ligação 31, na hora de ponta compreendida entre as 9:00 e as 10:00 horas, no sentido Norte - Sul.	75
Tabela 3.9:	Dados geométricos e outros dados necessários à análise do segmento junto à rampa de aceleração do nó de ligação 31, na hora de ponta compreendida entre as 11:00 e as 12:00 horas, no sentido Norte - Sul.	75
Tabela 3.10:	Dados geométricos e outros dados necessários à análise do segmento junto à rampa de aceleração do nó de ligação 31, na hora de ponta compreendida entre as 18:00 e as 19:00 horas, no sentido Norte - Sul.	76

Tabela 3.11:	Dados geométricos e outros dados necessários à análise do segmento junto à rampa de desaceleração do nó de ligação 31, na hora de ponta compreendida entre as 9:00 e as 10:00 horas, no sentido Norte - Sul.	76
Tabela 3.12:	Dados geométricos e outros dados necessários à análise do segmento junto à rampa de desaceleração do nó de ligação 31, na hora de ponta compreendida entre as 11:00 e as 12:00 horas, no sentido Norte - Sul.	76
Tabela 3.13:	Dados geométricos e outros dados necessários à análise do segmento junto à rampa de desaceleração do nó de ligação 31, na hora de ponta compreendida entre as 18:00 e as 19:00 horas, no sentido Norte - Sul.	77
Tabela 3.14:	Cálculo do Nível de Serviço e capacidade: troço 1, quarta-feira 16/04/2014, hora de ponta: 9:00 - 10:00 horas, no sentido Norte - Sul.	78
Tabela 3.15:	Cálculo do Nível de Serviço e capacidade: troço 1, quarta-feira 16/04/2014, hora de ponta: 11:00 - 12:00 horas, no sentido Norte - Sul.	79
Tabela 3.16:	Cálculo do Nível de Serviço e capacidade: troço 1, quarta-feira 16/04/2014, hora de ponta: 18:00 - 19:00 horas, no sentido Norte - Sul.	79
Tabela 3.17:	Tabela resumo com os dados obtidos relativos ao troço 1 no sentido Sul - Norte.	80
Tabela 3.18:	Tabela resumo com os dados obtidos relativos ao troço 1 no sentido Norte - Sul.	80
Tabela 3.19:	Cálculo do Nível de Serviço e capacidade numa secção de inclinação específica: troço 9.3, quarta-feira 16/04/2014, hora de ponta: 9:00 - 10:00 horas no sentido Norte - Sul.	81
Tabela 3.20:	Cálculo do Nível de Serviço e capacidade numa secção de inclinação específica: troço 9.3, quarta-feira 16/04/2014, hora de ponta: 11:00 - 12:00 horas no sentido Norte - Sul.	82
Tabela 3.21:	Cálculo do Nível de Serviço e capacidade numa secção de inclinação específica: troço 9.3, quarta-feira 16/04/2014, hora de ponta: 18:00 - 19:00 horas no sentido Norte - Sul.	82
Tabela 3.22:	Tabela relativa à análise do segmento junto à rampa de aceleração do nó 31 no sentido Norte - Sul na hora de ponta compreendida entre as 9:00 e as 10:00 horas.	84

Tabela 3.23:	Tabela relativa à análise do segmento junto à rampa de aceleração do nó 31 no sentido Norte - Sul na hora de ponta compreendida entre as 11:00 e as 12:00 horas.	85
Tabela 3.24:	Tabela relativa à análise do segmento junto à rampa de aceleração do nó 31 no sentido Norte - Sul na hora de ponta compreendida entre as 18:00 e as 19:00 horas.	86
Tabela 3.25:	Tabela relativa à análise do segmento junto à rampa de desaceleração do nó 31 no sentido Norte - Sul na hora de ponta compreendida entre as 9:00 e as 10:00 horas.	87
Tabela 3.26:	Tabela relativa à análise do segmento junto à rampa de desaceleração do nó 31 no sentido Norte - Sul na hora de ponta compreendida entre as 11:00 e as 12:00 horas.	88
Tabela 3.27:	Tabela relativa à análise do segmento junto à rampa de desaceleração do nó 31 no sentido Norte - Sul na hora de ponta compreendida entre as 18:00 e as 19:00 horas.	89
Tabela 3.28:	Resultados da análise de cada troço do troço 1 ao troço 5, sentido Sul - Norte.	91
Tabela 3.29:	Resultados da análise de cada troço do troço 6 ao troço 8, sentido Sul - Norte.	92
Tabela 3.30:	Resultados da análise de cada troço do troço 9.1 ao troço 10, sentido Sul - Norte.	93
Tabela 3.31:	Resultados da análise de cada troço do troço 1 ao troço 5, sentido Norte - Sul.	94
Tabela 3.32:	Resultados da análise de cada troço do troço 6 ao troço 8, sentido Norte - Sul.	95
Tabela 3.33:	Resultados da análise de cada troço do troço 9.1 ao troço 10, sentido Norte - Sul.	96
Tabela 3.34:	Resultados da análise dos segmentos junto às rampas de aceleração e desaceleração no nó 31 no sentido Sul - Norte.	97
Tabela 3.35:	Resultados da análise dos segmentos junto às rampas de aceleração e desaceleração no nó 31 no sentido Norte - Sul.	97

Abreviaturas

AE	-	Autoestrada
EN	-	Estrada Nacional
FFS	-	Free Flow Speed
HCM	-	Highway Capacity Manual
IC	-	Itinerário Complementar
IP	-	Itinerário Principal
PHF	-	Peak Hour Factor
PK	-	Ponto Quilométrico
PRN	-	Plano Rodoviário Nacional
TMDA	-	Tráfego Médio Diário Anual

Simbologia

V_{12a}	- Ajuste do fluxo nas vias 1 e 2 a montante da área de influência da rampa;
L_A	- Comprimento total da via de aceleração;
L_D	- Comprimento total da via de desaceleração;
D_R	- Densidade na área de influência da rampa;
L_{EQ}	- Distância de equilíbrio;
D	- Distribuição direcional do tráfego;
D	- Densidade;
TRD	- Densidade total de ramos de ligação;
f_{HV}	- Fator de ajuste devido à presença de veículos pesados;
f_{LC}	- Fator de ajuste da velocidade de fluxo livre relativo à desobstrução lateral direita;
f_{LW}	- Fator de ajuste da velocidade de fluxo livre relativo à largura média das vias;
f_p	- Fator de ajuste relativo ao tipo de utentes;
E_R	- Fator de equivalência em veículos ligeiros de passageiros para os veículos de recreio;
E_T	- Fator de equivalência em veículos ligeiros de passageiros para veículos pesados;
PHF	- Fator de ponta horária;
f_{HV}	- Fator de ajuste devido à presença de veículos pesados;
f_p	- Fator de ajuste relativo à população de condutores não familiarizados com a estrada multivias;
V_F	- Fluxo de procura em estradas multivias a montante da área de influência da rampa;
V_{OA}	- Fluxo de procura média por via, nas vias exteriores adjacente à área de influência da rampa;
V_{FO}	- Fluxo de procura na estrada multivias a jusante da área de influência da rampa;
V_R	- Fluxo de procura na rampa;
V_i	- Fluxo de procura para o movimento i;
MSF_i	- Fluxo de serviço máximo para o nível de serviço i;
SF_i	- Fluxo de serviço para o nível de serviço i;

- $V_{av,34}$ - Fluxo médio nas vias exteriores;
- V_D - Fluxo na rampa adjacente a jusante;
- V_u - Fluxo na rampa adjacente a montante;
- V_3 - Fluxo na via 3 da secção corrente da estrada multivias;
- V_{12} - Fluxo nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da área de influência da rampa;
- V_F - Fluxo total junto da área de influência da rampa;
- M_O - Índice de velocidade para rampas de aceleração;
- D_S - Índice de velocidade para rampas de desaceleração;
- N - Número de vias em cada sentido;
- N_O - Número de vias exteriores da estrada;
- P_{FM} - Proporção de veículos restantes nas vias 1 e 2 a montante da área de influência;
- K - Proporção do TMDA que ocorre durante o pico horário;
- P_{FD} - Proporção do tráfego divergente nas vias 1 e 2 a montante da via de desaceleração.
- P_R - Proporção de veículos de recreio na corrente de tráfego;
- P_T - Proporção de veículos pesados na corrente de tráfego;
- V_{R12} - Somatório do fluxo de procura nas vias 1 e 2 com o fluxo de procura na rampa de aceleração;
- FFS - Velocidade de fluxo livre;
- S_{FR} - Velocidade de fluxo livre na rampa;
- S - Velocidade média da corrente de tráfego para as condições de base;
- S_O - Velocidade média dos veículos nas vias exteriores;
- S_R - Velocidade média na área de influência da rampa;
- S_{FR} - Velocidade média na secção corrente da estrada multivias;
- V_i - Volume de procura para o movimento i ;
- SV_i - Volume de serviço para o nível de serviço i ;
- DSV_i - Volume diário de serviço para o nível de serviço i (veíc./dia);
- V_P - Volume horário da procura (vlp/h/via);
- V - Volume da procura para as condições de base (veíc./h);

Capítulo 1

Introdução

1.1. Enquadramento

Segundo o Plano Rodoviário Nacional 2000 (PRN 2000 - DL n.º 222/98 com as alterações introduzidas pela Lei n.º 98/99 de 26 de Julho, pela Declaração de retificação n.º 19-D/98 e pelo Decreto-Lei n.º 182/2003 de 16 de Agosto) e conforme referido pelo Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT, I.P., 2013), a Rede Nacional integra duas categorias de estradas, a Rede Nacional Fundamental e a Rede Nacional Complementar, sendo complementada por duas redes com características específicas, a Rede Nacional de Autoestradas e a Rede de Estradas Regionais.

A Rede Nacional Fundamental, constituída pelos Itinerários Principais (IP), apresenta uma menor extensão em relação à Rede Nacional Complementar e tem como objetivo assegurar a ligação entre os centros urbanos com influência supradistrital e destes com os principais portos, aeroportos e fronteiras, servindo de base de apoio a toda a rede nacional. É constituída por nove Itinerários Principais, três Longitudinais (IP1, IP2 e IP3) e seis Transversais (IP4, IP5, IP6, IP7, IP8 e IP9) numa extensão de cerca de 1945 Km faltando ainda concluir cerca de 600 Km (Santos, 2005). Os Itinerários Principais devem funcionar ao nível de serviço B, o que significa que devem assegurar correntes de tráfego estáveis, permitindo a circulação em excelentes condições de comodidade e segurança (PRN 1985 - Decreto lei n.º 380/85 de 26 de Setembro, 1985).

Por outro lado, a Rede Nacional Complementar, constituída pelos Itinerários Complementares (IC) e pelas Estradas Nacionais (EN), com uma extensão total de cerca de 7 500 km dos quais 3389 Km são Itinerários Complementares e os restantes quilómetros relativos a Estradas Nacionais sendo que, apenas 1289 Km estão concluídos (Santos, 2005), assegura a ligação entre a rede fundamental e os centros urbanos de influência concelhia ou supraconcelhia, mas infra distrital, estabelecendo as ligações de maior interesse regional. Esta rede deve garantir o funcionamento das estradas que a compõem a um nível de serviço C, o que permite condições de circulação relativamente estáveis, embora com restrições quanto à velocidade e a ultrapassagens (PRN 1985 - Decreto lei n.º 380/85 de 26 de Setembro, 1985).

A rede nacional de autoestradas é formada pelos elementos da rede rodoviária nacional projetados e construídos para o tráfego motorizado e que disponham de faixas de rodagem distintas, separadas por um separador físico não destinado ao tráfego, não tenham cruzamentos de nível com outra

estrada, via-férrea, de elétricos ou caminho pedonal, estando devidamente sinalizadas como autoestradas (PRN 2000 - DL n.º 222/98 com as alterações introduzidas pela Lei n.º 98/99 de 26 de Julho, pela Declaração de retificação n.º 19-D/98 e pelo Decreto-Lei n.º 182/2003 de 16 de Agosto).

Na figura 1.1 é possível observar a rede nacional de autoestradas de Portugal.

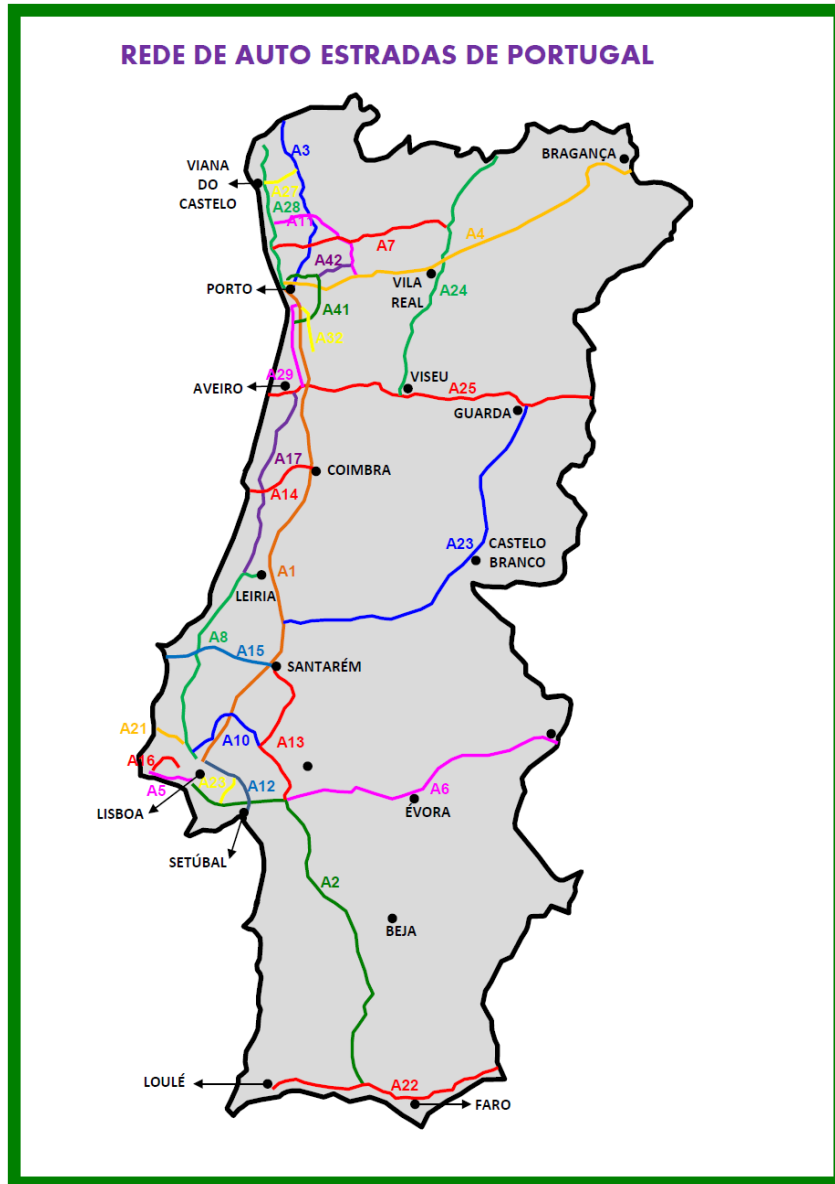


Figura 1.1: Rede Rodoviária Nacional de Autoestradas. (<http://www.imtt.pt>, 2014).

Nos últimos anos, tem-se verificado um acentuado crescimento e desenvolvimento da rede rodoviária nacional, nomeadamente na rede nacional de autoestradas sendo que, o investimento na sua manutenção é um aspeto cada vez mais importante na economia do país (

Dada a importância da rede de autoestradas na rede viária nacional, torna-se essencial proceder a uma monitorização constante do seu estado de conservação e das condições de circulação oferecidas aos seus utilizadores. Para este último caso, o acompanhamento é feito através da avaliação do seu nível de serviço, utilizando a metodologia americana do Highway Capacity Manual (HCM), proposta pelo Transportation Research Board (TRB) (TRB, 2010), segundo indicado no DL 222/98. Como veremos à frente, esta metodologia permite avaliar e em caso de necessidade, simular medidas corretivas para melhoria do funcionamento das estradas.

Sendo uma metodologia norte-americana, a aplicação da mesma a Portugal, deverá ser efetuada com cuidado, pois as infraestruturas rodoviárias e as características do tráfego podem diferir significativamente de país para país.

A metodologia presente no manual HCM foi elaborada tendo como referencia o caso norte-americano, tendo como principal objetivo o cálculo do Nível de Serviço e a Capacidade de estradas. No entanto, a sua adoção por parte da maioria dos países reflete a sua grande importância nos vários planos rodoviários dos países desenvolvidos ou em vias de desenvolvimento. Perante o grau de importância desta metodologia, torna-se obrigatória a verificação da sua aplicabilidade em Portugal, possibilitando uma caracterização mais realista, do Nível de Serviço no panorama nacional.

1.2. Estado da Arte

Devido à crescente necessidade de mobilidade por parte do ser humano, ao aparecimento do automóvel e ao constante desenvolvimento da indústria e tecnologia no início do século XX, foi necessário iniciar a avaliação dos meios e das infraestruturas de transporte rodoviário.

As características das estradas, assim como as condições de circulação que oferecem aos seus utentes, constituem um fenómeno que se encontra em constante alteração, sendo que foi possível registar-se um grande crescimento das infraestruturas rodoviárias ao longo dos últimos 100 anos. A causa principal para este crescimento deve-se à alteração significativa do número de veículos que passaram a circular nas infraestruturas rodoviárias, assim como às próprias características de desempenho destes, o que originou uma forçada alteração dos padrões geométricos utilizados no projeto por forma a garantir determinadas condições de circulação.

Nos anos 20, nos EUA, Olav K. Normann efetuou as primeiras medições para a avaliação das condições de circulação tráfego (Kittelson, 2000). Estas medições foram realizadas com bastante dificuldade, uma vez que não existindo estradas congestionadas na época, não permitiu medir as condições correspondentes à capacidade das estradas.

O método de Olav K. Normann consistia num medidor gráfico, composto por uma caneta e um rolo de papel que girava com uma velocidade constante (36 polegadas por minuto - cerca de 91,5cm por minuto). Em determinada altura, um operador registava um ponto no papel e sabendo a velocidade de rotação do rolo, Norman determinava o tempo entre cada acontecimento. Este acontecimento era o correspondente à passagem de veículos.

Normann colocou dois destes medidores num determinado troço de estrada, um no início e outro no fim do troço, sendo assim possível determinar a velocidade e a distância a que os veículos circulavam. Deste modo, à medida que o espaço temporal entre os veículos diminuía, a diferença de velocidade entre os veículos também diminuía. Quando esta diferença de velocidade atingia o zero, Norman calculava o tempo entre os veículos, sendo este, a base para estimar a capacidade horária da estrada. Olav K. Normann determinou então, que as condições limites de capacidade aconteciam quando a velocidade dos veículos era aproximadamente igual a 55 km/h, representando esta, um afastamento de dois segundos entre veículos. Olav K. Normann concluiu assim que, para aumentar o espaço entre veículos, estes teriam de circular a uma velocidade superior ou inferior a 55 Km/h.

Estes resultados foram apresentados no HCM-1950, o que na altura foi considerado um enorme sucesso. O HCM 1950 foi o primeiro manual elaborado com vista ao cálculo da capacidade de uma estrada. Estava assim definido o método de análise da capacidade de estrada nos Estados Unidos, tendo este sido traduzido para nove línguas diferentes com o objetivo de ser utilizado em o mundo.

Apesar de conter apenas 147 páginas, o HCM-1950 definia métodos práticos para a determinação da capacidade em estradas com duas ou mais vias, cruzamentos, entrecruzamentos e rampas. Definiram-se assim três níveis para a capacidade de uma estrada:

- **Capacidade Básica:** Número máximo de veículos ligeiros que passam num determinado ponto de uma rua ou estrada durante o período de uma hora, para condições de tráfego e geométricas da infraestruturas aproximadas às de base (definidas na metodologia).
- **Capacidade Possível:** Número máximo de veículos que passam num determinado ponto de uma “rua ou estrada” durante uma hora, para as condições de tráfego e geométricas da infraestruturas existentes.
- **Capacidade Prática:** Número máximo de veículos que passam num determinado ponto de uma “estrada ou via” ao longo de uma hora, com uma densidade tal capaz de causar atraso injustificado, perigo e restrição à liberdade de manobra dos utilizadores, segundo as condições geométricas e de tráfego da estrada prevalecentes.

Após o lançamento do HCM-1950, novos temas e novas situações surgiram como objeto de estudo nesta área. O grupo de estudo cresceu, surgindo novas formas de lidar com o problema. Olav K. Normann continuava na presidência do grupo de estudo, mantendo um papel crucial nas atividades de investigação com o objetivo de conseguir uma definição cada vez mais objetiva e criteriosa de capacidade. Uma das grandes evoluções na publicação do HCM 1965 (TRB, 1966) foi a substituição das definições de capacidade básica, capacidade possível e capacidade prática por uma definição mais objetiva. Esta alteração passou pela necessidade de avaliação das infraestruturas tendo em conta a qualidade de serviço que prestam aos usuários. É nesta altura que é introduzida a noção de nível de serviço, noção esta, que foi votada por toda a comissão para que pudesse integrar a nova versão do HCM. Nesta publicação, o nível de serviço foi caracterizado pelas seguintes condições distintas do ponto de vista operacional:

- **Nível de Serviço “E”:** Nível de qualidade operacional equivalente à capacidade possível.
- **Nível de Serviço “D”:** Nível de qualidade operacional equivalente a volumes máximos de serviço sustentáveis e observados em situações do quotidiano. Este foi definido tendo em conta as estradas californianas.
- **Nível de Serviço “C”:** Nível de qualidade operacional equivalente à capacidade prática, conforme o definido no HCM 1950.
- **Nível de Serviço “B”:** Nível de qualidade operacional que tem como ponto de comparação a capacidade prática, sendo no entanto esta vocacionada para estradas em ambiente rural.
- **Nível de Serviço “A”:** Nível de qualidade operacional máximo e superior à capacidade prática.

A comissão estava certa de que a introdução do conceito de nível de serviço na metodologia HCM havia sido um grande avanço, pois a qualidade disponibilizada aos utentes de infraestruturas rodoviárias era um dos aspetos mais importantes a ter em conta no dimensionamento e análise deste tipo de infraestruturas.

Esta edição do HCM é conhecida como sendo de 1965, no entanto, foi publicada já no início do ano de 1966. Para além das alterações relativas ao conceito de capacidade e à introdução do conceito de nível de serviço, incorporava ainda outras modificações importantes, como a introdução de novos métodos para a análise de cruzamentos sinalizados, secções de entrecruzamento, rampas e rampas terminais. Foram também introduzidas na metodologia novas secções para a análise de estradas multivias e para o sistema de transportes públicos. O novo manual era composto por 411 páginas, tornando-se no documento mais completo editado pelo Highway Research Board até à época.

Em 1985 surge um renovado HCM (TRB, 1985) com o objetivo de desenvolver e expandir novos conceitos. Devido ao avanço tecnológico, principalmente em termos informáticos, foi possível a criação de novos modelos para uma utilização mais eficaz. Esta edição do HCM foi a primeira a ser editada pelo Transportation Research Board, tendo esta como objetivo uma reflexão mais aprofundada sobre os meios de transporte em geral. A época durante a qual foram efetuados os estudos para a caracterização da versão de 1985 do HCM foi muito conturbada para a organização, pois foi nessa altura que surgiram as primeiras calculadoras eletrônicas e os primeiros computadores, tecnologias estas que por um lado permitiram melhoramentos significativos nesta nova edição do HCM, mas por outro não se encontravam ainda disponíveis ao público-alvo em geral. Assim, a comissão desenvolveu esforços para que fosse possível a aplicação das metodologias descritas no HCM 1985 em papel e caneta. Na introdução de 1985 do HCM, o Transportation Research Board introduziu ainda o conceito de segmento básico, definidos como segmentos que apresentam características de tráfego e de geometria praticamente uniformes ao longo do traçado.

Em 1994 é publicada uma atualização da edição de 1985 do HCM (TRB, 1994). Nesta atualização surgem alterações em determinados conceitos do manual existente. Novas noções relativas às características do tráfego, aos segmentos básicos, às rampas e junções de rampas, cruzamentos sinalizados e intersecções sinalizadas constavam nos sete dos catorze capítulos atualizados pela comissão. Com o avanço da tecnologia muito presente nos anos 90, em 1997 surge a necessidade de antecipar uma nova atualização do manual HCM. A comissão necessitava de orientar os utilizadores do manual para a análise métrica da capacidade e qualidade de serviço (Nível de Serviço). Em 1998 foi publicada esta atualização sendo esta no entanto referida como pertencente ao ano de 1997.

Passados quinze anos da última edição do HCM (1985) é publicada a 4ª edição da manual, o HCM 2000 (TRB 2000). Nesta edição constata-se uma evolução considerável, uma vez que a sua finalidade não se limitava à utilização exclusiva da metodologia por parte dos Estados Unidos da América, mas também por países dos restantes continentes. A metodologia foi publicada nos sistemas de unidades mais utilizados no planeta, o Sistema Internacional de Unidades (SI) e o de Unidades Inglesas, contando também com a participação de elementos de várias nacionalidades. Incluía diversas considerações para a avaliação operacional do sistema de transportes e incluía um CD-ROM para que a sua utilização fosse mais rápida e objetiva. Nesta edição notou-se um avanço significativo nos cálculos considerados na metodologia HCM. Esta edição era composta por 33 capítulos e mais de 1100 páginas.

Em Dezembro de 2010, o Transportation Research Board publicou a versão mais recente do HCM, o HCM 2010 (TRB, 2010). Esta última publicação manteve e consolidou os conceitos do seu antecessor em relação aos segmentos rodoviários e aos procedimentos para a avaliação de segmentos

rodoviários, sendo que as principais modificações se referem a parâmetros e relações aplicados nos diversos métodos utilizados pela metodologia HCM. A versão atual do HCM tem como principal objetivo delimitar claramente o propósito da sua metodologia, apresentando diversas orientações suplementares com o auxílio de ferramentas cujo objetivo é obter a avaliação do nível de serviço.

1.3. Objetivo

Como referido anteriormente, para a caracterização do escoamento de correntes de tráfego em estradas, a legislação nacional em vigor remete para a determinação do Nível de Serviço de estradas da rede nacional segundo a metodologia proposta pelo Highway Capacity Manual (HCM), do Transportation Research Board (TRB) - National Academy of Sciences dos EUA.

A experiência Portuguesa na aplicação da nova metodologia introduzida em 2010, para a avaliação do nível de serviço na rede de autoestradas nacional é ainda muito limitada, pelo que a análise da aplicabilidade da mesma à realidade portuguesa apresenta-se pertinente.

Esta avaliação passa por verificar se é possível reunir a informação sobre as características geométricas e do tráfego necessárias, assim como da adequação da adoção dos fatores recomendados pela metodologia.

Desta forma, a descrição da metodologia americana e avaliação da sua aplicabilidade para a determinação do nível de serviço em estradas multivias portuguesas, através da sua aplicação a um caso de estudo, constituem os principais objetivos do trabalho aqui apresentado.

No caso de estudo serão avaliados o nível de serviço e a capacidade de segmentos básicos, rampas de aceleração e desaceleração, para um conjunto de sublanços da Concessão Scutvias, numa extensão total de 60 km.

1.4. Organização do documento

A presente dissertação, quanto à sua organização, é constituída por quatro capítulos. No Capítulo 1 é feita a introdução ao tema estudado, apresentando um enquadramento, o estado de arte e os objetivos principais a atingir com o desenvolvimento da dissertação.

No Capítulo 2 descreve-se a metodologia utilizada para o cálculo do nível de serviço, sendo apresentadas todas as suas particularidades e formulações que permitem a sua aplicação.

O Capítulo 3 apresenta a aplicação do método a um caso de estudo com o objetivo verificar a adequabilidade do método às condições portuguesas.

Para finalizar, no Capítulo 4 apresentam-se as principais conclusões retiradas do trabalho desenvolvido nesta dissertação, assim como as propostas de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Metodologia HCM 2010 para análise do nível de serviço e da capacidade de estradas multivias

2.1. Introdução

2.1.1. Estradas multivias

Segundo a definição global, as estradas multivias consistem numa infraestrutura composta por duas faixas de rodagem (com um separador físico), uma para cada sentido de circulação, constituídas por duas ou mais vias de tráfego (HCM, 2010). A principal característica deste tipo de vias é a impossibilidade do utilizador, ao efetuar uma manobra de ultrapassagem, utilizar as vias destinadas à circulação de veículos no sentido oposto, uma vez que a corrente de tráfego circula toda no mesmo sentido dentro da faixa de rodagem.

Para além do referido, as estradas multivias têm a particularidade de conseguirem escoar uma grande quantidade de tráfego em ambientes rurais ou suburbanos, a velocidades elevadas, estando ligadas ao espaço envolvente por interseções, normalmente desniveladas, às quais é dada uma importância especial no que diz respeito à análise do nível de serviço da infraestrutura.

A entrada e saída do tráfego neste tipo de vias (interseções) acontece com o auxílio de junções com rampas. Estas rampas podem ser de três tipos: rampas de aceleração, rampas de desaceleração e zonas de entrecruzamento.

As estradas multivias oferecem boas condições de circulação e a capacidade oferecida é muito elevada em relação à dos restantes tipos de infraestruturas rodoviárias.

As principais componentes das estradas multivias consideradas na avaliação do nível de serviço e da capacidade, com abordagens diferenciadas na metodologia HCM 2010 são:

- Rampas de aceleração;
- Rampas de desaceleração;

- Zonas de entrecruzamento;
- Secções correntes.

Rampas de aceleração: As rampas de aceleração ou segmentos de convergência são ramos de ligação/acesso em que uma ou mais vias de tráfego se unem, formando uma única via de tráfego (ver Figura 2.1). Estes segmentos localizam-se em zonas de ligação com outras infraestruturas rodoviárias. A área de influência deste tipo de segmentos estende-se do ponto onde as vias de tráfego se fundem a um ponto a jusante deste distanciado de 500 metros.



Figura 2.1: Rampa de aceleração (<https://maps.google.pt>).

Rampas de desaceleração: As rampas de desaceleração ou segmentos de divergência fazem parte dos ramos de ligação/acesso nos quais uma ou mais vias de tráfego se dividem formando duas ou mais vias (ver Figura 2.2). À semelhança dos segmentos de aceleração, estes localizam-se em zonas de ligação com outras infraestruturas rodoviárias. A área de influência destas zonas estende-se do ponto onde as vias de tráfego se fundem a um ponto a montante distanciada a 500 metros do ponto de união das vias de tráfego.



Figura 2.2: Rampa de desaceleração (<https://www.brisaconcessao.pt>).

Zonas de entrecruzamento: As secções de entrecruzamento são zonas em que duas ou mais vias de tráfego com o mesmo sentido se cruzam durante uma extensão significativa da estrada, sem o auxílio de dispositivos de controlo de tráfego (ver Figura 2.3). Este tipo zonas corresponde às situações em que se verifica a existência de um segmento de aceleração, seguido de um segmento de desaceleração, estando estes conectados por uma via auxiliar contínua. O comprimento desta via auxiliar contínua mais 150 metros a montante do ponto de entrada na via de tráfego e 200m a jusante do ponto de saída da via de tráfego, perfaz o comprimento base desta zona.



Figura 2.3: Secção de entrecruzamento (Escala 1:4000) (<https://maps.google.pt>).

Secções correntes: As secções correntes de estradas multivias são todos os segmentos que não são afetados pelas áreas de influência dos segmentos de aceleração, desaceleração e das secções de entrecruzamento. Neste tipo de secções as alterações nas características geométricas da estrada não são significativas. A figura 2.4 ilustra uma zona de secção corrente numa estrada multivias.



Figura 2.4: Secção corrente de estrada multivias (<https://www.brisaconcessao.pt>).

O facto dos segmentos básicos não estarem contidos nos restantes tipos de segmentos descritos (rampas de aceleração, rampas de desaceleração e zonas de entrecruzamento), não significa que não sejam afetados pela presença destes. Em relação à localização dos segmentos básicos, estes surgem com maior frequência, neste tipo de estradas, nas zonas rurais, com rampas de aceleração, desaceleração e zonas de entrecruzamento mais espaçados entre si. Contudo, também se pode observar a existência deste tipo de segmentos em infraestruturas localizadas em zonas urbanas, sendo no entanto a sua extensão mais curta, uma vez que a existência de rampas de aceleração, desaceleração e zonas de entrecruzamento é mais frequente.

No âmbito desta dissertação serão apenas apresentadas e aplicadas, num caso de estudo, as metodologias HCM 2010 para a determinação do nível de serviço e da capacidade de secções correntes e de rampas de aceleração e desaceleração de estradas multivias. Prevê-se no entanto a aplicação a zonas de entrecruzamentos num futuro próximo.

2.1.2. Condições de base

De acordo com o HCM 2010, para que seja possível proceder-se ao estudo do nível de serviço prestado por uma determinada estrada, é necessário recorrer-se a determinados indicadores ou condições de base, indispensáveis para que a medição deste seja efetuada com sucesso. Os indicadores utilizados para a medição dos níveis de serviço são obtidos não só do ponto de vista geométrico, mas também relativamente ao tráfego existente na infraestrutura que se pretende analisar.

Os indicadores necessários para a análise de uma estrada multivias necessitam de ser selecionados tendo em conta os componentes do segmento que se pretende analisar, sendo apresentados mais à frente, para cada um dos casos, nos pontos 2.2.2 e 2.3.2.

2.1.3. Níveis de Serviço

O Nível de serviço é uma grandeza que caracteriza as instalações rodoviárias do ponto de vista das condições de circulação do tráfego oferecidas aos usuários da infraestrutura. Os níveis de serviço são representados por letras, de *A* a *F*, correspondendo um nível de serviço *A* a condições de tráfego mais favoráveis e um nível de serviço *F* a condições mais desfavoráveis. De acordo com o HCM 2010, a caracterização dos níveis de serviço em estradas multivias é feita da seguinte forma:

Nível de Serviço A: Condições de operação de carácter livre. A velocidade de fluxo livre (FFS) mantém-se e a liberdade de manobra é máxima ao longo da instalação considerada. Caso existam incidentes ou pontos de quebra pontuais ao longo das vias, estes são facilmente absorvidos pela corrente de tráfego. Nível de conforto e adequação: Ótimo.

Nível de Serviço B: Condições de operações de carácter razoável. A velocidade de fluxo livre (FFS) mantém-se, sendo a facilidade de manobra mais restrita do que no nível de serviço A. O conforto dado aos utilizadores é muito elevado, tanto do ponto de vista físico como psicológico. Os efeitos de pequenos incidentes ou quebras pontuais ao longo da via são também facilmente absorvidos pela corrente de tráfego. Nível de conforto e adequação: Bom.

Nível de Serviço C: A velocidade de circulação do tráfego é próxima da velocidade de fluxo livre (FFS) da instalação rodoviária. A facilidade de manobra no fluxo de tráfego é visivelmente restringida, provocando uma maior cautela em relação às mudanças de via por parte dos utentes. Os incidentes de menor gravidade podem ainda ser absorvidos pela corrente de tráfego, no entanto, nota-se uma diminuição acentuada na qualidade do serviço. Nível de conforto e adequação: Regular.

Nível de Serviço D: É neste nível de serviço que se começa a notar uma ligeira diminuição das velocidades, devido ao aumento do fluxo, assim como o conseqüente aumento da densidade do

tráfego. A facilidade de manobra é seriamente limitada, tendo como consequência a redução dos níveis de conforto físico e psicológico. É de esperar o aparecimento de filas de congestionamento de tráfego devido ao espaço reduzido disponível para absorver incidentes e roturas. Nível de conforto e adequação: Mau.

Nível de Serviço E: As condições de operação registadas nestas condições de serviço são bastante voláteis, correspondendo a condições de operação na capacidade. Nota-se um decréscimo significativo em relação ao espaço de manobra existente na corrente de tráfego, sendo que a menor perturbação do fluxo de tráfego (entrada e saída de veículos, mudanças de via) origina uma onda de rotura que se pode propagar ao longo da corrente de tráfego. A corrente de tráfego não tem capacidade de dissipar até mesmo a interrupção mais pequena, provocando qualquer incidente uma séria quebra que dá origem à formação de filas de extensão substancial. O conforto físico e psicológico proporcionado aos utentes é fraco. Nível de conforto e adequação: Muito mau.

Nível de serviço F: Nível de serviço mais desfavorável. Ocorrência de quebras sendo o fluxo de tráfego muito instável. Estas quebras/congestionamentos ocorrem devido aos seguintes aspetos:

- Em incidentes de tráfego que podem reduzir temporariamente a capacidade de pequenos segmentos da estrada, o número de veículos que chegam a determinado ponto da estrada seja superior ao número de veículos que podem movimentar-se ao longo dele.
- Pontos de entrecruzamento, de convergência, de divergência e de mudança de via com um número de veículos à chegada superior ao número de veículos que podem ser escoados (à saída).
- Em análises que utilizam volumes de tráfego estimados, situações em que o fluxo de tráfego calculado exceder a capacidade estimada para um determinado local.

Em todos os casos, as situações de colapso ocorrem quando a razão entre a procura existente e a capacidade real, ou entre a procura prevista e a capacidade estimada, excede 1,00.

O nível de serviço F resulta assim de uma quebra ou congestionamento a jusante de uma determinada secção, com formação de filas que provocam a extensão deste nível de serviço em distâncias relativamente grandes a montante da secção congestionada.

Nível de conforto e adequação: Inaceitável.

A velocidade média, a razão entre o fluxo de procura e a capacidade e a densidade constituem três medidas de desempenho que permitem a caracterização de uma secção corrente de estrada multivias, no entanto apenas a densidade pode ser adotada como medida para a determinação do nível de serviço. Este fato deve-se à velocidade média ser constante para uma gama de fluxos ampla e da razão entre o fluxo de procura e a capacidade não ser diretamente perceptível aos utentes da estrada.

2.2. Análise de secções correntes

2.2.1. Âmbito e limitações da metodologia

A utilização da metodologia do HCM 2010 destina-se à análise de secções correntes de estradas multivias tendo como foco principal a análise da capacidade, nível de serviço, número de vias necessárias e o efeito das características geométricas do traçado.

As limitações da metodologia registam-se em situações referenciadas como:

- Vias especiais reservadas à circulação de apenas um tipo de veículo, como são exemplos as vias de ocupação elevada, vias para camiões e as vias adicionais em rampa;
- Vias com dispositivos de controlo de mudança de via;
- Segmentos extensos de pontes e túneis;
- Segmentos próximos de praças de portagem;
- Infraestruturas com FFS inferior a 90km/h ou superior a 120km/h;
- A influência da formação de filas (a jusante) num segmento de estrada;
- Limites de velocidade fixados e práticas de controlo;
- Presença de sistemas inteligentes de transportes relacionados com a orientação do veículo ou do condutor;
- Efeitos de melhoria na capacidade instalada devido a sinalização luminosa nos ramos de ligação;
- Efeitos operacionais em condições de saturação (congestionamento);
- Efeitos operacionais das operações de construção.

2.2.2. Condições de base

As condições de base segundo as quais é realizada a análise do nível de serviço em segmentos básicos de estradas multivias incluem: condições atmosféricas ideais com boa visibilidade; inexistência de incidentes ou acidentes; inexistência de trabalhos na via durante a análise; as condições do pavimento devem ser ideais, devendo o pavimento estar em condições perfeitas, sem deterioração; a velocidade de circulação deve estar compreendida entre os 90 km/h e os 120 km/h; o número de vias em cada sentido deve ser no mínimo de duas e a densidade total de rampas inferior a 6 rampas/km.

Em relação ao tráfego, as condições de base consideram ainda:

- Ausência de veículos pesados na corrente de tráfego;
- Uma população de condutores composta por utentes regulares (normalmente associados a viagens pendulares), logo familiarizada com a infraestrutura utilizada;

- Uma largura mínima das vias de 3,75 metros e uma desobstrução lateral direita de 1,8 metros.

Tipos de fluxo para as condições de base

O fluxo de tráfego, tendo em conta as condições de base, pode assumir valores dependentes do tipo de fluxo registado. O fluxo pode ser não saturado, de dissipação de fila ou saturado como é possível verificar no gráfico presente na figura 2.5.

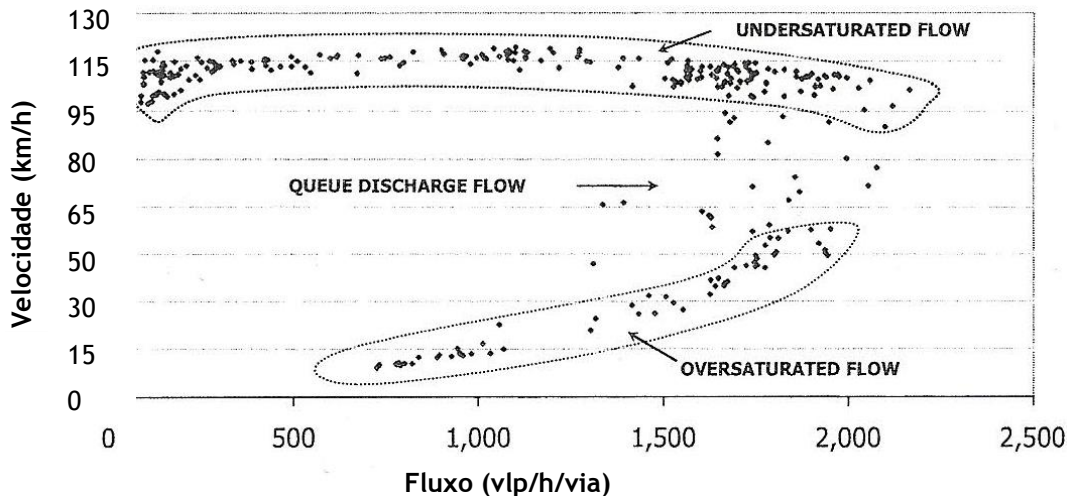


Figura 2.5: Tipos de fluxo em estradas multivias. (TRB, 2010).

- O fluxo não saturado ocorre quando a corrente de tráfego não é influenciada pela existência de congestionamentos a montante ou a jusante da seção em análise.
- O fluxo de dissipação de fila acontece quando a corrente de tráfego acaba de atravessar um ponto de congestionamento, permitindo aos utilizadores regressarem à velocidade praticada para as condições prevaletentes da infraestrutura.
- O fluxo saturado ocorre quando se verifica congestionamento a jusante, refletindo a corrente de tráfego a ocorrência destas condições. A corrente de tráfego não opera segundo as condições prevaletentes, sendo que todo o fluxo sobressaturado é considerado congestionado.

A metodologia de análise para secções correntes de estradas multivias é inteiramente baseada na calibração da relação velocidade-fluxo para as condições de base e fluxos não saturados.

Curvas de velocidade-fluxo para as condições de base

Na figura 2.6 é apresentado um gráfico onde são ilustradas as curvas de velocidade - fluxo para secções correntes de estradas multivias, segundo as condições base.

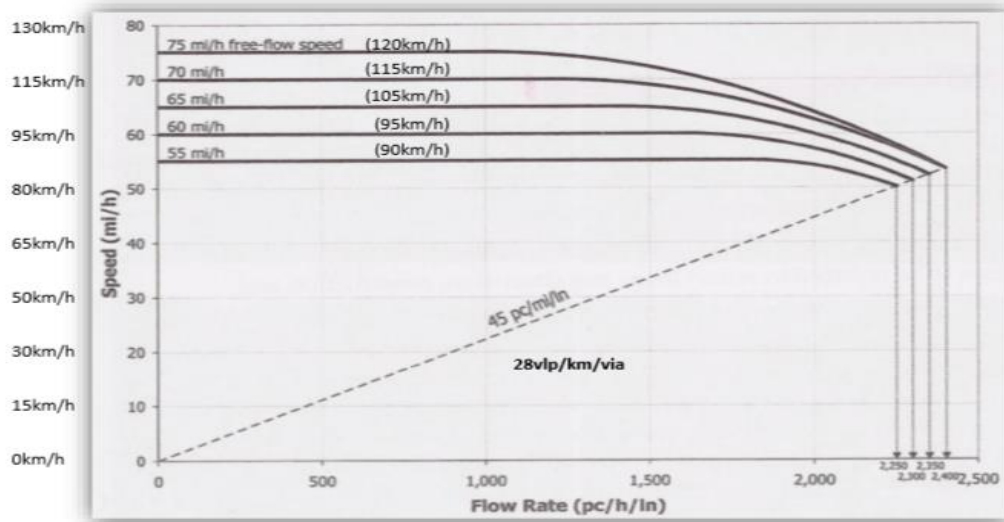


Figura 2.6 - Curvas de velocidade-fluxo para seções correntes de estradas multivias que verificam as condições de base definidas (Adaptado do HCM 2010 por Santos, B. e Gonçalves, J. (2014)).

São cinco as curvas de velocidade vs fluxo que ilustram o comportamento dos segmentos básicos de estradas multivias segundo as condições ideais, uma para cada velocidade livre de circulação considerada: 120 Km/h, 115 Km/h, 105 Km/h, 95 Km/h, 90 Km/h.

Para cada curva existe um intervalo de valores do fluxo que varia entre os 0 vlp/h/via e o valor de quebra da curva, entre os quais o valor da velocidade se mantém constante e igual à velocidade livre (FFS - free flow speed) (HCM 2010).

- $FFS=120$ Km/h: 0-1000 vlp/h/via;
- $FFS=115$ Km/h: 0-1200 vlp/h/via;
- $FFS=105$ Km/h: 0-1400 vlp/h/via;
- $FFS=95$ Km/h: 0-1600 vlp/h/via;
- $FFS=90$ Km/h: 0-1800 vlp/h/via.

A partir do ponto de quebra, a velocidade diminui com o aumento do fluxo de veículos até se atingir a capacidade (28 vlp/km/via).

Devido à dificuldade de estimar ou medir a FFS, para valores intermédios da FFS não devem ser efetuadas interpolações entre as curvas apresentadas na Figura 2.6, já que pode dar origem a variações consideráveis entre os valores observados no gráfico e os medidos no local. Assim, deve adotar-se:

- $117,5 \text{ km/h} \leq \text{FFS} < 125,0 \text{ km/h}$ usar a curva da $\text{FFS} = 120 \text{ km/h}$;
- $110,0 \text{ km/h} \leq \text{FFS} < 117,5 \text{ km/h}$ usar a curva da $\text{FFS} = 115 \text{ km/h}$;
- $100,0 \text{ km/h} \leq \text{FFS} < 110,0 \text{ km/h}$ usar a curva da $\text{FFS} = 105 \text{ km/h}$;
- $92,5 \text{ km/h} \leq \text{FFS} < 100,0 \text{ km/h}$ usar a curva da $\text{FFS} = 95 \text{ km/h}$;
- $85,0 \text{ km/h} \leq \text{FFS} < 92,5 \text{ km/h}$ usar a curva da $\text{FFS} = 90 \text{ km/h}$.

Fatores como a largura das vias, a desobstrução lateral da berma direita e a densidade de rampas de entrada e saída de intersecções desniveladas podem afetar o valor da FFS em secções correntes de estradas multivias. Outros fatores como o alinhamento horizontal e vertical da estrada, os limites de velocidade fixados, o nível de controlo da velocidade, as condições de iluminação e o tempo, também podem influenciar a FFS.

A tabela 2.1 apresenta as equações das curvas de velocidade - fluxo ilustradas na figura 2.6.

Tabela 2.1: Equações descritivas das curvas de velocidade - fluxo (Adaptado do HCM 2010).

FFS (Km/h)	<u>Intervalo do Fluxo</u>		
	Ponto de Quebra (vlp/h/via)	$\geq 0 \leq$ Ponto de Quebra (km/h)	\geq Ponto de Quebra \leq Capacidade (km/h)
120	1000	120	$120 - 0,00001107 \times (v_p - 1000)^2 \times 1,609$
115	1200	115	$115 - 0,00001160 \times (v_p - 1200)^2 \times 1,609$
105	1400	105	$105 - 0,00001418 \times (v_p - 1400)^2 \times 1,609$
95	1600	95	$95 - 0,00001816 \times (v_p - 1600)^2 \times 1,609$
90	1800	90	$90 - 0,00002469 \times (v_p - 1800)^2 \times 1,609$

Capacidade para as condições de base

Tendo em conta as condições de base, a capacidade em secções correntes de estradas multivias variam com a FFS como é possível verificar na tabela 2.2.

Tabela 2.2: Capacidade de estradas multivias para condições de base (Adaptado do HCM 2010 por Santos, B. e Gonçalves, J. (2014)).

FFS (km/h)	Capacidade (vlp/km/via)
120	2400
115	2400
105	2350
95	2300
90	2250

Os valores da capacidade tendo em conta condições de base referem-se a fluxos médios considerando o fluxo de tráfego igualmente repartido em todas as vias. No entanto este fluxo pode não estar uniformemente distribuído, sendo que uma ou duas vias poderão apresentar fluxos estáveis com valores superiores aos apresentados na tabela 2.2.

2.2.3. Procedimento para a determinação do nível de serviço e da capacidade em secções correntes de estradas multivias

Determinação do Nível de Serviço

O fluxograma da Figura 2.7, adaptado do HCM2010, apresenta de forma esquemática o procedimento a seguir para a análise do nível de serviço em secções correntes de estradas multivias.

Este fluxograma divide a análise em seis passos, os quais são descritos de seguida.

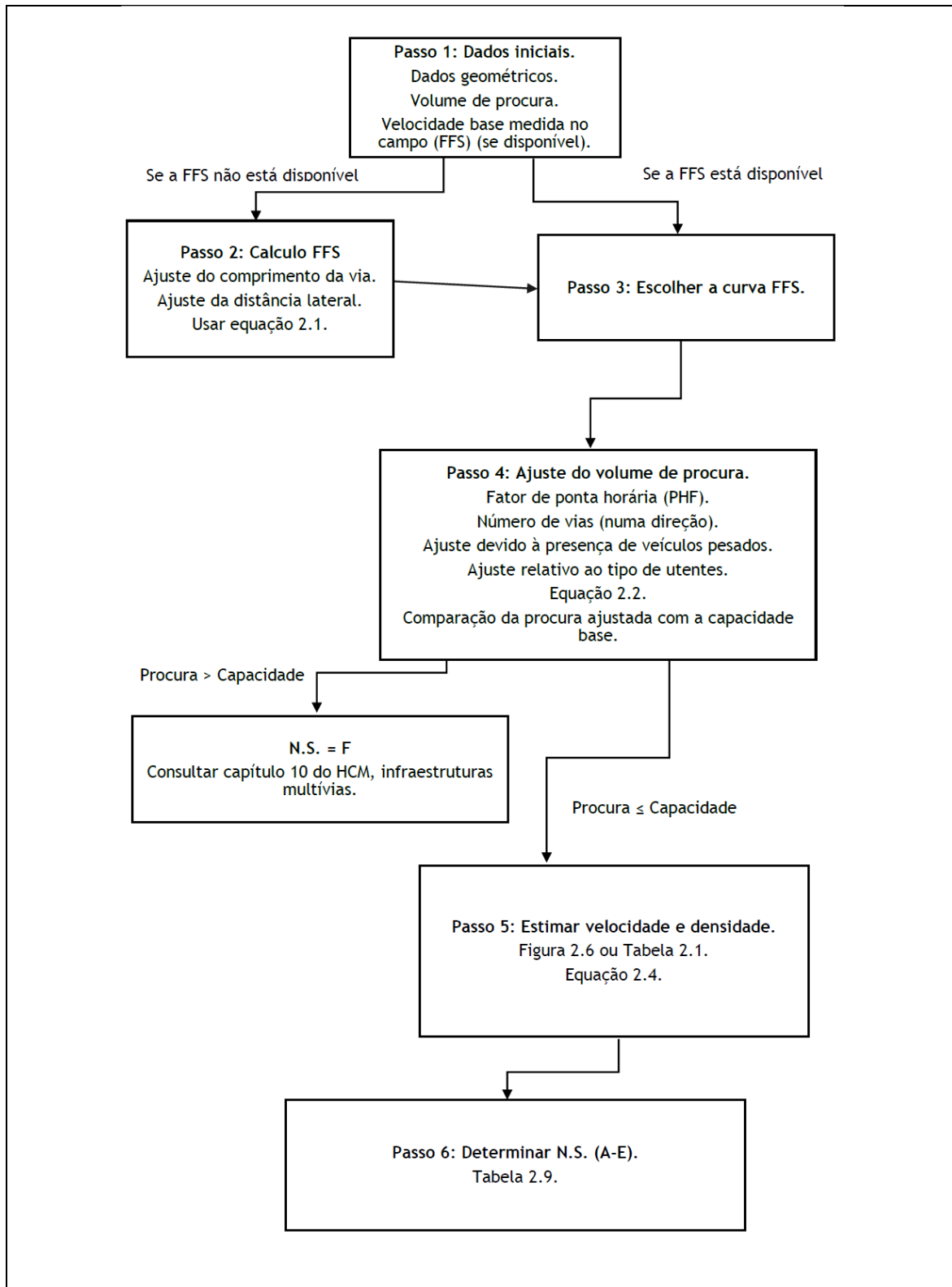


Figura 2.7: Fluxograma da metodologia de análise operacional para secções correntes de estradas multivias (Adaptado do HCM 2010).

Passo 1 - Dados iniciais.

A análise de secções correntes de estradas multivias requer um conjunto de informações relativas às características geométricas e às características da procura por parte dos utentes dos segmentos em análise.

Dados geométricos:

- Velocidade livre de circulação (FFS) compreendida entre 90 e 120 km/h;
- Largura das vias compreendida entre 3,00 e 3,75 m ou mais;
- Desobstrução lateral direita compreendida entre 0 e 1,80 m ou mais;
- Número mínimo de duas vias em cada faixa de rodagem;
- Densidade total de rampas de ligação entre 0 e 4 acessos/km;
- Tipo de terreno plano, ondulado ou montanhoso.

Dados da procura:

- Procura obtida durante a hora de análise ou ao longo do dia;
- Fatores K e D (em que K é a proporção do tráfego média diário anual, TMDA durante a hora de ponta e D é a proporção do volume na hora de ponta que circula na direção de ponta);
- Presença e veículos pesados (proporção de camiões, autocarros e veículos de recreio) que deve estar compreendido entre 0 e 100% em condições gerais do terreno ou entre 0 e 25% em condições específicas;
- Fator de ponta horária (PHF) menor ou igual a 1,00;
- Fator relativo à população de condutores compreendido entre 0,85 e 1,00.

Em relação à velocidade de fluxo livre, esta pode ou não ser conhecida, sendo que se estiver disponível (medida no local) é possível prosseguir imediatamente para o Passo 3. Caso não seja facultada, é necessário proceder à determinação da mesma, passando-se assim ao Passo 2 e só posteriormente ao 3.

Passo 2 - Obtenção da velocidade de fluxo livre

Consiste na determinação da velocidade de fluxo livre. A velocidade de fluxo livre pode ser medida no local efetuando posteriormente os ajustes necessários nos valores obtidos. A determinação da velocidade de fluxo livre para infraestruturas futuras é feita por estimativa, uma vez que é impossível efetuar a sua medição. Para estimar este valor é necessário recorrer à seguinte expressão:

$$FFS = 121,3 - f_{LW} - f_{LC} - \left[3,22 \times (TRD \times 1,609)^{0,84} \right] \times 1,609 \quad (2.1)$$

Onde:

FFS - Velocidade de fluxo livre (Km/h);

f_{LW} - Fator de ajuste da velocidade de fluxo livre relativo à largura média das vias;

f_{LC} - Fator de ajuste da velocidade de fluxo livre relativo à desobstrução lateral direita;

TRD - Densidade total de ramos de ligação (rampas/km).

A avaliação das seções correntes de estradas multivias é realizada para velocidades de fluxo livre entre 90 km/h e 120 km/h.

Em relação ao ajuste da largura das vias, este é realizado tendo por condição de base uma largura de 3,75 m ou superior. Quando esta largura é inferior a 3,75 m, a velocidade de fluxo livre é afetada negativamente. Assim, é necessário efetuar os ajustes exibidos na tabela 2.3.

Tabela 2.3: Fatores de ajuste da velocidade de fluxo livre relativamente à largura média das vias (Adaptado do HCM 2010).

Largura Média das Vias (m)	Redução na FFS, <i>f_{LW}</i> (Km/h)
≥ 3,75	0,0
≥ 3,50 - 3,75	3,0
≥ 3,00 - 3'50	11,0

O ajuste a efetuar na desobstrução lateral direita é considerado sempre que esta é inferior a 1,8 m. A desobstrução lateral direita é medida desde a borda direita da faixa de rodagem até à obstrução lateral mais próxima. No entanto, é necessário ter alguns cuidados na identificação das obstruções laterais, já que estas podem ser contínuas, como é o caso dos muros de contenção, das barreiras de betão e das guardas de segurança, ou de carácter provisório, como os postes de iluminação e os pilares dos pórticos de sinalização.

A tabela 2.4 apresenta os fatores de ajuste da velocidade de fluxo livre a adotar em função da distância a que se encontram as obstruções laterais que ocorrem ao longo da secção e do número de vias por sentido de circulação.

Tabela 2.4: Fatores de ajuste da velocidade de fluxo livre relativos à desobstrução lateral direita, f_{LC} (km/h). (Adaptado do HCM 2010).

Desobstrução Lateral Direita (m)	Número de vias por sentido de circulação			
	2	3	4	≥ 5
≥ 1,8	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	1,0	0,6	0,3	0,2
1,2	1,9	1,3	0,6	0,3
1,0	2,9	1,9	1,0	0,5
0,6	3,9	2,6	1,3	0,6
0,3	4,8	3,2	1,6	0,8
0,0	5,8	3,9	1,9	1,0

A restrição da distância lateral faz com que os veículos, ao circularem na via mais à direita, tenham tendência a circular mais à esquerda, afetando os veículos que circulam na via adjacente. É de realçar que distâncias de desobstrução lateral inferiores a 0,6 m ou inferiores são raras, não sendo considerados fatores de ajuste para estas situações.

Finalmente, a densidade total de rampas é definida como o número de rampas localizadas entre 5 km a montante e 5 km a jusante do ponto médio da secção em estudo.

Passo 3 - Escolha da curva FFS

Depois de determinada a velocidade de fluxo livre, passa-se à fase de escolha da curva de FFS a adotar na análise. A curva é selecionada de entre as cinco curvas presentes no gráfico da figura 2.6 ou 2.8. Não é recomendada a interpolação entre curvas, devendo-se adotar o critério descrito no ponto 2.2.2.

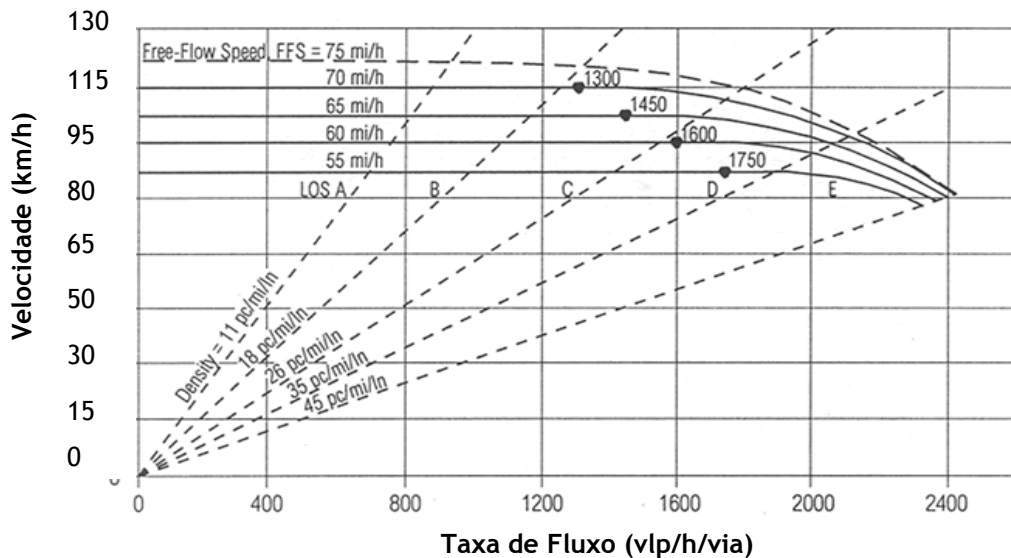


Figura 2.8: Curvas da velocidade de fluxo livre e nível de serviço para a secção corrente de estradas multivias (1 mi = 1,609 km). (Adaptado do HCM 2010).

Passo 4 - Ajuste do volume de procura

O ajuste do volume da procura é efetuado no passo 4 da metodologia descrita no cronograma. As curvas observadas na figura 2.7 baseiam-se em fluxos horários expressos em número equivalente de veículos ligeiros de passageiros por hora, para uma população de condutores maioritariamente familiarizada com a infraestruturas. Desta forma, existe a necessidade de converter os volumes da procura, expressos em veíc/h nas condições prevalecentes da estrada, para a unidade adotada na construção das curvas de velocidade-fluxo. O volume de procura expresso em veículos por hora obtém-se assim pela aplicação da expressão 2.2.

$$V_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV} \times f_p} \quad (2.2)$$

Onde:

- V_p - Volume horário da procura para as condições de base (vlp/h/via);
- V - Volume da procura para as condições de base (veíc./h);
- PHF - Fator de ponta horária;
- N - Número de vias na direção em análise;
- f_{HV} - Fator de ajuste devido à presença de veículos pesados na corrente de tráfego;
- f_p - Fator de ajuste relativo ao tipo de utentes.

O fator de ponta horária (PHF) representa a variação da corrente de tráfego dentro do período de uma hora. Numa infraestruturas multivias com separador físico, este fator encontra-se dentro de

uma gama de valores que vai desde 0,85 a 0,98. Os valores mais baixos dentro desta gama representam condições de volumes de tráfego baixos, enquanto os valores mais altos representam condições típicas de pico-horário em zonas urbanas ou suburbanas.

O fator de ajustamento devido à presença de veículos pesados pode ser obtido com recurso à expressão 2.3.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T (E_T - 1) + P_R (E_R - 1)} \quad (2.3)$$

Onde:

f_{HV} - Fator de ajuste devido à presença de veículos pesados na corrente de tráfego;

P_T - Proporção de veículos pesados na corrente de tráfego;

P_R - Proporção de veículos de recreio na corrente de tráfego;

E_T - Fator de equivalência em veículos ligeiros de passageiros para veículos pesados (obtido da Tabela 2.4);

E_R - Fator de equivalência em veículos ligeiros de passageiros para os veículos de recreio (obtido da Tabela 2.4).

A unidade “veículos ligeiros de passageiros equivalente” representa o número de veículos ligeiros de passageiros na corrente de tráfego que provocam o mesmo efeito que um camião, autocarro ou veículo de recreio, para as condições existentes.

Em muitas situações, os camiões (e autocarros) constituem o tipo de veículo pesado maioritariamente presente na corrente de tráfego, enquanto os veículos de recreio representam uma percentagem muito pequena dos veículos pesados que circulam na mesma corrente de tráfego. Quando isto acontece os veículos de recreio podem ser considerados camiões.

As secções correntes de uma estrada multivias em condições gerais do terreno podem ser apresentadas os seguintes 3 tipos de terrenos:

Terreno Plano: Secções com inclinações que em geral não ultrapassam os 2%, que permitem que os veículos pesados consigam manter uma velocidade de circulação semelhante à adotada pelos veículos ligeiros de passageiros.

Terreno Ondulado: Secções com inclinações que provoquem uma redução acentuada da velocidade praticada pelos veículos pesados em comparação com a que é praticada pelos veículos ligeiros de passageiros sendo que esta velocidade não se registre ao longo de um período significativo ou durante intervalos frequentes

Terreno Montanhoso: Secções que apresentam uma combinação de inclinações que causam aos veículos pesados a circulação em “*crawl speed*” durante extensões significativas.

A tabela 2.5 ilustra o número de veículos ligeiros equivalentes correspondentes a cada veículo pesado, considerando o tipo de terreno.

Tabela 2.5: Veículos ligeiros de passageiros equivalentes a um veículo pesado ou de recreio de acordo com o tipo de terreno (Adaptado do HCM 2010).

Tipo de Veículo	Plano	Ondulado	Montanhoso
Camiões e autocarros, E_T	1,5	2,5	4,5
Recreio, E_R	1,2	2,0	4,0

As seções que apresentem inclinações compreendidas entre 2% e 3% numa extensão superior a 800m, ou com inclinações superiores a 3% numa extensão superior a 400m, devem ser alvo de uma análise própria, sendo denominadas como “segmentos com inclinações específicas”.

De seguida, são apresentadas as tabelas 2.6 e 2.7, as quais mostram os fatores de equivalência em veículos ligeiros de passageiros para os camiões/autocarros (E_T) e veículos de recreio (E_R). Estes fatores estão diretamente relacionados com a variação da inclinação, extensão da rampa e consequentemente com a proporção de veículos pesados na corrente de tráfego.

Tabela 2.6: Fatores de equivalência para veículos de recreio (E_R) em rampas com inclinações específicas (Adaptado do HCM 2010).

Inclinação (%)	Comprimento (Km)	Proporção de Veículos de Recreio								
		2%	4%	5%	6%	8%	10%	15%	20%	≥25%
≤2	Todos	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
>2-3	0,0-0,8	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	>0,8	3,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2
>3-4	0,0-0,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	>0,4-0,8	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
	>0,8	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5
>4-5	0,0-0,4	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,4-0,8	4,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
	>0,8	4,5	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0
>5	0,0-0,4	4,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	1,5
	>0,4-0,8	6,0	4,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0
	>0,8	6,0	4,5	4,0	4,0	3,5	3,0	3,0	2,5	2,0

Tabela 2.7: Veículos ligeiros de passageiros equivalentes a veículos pesados (E_T) em rampas com inclinações específicas (Adaptado do HCM 2010).

Inclinação (%)	Extensão (Km)	Proporção de Camiões e Autocarros								
		2%	4%	5%	6%	8%	10%	15%	20%	≥ 25%
≤ 2	Todos	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
>2 - 3	0,0 - 0,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,4 - 0,8	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,8 - 1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>1,2 - 1,6	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5
	>1,6 - 2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0
	>2,4	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
>3 - 4	0,0 - 0,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,4 - 0,8	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5
	>0,8 - 1,2	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>1,2 - 1,6	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0
	>1,6 - 2,4	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
	>2,4	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
>4 - 5	0,0 - 0,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,4 - 0,8	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,8 - 1,2	3,5	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	>1,2 - 1,6	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>1,6	5,0	4,0	4,0	4,0	3,5	3,5	3,0	3,0	3,0
>5 - 6	0,0 - 0,4	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	>0,4 - 0,5	4,0	3,0	2,5	2,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	>0,5 - 0,8	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	>0,8 - 1,2	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>1,2 - 1,6	5,5	5,0	4,5	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	>1,6	6,0	5,0	5,0	4,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
>6	0,0 - 0,4	4,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,0	2,0	1,0
	>0,4 - 0,5	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5
	>0,5 - 0,8	5,0	4,5	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,5	2,5
	>0,8 - 1,2	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0	3,0	3,0
	>1,2 - 1,6	6,0	5,5	5,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,5	3,5
	>1,6	7,0	6,0	5,5	5,5	5,0	4,5	4,0	4,0	4,0

Ao circular numa rampa no sentido descendente (declives), os veículos pesados podem sofrer alteração nas suas condições de circulação. Se a inclinação da rampa não for tal que obrigue este

tipo de veículos a operar com uma mudança mais reduzida, de forma a não aumentarem a sua velocidade de circulação, considera-se que as condições de circulação são semelhantes às de terreno plano. Caso contrário, é necessário considerar o efeito da circulação em declive como um segmento com inclinação específica, sendo necessário recorrer à tabela 2.8 para obter os correspondentes fatores de equivalência para camiões ou autocarros.

Tabela 2.8: Veículos ligeiros equivalentes a veículos pesados (E_T) em declives específicos (Adaptado do HCM 2010).

Inclinação (%)	Comprimento (Km)	Proporção de Veículos Recreativos			
		5%	10%	15%	≥20%
<4	Todos	1,5	1,5	1,5	1,5
4-5	≤6,4	1,5	1,5	1,5	1,5
	>6,4	2,0	2,0	2,0	1,5
>5-6	≤6,4	1,5	1,5	1,5	1,5
	>6,4	5,5	4,0	4,0	3,0
>6	≤6,4	1,5	1,5	1,5	1,5
	>6,4	7,5	6,0	5,5	4,5

Os veículos de recreio, quando presentes na corrente de tráfego a circular em declives com inclinações específicas, consideram-se a operar em terreno plano.

Finalmente, o fator de ajustamento f_p da expressão 2.2 é usado para refletir o efeito do tipo de utentes. Os valores do fator f_p estão compreendidos entre 0,85 e 1,00. No geral esta análise utiliza o valor de 1,00, refletindo utentes regulares, familiarizados com a infraestrutura.

Sendo o nível de serviço F um nível crítico, é de extrema importância proceder à sua identificação. Assim, o volume da procura estimada, em veículos ligeiros de passageiros, por hora e por via, segundo as condições prevalentes da estrada, deve ser comparado com a capacidade base do segmento. No caso de a procura estimada exceder a capacidade do segmento, o nível de serviço é F , o que corresponde a uma situação de congestionamento, cuja análise deve ser efetuada recorrendo à metodologia descrita no Capítulo 10 do Volume 2 do HCM 2010. Para volumes da procura inferiores ou iguais à capacidade base, a análise continua para o Passo 5.

Passo 5 - Estimar velocidade e densidade

A velocidade e a densidade são duas características muito importantes na análise de uma secção corrente de uma estrada multivias. Assim, depois de determinada a velocidade de fluxo livre e escolhida a curva de velocidade-fluxo apropriada para a análise, assim como obtido o volume da

procura expresso em veículos ligeiros de passageiros por hora e por via, é possível obter uma estimativa da velocidade e da densidade.

Calculados os parâmetros relativos às expressões 2.1 e 2.2, é possível efetuar o cálculo da densidade através da equação 2.4:

$$D = \frac{V_p}{S} \quad (2.4)$$

Onde:

D - Densidade (vlp/km/via);

V_p - Volume horário da procura (vlp/h/via);

S - Velocidade média da corrente de tráfego para as condições de base (km/h).

A expressão 4.4 apenas pode ser utilizada quando o quociente v_p/c é inferior ou igual a 1. Quando o quociente descrito é superior a 1 estamos perante um nível de serviço F.

Passo 6 - Determinar o Nível de Serviço

A tabela 2.9 permite fazer a correspondência entre a densidade obtida na expressão 2.4 e o intervalo de densidades característico para cada Nível de Serviço, avaliando-se assim o nível de serviço esperado para as condições prevaletentes da secção corrente da estrada em análise.

Tabela 2.9: Nível de Serviço em Secção Corrente. (Adaptado do HCM 2010).

N.S.	Densidade vlp/Km/via
	Secção Corrente
A	≤7
B	>7-11
C	>11-16
D	>16-22
E	>22 - 28
F	>28
	<i>Procura excede a capacidade</i>

Determinação da Capacidade

Como é referido no manual HCM 2010, a aplicação da metodologia permite estimar fluxos de serviço, volumes de serviço e volumes diários de serviço em secção corrente, tanto para infraestruturas existentes como futuras. Desta forma, a capacidade pode ser estimada pela determinação do volume de serviço correspondente ao nível de serviço E para as condições prevaletentes da estrada.

Na tabela 2.10 são apresentados os valores máximos dos fluxos de serviço para cada nível de serviço e velocidade de fluxo livre, para as condições de base, obtidos a partir das curvas de velocidade-fluxo (ver Figura 2.6 ou Figura 2.8).

Tabela 2.10: Fluxos de serviço máximos, em veículos ligeiros de passageiros por hora e por via, para secções correntes de estradas multivias a operar nas condições de base (Adaptado do HCM 2010).

FFS (km/h)	Nível de Serviço				
	A	B	C	D	E
120	820	1310	1750	2110	2400
115	770	1250	1690	2080	2400
105	710	1170	1630	2030	2350
95	660	1080	1560	2010	2300
90	600	990	1430	1900	2250

Nota: Todos os valores são aproximados à dezena mais próxima (10 vlp/h/via).

Segundo o HCM 2010, o fluxo de serviço (SF_i) é o fluxo máximo que pode circular numa determinada secção corrente, permitindo manter um determinado nível de serviço i (NS_i) durante o período de análise de 15 minutos e para as condições prevaletentes da estrada. Para a sua determinação recorre-se à expressão 2.5.

$$SF_i = MSF_i \times N \times f_{HV} \times f_p \quad (2.5)$$

Onde:

SF_i - Fluxo de serviço para o nível de serviço i (veíc/h);

MSF_i - Fluxo de serviço máximo para o nível de serviço i (vlp/h/via);

N - Número de vias em cada sentido;

f_{HV} - Fator de ajuste devido à presença de veículos pesados;

f_p - Fator de ajuste relativo à população de condutores não familiarizados com a estrada

multivias.

O fluxo de serviço calculado deve ser convertido em volume de serviço, sendo este definido como o volume horário máximo que pode verificar-se para manter um determinado nível de serviço i durante o pior período de 15 minutos dentro da hora de análise. Esta conversão passa pela aplicação do fator de ponta horária ao resultado obtido da expressão 2.5, como mostra a expressão 2.6.

$$SV_i = SF_i \times PHF \quad (2.6)$$

Onde:

SV_i - Volume de serviço para o nível de serviço i (veíc/h);

SF_i - Fluxo de serviço para o nível de serviço i (veíc/h);

PHF - Fator de ponta horária.

Por fim, o volume diário de serviço corresponde ao máximo tráfego médio diário anual (TMDA) que a infraestrutura pode suportar mantendo um determinado nível de serviço i durante o pior período de 15 minutos do dia em análise, para as condições prevaletentes da estrada. A expressão 2.7 permite o cálculo da variável descrita anteriormente.

$$DSV_i = \frac{SV_i}{K \times D} \quad (2.7)$$

Onde:

DSV_i - Volume diário de serviço para o nível de serviço i (veíc/dia);

K - Proporção do TMDA que ocorre durante o pico horário;

D - Distribuição direcional do tráfego.

É importante referir que os volumes diários são estimados como volumes totais para os dois sentidos de tráfego, enquanto os fluxos e volumes de serviço (expressões 2.5 e 2.6) são definidos para um sentido de tráfego.

2.3. Segmentos junto a rampas de aceleração e desaceleração

Uma rampa é um elemento físico que permite o acesso a uma infraestrutura rodoviária, estabelecendo a conexão entre a mesma com outras instalações rodoviárias. Todos os movimentos de entrada e saída de uma estrada multivias são efetuados através de rampas, destinadas a permitir manobras de entrada e saída a uma velocidade relativamente elevada, limitando perturbações no normal fluxo do tráfego.

Os segmentos de aceleração e desaceleração estão localizados principalmente nas rampas de acesso e de saída da linha principal de estradas multivias. As rampas podem constituir parte integrante das estradas multivias, estradas de duas vias, artérias e vias urbanas.

Componentes das Rampas

As rampas são constituídas por 3 elementos físicos: a rampa e as duas junções.

As junções variam em geometria e em características de controlo. As junções de rampas existentes em estradas multivias não são idênticas às junções de rampas em vias urbanas.

No caso de a rampa estabelecer a ligação entre uma estrada multivias e uma instalação rodoviária de superfície, esta é composta por:

- Uma junção (entre a rampa e a estrada multivias);
- Uma rampa;
- Uma junção (entre a rampa e a instalação rodoviária de superfície).

Para rampas cujo objetivo é estabelecer ligação a uma instalação de superfície ou a uma via C-D (coletora - distribuidora), a mesma é projetada para um tráfego cuja velocidade é mais elevada, na qual as ações de entrada e saída da estrada são menos controladas.

Quando as rampas se situam em vias urbanas, estas devem ser controladas por um sinal de “Stop” vertical, ou com o auxílio de sinalização luminosa.

As características geométricas das junções das rampas com estradas multivias variam, tendo em conta os seguintes aspetos:

- Comprimento;
- Tipo de via de aceleração e desaceleração (paralela ou afunilada);
- *FFS* dos veículos que circulam nas rampas e na estrada multivias a que estão associadas;
- Proximidade com outras rampas de aceleração ou desaceleração.

2.3.1. Segmentos junto a rampas de aceleração e desaceleração

Os segmentos junto às rampas de aceleração devem ser definidos de acordo com as suas características. Esta definição é efetuada tendo em conta o tipo de manobras possíveis e o tipo de infraestrutura rodoviária em causa.

Quanto ao tipo de manobra:

- Quando se verificam manobras de convergência, as rampas são denominadas de rampas de aceleração;
- Quando se verificam manobras de divergência, as rampas são denominadas de rampas de desaceleração.

Quanto ao tipo de infraestrutura rodoviária:

- Se existir convergência entre duas infraestruturas principais, o segmento junto às rampas chama-se de junção de rampas de convergência principais;

- Se existir divergência entre as duas infraestruturas principais, o segmento junto às rampas chama-se de junção de rampas de divergência principais.

Dependendo do lado da faixa de rodagem em que as rampas se localizam, podem também adquirir uma designação diferente. Se estas se localizarem junto da via direita, as rampas designam-se de rampas laterais direitas (mais usuais). Caso estas se localizem junto da via esquerda, são denominadas de rampas laterais esquerdas (menos usuais).

As rampas devem normalmente ser constituídas por uma ou duas vias. Se a junção da rampa de aceleração for constituída por duas vias, estas deverão unir-se, originando uma via antes do local de convergência, sendo que esta junção é classificada como junção de rampa de uma via na estrada multivias. Nas rampas de desaceleração constituídas por duas vias, as vias deverão unir-se numa só antes do local de convergência na secção corrente da estrada multivias. Esta junção é igualmente classificada como junção de rampa de uma via com a secção corrente da estrada multivias.

As rampas de desaceleração com duas vias começam por ter uma via no segmento de divergência da rampa com a estrada multivias, alargando para duas vias depois de se verificar a divergência.

As operações de convergência e divergência são afetadas pelo comprimento da secção corrente e pela proximidade de rampas adjacentes, e pelo fluxo de veículos existente.

As rampas e as junções destas com as infraestruturas vizinhas não operam independentemente. Uma quebra ou congestionamento na junção de uma rampa de aceleração ou desaceleração com a estrada multivias ou uma infraestrutura vizinha, causa um sério efeito a montante e a jusante da junção, influenciando as operações na secção corrente da estrada multivias que se podem vir a verificar ao longo de uma grande extensão.

Áreas de Influência

Como se pode constatar na figura 2.13, a localização da área de influência é definida conforme o tipo de rampa. Se a rampa for de aceleração, então a área de influência define-se como a área compreendida numa extensão de 500 metros a jusante do ponto de encontro da rama com a secção corrente adjacente. No caso de rampas de desaceleração, a área de influência define-se como a área compreendida numa extensão 500 metros a montante do separador que delimita a rampa de aceleração e a secção corrente da estrada multivias e as vias da faixa de rodagem adjacente.

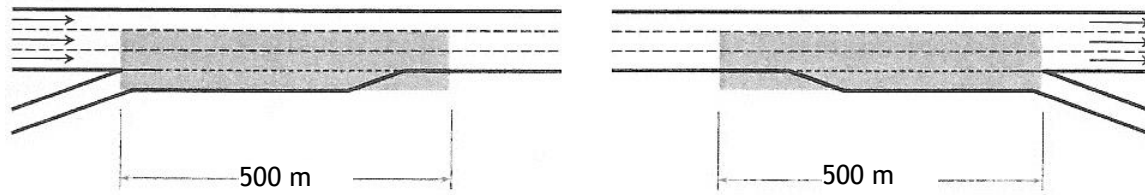


Figura 2.9: Áreas de influência em rampas (Adaptado do HCM 2010).

As junções entre a rampa e a estrada originam turbulência na corrente de tráfego dos segmentos de aceleração e desaceleração.

A ação dos veículos que entram na via 1 (via mais à direita) provoca turbulência na vizinhança da rampa de aceleração. Com a aproximação à secção corrente da estrada multivias, os veículos que circulam nesta, tendem a afastar-se para as vias mais à esquerda, com o objetivo de evitar a turbulência.

No caso das rampas de desaceleração a situação é um pouco diferente. A corrente de tráfego divide-se em duas e os veículos ao aproximarem-se da saída movem-se para a via mais à direita, sendo que os restantes têm a tendência de se moverem para as vias da esquerda, de forma a evitarem a turbulência da rampa de desaceleração. Verifica-se então que quando se está perante uma rampa, a taxa de veículos que efetuam mudança de via é elevada.

Avaliação do nível de serviço em segmentos junto a rampas de aceleração e desaceleração

A avaliação do nível de serviço neste tipo de instalações é efetuada de forma semelhante ao adotado pelo manual para os restantes elementos duma estrada multivias. O nível de serviço é definido de A a E em termos de densidade de tráfego, sendo que, o nível de serviço F existe quando a procura excede a capacidade a montante da rampa de desaceleração ou a jusante da rampa de aceleração.

Em suma, cada nível de serviço é classificado de acordo com as seguintes condições:

- **Nível de Serviço A:** Liberdade de operações. Densidade baixa, permitindo a convergência ou divergência suave e com pouca turbulência na corrente de tráfego.
- **Nível de Serviço B:** Manobras de convergência e divergência com registo de uma turbulência muito suave.
- **Nível de Serviço C:** A velocidade na área de influência da rampa começa a diminuir, sendo que a turbulência é um pouco mais significativa. Os veículos que circulam na rampa e na estrada multivias têm a necessidade de ajustar a velocidade para efetuar transições mais suaves.

- **Nível de Serviço D:** Os níveis de turbulência nas áreas de influência tornam-se intensos. Os veículos circulam mais lentamente com o objetivo de acomodar as manobras de convergência e divergência. Nota-se a formação de filas nas rampas, sendo que a estrada multivias mantém condições de operação estáveis.
- **Nível de Serviço E:** Condições de operação próximas da capacidade. Pequenas mudanças da procura ou interrupções na corrente de tráfego causarão filas nas rampas e na estrada multivias.
- **Nível de Serviço F:** Formam-se filas nas rampas e na estrada multivias. A capacidade é excedida pela procura. Este Nível de Serviço existe quando o fluxo de procura a montante da estrada multivias e da rampa de aceleração excede a capacidade da secção corrente da estrada a jusante. Em rampas de desaceleração este Nível de Serviço acontece quando o fluxo total de procura na proximidade a montante da secção corrente da estrada multivias excede a capacidade da mesma.

As junções de rampas de aceleração e desaceleração podem ter configuração afunilada ou paralela. Na figura 2.14 é possível observar as duas configurações distintas que as junções de rampas de aceleração e desaceleração podem apresentar.

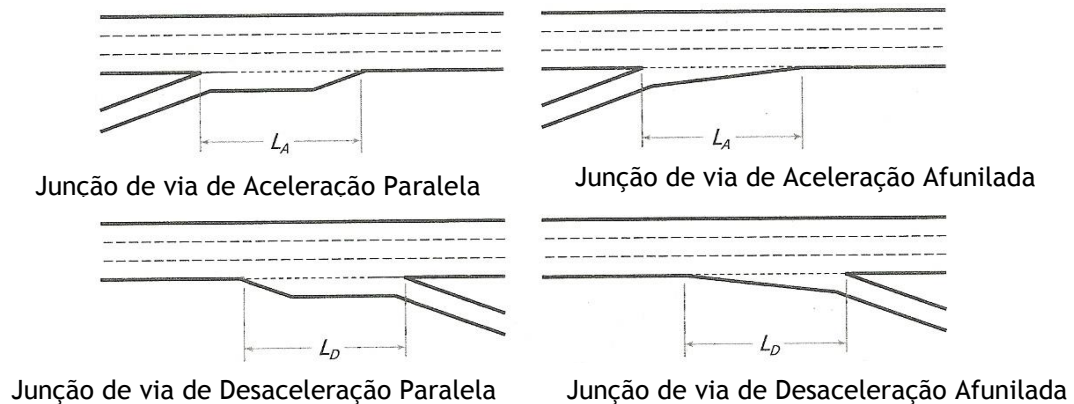


Figura 2.10: Comprimento dos segmentos junto às vias de aceleração e desaceleração (Adaptado do HCM 2010).

2.3.2. Condições de Base

Os fatores segundo os quais é realizada a análise do nível de serviço em rampas de aceleração e desaceleração de estradas multivias são os mesmos que os considerados para os restantes tipos de elementos deste tipo de infraestruturas. Estes incluem condições atmosféricas ideais, com boa visibilidade e inexistência de incidentes ou acidentes. Não podem ocorrer trabalhos na via durante a análise e as condições do pavimento devem ser ideais, devendo o pavimento estar em perfeitas condições.

As condições de base em rampas devem respeitar os seguintes aspectos principais:

- Ausência de veículos pesados na corrente de tráfego;
- A população de condutores deve ser regular, estando familiarizada com a infraestrutura utilizada;
- A largura mínima das vias deve ser igual ou superior a 3,75 m;
- A desobstrução lateral direita deve ser igual ou superior a 1,8 m.

2.3.3. Procedimento de cálculo para campas

Numa fase anterior ao procedimento de cálculo em rampas, é necessário reunir informação sobre alguns parâmetros importantes como: a FFS, o número de vias na secção corrente da estrada multivias, o tipo de terreno, a percentagem de veículos pesados e de recreio existentes na corrente de tráfego, o fluxo de procura localizada imediatamente a montante da junção da rampa com a estrada multivias, o fator de ponta horária e o tipo de utilizadores da infraestrutura em estudo. É ainda necessário definir, para o cálculo das junções, as variáveis ilustradas na figura 2.15.

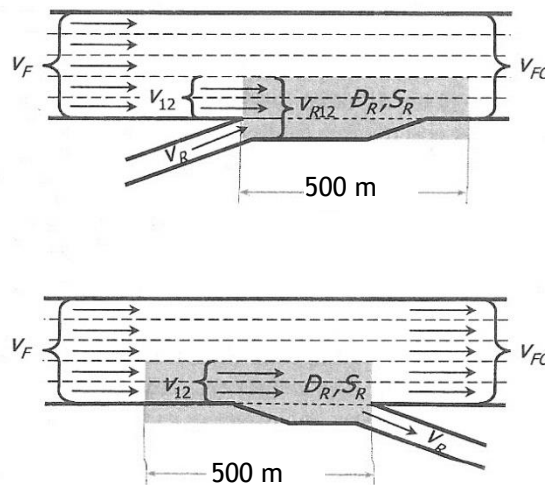


Figura 2.11: Variáveis chave em junções de rampas (Adaptado do HCM 2010).

Onde:

v_F - Fluxo de procura na estrada multivias imediatamente a montante da área de influência da rampa em estudo (vlp/h);

v_{12} - Fluxo de procura nas vias 1 e 2 da estrada multivias a montante da área de influência da rampa (vlp/h);

v_{F0} - Fluxo de procura na estrada multivias imediatamente a jusante da área de influência da rampa de convergência ou divergência (vlp/h);

v_R - Fluxo de procura na rampa de entrada ou saída (vlp/h);

v_{R12} - Somatório do Fluxo de procura nas vias 1 e 2 com o fluxo de procura na rampa (apenas de rampas de aceleração) (vlp/h);

D_R - Densidade na área de influência da rampa (vlp/km/via);

S_R - Velocidade média na área de influência da rampa (km/via).

Etapas de cálculo

O fluxograma da Figura 2.12, adaptado do HCM2010, apresenta de forma esquemática o procedimento a seguir para a análise do nível de serviço em segmentos de junções de rampas em estradas multivias.

Este fluxograma divide a análise em cinco etapas, as quais são descritas de seguida.

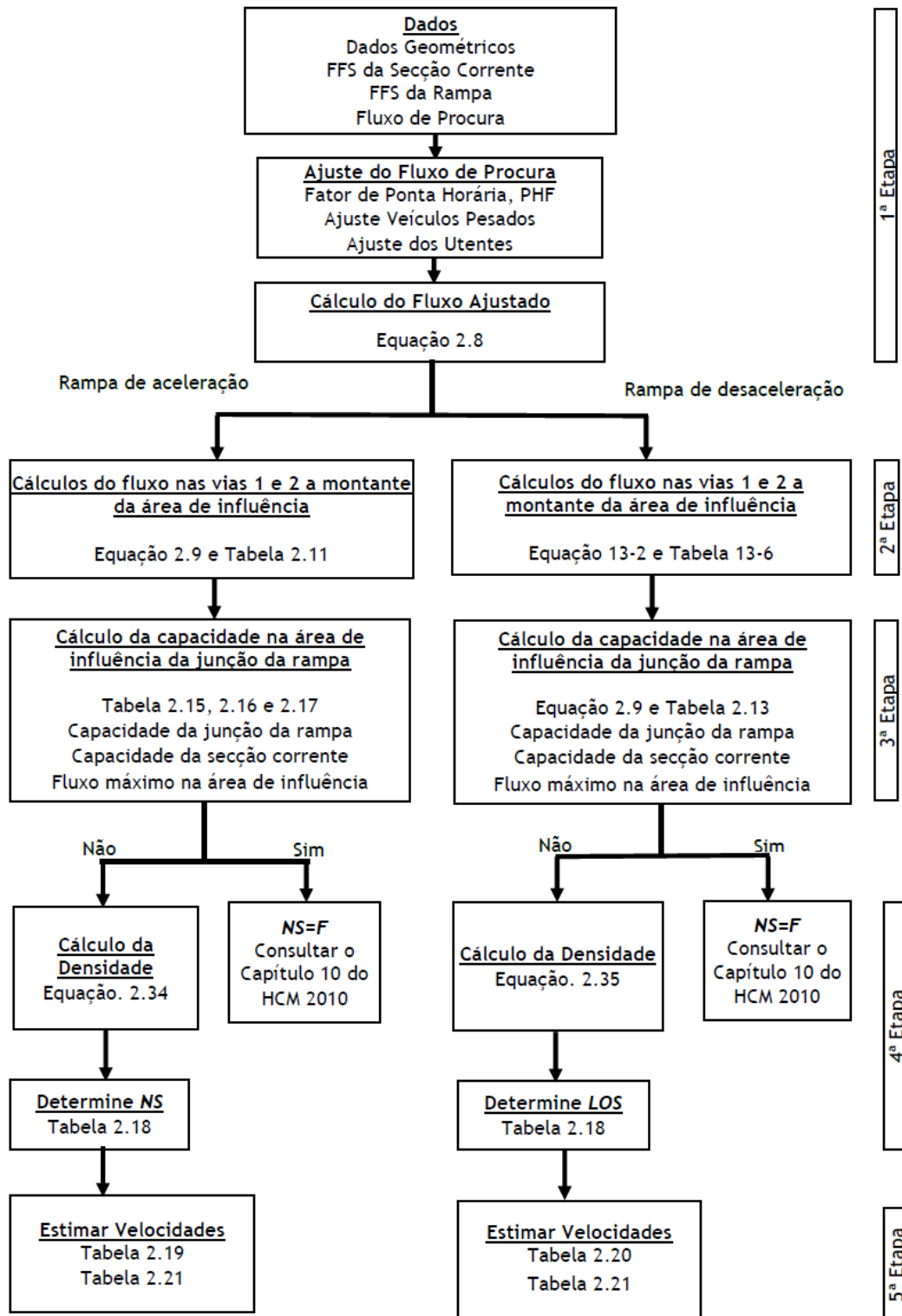


Figura 2.12: Fluxograma da metodologia de análise operacional para segmentos de junções de rampas de aceleração e desaceleração (Adaptado do HCM 2010).

Etapa 1: Especificação dos dados e conversão dos volumes da procura, em fluxo de procura.

- Todas as variáveis geométricas e de tráfego na junção da rampa com a estrada multivias devem ser especificadas.
- O fluxo na proximidade da estrada multivias na rampa e quando há existência de rampas adjacentes a montante ou jusante, devem ser convertidas de volumes horários (vlp/h) para fluxo no pico de 15 min (vlp/h), tendo em conta as condições ideais equivalentes.

A expressão 2.8 ilustra o cálculo do fluxo de serviço. Este pode ser utilizado para a secções correntes de estradas multivias ou para rampas de aceleração e desaceleração.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF \times f_{HV} \times f_p} \quad (2.8)$$

Onde:

V_i - Fluxo de procura para o movimento i (vlp/h);

V_i - Volume de procura para o movimento i (veic/h);

PHF - Fator de ponta horária;

f_{HV} - Fator de ajuste devido à presença de veículos pesados;

f_p - Fator de ajuste relativo à população de condutores.

Etapa 2: Determinação do fluxo de aproximação nas vias 1 e 2 da secção corrente imediatamente a montante da área de influência da rampa.

Uma vez que a área de influência da rampa inclui as vias 1 e 2, estimar o fluxo total nas mesmas, imediatamente a montante da área de influência da rampa, constitui um dos passos críticos da análise.

A distribuição dos veículos numa estrada multivias, junto à área de influência da rampa, é afetada por:

- O fluxo total de aproximação da estrada multivias à área de influência das rampas, V_F (vlp/h);
- Fluxo total da rampa de aceleração ou de desaceleração, V_R (vlp/h);
- Comprimento total da via de aceleração, L_A , ou desaceleração L_D (m).
- FFS do ponto de junção com a rampa, S_{FR} (km/h).

Consoante o tipo de estrada multivias, o comportamento da rampa altera-se a montante e a jusante da mesma:

- Em estradas multivias com quatro vias (duas em cada sentido) é relativamente simples determinar o valor de v_{12} , uma vez que todos os veículos circulam nas vias 1 e 2, independentemente da proximidade das rampas adjacentes.
- Em estradas multivias com seis vias (três em cada sentido), existe apenas uma via exterior, a via 3, v_3 .

A metodologia inclui um procedimento para determinar se a proximidade de rampas adjacentes a montante ou a jusante influencia a distribuição do tráfego pelas vias junto à rampa em análise. Quando as rampas adjacentes se encontram muito próximas da rampa em análise, é necessário ter em conta as seguintes variáveis adicionais:

- Fluxo a montante da rampa adjacente, V_U (vlp/h);
- Distância entre a junção da rampa em análise e a junção da rampa adjacente a montante L_{UP} (m);
- Fluxo da rampa adjacente a jusante, V_D (vlp/h);
- Distância entre a junção da rampa em análise e a junção da rampa adjacente a jusante L_{DOWN} (m).

A distância entre uma rampa em análise e uma rampa adjacente é medida entre os pontos nos quais o limite esquerdo da via da rampa mais à esquerda encontra o limite direito da via da secção corrente da estrada multivias. Para serem consideradas rampas adjacentes, distância não pode ser superior a 2500 m, já que raramente a influência de rampas adjacentes se estende por distâncias superiores a esta.

- Em estradas multivias com oito vias (quatro em cada sentido) ou mais, a informação disponível é insuficiente para determinar o impacto de rampas adjacentes na distribuição do tráfego pelas várias vias. Ainda, rampas com duas vias não são consideradas como rampas adjacentes neste procedimento.

O fluxo nas vias 1 e 2 a jusante das rampas de aceleração é estimado através da aplicação da expressão 2.9.

$$v_{12} = v_F \times P_{FM} \quad (2.9)$$

Onde:

v_{12} - Fluxo nas vias 1 e 2 (vlp/h);

v_F - Fluxo total na secção corrente da estrada multivias imediatamente a montante da área de influência da rampa de aceleração (convergência) (vlp/h);

P_{FM} - Proporção de veículos restantes nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da área de influência.

As tabelas 2.11 e 2.12 apresentam as expressões dos modelos de cálculo para a obtenção do parâmetro P_{FM} da expressão 2.9 e posterior cálculo do volume de tráfego nas vias 1 e 2.

Tabela 2.11: Modelos de cálculo do P_{FM} em rampas de aceleração (Adaptado do HCM 2010).

Vias na secção corrente	Modelos para a determinação do P_{FM}	
4	$P_{FM} = 1,000$	(2.10)
	$P_{FM} = 0,5775 + 0,000092L_A$	(2.11)
6	$P_{FM} = 0,7289 - 0,0000135(v_F + v_R) - 0,00205S_{FR} + 0,000207L_{UP}$	(2.12)
	$P_{FM} = 0,5487 + 0,0801\left(\frac{V_D}{L_{DOWN}}\right)$	(2.13)
	$1,609\frac{V_F}{S_{FR}} \leq 72 : P_{FM} = 0,2178 - 0,000125v_R + 0,0588\left(\frac{L_A}{S_{FR}}\right)$	(2.14)
8	$\frac{V_F}{S_{FR}} > 72 : P_{FM} = 0,2178 - 0,000125v_R$	(2.15)

Tabela 2.12: Modelos de cálculo do P_{FM} em rampas de aceleração (Adaptado do HCM 2010).

Equações para a seleção do P_{FM} em estradas multivias com 6 vias (3 em cada direção).

Rampa adjacente a montante	Rampa de influência	Rampa adjacente a jusante	Equação a utilizar
Nenhuma	Entrada	Nenhuma	Expressão 2.11
Nenhuma	Entrada	Entrada	Expressão 2.11
Nenhuma	Entrada	Saída	Expressão 2.13 ou 2.11
Entrada	Entrada	Nenhuma	Expressão 2.11
Saída	Entrada	Nenhuma	Expressão 2.12 ou 2.11
Entrada	Entrada	Entrada	Expressão 2.11
Entrada	Entrada	Saída	Expressão 2.13 ou 2.11
Saída	Entrada	Entrada	Expressão 2.12 ou 2.11
Saída	Entrada	Saída	Expressão 2.13 ou 2.12 ou 2.11

As rampas de entrada e saída referidas na tabela 2.12 dizem respeito às rampas de aceleração e desaceleração consideradas na aplicação da metodologia.

De seguida é necessário efetuar o cálculo da distância de equilíbrio, que é a distância para a qual a equação (2.11) chega ao mesmo valor de P_{FM} da equação (2.12) ou (2.13).

Para rampas de saída/desaceleração adjacentes a montante, é utilizada a expressão 2.16:

$$L_{EQ} = 0,0653(v_F + v_R) + 0,444L_A + 9,926S_{FR} - 0,733 \quad (2.16)$$

Onde:

L_{EQ} - Distância de equilíbrio (m);

v_F - Fluxo total na secção corrente da estrada multivias imediatamente a montante da área de influência da rampa de desaceleração (vlp/h);

v_R - Fluxo total na rampa de desaceleração (vlp/h);

L_A - Comprimento total da via de aceleração (m);

S_{FR} - Velocidade média na secção corrente da estrada multivias (km/h).

Para rampas de saída/desaceleração adjacentes a jusante:

$$L_{EQ} = \left(\frac{0,305V_D}{0,1096 + 0,000351L_A} \right) \quad (2.17)$$

Onde:

L_{EQ} - Distância de equilíbrio (m);

V_D - Fluxo na rampa de desaceleração adjacente a jusante (vlp/h);

L_A - Comprimento total da via de aceleração (m).

Quando existem rampas de desaceleração adjacentes, a montante e a jusante, é necessário atribuir dois valores ao parâmetro P_{FM} , um para a rampa a montante e outro para a rampa a jusante. O valor a utilizar no cálculo deverá ser o maior dos dois.

O fluxo nas vias 1 e 2 nas rampas de desaceleração é estimado pela aplicação da expressão 2.18.

Com a aproximação da rampa de desaceleração, o tráfego tende a circular nas vias 1 e 2.

$$V_{12} = V_R + (V_F - V_R)P_{FD} \quad (2.18)$$

Onde:

V_{12} - Fluxo nas vias 1 e 2 da estrada multivias, imediatamente a montante da via de desaceleração (vlp/h).

V_R - Fluxo total na rampa de desaceleração (vlp/h);

V_F - Fluxo total na secção corrente da estrada multivias imediatamente a montante da área de influência da rampa de desaceleração (vlp/h);

P_{FD} - Proporção do tráfego divergente que permanece nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da via de desaceleração.

As tabelas 2.13 e 2.14 apresentam expressões relativas aos modelos de cálculo para a obtenção do parâmetro P_{FD} presente na expressão (2.18) e posterior cálculo do volume de tráfego nas vias 1 e 2.

Tabela 2.13: Modelos de cálculo do P_{FD} em rampas de desaceleração (Adaptado do HCM 2010).

Número de vias da estrada multivias	Modelos para a determinação do P_{FD}	
4	$P_{FM} = 1,000$	(2.19)
	$P_{FD} = 0,760 - 0,000025 \cdot v_F - 0,000046 \cdot v_R$	(2.20)
6	$P_{FD} = 0,717 - 0,000039 \cdot v_F + 0,184 \left(\frac{v_u}{L_{UP}} \right)$	(2.21)
	$P_{FD} = 0,616 - 0,000021 \cdot v_F + 0,0378 \left(\frac{v_D}{L_{DOWN}} \right)$	(2.22)
8	$P_{FD} = 0,436$	(2.23)

Tabela 2.14: Modelos de cálculo do P_{FD} em rampas de desaceleração (Adaptado do HCM 2010).

Equações para a seleção do P_{FM} em estradas multivias com 6 vias (3 em cada direção).

Rampa adjacente a montante	Rampa de influência	Rampa adjacente a jusante	Equação Utilizada
Nenhuma	Saída	Nenhuma	Expressão 2.20
Nenhuma	Saída	Entrada	Expressão 2.20
Nenhuma	Saída	Saída	Expressão 2.22 ou 2.20
Entrada	Saída	Nenhuma	Expressão 2.21 ou 2.20
Saída	Saída	Nenhuma	Expressão 2.20
Entrada	Saída	Entrada	Expressão 2.21 ou 2.20
Entrada	Saída	Saída	Expressão 2.22 ou 2.21 ou 2.20
Saída	Saída	Entrada	Expressão 2.20
Saída	Saída	Saída	Expressão 2.22 ou 2.20

As rampas de entrada e saída, referidas na tabela 2.14 dizem respeito às rampas de aceleração e desaceleração consideradas na aplicação da metodologia.

A equação 2.20 é utilizada para um caso base de rampas isoladas (sem impacto de rampas adjacentes). A equação 2.21 deve ser utilizada quando se verifica a existência de rampas de aceleração adjacentes a montante e a equação 2.22 é usada para rampas de aceleração adjacentes a jusante.

Quando existe uma rampa de aceleração adjacente a montante ou uma rampa de desaceleração adjacente a jusante numa secção corrente de estrada multivias com 6 vias, deve-se verificar se a rampa está próxima o suficiente, afetando as operações na mesma. Tal como para as rampas de aceleração, nas rampas de desaceleração também se verifica a necessidade de obter a distância de equilíbrio, L_{EQ} , para determinar se as rampas adjacentes influenciam a rampa em análise. Esta determina-se quando a equação 2.20 adquire o mesmo valor P_{FD} da equação 2.21 ou 2.22.

Se a distância real entre rampas for igual ou superior à distância equivalente, recorre-se à equação 2.20, se for inferior, utilizam-se as equações 2.21 ou 2.22.

Para rampas de aceleração adjacentes a montante, a distância de equilíbrio determina-se segundo a equação:

$$L_{EQ} = \left(\frac{v_u}{0,071 + 0,000023v_F - 0,000076v_R} \right) \times 0,3048 \quad (2.24)$$

Onde:

- L_{EQ} - Distância de equilíbrio (m);
- v_u - Fluxo na rampa adjacente a montante (vlp/h);
- v_F - Fluxo total junto da área de influência da rampa (vlp/h);
- v_R - Fluxo total na rampa de aceleração (vlp/h).

Para rampas de desaceleração adjacentes a jusante, a distância de equilíbrio determina-se segundo a equação 2.259.

$$L_{EQ} = \left(\frac{v_D}{1,15 + 0,000032v_F - 0,000369v_R} \right) \times 0,3048 \quad (2.25)$$

Onde:

- L_{EQ} - Distância de equilíbrio (m);
- v_D - Fluxo na rampa adjacente a jusante (vlp/h);
- v_F - Fluxo total junto da área de influência da rampa (vlp/h);
- v_R - Fluxo total na rampa de aceleração (vlp/h).

Quando as rampas de aceleração se encontram adjacentes a montante e as rampas de desaceleração se encontram adjacentes a jusante, considera-se que se está perante um caso especial de análise de rampas. Podem surgir duas soluções para o parâmetro P_{FD} , dependendo da rampa adjacente considerada. Neste tipo de situações, o valor considerado é o mais elevado.

Verificação da validade da estimação da distribuição do tráfego pelas vias

Uma vez que os algoritmos presentes nas Tabelas 2.11 e 2.13 foram obtidos a partir de análises de regressão a uma base de dados alargada, fora dos limites da base de dados podem dar origem a valores inesperados. Tendo em conta o exposto, os valores relativos ao fluxo nas vias 1 e 2 devem ser verificados e para isso devem ser respeitadas as seguintes condições:

- O fluxo médio por via, nas vias exteriores da estrada multivias não deve ser superior a 2700 vlp/h/via;
- O fluxo médio por via, nas vias exteriores, não deve ser superior a 1,5 vezes o fluxo médio das vias 1 e 2.

As vias exteriores apenas são consideradas em infraestruturas nas quais a secção corrente da estrada multivias é composta por 3 ou mais vias em cada sentido.

Estes limites permitem identificar casos em que os valores estimados de v_{12} implicam fluxos de veículos demasiado elevados nas vias exteriores. Nestes casos, o valor de v_{12} deve ser ajustado para prosseguir com a metodologia.

Aplicação em estradas multivias de 6 vias

Em estradas multivias de 6 vias, apenas se considera uma via exterior, a via 3. O fluxo nesta via é calculado pela expressão:

$$V_3 = V_F - V_{12} \quad (2.26)$$

Onde:

V_3 - Fluxo na via 3 da secção corrente da estrada multivias (vlp/h/via);

V_F - Fluxo na estrada multivias imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h);

V_{12} - Fluxo nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h).

No entanto, devem-se verificar as seguintes condições, para o fluxo na via 3.

$$\text{Se } v_3 > 2700 : v_{12a} = v_F - 2700 \quad (2.27)$$

Onde:

V_3 - Fluxo na via 3 da secção corrente da estrada multivias (vlp/h/via);

V_{12a} - Fluxo nas vias 1 e 2 ajustado imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h);

V_F - Fluxo na estrada multivias imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h).

$$\text{Se } v_3 > 1,5 \times \frac{V_{12}}{2} : v_{12a} = \left(\frac{V_F}{1,75} \right) \quad (2.28)$$

Onde:

V_3 - Fluxo na via 3 da secção corrente da estrada multivias (vlp/h/via);

V_{12a} - Ajuste do fluxo nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h);

V_F - Fluxo na estrada multivias imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h).

Quando as duas condições não são verificadas, o valor utilizado deve ser o maior valor referente ao parâmetro V_{12} .

Aplicação em estradas multivias de 8 vias

Em estradas multivias de 8 vias são consideradas duas vias exteriores (vias 3 e 4) às vias 1 e 2. Os valores limite indicados anteriormente são aplicados ao fluxo médio por via para as vias 3 e 4. O fluxo médio nessas vias (3 e 4) é calculado pela expressão 2.29.

$$v_{av34} = \left(\frac{V_F - V_{12}}{2} \right) \quad (2.29)$$

Onde:

v_{av34} - Fluxo médio nas vias exteriores (vlp/h/via);

v_F - Fluxo na estrada multivias imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h);

V_{12} - Fluxo nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h).

Contudo, devem-se verificar as seguintes condições para o fluxo nas vias 3 e 4:

$$\text{Se } v_{av,34} > 2700 : v_{12a} = v_F - 5400 \quad (2.30)$$

Onde:

$v_{av,34}$ - Fluxo médio nas vias exteriores (vlp/h/via);

v_{12a} - Ajuste do fluxo nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h);

v_F - Fluxo na estrada multivias imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h);

$$\text{Se } v_{av,34} > 1,5 \times \frac{v_F}{2,50} : v_{12a} = \left(\frac{v_F}{2,5} \right) \quad (2.31)$$

Onde:

$v_{av,34}$ - Fluxo médio nas vias exteriores (vlp/h/via);

v_F - Fluxo na estrada multivias imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h);

v_{12a} - Ajuste do fluxo nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h);

Quando ambas as condições não são respeitadas, utiliza-se o valor referente ao v_{12} mais elevado.

Dá-se por concluída a etapa 2, com a determinação do parâmetro v_{12} .

Etapa 3: Estimação da capacidade da junção entre a rampa e a secção corrente da estrada multivias e comparação com os volumes de procura.

No que diz respeito às junções entre a rampa e a secção corrente da estrada multivias, devem ser verificados três aspetos importantes:

- O valor da capacidade da estrada multivias imediatamente a jusante da rampa de aceleração ou imediatamente a montante da rampa de desaceleração;
- O valor da capacidade da rampa;
- O fluxo máximo que entra na área de influência da rampa.

Na maior parte dos casos o fator que controla a análise é a capacidade da estrada multivias. Vários estudos têm demonstrado que a turbulência na vizinhança da junção entre a rampa e a secção corrente da estrada multivias, não diminui a capacidade da estrada (Roess, 1993).

A capacidade não é um fator importante para as rampas de aceleração, no entanto, pode ter um papel fundamental nas junções das rampas de desaceleração. Falhas nas junções de divergência são normalmente causadas pela deficiente capacidade das rampas ou pelo terminal entre a rampa e a estrada com a qual estabelece ligação.

A metodologia HCM 2010 estabelece um fluxo de entrada máximo desejável, para a área de influência da rampa, no entanto, se este valor for excedido a metodologia poderá continuar a ser aplicada, mas as condições de operação não serão as desejáveis. Assim:

- Para rampas de desaceleração: O fluxo total que entra na área de influência da rampa é definido apenas como v_{12} .
- Para rampas de aceleração: O fluxo total que entra na área de influência da rampa de aceleração é dado por:

$$v_{R12} = v_{12} - v_R \quad (2.32)$$

Onde:

v_{R12} - Fluxo total que entra na área de influência da rampa de aceleração (vlp/h);

v_{12} - Fluxo nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h);

v_R - Fluxo total na rampa de aceleração (vlp/h).

De seguida são apresentadas as tabelas 2.15, 2.16 e 2.17, onde é possível observar os valores da capacidade em junções e o fluxo máximo desejável nas áreas de influência das rampas de aceleração e desaceleração, tendo em conta as velocidades praticadas nas junções das rampas com a secção corrente da estrada da multivias e nas próprias rampas de aceleração e desaceleração.

Tabela 2.15: Capacidade da junção entre a rampa e a secção corrente da estrada multivias (Adaptado do HCM 2010).

FFS (km/h)	Capacidade a montante e a jusante do segmento multivias				Fluxo máximo desejável na área de influência de convergência ^(a)	Fluxo máximo desejável na área de influência de divergência ^(b)
	<u>Nº de vias em cada direção</u>					
	2	3	4	>4		
≥115	4800	7200	9600	2400/via	4600	4400
105	4700	7050	9400	2350/via	4600	4400
95	4600	6900	9200	2300/via	4600	4400
90	4500	6750	9000	2250/via	4600	4400

Nota: (a) Se a procura exceder a capacidade, resulta o NS F.

(b) Se a procura exceder a capacidade nos valores indicados, não resulta o NS F; as operações poderão ser piores do que as previstas pela metodologia.

Tabela 2.16: Capacidade da junção entre a rampa com altas velocidades em secção corrente da estrada multivias sem controlo de operações e estradas C-D (Adaptado do HCM 2010).

FFS (km/h)	Capacidade a montante/jusante do segmento de estradas multivias sem controlo de operações ou C-D			Taxa de fluxo máximo desejável na área de influência de convergência ^(a)	Taxa de fluxo máximo desejável na área de influência de divergência ^(b)
	<u>Nº de vias em cada direção</u>				
	2	3	>3		
>95	4400	6600	2200	4600	4400
90	4200	6300	2100	4600	4400
80	4000	6000	2000	4600	4400
70	3800	5700	1900	4600	4400

Nota: (a) Se a procura exceder a capacidade, resulta o NS F.

(b) Se a procura exceder a capacidade nos valores indicados, não resulta o NS F; as operações poderão ser piores do que as previstas pela metodologia.

Tabela 2.17: Capacidade das rampas (Adaptado do HCM 2010).

FFS na rampa S_{FR} (km/h)	Capacidade da rampa	
	Rampas com 1 via	Rampa com 2 vias
>80	2200	4400
>65-80	2100	4200
>50-65	2000	4000
$\geq 30-50$	1900	3800
<30	1800	3600

Nota: A capacidade da rampa não garante igual capacidade à junção da estrada multivias correspondente. A capacidade da junção deve ser verificada nas tabelas 2.15 e 2.16.

Se a procura for excessiva, a capacidade resulta em nível de serviço F.

Verificação da capacidade na junção entre a rampa e a estrada multivias

Na maioria dos casos, a capacidade de segmentos da estrada a montante ou a jusante da rampa limita o fluxo do tráfego através da área de convergência ou divergência, assumindo que o número de vias da estrada multivias de entrada e de saída da junção com rampa é o mesmo. Nestes casos, a verificação da capacidade na secção corrente da estrada multivias deve ser efetuada:

- Imediatamente a jusante de área de influência da rampa de aceleração (V_{FO});
- Imediatamente a montante da área de influência da rampa de desaceleração (V_F).

A capacidade deve ser verificada a montante e a jusante da área de influência, quando a junção da rampa ou um grande segmento de convergência/divergência envolve vias adicionais ou diminuição do número de vias nas junções.

Se a procura (v) excede a capacidade (c):

$$\text{Se : } \frac{v}{c} > 1,00 \text{ então o Nível de Serviço é F} \quad (2.33)$$

Verificação da capacidade no segmento junto à rampa

A capacidade do segmento junto à rampa deve ser verificada fase ao fluxo de procura da rampa.

A ocorrência de quebras devido à capacidade insuficiente numa rampa de aceleração é uma situação rara. Quando se verifica não perturba a corrente de tráfego da estrada multivias, no entanto, pode resultar num congestionamento na estrada que dá acesso à estrada multivias.

No caso dos segmentos junto às rampas de saída ou áreas de divergência, a falha mais frequente é a capacidade insuficiente no segmento junto da rampa de saída, quer por falta de capacidade da própria rampa, quer por falta de capacidade da estrada a que dá acesso. Esta metodologia apenas verifica o primeiro caso (capacidade da rampa de desaceleração)

Se o fluxo de procura da rampa de desaceleração v_R exceder a capacidade da rampa de desaceleração, prevalece o nível de serviço. F.

Fluxo de entrada máximo desejável para a área de influência da rampa

Quando é realizada a verificação do fluxo de entrada no segmento junto à rampa de aceleração (v_{R12}) ou desaceleração (v_{12}), a não verificação não significa ocorra o nível de serviço F, a menos que ocorra outra falha num segmento junto a uma rampa ou num segmento de estradas multivias. Esta não verificação significa que irá existir maior turbulência na área de influência da junção da rampa do que a prevista pela metodologia.

Neste tipo de situação, as densidades previstas são geralmente inferiores às reais e as velocidades são superiores às que realmente se verificam.

Etapa 4: Estimação da densidade na área de influência da rampa e obtenção do Nível de Serviço.

A densidade na área de influência das rampas de aceleração é obtida pela aplicação da expressão:

$$D_R = 3,402 + 0,00456v_R + 0,00485v_{12} - 0,0128L_A \quad (2.34)$$

Onde:

D_R - Densidade de tráfego na área de influência da rampa (vlp/km/via);

v_R - Fluxo total na junção rampa de aceleração (vlp/h);

v_{12} - Fluxo nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h);

L_A - Comprimento total da via de aceleração (m).

Esta equação demonstra que quanto maior for o fluxo de veículos na rampa de aceleração e nas vias 1 e 2 da estrada multivias a entrarem na área de influência da rampa, maior é a densidade.

Com o aumento da extensão da rampa de aceleração (L_A), existirá mais espaço na área de influência da rampa. Assim sendo, é de esperar que as velocidades de operação dos veículos em convergência aumentem e a densidade seja mais reduzida.

A densidade na área de influência das rampas de desaceleração é obtida pela aplicação da expressão 2.35.

$$D_R = 2,642 + 0,00534v_{12} - 0,0183L_D \quad (2.35)$$

Onde:

D_R - Densidade de tráfego na área de influência da rampa (vlp/km/via);

v_{12} - Fluxo na via 1 e 2 imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h);

L_D - Comprimento total da via de desaceleração (m);

Nas rampas de desaceleração, não é considerado separadamente o termo v_R , já este está incluído no termo v_{12} .

A expressão 2.69 segue uma tendência lógica, uma vez que para um aumento do número de veículos que entram na área de influência da rampa, a densidade também aumenta. Contudo, com o aumento do comprimento da via de desaceleração praticam-se velocidades mais elevadas na convergência dos veículos, originando uma redução da densidade.

Determinação do nível de serviço

O nível de serviço nas áreas de influência das rampas está diretamente relacionado com a densidade de tráfego estimada nessas áreas.

O nível de serviço F existe apenas quando a capacidade da junção da rampa é insuficiente para acomodar o fluxo de procura existente ou projetado.

A tabela 2.18 ilustra a atribuição do nível de serviço em rampa, em função da densidade de veículos que circulam na mesma.

Tabela 2.18. Nível de Serviço para secções junto a rampas de aceleração e desaceleração (Adaptado do HCM 2010).

Nível de Serviço	Densidade (vlp/Km/via)	Comentários
A	≤ 6	Condições de operação livres.
B	$> 6 - 12$	Manobras de convergência e divergência perceptíveis para os condutores.
C	$> 12 - 17$	A velocidade na área de influência começa a diminuir.
D	$> 17 - 22$	Turbulência na área de influência.
E	> 22	Turbulência sentida por todos os condutores.
F	Procura excede a capacidade	Formação de filas nas rampas e estradas.

Etapa 5: Determinação das velocidades na vizinhança das junções das rampas com a secção corrente da estrada multivias.

As velocidades a estimar são de dois tipos:

- Velocidade média dos veículos que circulam na área de influência da rampa (km/h);
- Velocidade média dos veículos que circulam em todas as vias, incluindo as vias exteriores, ao longo de 500 m de comprimento da área de influência da rampa (km/h).

As equações apresentadas na tabela 2.19 e 2.20 permitem estimar a velocidade média entre a área de influência da junção da rampa e a secção corrente da estrada multivias.

Tabela 2.19: Cálculo da velocidade nas junções de rampas de aceleração (Adaptado do HCM 2010).

Velocidade média	Expressão
Área de influência da rampa	$S_R = FFS - (FFS - 67,58)M_S$ (2.36)
	$M_S = 0,321 + 0,0039e^{\left(\frac{v_{R12}}{1000}\right)} - 0,00408\left(\frac{L_A S_{FR}}{1000}\right)$ (2.37)
Vias exteriores	$S_0 = FFS : v_{OA} < 500pc / h$ (2.38)
	$S_0 = FFS - 0,00579(v_{OA} - 500) : 500pc / h \leq v_{OA} \leq 2300pc / h$ (2.39)
	$S_0 = FFS - 10,507 - 0,00965(v_{OA} - 2300) : v_{OA} > 2300pc / h$ (2.40)

Tabela 2.20: Cálculo da velocidade nas junções de rampas de desaceleração (Adaptado do HCM 2010).

Velocidade média	Expressão
Área de influência da rampa	$S_R = FFS - (FFS - 67,58)D_S$ (2.41)
	$D_S = 0,883 + 0,00009v_R - 0,00809S_{FR}$ (2.42)
Vias exteriores	$S_0 = 1,097FFS : v_{OA} < 1000pc / h$ (2.43)
	$S_0 = 1,097FFS - 0,00628(v_{OA} - 1000) : v_{OA} \geq 1000pc / h$ (2.44)

As equações da tabela 2.21 permitem calcular a velocidade média dos veículos que circulam nas junções de rampas e secção corrente.

Tabela 2.21: Cálculo da velocidade média de todos os veículos que circulam nas junções de rampas com a secção corrente de estradas multivias (Adaptado do HCM 2010).

Valor	Expressão
Fluxo médio nas vias exteriores, v_{OA} (vlp/h)	$v_{OA} = \left(\frac{v_F - v_{12}}{N_0} \right) \quad (2.45)$
Velocidade média em junções de rampas de aceleração (km/h)	$S = \frac{v_{R12} + v_{OA}N_0}{\left(\frac{v_{R12}}{S_R} \right) + \left(\frac{v_{OA}N_0}{S_0} \right)} \quad (2.46)$
Velocidade média em junções de rampas de desaceleração (km/h)	$S = \frac{v_{12} + v_{OA}N_0}{\left(\frac{v_{12}}{S_R} \right) + \left(\frac{v_{OA}N_0}{S_0} \right)} \quad (2.47)$

Onde:

s_R - Velocidade média dos veículos que circulam na área de influência da rampa (km/h);

s_o - Velocidade média dos veículos que circulam nas vias exteriores da estrada multivias, adjacentes à área de influência da rampa de 500 m (km/h);

S - Velocidade média de todos os veículos em todas as vias numa extensão de 500 m coberta pela área de influência da rampa (km/h);

FFS - Velocidade de fluxo livre da estrada multivias (km/h);

s_{FR} - Velocidade de fluxo livre na rampa (km/h);

L_A - Comprimento da via de aceleração (m);

L_D - Comprimento da via de desaceleração (m);

v_R - Fluxo de procura na rampa (vlp/h);

v_{12} - Fluxo de procura nas vias 1 e 2 da estrada multivias imediatamente a montante da área de influência da rampa (vlp/h);

v_{R12} - Fluxo de procura que entra na área de influência da rampa de entrada, incluindo v_R e v_{12} (vlp/h);

v_{OA} - Fluxo de procura média por via, nas vias exteriores adjacente à área de influência da rampa, (sem incluir o fluxo nas vias 1 e 2) (vlp/h/via);

V_F - Fluxo de procura em estradas multivias imediatamente a montante da área de influência da rampa, (vlp/h);

N_0 - Número de vias exteriores da estrada multivias (1 para estradas com 6 vias, 2 para estradas com 8 vias);

M_0 - Índice de velocidade para rampas de aceleração;

D_5 - Índice de velocidade para rampas de desaceleração.

É importante referir, que o fluxo nas vias exteriores pode ser superior ao valor para as secções correntes. Isto acontece devido aos valores das secções correntes representarem médias entre todas as vias.

2.3.4. Limitações da metodologia em rampas

A metodologia foca principalmente a junção de rampas com a secção corrente de estradas multivias. Esta é utilizada de forma a dar maior importância a estradas multivias cuja secção corrente seja composta por duas ou mais vias, permitindo o cálculo dos níveis de serviço em estradas do tipo coletoras distribuidoras (C-D). No entanto, existem algumas limitações que devem ser mencionadas neste subcapítulo. Esta metodologia não considera situações como:

- Vias especiais, como vias de elevada ocupação de veículos, como rampas de aceleração;
- Rampas semaforizadas;
- Sistemas inteligentes de transporte.

Esta metodologia não considera explicitamente limites de velocidade impostos pela sinalização e controlo da velocidade por reforço policial. Limites de velocidade baixos e controlo policial podem resultar em densidades reais de tráfego superiores às estimadas pela metodologia.

Capítulo 3

Caso de Estudo

3.1. Introdução

O principal objetivo deste capítulo é demonstrar a aplicabilidade em Portugal da metodologia descrita no manual HCM 2010 para a determinação do nível de serviço e da capacidade de estradas multivias, através do desenvolvimento de um caso de estudo.

A estrada multivias escolhida para a aplicação da metodologia foi a A23-Autoestrada da Beira Interior, sendo que a sua escolha se deveu às suas particulares características a nível de tráfego, de traçado e à sua proximidade à cidade da Covilhã.

O estudo incide sobre o conjunto de sublanços existentes entre os nós de Castelo Branco Sul e Covilhã Norte, perfazendo uma extensão total de 60 km, considerando-se que é suficiente para demonstrar e verificar a aplicabilidade da metodologia.

3.2. Troço analisado

A A23 - Autoestrada da Beira Interior faz parte da rede nacional de autoestradas de Portugal, estabelecendo a ligação entre os distritos da Guarda e de Santarém, permitindo uma ligação mais rápida e eficaz aos seus utilizadores. Esta infraestrutura serve a região centro do país e liga a A1 - Autoestrada do Norte, à principal via de acesso à fronteira mais importante do país, a A25 - Autoestrada da Beira Litoral e Alta. A A23 tem uma extensão de 217 km, sendo a melhor opção para quem pretende deslocar-se de Lisboa para fora do país através da fronteira de Vilar Formoso (ver Figura 3.1).

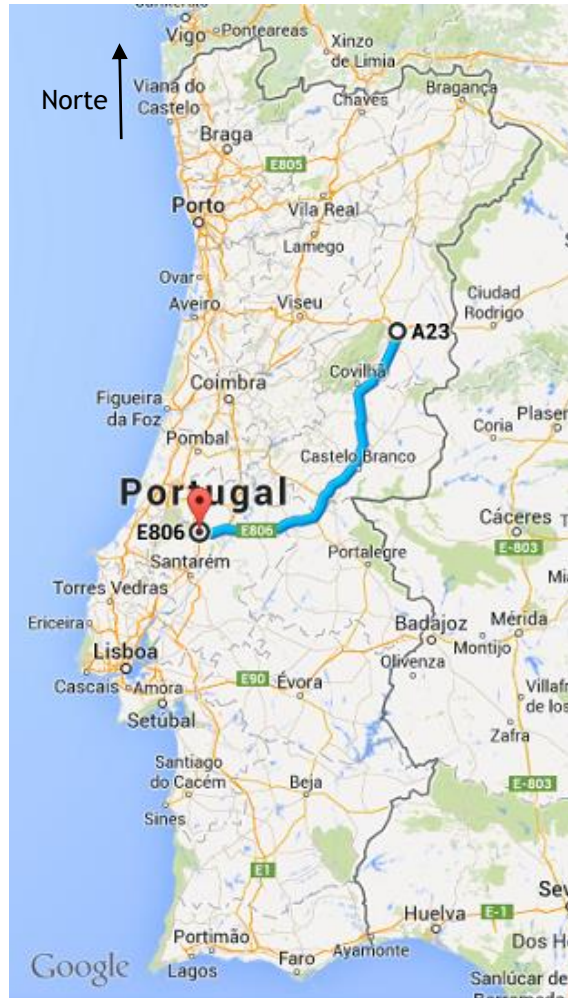


Figura 3.1: Traçado da A23, Autoestrada da Beira Interior (Escala 1:4000000) (<https://maps.google.pt>).

A construção desta autoestrada foi concluída no ano de 2003 e a sua concessão entregue em quase toda a sua extensão à Scutvias - Autoestradas da Beira Interior, SA, mais precisamente a extensão compreendida entre Abrantes e a Guarda, perfazendo 178 km de extensão.

A tabela 3.1 apresenta de forma detalhada os 6 lanços e 27 sublanços sob a responsabilidade da concessionária Scutvias, evidenciando o conjunto de 10 sublanços que constituem o caso de estudo deste trabalho. Os restantes quilómetros compreendidos entre Torres Novas e Abrantes encontram-se sob a tutela da Estradas de Portugal, SA.

A aplicação da metodologia incide sobre a extensão da A23 compreendida entre os nós de Castelo Branco Sul e Covilhã Norte. Esta extensão perfaz um total de **60 km** e incorpora os seguintes dez sublanços: Castelo Branco Sul - Hospital; Hospital - Castelo Branco Norte; Castelo Branco Norte - Alcains; Alcains - Soalheira; Soalheira - Lardosa; Lardosa - Castelo Novo; Castelo Novo - Fundão; Fundão - Alcaria; Alcaria - Covilhã Sul e Covilhã Sul - Covilhã Norte.

Tabela 3.1 - Concessão Scutvias: Lanços e Sublanços (Relatório e contas da Scutvias, 2010).

Lanços	Sublanços	Extensão (km)
<u>Abrantes / Mouriscas</u>	Abrantes Oeste - Abrantes Este	4,8
	Abrantes Este - Mouriscas	7,3
	Total: Abrantes / Mouriscas	12,1
<u>Mouriscas / Gardete</u>	Mouriscas - Mação	8,4
	Mação - Gavião	6
	Gavião - Envendos	8,2
	Envendos - Gardete	5,6
	Total: Mouriscas / Gardete	28,2
<u>Gardete / Castelo Branco</u>	Gardete - Riscada	4,8
	Riscada Fratel	4,5
	Fratel - Perdigão	5,4
	Perdigão - Alvaiade	4,8
	Alvaiade - Sarnadas / Retaxo	11,4
	Sarnadas / Retaxo - Castelo Branco Sul	4,4
	Castelo Branco Sul - Hospital	5,7
	Hospital - Castelo Branco Norte	3,7
	Total: Gardete / Castelo Branco	44,7
<u>Castelo Branco / Alcaria</u>	Castelo Branco Norte - Alcains	7,9
	Alcains - Lardosa	8,1
	Lardosa - Soalheira	4,7
	Soalheira - Castelo Novo	5,8
	Castelo Novo - Fundão	7,8
	Fundão - Alcaria	4,2
	Total: Castelo Branco / Alcaria	38,8
<u>Alcaria / Belmonte (Teixoso)</u>	Alcaria - Covilhã Sul	6,6
	Covilhã Sul - Covilhã Norte	5,8
	Covilhã Norte - Belmonte Sul	9,1
	Total: Alcaria / Belmonte (Teixoso)	21,5
<u>Belmonte (Teixoso) / Guarda</u>	Belmonte Sul - Belmonte Norte	8,5
	Belmonte Norte - Benespera	9
	Benespera - Guarda	9,6
	Guarda - Pinhel	5,4
	Total: Belmonte (Teixoso) / Guarda	32,5
	Extensão Total (km)	177,5

3.3. Dados para aplicação da metodologia HCM 2010

3.3.1. Enquadramento e tratamento dos dados

A aplicação da metodologia HCM 2010 para análise do nível de serviço oferecido e da capacidade dos sublanços que constituem o caso de estudo foi efetuada utilizando os dados disponibilizados pela empresa concessionária da A23, a Scutvias, e por dados recolhidos no local por observação direta.

Os dados necessários à aplicação da metodologia dizem respeito a dados geométricos, dados relativos ao traçado da infraestrutura e dados do tráfego existente no período escolhido para a análise.

Em termos de dados geométricos, foram tidos em conta os parâmetros: largura das vias, o número de vias em cada sentido e a desobstrução lateral direita.

Relativamente aos dados de traçado, estes foram obtidos por observação no local, tendo sido posteriormente confirmados com a concessionária Scutvias para validação dos mesmos. Os dados de traçado estão contidos nos dados geométricos como é o caso do tipo de terreno e do número de rampas a montante e a jusante de cada secção analisada.

Quanto ao tipo de terreno a informação foi obtida depois de uma deslocação ao local, tendo-se percorrido a extensão em análise de modo a classificar, para cada sublanço, o tipo de terreno como plano, ondulado ou montanhoso.

Finalmente, os dados de tráfego relativos a cada sublanço, considerados cada um como uma secção corrente (com exceção dos que apresentavam vias de lentos, que foram subdivididos), foram fornecidos pela Scutvias. Os dados de tráfego relativos às rampas de acesso foram obtidos por observação visual no local.

A concessionária disponibilizou informação respeitante aos dados de tráfego horário e às velocidades de circulação relativos a uma semana de tráfego significativo (Semana da Páscoa), para o ano de 2014.

Em conversações com representantes da concessionária foi possível identificar a Semana da Páscoa, como o período semanal de pico em termos de volumes de tráfego. A partir dos dados de tráfego fornecidos pela concessionária Scutvias foi possível realizar um estudo cujo objetivo foi o de seleccionar dias representativos em termos de tráfego (mais elevado) dentro da Semana da Páscoa, assim como as respetivas horas de ponta. Esta informação em conjunto com as velocidades de

circulação correspondentes aos períodos horários identificados foram as utilizadas na análise do nível de serviço prestado por cada sublanço.

É de referir que os dados disponibilizados pela concessionária não permitiram efetuar a aplicação da metodologia nas rampas de aceleração e desaceleração das interseções, uma vez que os contadores de tráfego se situam a norte de cada nó, não sendo assim viável fazer os cálculos necessários para a obtenção do tráfego a circular em cada rampa. No entanto, foi possível determinar a quantidade de veículos que entram e saem da estrada através da contagem visual dos veículos que circulavam nas rampas de acesso de uma interseção escolhida para aplicação da metodologia.

Secção Corrente

Esta análise, como indicado anteriormente, foi realizada para uma semana de tráfego característica, a semana da Páscoa, em que o volume de tráfego verificado foi superior à média anual, sendo possível obter condições mais desfavoráveis do ponto de vista do tráfego.

A escolha dos dias representativos e das horas de ponta a utilizar na análise foi baseada na observação dos gráficos de variação do volume horário ao longo de cada dia da semana, para cada sublanço, construídos com base nos elementos fornecidos pela Scutvias (ver Anexo A).

Após observação dos gráficos foram selecionados três dias com características especiais e representativos em termos de padrões da variação do tráfego para utilização no estudo em causa. Os dias escolhidos foram:

- A quarta-feira dia 16/04/2014, representando um dia típico de semana laboral, cujo tráfego é principalmente composto por utentes que estão familiarizados com a estrada;
- A sexta-feira dia 18/04/2014, que embora se considere que a maioria dos utilizadores estejam familiarizados com a infraestrutura, já se registam algumas deslocações para a passagem do fim-de-semana da Páscoa, representando uma situação de feriado;
- E por fim, o Domingo de Páscoa dia 20/04/2014, representativo de um dia de fim-de-semana, onde se considerou que a população de condutores, em viagens de regresso do fim-de-semana, não está familiarizada com a infraestrutura.

O tráfego nos dias selecionados foi analisado nos sentidos Norte - Sul e Sul - Norte.

No sentido Sul-Norte foram identificados as seguintes horas de ponta:

- Quarta-feira dia 16/04/2014:
 - Das 12:00 às 13:00 horas correspondendo à provável deslocação dos utentes devido à hora de refeição;
 - Das 18:00 às 19:00 horas, onde se considera que as viagens efetuadas são relativas ao regresso dos utentes a casa.
- Sexta-feira dia 18/04/2014:
 - Das 12:00 às 13:00 horas correspondendo à provável deslocação dos utentes para a hora de refeição, coincidindo com algumas deslocações relativas ao fim-de-semana da Páscoa;
 - Das 16:00 às 17 00horas onde se considera que as deslocações têm por objetivo o regresso a casa.
- Domingo dia 20/04/2014:
 - Das 16:00 às 18:00 horas, refletindo as deslocações dos utentes de regresso a casa, depois de terminado o fim-de-semana da Páscoa.

Para o sentido Norte - Sul foram identificados as seguintes horas de ponta:

- Quarta-feira dia 16/04/2014:
 - Das 9:00 às 10:00 horas, onde se pressupôs que as viagens têm por motivo a deslocação dos utentes para os seus locais de trabalho;
 - Das 11:00 às 12:00 horas, correspondendo a uma hora de ponta secundária identificada nos gráficos de variação dos volumes;
 - Das 18:00 às 19:00 horas, onde se pressupôs as viagens têm por motivo o regresso dos utentes a casa.
- Sexta-feira dia 18/04/2014:
 - Das 11:00 às 13:00 horas, onde se considera que a maior parte das deslocações efetuadas sejam relativas à hora de refeição.
 - Das 17:00 às 18:00 horas, correspondendo esta hora de ponta ao regresso dos utentes a casa coincidindo com deslocações relativas ao período festivo da Páscoa.
- Domingo 20/04/2014
 - Das 16:00 às 18:00 horas, cujo tráfego é referente a deslocações dos utentes de regresso às residências depois de passado o fim-de-semana da Páscoa.

Rampas de aceleração e desaceleração

Devido ao grande número de rampas existentes ao longo da extensão analisada, à falta de informação disponível sobre os volumes de tráfego e velocidades de circulação nestes locais e à dificuldade em encontrar locais onde fosse possível efetuar visualmente as contagens de veículos

necessárias optou-se por efetuar a aplicação da metodologia do manual HCM 2010 para a determinação do nível de serviço em rampas de aceleração e desaceleração para apenas um dos nós de acesso à A23.

O nó escolhido foi o nó Covilhã Norte (nó 31), localizado ao quilómetro 172 da A23, tendo sido a contagem feita a partir de um viaduto localizado a montante do nó. O dia escolhido para a realização da contagem no nó foi uma quarta-feira, dia 27 de Agosto de 2014, do corrente ano tendo-se considerado que as horas de ponta seriam as mesmas utilizadas para a análise da secção corrente relativa à semana da Páscoa. Escolheu-se este período devido ao fato de ser extremamente difícil e moroso contabilizar o número de veículos que circularam durante as 24 horas do dia, em cada rampa de aceleração e desaceleração e para todos os dias da semana.

Os dados recolhidos permitiram efetuar uma aplicação da metodologia a estes elementos da estrada (rampas).

3.3.2. Dados de entrada para aplicação da metodologia HCM 2010

Apresentam-se de seguida, para as secções correntes e rampas de aceleração e desaceleração, exemplos do conjunto dos dados recolhidos, fornecidos e tratados, no formato necessário para a aplicação da metodologia HCM 2010, organizados em tabelas.

Secções correntes em condições gerais do terreno

Embora tenham sido analisados todos os troços da secção em estudo, será apenas apresentado de seguida, para exemplificação, o conjunto de dados de entrada necessários para a análise do Troço 1: Lanço Gardete/Castelo Branco, Sublanço Castelo Branco Sul - Hospital, no sentido Norte - Sul.

Os restantes dados de entrada, relativos aos restantes sublanços, para cada sentido da estrada, podem ser consultados no Anexo B.

A tabela 3.2 mostra os dados de tráfego considerados para a análise do troço 1, onde é possível observar os volumes da procura de veículos ligeiros, de veículos pesados e o total para as horas de ponta selecionadas, tal como as velocidades médias de circulação correspondentes.

Tabela 3.2 - Dados de tráfego do troço 1: Lanço Gardete/Castelo Branco, sublanço Castelo Branco Sul - Hospital, no sentido Norte - Sul

<u>Troço 1: Lanço Gardete / Castelo Branco, sublanço Castelo Branco Sul- Hospital (PK: 114,200 ao PK:119,900) no sentido Norte-Sul</u>					
Dia em análise: Quarta - feira dia 16/04/2014					
<u>Dados de tráfego</u>					
Medições efetuadas no terreno					
Hora	Tipos de Veículos	Volume de procura na hora de ponta (veic/h)	Velocidade média na hora de ponta (Km/h)	Percentagem de veículos pesados (%)	Fator de ponta horária, PHF
09:00	Ligeiros	126	90	18,2	0,92
	Pesados	28			
	Total	154			
11:00	Ligeiros	179	99	15,6	0,92
	Pesados	33			
	Total	212			
18:00	Ligeiros	182	97	7,6	0,92
	Pesados	15			
	Total	197			

A percentagem de veículos pesados foi calculada tendo em conta os volumes de procura na hora de ponta.

Convém referir que o fator de ponta horária representa a variação do fluxo de tráfego dentro do período de uma hora. Este parâmetro varia entre 0,85 e 0,98 (Zegeer, 2008). Neste caso de estudo considerou-se a utilização de um valor intermédio (0,92), uma vez que valores baixos são típicos de zonas com condições de volume baixas e valores altos são típicos de zonas com condições de volume elevadas, característicos de zonas urbanas ou suburbanas.

Como os volumes verificados são em geral baixos, mas o traçado do troço analisado se aproxima de cidades como Castelo Branco, Fundão e Covilhã, a utilização de um valor intermédio parece ser o mais adequado para a escolha do fator de ponta horária.

A velocidade média na hora de ponta foi medida pela concessionária em cada um dos troços analisados.

A caracterização dos dados geométricos passa pela identificação dos seguintes aspetos importantes: o número de vias em cada sentido; a largura das vias; a desobstrução lateral direita; o tipo de terreno e o número de rampas a montante e jusante da secção. Estes aspetos são características fundamentais de cada um dos troços analisados.

A tabela 3.3 apresenta o conjunto de dados geométricos relativos ao troço 1.

Tabela 3.3. - Dados geométricos e outros dados necessário à análise do troço 1: Lanço Gardete/Castelo Branco, sublanço Castelo Branco Sul - Hospital, no sentido Norte - Sul

<i>Dados geométricos e outros dados necessário à análise</i>	
Nº de vias em cada direção	2
Largura das vias (m)	3,75
Desobstrução lateral direita (m)	3,00
Tipo de utentes, f_p	Regular 1
Tipo de terreno	Plano
Nº de rampas a montante e jusante da secção	2

O número de vias em cada direção varia entre duas e três vias ao longo da extensão em análise. Este valor varia em determinados sublanços da A23. Exemplo disso é o troço compreendido entre os nós de Covilhã Sul e Fundão Norte. Neste sublanço a secção corrente apresenta uma inclinação significativa (6,9%), sendo por isso necessário a introdução de uma via de lentos, passando o perfil a apresentar 3 vias em cada sentido.

Segundo a Norma de Traçado da JAE (JAE, 1995), nas estradas multivias, a largura mínima a ser adotada é de 3,5 metros. No entanto, de forma a assegurar o afastamento mínimo necessário entre veículos pesados, deve-se adotar vias com 3,75 metros de largura em todo o tipo de estradas multivias.

A desobstrução lateral direita, representada pela largura das bermas direitas, segundo a Norma de Traçado da JAE, deve ter o valor de 3,00 metros em estradas multivias. Quando se verifica o aparecimento de uma via de lentos, as Normas de Traçado da JAE referem que a largura da berma pode diminuir para 1,5 metros.

Em relação à largura das vias e à desobstrução lateral direita, estes parâmetros foram obtidos através de medição em fotografia aérea, com posterior confirmação pela concessionária, tendo-se verificado que vão de encontro às recomendações da Norma de Traçado da JAE.

O fator de ajustamento relativo ao tipo de utentes f_p é utilizado por forma a refletir o impacto que a população utilizadora poderá originar no tráfego. Este fator pode assumir um valor dentro da gama de valores que vai de 0,85 a 1,00. Geralmente o valor utilizador é 1, refletindo a utilização de automobilistas que estão familiarizados com a instalação rodoviária. No entanto, o valor de 0,85 poderá ser utilizado em ocasiões em que se verifique que a maioria da população de condutores não está familiarizada com a infraestrutura.

No caso em estudo foi utilizado o valor 1,00 na análise efetuada para o dia de quarta-feira, dia 16/04/2014 e para a sexta-feira, dia 18/04/2014. O valor de 0,85 foi adotado para domingo de Páscoa, dia 20/04/2014.

O tipo de terreno pode variar entre plano, ondulado e montanhoso, como foi referido anteriormente. Consoante o tipo de terreno, assim é escolhido o valor do parâmetro relativo ao número de veículos ligeiros equivalentes aos veículos pesados e autocarros e aos veículos recreativos. Em Portugal, na classificação de veículos usada pela Administração Rodoviária Portuguesa, que é adotada na generalidade das situações de contagem de tráfego, a contagem de veículos recreativos está incluída na classe de veículos ligeiros, pelo que não é possível obter em particular o número deste tipo de veículos.

Secções correntes com inclinações específicas

Relativamente aos troços com inclinações específicas, a extensão em estudo apresenta algumas situações que requerem um tratamento diferenciado, já que verificam os critérios relativos à consideração de inclinações específicas e do seu efeito nas condições de circulação do tráfego.

São três os troços cuja análise requer um cuidado especial devido à inclinação significativa que apresentam:

- O troço compreendido entre o lado norte do túnel da Gardunha e o nó do Fundão (troço 7.3), com uma inclinação máxima de 6,9% e uma extensão de 2200 m;
- O troço entre o quilómetro 165,925 e o quilómetro 167,625, a montante do nó de Alcaria no sentido Norte - Sul (troço 9.2), com uma inclinação máxima de 4,5% e uma extensão de 1700 m;
- E o troço a jusante do nó Covilhã Sul, também no sentido Norte - Sul (troço 9.3), com 5% de inclinação máxima e 1900 m de extensão.

Estes troços foram estudados separadamente das secções correntes em condições gerais do terreno devido às diferenças das suas características em relação às características do sublanço em que se inserem.

As extensões consideradas nos locais com inclinações específicas para a determinação do nível de serviço são diferentes das fornecidas pela concessionária Scutvias. As extensões fornecidas correspondem ao local da rampa ou declive (com inclinação variável ao longo da sua extensão), relativa à inclinação mais acentuada sendo que se optou, como indicado pela metodologia, por considerar a extensão total das rampas e declives, que correspondem para os troços 9.2 e 9.3 à extensão da via de lentos completa, e no troço 7.3 a extensão entre o túnel norte da Gardunha e

a rampa de desaceleração localizada no sentido sul - norte do nó relativo ao Fundão (ver Figura 3.2). A extensão da via de lentos nos troços 9.2 e 9.3 foi considerada a mesma em ambos os sentidos. A inclinação considerada no cálculo é a máxima verificada na secção em análise.



Figura 3.2 - Acesso norte aos túneis da Gardunha. (Relatório e contas da Scutvias, 2010).

A tabela 3.4 apresenta os dados de tráfego relativos ao troço 9.3 no sentido Norte - Sul. No Anexo B serão apresentadas as restantes tabelas relativas a este e aos troços 7.3 e 9.2, nos dois sentidos.

Tabela 3.4 - Dados de tráfego relativos ao troço com inclinação específica 9.3: Lanço Alcaria/Belmonte, sublanço Alcaria - Covilhã Sul, sentido Norte - Sul.

<u>Troço 9.3.: Lanço Alcaria / Belmonte, sublanço Alcaria - Covilhã Sul (PK:167,750 ao PK:169,625) no sentido Norte-Sul</u>					
Dia em análise: Quarta - feira dia 16/04/2014					
<u>Dados de tráfego</u>					
<u>Medições efetuadas no terreno</u>					
Hora	Tipos de Veículos	Volume de procura na hora de ponta (veic/h)	Velocidade média na hora de ponta (Km/h)	Porcentagem de veículos pesados (%)	Fator de ponta horária, PHF
09:00	<u>Ligeiros</u>	120	84	21,1	0,92
	<u>Pesados</u>	32			
	<u>Total</u>	152			
11:00	<u>Ligeiros</u>	155	87	14,8	0,92
	<u>Pesados</u>	27			
	<u>Total</u>	182			
18:00	<u>Ligeiros</u>	165	94	14,9	0,92
	<u>Pesados</u>	29			
	<u>Total</u>	194			

O método para obtenção dos dados apresentados na tabela 3.4 já foi referido no subcapítulo 3.4.1 relativo à secção corrente.

A tabela 3.5 apresenta os dados geométricos e outros dados necessários relativos ao troço 9.3.

Tabela 3.5 - Dados geométricos e outros dados necessários relativos ao troço com inclinação específica 9.3: Lanço Alcária/Belmonte, sublanço Alcária - Covilhã Sul, sentido Norte - Sul.

<i>Dados geométricos e outros dados necessário à análise</i>		
Nº de vias em cada direção	3	
Largura das vias (m)	3,5	
Desobstrução lateral direita (m)	1,50	
Tipo de utentes, fp	Regular	1
Tipo de terreno	Montanhoso	
Nº de rampas a montante e jusante da secção	2	
Inclinação do troço ascendente (%)	5	
Extensão do troço ascendente (m)	1900	

No troço 9.2 para o sentido norte - sul e no 9.3 no sentido sul - norte, a análise é realizada considerando 3 vias em cada faixa de rodagem da estrada multivias. É de salientar que o aparecimento desta terceira via (via de lentos) se deve à possibilidade de redução da velocidade de circulação praticada pelos veículos pesados devido à inclinação longitudinal significativa da estrada (que podem atingir a “crawl speed”), e de modo a evitar a interferência destes veículos na circulação dos veículos ligeiros que circulam na mesma faixa de rodagem a uma velocidade mais elevada. As inclinações destes troços foram fornecidas pela concessionária Scutvias.

Segmentos junto a rampas de aceleração e desaceleração

A análise de tráfego e posterior cálculo do nível de serviço em segmentos junto a rampas de aceleração e desaceleração foi realizado apenas para o nó de ligação 31 da A23, que corresponde à saída “Covilhã Norte”, no extremo norte da extensão estudada. Como já foi referido, a opção de aplicar a metodologia a apenas um nó deve-se ao fato de não ter sido possível obter dados de tráfego relativos a volumes e velocidades para todos os nós existentes ao longo da extensão analisada. A figura 3.1 ilustra o nó de ligação 31 da A23, onde foi realizada a contagem de tráfego.

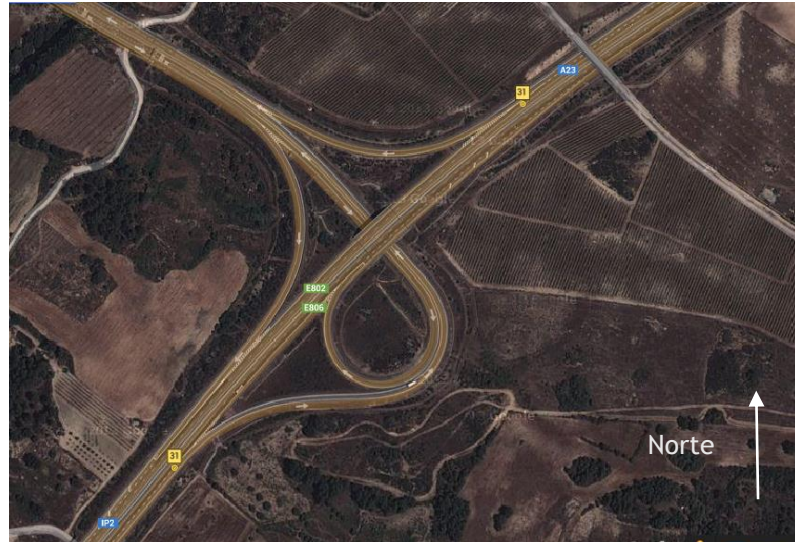


Figura 3.3: Nó de ligação 31 - Covilhã Norte (Escala 1:2000) (<https://maps.google.pt>)

Para a obtenção dos dados de tráfego necessários à aplicação da metodologia foi necessário efetuar uma contagem de tráfego para recolha dos valores relativos a volumes de tráfego, e verificação das velocidades fixadas para as rampas do nó, sendo estas as consideradas como velocidades de fluxo livre, FFS.

As rampas de acesso estudadas estabelecem a ligação entre a estrada multivias e uma instalação rodoviária de acesso à cidade da Covilhã (ver Figura 3.4).



Figura 3.4 - Foto dos segmentos junto às rampas de aceleração e desaceleração tirada do viaduto a norte do nó 31, Covilhã Norte.

Cada acesso é composto por duas junções e uma rampa de acesso. A rampa de acesso, dependendo da sua localização, pode de aceleração ou desaceleração. As junções referem-se às ligações entre as rampas de aceleração ou desaceleração com o acesso a norte da cidade da Covilhã à A23 e as junções entre as rampas de aceleração ou desaceleração com a infraestrutura A23.

A figura 3.5 ilustra a rampa de desaceleração Covilhã Norte - Belmonte, no sentido norte - sul na qual é possível observar a junção entre a secção corrente da estrada multivias e a rampa de desaceleração.



Figura 3.5: Foto do segmento junto à rampa de desaceleração tirada do viaduto a norte do nó 31, Covilhã Norte.

Na figura 3.6 é possível observar-se com maior pormenor os segmentos junto às rampas de aceleração e desaceleração existentes a sul do nó de ligação estudado.

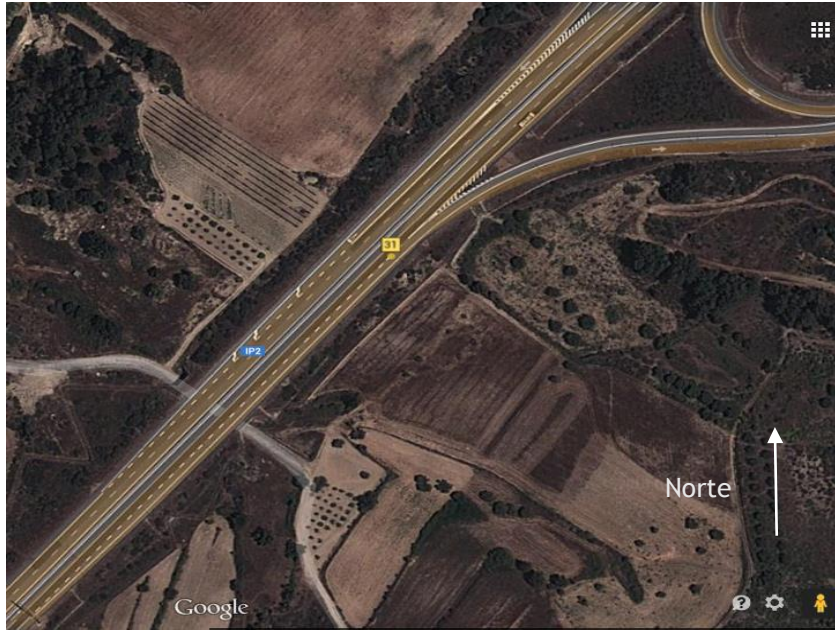


Figura 3.6: Segmento junto às rampas de aceleração e desaceleração a sul do nó de ligação 31 (Escala 1:2000) (<https://maps.google.pt>).

Na figura 3.7 é possível observar-se com maior pormenor o tipo de segmentos junto às rampas de aceleração e desaceleração presentes a norte do nó de ligação estudado.

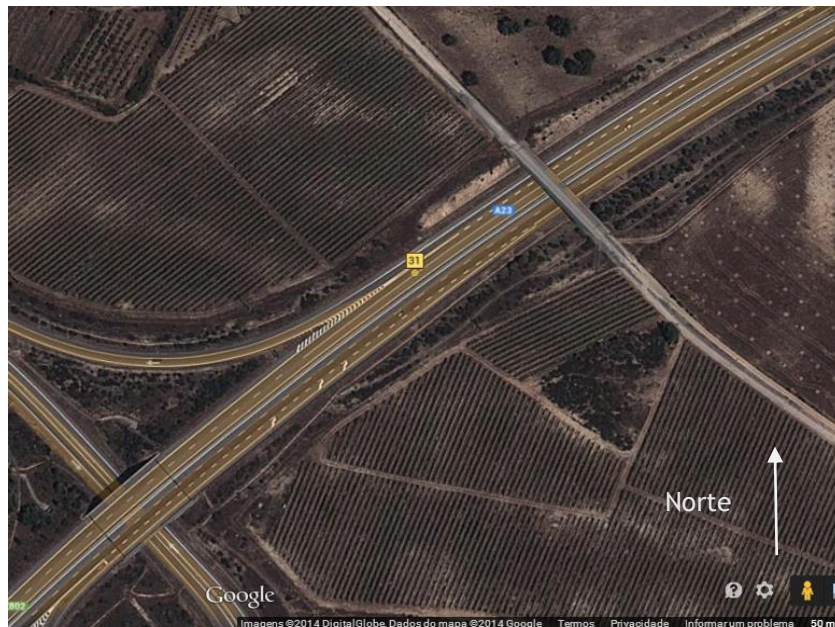


Figura 3.7: Segmentos junto às rampas de aceleração e desaceleração a norte do nó de ligação 31 (Escala 1:2000) (<https://maps.google.pt>).

Para a análise do nível de serviço de rampas de acesso a uma infraestrutura multivias é necessário ter em conta certos aspetos imprescindíveis, como os dados de tráfego e os dados relativos ao

volume de procura na rampa e a montante da rampa, velocidade de fluxo livre, na rampa e a montante da mesma, o tipo de utentes da estrada e o tipo de configuração do terreno. Nas tabelas 3.6 e 3.7 são apresentados os dados de tráfego relativos às rampas de aceleração e desaceleração estudadas, no sentido norte-sul, para as diferentes horas de ponta analisadas.

Tabela 3.6 - Dados de tráfego da rampa de aceleração do nó de ligação 31, no sentido Norte - Sul.

<u>Rampa de aceleração do nó 31 (PK:175,275): Lanço Alcaria / Belmonte, sublanço Covilhã Sul - Covilhã Norte no sentido Norte-Sul</u>						
Dia em análise: Quarta - feira dia 27/08/2014						
<u>Dados de tráfego</u>						
Medições efetuadas no terreno						
Hora	Tipos de Veículos	Volume de procura na hora de ponta, rampa (veic/h)	Volume de procura na hora de ponta a montante da rampa (veic/h)	% veículos pesados, rampa (%)	% veículos pesados, secção corrente (%)	Fator de ponta horária, PHF
09:00	Ligeiros	5	108	16,7	12,2	0,92
	Pesados	1	15			
	Total	6	123			
11:00	Ligeiros	3	120	40,0	13,0	0,92
	Pesados	2	18			
	Total	5	138			
18:00	Ligeiros	3	109	0,0	12,8	0,92
	Pesados	0	16			
	Total	3	125			

Tabela 3.7 - Dados de tráfego da rampa de desaceleração do nó de ligação 31, no sentido Norte - Sul.

<u>Rampa de desaceleração do nó 31 (PK:175,275): Lanço Alcaria / Belmonte, sublanço Covilhã Norte - Belmonte no sentido Norte-Sul</u>						
Dia em análise: Quarta - feira dia 27/08/2014						
<u>Dados de tráfego</u>						
Medições efetuadas no terreno						
Hora	Tipos de Veículos	Volume de procura na hora de ponta, rampa (veic/h)	Volume de procura na hora de ponta a montante da rampa (veic/h)	% veículos pesados, rampa (%)	% veículos pesados, secção corrente (%)	Fator de ponta horária, PHF
09:00	Ligeiros	52	160	5,5	10,1	0,92
	Pesados	3	18			
	Total	55	178			
11:00	Ligeiros	47	167	4,1	10,7	0,92
	Pesados	2	20			
	Total	49	187			
18:00	Ligeiros	58	167	1,7	9,2	0,92
	Pesados	1	17			
	Total	59	184			

Nas tabelas 3.6 e 3.7 podemos observar os volumes de procura de veículos ligeiros, de pesados e o volume total de veículos nas horas de ponta consideradas para as rampas e secção corrente adjacente. A percentagem de veículos pesados foi calculada tendo em conta os volumes de procura nas respetivas horas de ponta, tendo-se verificado uma grande variação destes valores nas rampas,

o que pode ter sido influenciado pelo baixo volume verificado em algumas situações. Finalmente, o fator de ponta horária, PHF foi obtido pelo mesmo método referido no subcapítulo 3.4.1.

Em relação às características geométricas do nó de ligação estudado, estas foram obtidas por observação direta no terreno, sendo apresentadas nas tabelas 3.8 a 3.13 para as rampas de aceleração e desaceleração no sentido Norte - Sul no nó 31, juntamente com a restante informação necessária à análise.

Tabela 3.8 - Dados geométricos e outros dados necessários à análise do segmento junto à rampa de aceleração do nó de ligação 31 na hora de ponta compreendida entre as 9:00 e as 10:00 horas, no sentido Norte - Sul.

<i><u>Dados geométricos e outros dados necessário à análise</u></i>	
Nº de vias da seção corrente	2
Nº de vias em rampa	1
Volume de procura a montante da rampa	123
Volume de procura na rampa	6
Comprimento da via de aceleração	300
Velocidade de fluxo livre, FFS na seção corrente	89
Velocidade de fluxo livre, FFS na rampa	60
Tipo de utentes, fp	Regular 1
Tipo de terreno	Plano

Tabela 3.9 - Dados geométricos e outros dados necessários à análise do segmento junto à rampa de aceleração do nó de ligação 31 na hora de ponta compreendida entre as 11:00 e as 12:00 horas, no sentido Norte - Sul.

<i><u>Dados geométricos e outros dados necessário à análise</u></i>	
Nº de vias da seção corrente	2
Nº de vias em rampa	1
Volume de procura a montante da rampa	138
Volume de procura na rampa	5
Comprimento da via de aceleração	300
Velocidade de fluxo livre, FFS na seção corrente	96
Velocidade de fluxo livre, FFS na rampa	60
Tipo de utentes, fp	Regular 1
Tipo de terreno	Plano

Tabela 3.10 - Dados geométricos e outros dados necessários à análise do segmento junto à rampa de aceleração do nó de ligação 31 na hora de ponta compreendida entre as 18:00 e as 19:00 horas, no sentido Norte - Sul.

<i>Dados geométricos e outros dados necessário à análise</i>		
Nº de vias da seção corrente	2	
Nº de vias em rampa	1	
Volume de procura a montante da rampa	125	
Volume de procura na rampa	3	
Comprimento da via de aceleração	300	
Velocidade de fluxo livre, FFS na seção corrente	122	
Velocidade de fluxo livre, FFS na rampa	60	
Tipo de utentes, fp	Regular	1
Tipo de terreno	Plano	

Tabela 3.11 - Dados geométricos e outros dados necessários à análise do segmento junto à rampa de desaceleração do nó de ligação 31 na hora de ponta compreendida entre as 9:00 e as 10:00 horas, no sentido Norte - Sul.

<i>Dados geométricos e outros dados necessário à análise</i>		
Nº de vias da seção corrente	2	
Nº de vias em rampa	1	
Volume de procura a montante da rampa	178	
Volume de procura na rampa	55	
Comprimento da via de desaceleração	290	
Velocidade de fluxo livre, FFS na seção corrente	105	
Velocidade de fluxo livre, FFS na rampa	60	
Tipo de utentes, fp	Regular	1
Tipo de terreno	Plano	

Tabela 3.12 - Dados geométricos e outros dados necessários à análise do segmento junto à rampa de desaceleração do nó de ligação 31 na hora de ponta compreendida entre as 11:00e as 12:00 horas, no sentido Norte - Sul.

<i>Dados geométricos e outros dados necessário à análise</i>		
Nº de vias da seção corrente	2	
Nº de vias em rampa	1	
Volume de procura a montante da rampa	187	
Volume de procura na rampa	49	
Comprimento da via de desaceleração	290	
Velocidade de fluxo livre, FFS na seção corrente	106	
Velocidade de fluxo livre, FFS na rampa	60	
Tipo de utentes, fp	Regular	1
Tipo de terreno	Plano	

Tabela 3.13 - Dados geométricos e outros dados necessários à análise do segmento junto à rampa de desaceleração do nó de ligação 31 na hora de ponta compreendida entre as 18:00 e as 19:00 horas, no sentido Norte - Sul.

<i>Dados geométricos e outros dados necessário à análise</i>		
Nº de vias da seção corrente	2	
Nº de vias em rampa	1	
Volume de procura a montante da rampa	184	
Volume de procura na rampa	59	
Comprimento da via de desaceleração	290	
Velocidade de fluxo livre, FFS na seção corrente	116	
Velocidade de fluxo livre, FFS na rampa	60	
Tipo de utentes, fp	Regular	1
Tipo de terreno	Plano	

As velocidades consideradas para estudo foram as indicadas na sinalética existente nas diferentes rampas de acesso. Considerou-se que para a aplicação da metodologia do manual HCM 2010, esta solução seria a mais indicada, uma vez que não existem dados de medições efetuadas no local.

3.4. Cálculo do nível de serviço e da capacidade

Neste subcapítulo é apresentado um conjunto de tabelas onde se podem observar os resultados obtidos da aplicação da metodologia HCM2010 a vários exemplos de troços estudados no caso de estudo, incluindo o cálculo dos diferentes parâmetros necessários à obtenção do Nível de Serviço e da Capacidade. Este cálculo foi dividido por tipo de secção rodoviária em: secções correntes em condições gerais do terreno, secções correntes com inclinações específicas e rampas de aceleração e desaceleração.

O subcapítulo é finalizado com uma tabela resumo em que são apresentados os resultados obtidos para todos os troços considerados no caso de estudo, sendo possível consultar a informação referente a cada troço no Anexo C.

3.4.1. Secções correntes em condições gerais do terreno

As tabelas 3.14, 3.15 e 3.16 apresentam os resultados obtidos da aplicação da metodologia descrita no ponto 2.2.3 ao troço 1, para as três horas de ponta selecionadas.

Tabela 3.14 - Cálculo do Nível de Serviço e capacidade: troço 1, quarta-feira 16/04/2014, hora de ponta: 9:00-10:00 horas, no sentido Norte - Sul.

<u>Troço 9.3.: Lanço Alcaria / Belmonte, sublanço Alcaria - Covilhã Sul (PK:167,750 ao PK:169,625) no sentido Norte-Sul</u>		
<u>Análise: Cálculo do Nível de Serviço às 9:00 horas do dia 16/04/2014</u>		
<u>Processo de cálculo</u>	<u>Resultados</u>	<u>Formulário</u>
Cálculo da velocidade de fluxo livre, FFS (km/h)	84,00	$FFS=121,3-flw-flc-[3,22*1,609TRD^0,84]*1,609$
Embora seja apresentada uma expressão para o cálculo da velocidade de fluxo livre, esta foi medida no terreno e posteriormente fornecida pela concessionária Scutvias.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos pesados, Et (troço ascendente)	3,00	Tabela 2.6
O valor utilizado foi interpolado tendo em conta os valores presentes na tabela 2.6.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos de recreio, Er (troço ascendente)	0,0	-
A classificação de veículos da Administração Rodoviária Portuguesa, não considera uma classe de veículos específica para os veículos de recreio sendo estes contabilizados na classe dos veículos ligeiros de passageiros.		
Fator de ajuste para veículos pesados, fhv (troço ascendente)	0,704	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste da procura, Up (vlp/h/via) - (troço ascendente)	78	$Up=V/(PHF*N*fhv*fp)$
Como este valor é inferior ao valor da capacidade base (2250 vlp/h/via para 90 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Velocidade da corrente de tráfego, S (Km/h) - (troço ascendente)	90,00	Tabela 2.1
Valor da velocidade da corrente de tráfego obtém-se da tabela 2.1 sendo que o escolhido é o mais aproximado num intervalo de 7,5 km/h.		
Densidade e velocidade (vlp/km/via) - (troço ascendente)	0,87	$D=Up/S$
Comparando o valor da densidade calculada e as densidades correspondentes a cada Nível de Serviço na tabela 2.9 é possível obter o Nível de Serviço no presente troço.		
Nível de Serviço (troço ascendente)	A	Tabela 2.9
Capacidade expressa em fluxo de serviço, SF (vlp/h)	4750	$SFE=MSFE*N*fhv*fp$
A principal variável envolvida nesta expressão é o MSFE e é obtida da tabela 2.10 tendo em conta a velocidade da corrente de tráfego.		
Volume de Serviço, SV (vlp/h)	4370	$SFE=SFE*PHF$
Comentário final: O nível de serviço registado no troço 9.3. no sentido norte-sul no dia 16/04/2014 na hora de ponta compreendida entre as 9:00 e as 10:00 horas é o nível de serviço A. Tendo em conta o valor da densidade da corrente de tráfego, podemos verificar que o valor da mesma se encontra bastante afastado do limite (> 7 - 11) para o próximo nível de serviço (B) sendo que não é esperado que este ocorra.		

Tabela 3.15 - Cálculo do Nível de Serviço e capacidade: troço 1, quarta-feira 16/04/2014, hora de ponta: 11:00 - 12:00 horas, no sentido Norte - Sul.

<u>Análise: Cálculo do Nível de Serviço às 11:00 horas do dia 16/04/2014</u>		
Processo de cálculo	Resultados	Formulário
Cálculo da velocidade de fluxo livre, FFS (km/h)	87,00	FFS=121,3-flw-flc-[3,22*1,609TRD^0,84]^1,609
Embora seja apresentada uma expressão para o cálculo da velocidade de fluxo livre, esta foi medida no terreno e posteriormente fornecida pela concessionária Scutvias.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos pesados, Et (troço ascendente)	3,02	Tabela 2.6
O valor utilizado foi interpolado tendo em conta os valores presentes na tabela 2.6.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos de recreio, Er (troço ascendente)	0,0	-
A classificação de veículos da Administração Rodoviária Portuguesa, não considera uma classe de veículos específica para os veículos de recreio sendo estes contabilizados na classe dos veículos ligeiros de passageiros.		
Fator de ajuste para veículos pesados, fhv (troço ascendente)	0,769	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste da procura, Up (vlp/h/via) - (troço ascendente)	86	$Up=V/(PHF*N*fhv*fp)$
Como este valor é inferior ao valor da capacidade base (2250 vlp/h/via para 90 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Velocidade da corrente de tráfego, S (Km/h) - (troço ascendente)	90,00	Tabela 2.1
Valor da velocidade da corrente de tráfego obtém-se da tabela 2.1 sendo que o escolhido é o mais aproximado num intervalo de 7,5 km/h.		
Densidade e velocidade (vlp/km/via) - (troço ascendente)	0,95	$D=Up/S$
Comparando o valor da densidade calculada e as densidades correspondentes a cada Nível de Serviço na tabela 2.9 é possível obter o Nível de Serviço no presente troço.		
Nível de Serviço (troço ascendente)	A	Tabela 2.9
Capacidade expressa em fluxo de serviço, SF (vlp/h)	5194	$SFE=MSFE*N*fhv*fp$
A principal variável envolvida nesta expressão é o MSFE e é obtida da tabela 2.10 tendo em conta a velocidade da corrente de tráfego.		
Volume de Serviço, SV (vlp/h)	4778	$SFE=SFE*PHF$
Comentário final: O nível de serviço registado no troço 9.3. no sentido norte-sul no dia 16/04/2014 na hora de ponta compreendida entre as 11:00 e as 12:00 horas é o nível de serviço A. Tendo em conta o valor da densidade da corrente de tráfego, podemos verificar que o valor da mesma se encontra bastante afastado do limite (> 7 - 11) para o próximo nível de serviço (B) sendo que não é esperado que este ocorra.		

Tabela 3.16 - Cálculo do Nível de Serviço e capacidade: troço 1 quarta-feira 16/04/2014, hora de ponta: 18:00-19:00 horas, no sentido Norte - Sul.

<u>Análise: Cálculo do Nível de Serviço às 18:00 horas do dia 16/04/2014</u>		
Processo de cálculo	Resultados	Formulário
Cálculo da velocidade de fluxo livre, FFS (km/h)	94,00	FFS=121,3-flw-flc-[3,22*1,609TRD^0,84]^1,609
Embora seja apresentada uma expressão para o cálculo da velocidade de fluxo livre, esta foi medida no terreno e posteriormente fornecida pela concessionária Scutvias.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos pesados, Et (troço ascendente)	3,01	Tabela 2.6
O valor utilizado foi interpolado tendo em conta os valores presentes na tabela 2.6.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos de recreio, Er (troço ascendente)	0,0	-
A classificação de veículos da Administração Rodoviária Portuguesa, não considera uma classe de veículos específica para os veículos de recreio sendo estes contabilizados na classe dos veículos ligeiros de passageiros.		
Fator de ajuste para veículos pesados, fhv (troço ascendente)	0,769	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste da procura, Up (vlp/h/via) - (troço ascendente)	91	$Up=V/(PHF*N*fhv*fp)$
Como este valor é inferior ao valor da capacidade base (2300 vlp/h/via para 95 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Velocidade da corrente de tráfego, S (Km/h) - (troço ascendente)	95,00	Tabela 2.1
Valor da velocidade da corrente de tráfego obtém-se da tabela 2.1 sendo que o escolhido é o mais aproximado num intervalo de 7,5 km/h.		
Densidade e velocidade (vlp/km/via) - (troço ascendente)	0,96	$D=Up/S$
Comparando o valor da densidade calculada e as densidades correspondentes a cada Nível de Serviço na tabela 2.9 é possível obter o Nível de Serviço no presente troço.		
Nível de Serviço (troço ascendente)	A	Tabela 2.9
Capacidade expressa em fluxo de serviço, SF (vlp/h)	5306	$SFE=MSFE*N*fhv*fp$
A principal variável envolvida nesta expressão é o MSFE e é obtida da tabela 2.9 tendo em conta a velocidade da corrente de tráfego.		
Volume de Serviço, SV (vlp/h)	4881	$SFE=SFE*PHF$
Comentário final: O nível de serviço registado no troço 9.3. no sentido norte-sul no dia 16/04/2014 na hora de ponta compreendida entre as 18:00 e as 19:00 horas é o nível de serviço A. Tendo em conta o valor da densidade da corrente de tráfego, podemos verificar que o valor da mesma se encontra bastante afastado do limite (> 7 - 11) para o próximo nível de serviço (B) sendo que não é esperado que este ocorra.		

É importante referir que na análise efetuada foram considerados os quatro túneis da Gardunha. Embora a metodologia do manual HCM 2010 não seja aplicável a túneis devido às particularidades associadas a estes elementos da estrada, neste estudo foi efetuada uma análise tendo em consideração o túnel como secção corrente. Os parâmetros de cálculo utilizados foram os concedidos pela Scutvias para o troço, sendo a velocidade de fluxo livre considerada de 80 km/h, indicada na sinalética presente no local e as características geométricas da secção transversal, as verificadas no local. A secção em túnel analisada em cada sentido vai do início do primeiro túnel (túnel sul no sentido sul - norte) ao final do segundo túnel (túnel norte no sentido sul - norte) já que a distância de secção corrente entre eles é pequena, de 1000 metros tendo-se optado por considera-los na mesma secção como um troço totalmente em túnel.

As tabelas 3.17 e 3.18 ilustram resumidamente o nível de serviço e a capacidade obtida no troço 1 no sentido sul - norte e norte - sul respetivamente, nas horas de ponta de cada dia analisado.

Tabela 3.17 - Tabela resumo com os dados obtidos relativos ao troço 1 no sentido Sul - Norte.

Troço 1: Lanço Gardete / Castelo Branco, sublanço Castelo Branco Sul - Hospital, no sentido Sul-Norte				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	12:00 - 13:00	1,26	4654	A
	18:00 - 19:00	1,18	4565	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	12:00 - 13:00	3,81	4766	A
	16:00 - 17:00	1,69	4565	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	5,19	3917	A
	17:00 - 18:00	1,48	3999	A

Tabela 3.18 - Tabela resumo com os dados obtidos relativos ao troço 1 no sentido Norte - Sul.

Troço 1: Lanço Gardete / Castelo Branco, sublanço Castelo Branco Sul - Hospital, no sentido Norte-Sul				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	9:00 - 10:00	1,01	4125	A
	11:00 - 12:00	1,31	4268	A
	18:00 - 19:00	1,17	4431	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	11:00 - 12:00	0,99	4686	A
	12:00 - 13:00	0,98	4362	A
	17:00 - 18:00	1,20	4490	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	6,02	4062	A
	17:00 - 18:00	5,61	4045	A

Na tabela 3.22 presente no ponto 3.4.4, são apresentados todos os troços analisados em secção corrente com os respetivos níveis de serviço, densidades e capacidades.

A maioria dos troços em secção corrente analisados apresentam um nível de serviço A (ver tabela 3.22 a 3.27). A exceção verificada, com um Nível de Serviço B (densidade de 7,31 vlp/km/via), foi no troço 7.2: lanço Castelo Branco/Alcaria, sublanço Castelo Novo - Fundão no sentido norte - sul, para o dia 20/04/2014, Domingo de Páscoa, na hora de ponta compreendida entre as 16:00 e as 17:00 horas.

3.4.2. Secções correntes com inclinações específicas

Neste subcapítulo são apresentadas as tabelas 3.19, 3.20 e 3.21 relativas à extensão com inclinação específica verificada no troço 9.3, que está compreendido entre no sublanço Covilhã Norte - Alcaria, no sentido Norte - Sul.

Tabela 3.19 - Cálculo do Nível de Serviço e capacidade numa secção de inclinação específica: troço 9.3, quarta-feira 16/04/2014, hora de ponta: 9:00 - 10:00 horas, no sentido Norte - Sul.

<i>Análise: Cálculo do Nível de Serviço às 9:00 horas do dia 16/04/2014</i>		
<u>Processo de cálculo</u>	<u>Resultados</u>	<u>Formulário</u>
Cálculo da velocidade de fluxo livre, FFS (km/h)	84,00	$FFS=121,3-f_{lw}-f_{lc}-[3,22*1,609TRD^{*}0,84]^{*}1,609$
Embora seja apresentada uma expressão para o cálculo da velocidade de fluxo livre, esta foi medida no terreno e posteriormente fornecida pela concessionária Scutvias.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos pesados, Et (troço ascendente)	3,00	Tabela 2.6
O valor utilizado foi interpolado tendo em conta os valores presentes na tabela 2.6.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos de recreio, Er (troço ascendente)	0,0	-
A classificação de veículos da Administração Rodoviária Portuguesa, não considera uma classe de veículos específica para os veículos de recreio sendo estes contabilizados na classe dos veículos ligeiros de passageiros.		
Fator de ajuste para veículos pesados, fhv (troço ascendente)	0,704	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste da procura, Up (vlp/h/via) - (troço ascendente)	78	$Up=V/(PHF*N*fhv*fp)$
Como este valor é inferior ao valor da capacidade base (2250 vlp/h/via para 90 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Velocidade da corrente de tráfego, S (Km/h) - (troço ascendente)	90,00	Tabela 2.1
Valor da velocidade da corrente de tráfego obtém-se da tabela 2.1 sendo que o escolhido é o mais aproximado num intervalo de 7,5 km/h.		
Densidade e velocidade (vlp/km/via) - (troço ascendente)	0,87	$D=Up/S$
Comparando o valor da densidade calculada e as densidades correspondentes a cada Nível de Serviço na tabela 2.9 é possível obter o Nível de Serviço no presente troço.		
<i>Nível de Serviço (troço ascendente)</i>	A	Tabela 2.9
Capacidade expressa em fluxo de serviço, SF (vlp/h)	4750	$SFE=MSFE*N*fhv*fp$
A principal variável envolvida nesta expressão é o MSFE e é obtida da tabela 2.10 tendo em conta a velocidade da corrente de tráfego.		
Volume de Serviço, SV (vlp/h)	4370	$SFE=SFE*PHF$
Comentário final: O nível de serviço registado no troço 9.3. no sentido norte-sul no dia 16/04/2014 na hora de ponta compreendida entre as 9:00 e as 10:00 horas é o nível de serviço A. Tendo em conta o valor da densidade da corrente de tráfego, podemos verificar que o valor da mesma se encontra bastante afastado do limite ($> 7 \cdot 11$) para o próximo nível de serviço (B) sendo que não é esperado que este ocorra.		

Tabela 3.20 - Cálculo do Nível de Serviço e capacidade numa secção de inclinação específica: troço 9.3 quarta-feira 16/04/2014, hora de ponta: 11:00 - 12:00 horas, no sentido Norte - Sul.

<i>Análise: Cálculo do Nível de Serviço às 11:00 horas do dia 16/04/2014</i>		
Processo de cálculo	Resultados	Formulário
Cálculo da velocidade de fluxo livre, FFS (km/h)	87,00	$FFS=121,3-flw-flc-[3,22*1,609TRD^0,84]*1,609$
Embora seja apresentada uma expressão para o cálculo da velocidade de fluxo livre, esta foi medida no terreno e posteriormente fornecida pela concessionária Scutvias.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos pesados, Et (troço ascendente)	3,02	Tabela 2.6
O valor utilizado foi interpolado tendo em conta os valores presentes na tabela 2.6.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos de recreio, Er (troço ascendente)	0,0	-
A classificação de veículos da Administração Rodoviária Portuguesa, não considera uma classe de veículos específica para os veículos de recreio sendo estes contabilizados na classe dos veículos ligeiros de passageiros.		
Fator de ajuste para veículos pesados, fhv (troço ascendente)	0,769	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste da procura, Up (vlp/h/via) - (troço ascendente)	86	$Up=V/(PHF*N*fhv*fp)$
Como este valor é inferior ao valor da capacidade base (2250 vlp/h/via para 90 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Velocidade da corrente de tráfego, S (Km/h) - (troço ascendente)	90,00	Tabela 2.1
Valor da velocidade da corrente de tráfego obtém-se da tabela 2.1 sendo que o escolhido é o mais aproximado num intervalo de 7,5 km/h.		
Densidade e velocidade (vlp/km/via) - (troço ascendente)	0,95	$D=Up/S$
Comparando o valor da densidade calculada e as densidades correspondentes a cada Nível de Serviço na tabela 2.9 é possível obter o Nível de Serviço no presente troço.		
Nível de Serviço (troço ascendente)	A	Tabela 2.9
Capacidade expressa em fluxo de serviço, SF (vlp/h)	5194	$SFE=MSFE*N*fhv*fp$
A principal variável envolvida nesta expressão é o MSFE e é obtida da tabela 2.10 tendo em conta a velocidade da corrente de tráfego.		
Volume de Serviço, SV (vlp/h)	4778	$SFE=SFE*PHF$
Comentário final: O nível de serviço registado no troço 9.3. no sentido norte-sul no dia 16/04/2014 na hora de ponta compreendida entre as 11:00 e as 12:00 horas é o nível de serviço A. Tendo em conta o valor da densidade da corrente de tráfego, podemos verificar que o valor da mesma se encontra bastante afastado do limite (> 7 - 11) para o próximo nível de serviço (B) sendo que não é esperado que este ocorra.		

Tabela 3.21 - Cálculo do Nível de Serviço e capacidade numa secção de inclinação específica: troço 9.3 quarta-feira 16/04/2014, hora de ponta: 18:00 - 19:00 horas, no sentido Norte - Sul.

<i>Análise: Cálculo do Nível de Serviço às 18:00 horas do dia 16/04/2014</i>		
Processo de cálculo	Resultados	Formulário
Cálculo da velocidade de fluxo livre, FFS (km/h)	94,00	$FFS=121,3-flw-flc-[3,22*1,609TRD^0,84]*1,609$
Embora seja apresentada uma expressão para o cálculo da velocidade de fluxo livre, esta foi medida no terreno e posteriormente fornecida pela concessionária Scutvias.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos pesados, Et (troço ascendente)	3,01	Tabela 2.6
O valor utilizado foi interpolado tendo em conta os valores presentes na tabela 2.6.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos de recreio, Er (troço ascendente)	0,0	-
A classificação de veículos da Administração Rodoviária Portuguesa, não considera uma classe de veículos específica para os veículos de recreio sendo estes contabilizados na classe dos veículos ligeiros de passageiros.		
Fator de ajuste para veículos pesados, fhv (troço ascendente)	0,769	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste da procura, Up (vlp/h/via) - (troço ascendente)	91	$Up=V/(PHF*N*fhv*fp)$
Como este valor é inferior ao valor da capacidade base (2300 vlp/h/via para 95 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Velocidade da corrente de tráfego, S (Km/h) - (troço ascendente)	95,00	Tabela 2.1
Valor da velocidade da corrente de tráfego obtém-se da tabela 2.1 sendo que o escolhido é o mais aproximado num intervalo de 7,5 km/h.		
Densidade e velocidade (vlp/km/via) - (troço ascendente)	0,96	$D=Up/S$
Comparando o valor da densidade calculada e as densidades correspondentes a cada Nível de Serviço na tabela 2.9 é possível obter o Nível de Serviço no presente troço.		
Nível de Serviço (troço ascendente)	A	Tabela 2.9
Capacidade expressa em fluxo de serviço, SF (vlp/h)	5306	$SFE=MSFE*N*fhv*fp$
A principal variável envolvida nesta expressão é o MSFE e é obtida da tabela 2.9 tendo em conta a velocidade da corrente de tráfego.		
Volume de Serviço, SV (vlp/h)	4881	$SFE=SFE*PHF$
Comentário final: O nível de serviço registado no troço 9.3. no sentido norte-sul no dia 16/04/2014 na hora de ponta compreendida entre as 18:00 e as 19:00 horas é o nível de serviço A. Tendo em conta o valor da densidade da corrente de tráfego, podemos verificar que o valor da mesma se encontra bastante afastado do limite (> 7 - 11) para o próximo nível de serviço (B) sendo que não é esperado que este ocorra.		

Os resultados obtidos e apresentados nas tabelas anteriores dizem respeito a um troço ascendente cuja inclinação é elevada (5%). A aplicação da metodologia foi efetuada da mesma maneira para as secções correntes em condições gerais do terreno, diferindo apenas nos parâmetros relativos ao número de veículos equivalentes aos veículos pesados, já que as condições de circulação destes são mais afetadas pela presença de rampas e declives no traçado da estrada.

Na obtenção destes parâmetros foi tido em conta a extensão e a inclinação longitudinal do troço em análise. Tendo em conta que nem todos os valores das inclinações consideradas eram apresentados na tabela 2.7, foi efetuada uma regressão linear para a obtenção dos valores necessários.

Para os resultados obtidos podemos observar que os valores das densidades são bastante baixos, tendo em conta a capacidade calculada para o troço em questão. Verifica-se então que, o nível de serviço obtido é o A, considerando as condições de tráfego analisadas.

Na tabela 3.22 são apresentadas em suma todas as situações de secções correntes com inclinações específicas.

3.4.3.Segmentos junto a rampas de aceleração e desaceleração

Neste subcapítulo são apresentadas as tabelas 3.22 a 3.27 relativas ao nó de ligação estudado com os resultados obtidos pela aplicação da metodologia em rampas de aceleração e desaceleração.

Tabela 3.22 - Tabela relativa à análise do segmento junto à rampa de aceleração do nó 31 no sentido Norte - Sul na hora de ponta compreendida entre as 9:00 e as 10:00 horas.

Análise: Cálculo do Nível de Serviço às 9:00 horas do dia 27/08/2014		
Processo de cálculo	Resultados	Formulário
Velocidade de fluxo livre na seção corrente, FFS (km/h)	89,00	$FFS=121,3-flw-flc-[3,22*1,609TRD^{0,84}]^{*1,609}$
Velocidade de fluxo livre na rampa, FFS (km/h)	60,00	
Embora seja apresentada uma expressão para o cálculo da velocidade de fluxo livre, a velocidade utilizada foi a presente na sinalética existente na rampa		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos pesados, Et	1,50	Tabela 2.5
O valor assumido é de 1,5 por se tratar de um troço caracterizado por um terreno plano.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos de recreio, Er	0,00	-
A classificação de veículos da Administração Rodoviária Portuguesa, não considera uma classe de veículos específica para os veículos de recreio sendo estes contabilizados na classe dos veículos ligeiros de passageiros.		
Fator de ajuste para veículos pesados na seção corrente, fhv	0,943	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste do volume de procura na seção corrente, UF (vlp/h/via)	142	$UF=V/(PHF*fhv*fp)$
Fator de ajuste para veículos pesados na rampa, fhv	0,923	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste do volume de procura na rampa, UR (vlp/h/via)	7	$UR=V/(PHF*fhv*fp)$
Pela tabela 2.15, este valor é inferior ao valor da capacidade base da rampa (2000 vlp/h/via para 60 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Verificação da junção da rampa com a secção corrente, UFO	149	$UFO=UF+UR$
Pela tabela 2.13, este valor é inferior ao valor da capacidade base (4500 vlp/h/via para 90 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Proporção de tráfego divergente restante nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da via de aceleração, PFM	1,00	$PFM=1,00$
O valor do parâmetro PFM é 1,00 pois a seção corrente da estrada multivias é constituída por 4 vias.		
Taxa de fluxo nas vias 1 e 2 da estrada multivias imediatamente a montante da via de aceleração, U12 (vlp/h)	142	$U12=UF*PFM$
Densidade da rampa, DR (vlp/Km/via)	0,28	$DR=3,402+0,00456UR+0,00485U12-0,0128LA$
Comparando o valor da densidade calculada e as densidades correspondentes a cada Nível de Serviço da tabela 2.18 é possível obter o Nível de Serviço presente no troço.		
Nível de Serviço	A	Tabela 2.18
Comentário final: O nível de serviço registado na rampa de aceleração no sentido norte-sul no dia 27/08/2014 na hora de ponta compreendida entre as 9:00 e as 10:00 horas é o nível de serviço A. Tendo em conta o valor da densidade da corrente de tráfego, podemos verificar que o valor da mesma se encontra bastante afastado do limite (> 6 - 12) para o próximo nível de serviço (B) sendo que não é esperado que este ocorra.		

Tabela 3.23 - Tabela relativa à análise do segmento junto à rampa de aceleração do nó 31 no sentido Norte - Sul na hora de ponta compreendida entre as 11:00 e as 12:00 horas.

<i>Análise: Cálculo do Nível de Serviço às 11:00 horas do dia 27/08/2014</i>		
Processo de cálculo	Resultados	Formulário
Velocidade de fluxo livre na seção corrente, FFS (km/h)	96,00	FFS=121,3-flw-flc-[3,22*1,609TRD^0,84]^1,609
Velocidade de fluxo livre na rampa, FFS (km/h)	60,00	
Embora seja apresentada uma expressão para o cálculo da velocidade de fluxo livre, a velocidade utilizada foi a presente na sinalética existente na rampa		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos pesados, Et	1,50	Tabela 2.5
O valor assumido é de 1,5 por se tratar de um troço caracterizado por um terreno plano.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos de recreio, Er	0,00	-
A classificação de veículos da Administração Rodoviária Portuguesa, não considera uma classe de veículos específica para os veículos de recreio sendo estes contabilizados na classe dos veículos ligeiros de passageiros.		
Fator de ajuste para veículos pesados na seção corrente, fhv	0,939	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste do volume de procura na seção corrente, UF (vlp/h/via)	160	$UF=V/(PHF*fhv*fp)$
Fator de ajuste para veículos pesados na rampa, fhv	0,833	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste do volume de procura na rampa, UR (vlp/h/via)	7	$UR=V/(PHF*fhv*fp)$
Pela tabela 2.15 este valor é inferior ao valor da capacidade base da rampa (2000 vlp/h/via para 60 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Verificação da junção da rampa com a secção corrente, UFO	166	$UFO=UF+UR$
Pela tabela 2.13 este valor é inferior ao valor da capacidade base (4600 vlp/h/via para 95 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Proporção de tráfego divergente restante nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da via de aceleração, PFM	1,00	PFM=1,00
O valor do parâmetro PFM é 1,00 pois a seção corrente da estrada multivias é constituída por 4 vias.		
Taxa de fluxo nas vias 1 e 2 da estrada multivias imediatamente a montante da via de aceleração, U12 (vlp/h)	160	$U12=UF*PFM$
Densidade da rampa, DR (vlp/Km/via)	0,37	$DR=3,402+0,00456UR+0,00485U12-0,0128LA$
Comparando o valor da densidade calculada e as densidades correspondentes a cada Nível de Serviço da tabela 2.18 é possível obter o Nível de Serviço presente no troço.		
Nível de Serviço	A	Tabela 2.18
Comentário final: O nível de serviço registado na rampa de aceleração no sentido norte-sul no dia 27/08/2014 na hora de ponta compreendida entre as 11:00 e as 12:00 horas é o nível de serviço A. Tendo em conta o valor da densidade da corrente de tráfego, podemos verificar que o valor da mesma se encontra bastante afastado do limite (> 6 - 12) para o próximo nível de serviço (B) sendo que não é esperado que este ocorra.		

Tabela 3.24 - Tabela relativa à análise do segmento junto à rampa de aceleração do nó 31 no sentido norte-sul na hora de ponta compreendida entre as 18:00 e as 19:00 horas.

<i>Análise: Cálculo do Nível de Serviço às 18:00 horas do dia 27/08/2014</i>		
Processo de cálculo	Resultados	Formulário
Velocidade de fluxo livre na secção corrente, FFS (km/h)	122,00	FFS=121,3-flw-flc-[3,22*1,609TRD*0,84]*1,609
Velocidade de fluxo livre na rampa, FFS (km/h)	60,00	
Embora seja apresentada uma expressão para o cálculo da velocidade de fluxo livre, a velocidade utilizada foi a presente na sinalética existente na rampa analisada.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos pesados, Et	1,50	Tabela 2.5
O valor assumido é de 1,5 por se tratar de um troço caracterizado por um terreno plano.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos de recreio, Er	0,00	-
A classificação de veículos da Administração Rodoviária Portuguesa, não considera uma classe de veículos específica para os veículos de recreio sendo estes contabilizados na classe dos veículos ligeiros de passageiros.		
Fator de ajuste para veículos pesados na secção corrente, fhv	0,940	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste do volume de procura na secção corrente, UF (vlp/h/via)	145	$UF=V/(PHF*fhv*fp)$
Fator de ajuste para veículos pesados na rampa, fhv	1,000	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste do volume de procura na rampa, UR (vlp/h/via)	3	$UR=V/(PHF*fhv*fp)$
Pela tabela 2.15 este valor é inferior ao valor da capacidade base da rampa (2000 vlp/h/via para 60 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Verificação da junção da rampa com a secção corrente, UFO	148	$UFO=UF+UR$
Pela tabela 2.13, este valor é inferior ao valor da capacidade base (4800 vlp/h/via para 115 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Proporção de tráfego divergente restante nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da via de aceleração, PFM	1,00	PFM=1,00
O valor do parâmetro PFM é 1,00 pois a secção corrente da estrada multivias é constituída por 4 vias.		
Taxa de fluxo nas vias 1 e 2 da estrada multivias imediatamente a montante da via de aceleração, U12 (vlp/h)	145	$U12=UF*PFM$
Densidade da rampa, DR (vlp/Km/via)	0,28	$DR=3,402+0,00456UR+0,00485U12-0,0128LA$
Comparando o valor da densidade calculada e as densidades correspondentes a cada Nível de Serviço da tabela 2.18 é possível obter o Nível de Serviço presente no troço.		
Nível de Serviço	A	Tabela 2.18
Comentário final: O nível de serviço registado na rampa de aceleração no sentido norte-sul no dia 27/08/2014 na hora de ponta compreendida entre as 18:00 e as 19:00 horas é o nível de serviço A. Tendo em conta o valor da densidade da corrente de tráfego, podemos verificar que o valor da mesma se encontra bastante afastado do limite (> 6 - 12) para o próximo nível de serviço (B) sendo que não é esperado que este ocorra.		

Nas tabelas 3.22, 3.23 e 3.24 podemos observar os resultados obtidos da aplicação da metodologia aos segmentos junto às rampas de aceleração do nó de ligação 31 da A23.

Em relação à metodologia aplicada neste caso, o processo de cálculo de alguns parâmetros é idêntico ao processo apresentado para a secção corrente, nomeadamente no que diz respeito ao ajuste da procura. No entanto, é necessário referir que o cálculo do ajuste do volume de procura é efetuado para a rampa e para a secção corrente, sendo necessária a utilização de duas velocidades de fluxo livre relativas a cada um dos elementos (rampa e secção corrente).

É ainda de referir que o fator P_{FM} obtém-se tendo em conta o número de vias da secção corrente da estrada multivias, como indica a tabela 2.11 ou 2.12, sendo neste caso igual a 1 (para estradas multivias com 4 vias).

Tendo em conta os valores da densidade de tráfego obtidos no segmento junto à rampa de aceleração, para as diferentes horas de ponta consideradas, pode-se concluir que estes são bastante baixos para a capacidade que a infraestrutura oferece, proporcionando um nível de serviço muito elevado, o NS A.

Nas tabelas 3.25, 3.26 e 3.27 são apresentados os resultados encontrados para os segmentos junto à rampa de desaceleração Covilhã Norte - Belmonte, no sentido Norte - Sul.

Tabela 3.25 - Tabela relativa à análise do segmento junto à rampa de desaceleração do nó 31 no sentido Norte - Sul na hora de ponta compreendida entre as 9:00 e as 10:00 horas.

Análise: Cálculo do Nível de Serviço às 9:00 horas do dia 27/08/2014		
Processo de cálculo	Resultados	Formulário
Velocidade de fluxo livre na seção corrente, FFS (km/h)	105,00	FFS=121,3-flw-flc-[3,22*1,609TRD^0,84]*1,609
Velocidade de fluxo livre na rampa, FFS (km/h)	60,00	
Embora seja apresentada uma expressão para o cálculo da velocidade de fluxo livre, a velocidade utilizada foi a presente na sinalética existente na rampa.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos pesados, Et	1,50	Tabela 2.5
O valor assumido é de 1,5 por se tratar de um troço caracterizado por um terreno plano.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos de recreio, Er	0,00	-
A classificação de veículos da Administração Rodoviária Portuguesa, não considera uma classe de veículos específica para os veículos de recreio sendo estes contabilizados na classe dos veículos ligeiros de passageiros.		
Fator de ajuste para veículos pesados na seção corrente, fhv	0,952	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste do volume de procura na seção corrente, UF (vlp/h/via)	203	$UF=V/(PHF*fhv*fp)$
Fator de ajuste para veículos pesados na rampa, fhv	0,973	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste do volume de procura na rampa, UR (vlp/h/via)	61	$UR=V/(PHF*fhv*fp)$
Pela tabela 2.15, este valor é inferior ao valor da capacidade base da rampa (2000 vlp/h/via para 60 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Verificação da junção da rampa com a seção corrente, UFO	265	$UFO=UF+UR$
Pela tabela 2.13 este valor é inferior ao valor da capacidade base (4700 vlp/h/via para 105 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Proporção de tráfego divergente restante nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da via de desaceleração, PFD	1,00	$PFD=1,00$
O valor do parâmetro PFM é 1,00 pois a seção corrente da estrada multivias é constituída por 4 vias.		
Taxa de fluxo nas vias 1 e 2 da estrada multivias imediatamente a montante da via de desaceleração, U12 (vlp/h)	203	$U12=UF*PFM$
Densidade da rampa, DR (vlp/Km/via)	-1,59	$DR=2,642+0,00534U12-0,0183LD$
Comparando o valor da densidade calculada e as densidades correspondentes a cada Nível de Serviço da tabela 2.18 é possível obter o Nível de Serviço presente no troço.		
Nível de Serviço	A	Tabela 2.18
Comentário final: O nível de serviço registado na rampa de desaceleração no sentido sul-norte no dia 27/08/2014 na hora de ponta compreendida entre as 9:00 e as 10:00 horas é o nível de serviço A. Tendo em conta o valor da densidade da corrente de tráfego, podemos verificar que o valor da mesma se encontra bastante afastado do limite (> 7 - 11) para o próximo nível de serviço (B) sendo que não é esperado que este ocorra.		

Tabela 3.26 - Tabela relativa à análise do segmento junto à rampa de desaceleração do nó 31 no sentido Norte - Sul na hora de ponta compreendida entre as 11:00 e as 12:00 horas.

<i>Análise: Cálculo do Nível de Serviço às 11:00 horas do dia 27/08/2014</i>		
<u>Processo de cálculo</u>	<u>Resultados</u>	<u>Formulário</u>
Velocidade de fluxo livre na seção corrente, FFS (km/h)	106,00	$FFS=121,3-f_{lw}-f_{lc}-[3,22*1,609TRD^{0,84}]*1,609$
Velocidade de fluxo livre na rampa, FFS (km/h)	60,00	
Embora seja apresentada uma expressão para o cálculo da velocidade de fluxo livre, a velocidade utilizada foi a presente na sinalética existente na rampa.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos pesados, Et	1,50	Tabela 2.5
O valor assumido é de 1,5 por se tratar de um troço caracterizado por um terreno plano.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos de recreio, Er	0,00	-
A classificação de veículos da Administração Rodoviária Portuguesa, não considera uma classe de veículos específica para os veículos de recreio sendo estes contabilizados na classe dos veículos ligeiros de passageiros.		
Fator de ajuste para veículos pesados na seção corrente, fhv	0,949	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste do volume de procura na seção corrente, UF (vlp/h/via)	214	$UF=V/(PHF*fhv*fp)$
Fator de ajuste para veículos pesados na rampa, fhv	0,980	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste do volume de procura na rampa, UR (vlp/h/via)	56	$UR=V/(PHF*fhv*fp)$
Pela tabela 2.15, este valor é inferior ao valor da capacidade base da rampa (2000 vlp/h/via para 60 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Verificação da junção da rampa com a secção corrente, UFO	270	$UFO=UF+UR$
Pela tabela 2.13 este valor é inferior ao valor da capacidade base (4700 vlp/h/via para 105 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Proporção de tráfego divergente restante nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da via de desaceleração, PFD	1,00	$PFD=1,00$
O valor do parâmetro PFM é 1,00 pois a seção corrente da estrada multivias é constituída por 4 vias.		
Taxa de fluxo nas vias 1 e 2 da estrada multivias imediatamente a montante da via de desaceleração, U12 (vlp/h)	214	$U12=UF*PFM$
Densidade da rampa, DR (vlp/Km/via)	-1,53	$DR=2,642+0,0053U12-0,0183LD$
Comparando o valor da densidade calculada e as densidades correspondentes a cada Nível de Serviço da tabela 2.18 é possível obter o Nível de Serviço presente no troço.		
<i>Nível de Serviço</i>	A	Tabela 2.18
Comentário final: O nível de serviço registado na rampa de desaceleração no sentido sul-norte no dia 27/08/2014 na hora de ponta compreendida entre as 11:00 e as 12:00 horas é o nível de serviço A. Tendo em conta o valor da densidade da corrente de tráfego, podemos verificar que o valor da mesma se encontra bastante afastado do limite (> 7 - 11) para o próximo nível de serviço (B) sendo que não é esperado que este ocorra.		

Tabela 3.27 - Tabela relativa à análise do segmento junto à rampa de desaceleração do nó 31 no sentido Norte - Sul na hora de ponta compreendida entre as 18:00 e as 19:00 horas.

<i>Análise: Cálculo do Nível de Serviço às 18:00 horas do dia 27/08/2014</i>		
Processo de cálculo	Resultados	Formulário
Velocidade de fluxo livre na seção corrente, FFS (km/h)	116,00	FFS=121,3-flw-flc-[3,22*1,609TRD^0,84]*1,609
Velocidade de fluxo livre na rampa, FFS (km/h)	60,00	
Embora seja apresentada uma expressão para o cálculo da velocidade de fluxo livre, a velocidade utilizada foi a presente na sinalética existente na rampa.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos pesados, Et	1,50	Tabela 2.5
O valor assumido é de 1,5 por se tratar de um troço caracterizado por um terreno plano.		
Nº de veículos ligeiros equivalentes a veículos de recreio, Er	0,00	-
A classificação de veículos da Administração Rodoviária Portuguesa, não considera uma classe de veículos específica para os veículos de recreio sendo estes contabilizados na classe dos veículos ligeiros de passageiros.		
Fator de ajuste para veículos pesados na seção corrente, fhv	0,956	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste do volume de procura na seção corrente, UF (vlp/h/via)	209	$UF=V/(PHF*fhv*fp)$
Fator de ajuste para veículos pesados na rampa, fhv	0,992	$fhv=1/[1+Pt(Et-1)+Pr(Er-1)]$
Ajuste do volume de procura na rampa, UR (vlp/h/via)	65	$UR=V/(PHF*fhv*fp)$
Pela tabela 2.15 este valor é inferior ao valor da capacidade base da rampa (2000 vlp/h/via para 60 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Verificação da junção da rampa com a seção corrente, UFO	274	$UFO=UF+UR$
Pela tabela 2.13 este valor é inferior ao valor da capacidade base (4700 vlp/h/via para 115 Km/h de FFS) o nível de serviço F não ocorrerá.		
Proporção de tráfego divergente restante nas vias 1 e 2 imediatamente a montante da via de desaceleração, PFD	1,00	PFD=1,00
O valor do parâmetro PFM é 1,00 pois a seção corrente da estrada multivias é constituída por 4 vias.		
Taxa de fluxo nas vias 1 e 2 da estrada multivias imediatamente a montante da via de desaceleração, U12 (vlp/h)	209	$U12=UF*PFM$
Densidade da rampa, DR (vlp/Km/via)	-1,56	$DR=2,642+0,0053U12-0,0183LD$
Comparando o valor da densidade calculada e as densidades correspondentes a cada Nível de Serviço da tabela 2.18 é possível obter o Nível de Serviço presente no troço.		
Nível de Serviço	A	Tabela 2.18
Comentário final: O nível de serviço registado na rampa de desaceleração no sentido sul-norte no dia 27/08/2014 na hora de ponta compreendida entre as 18:00 e as 19:00 horas é o nível de serviço A. Tendo em conta o valor da densidade da corrente de tráfego, podemos verificar que o valor da mesma se encontra bastante afastado do limite (> 7 - 11) para o próximo nível de serviço (B) sendo que não é esperado que este ocorra.		

Os parâmetros considerados são obtidos de forma idêntica à situação descrita para as rampas de aceleração, mas adaptados à rampa de desaceleração. A obtenção de resultados negativos relativos à capacidade calculada nas rampas de desaceleração deve-se à expressão utilizada considerar um conjunto de dados que não contempla volumes de procura tão baixos como os que foram registados e tendo em conta o tipo de infraestrutura analisada. No entanto este acontecimento não invalida a conclusão, isto é, pelo valor ser baixo, o NS ao utente é o A. Os resultados obtidos tendo em conta o valor da densidade de tráfego, são muito pequenos para as capacidades que a infraestrutura oferece, proporcionando um nível de serviço muito elevado, NS A.

3.4.4. Resultados da análise trecho a trecho

Nas tabelas 3.28 a 3.35 apresentam-se os valores obtidos relativos às densidades, capacidades e níveis de serviço, para cada um dos trechos e segmentos junto às rampas analisadas no caso de estudo.

Tabela 3.28 - Resultados da análise de cada troço do troço 1 ao troço 5, sentido Sul - Norte.

Troço 1: Lanço Gardete / Castelo Branco, sublanço Castelo Branco Sul - Hospital, no sentido Sul-Norte				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	12:00 - 13:00	1,26	4654	A
	18:00 - 19:00	1,18	4565	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	12:00 - 13:00	3,81	4766	A
	16:00 - 17:00	1,69	4565	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	5,19	3917	A
	17:00 - 18:00	1,48	3999	A
Troço 2: Lanço Gardete / Castelo Branco, sublanço Hospital - Castelo Branco Norte, sentido Sul-Norte				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	12:00 - 13:00	1,06	4626	A
	18:00 - 19:00	1,01	4515	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	12:00 - 13:00	3,42	4752	A
	16:00 - 17:00	1,49	4756	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	4,66	3897	A
	17:00 - 18:00	1,38	3990	A
Troço 3: Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Castelo Branco Norte - Alcains, sentido Sul-Norte				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	12:00 - 13:00	1,72	4630	A
	18:00 - 19:00	2,31	4653	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	12:00 - 13:00	4,12	4745	A
	16:00 - 17:00	2,31	4743	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	2,08	4023	A
	17:00 - 18:00	2,34	4006	A
Troço 4: Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Alcains - Lardosa, sentido Sul-Norte				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	12:00 - 13:00	1,15	4356	A
	18:00 - 19:00	1,29	4170	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	12:00 - 13:00	3,03	4703	A
	16:00 - 17:00	1,60	4617	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	1,61	3641	A
	17:00 - 18:00	1,65	3743	A
Troço 5: Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Lardosa - Soalheira, sentido Sul-Norte				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	12:00 - 13:00	1,18	4643	A
	18:00 - 19:00	1,47	4616	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	12:00 - 13:00	3,05	4782	A
	16:00 - 17:00	1,66	4728	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	1,52	4001	A
	17:00 - 18:00	1,66	4015	A

Tabela 3.29 - Resultados da análise de cada troço do troço 6 ao troço 8, sentido Sul - Norte.

Troço 6 : Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Soalheira - Castelo Novo, sentido Sul-Norte				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	12:00 - 13:00	1,32	3960	A
	18:00 - 19:00	1,56	3751	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	12:00 - 13:00	3,00	4648	A
	16:00 - 17:00	1,62	4377	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	1,69	3441	A
	17:00 - 18:00	1,61	3573	A
Troço 7.1: Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Castelo Novo - Fundão, sentido Sul-Norte				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	12:00 - 13:00	1,96	3830	A
	18:00 - 19:00	2,53	3825	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	12:00 - 13:00	3,48	4618	A
	16:00 - 17:00	2,19	4366	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	2,23	3575	A
	17:00 - 18:00	2,51	3656	A
Troço 7.2: Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Castelo Novo - Fundão, sentido Sul-Norte (Túnel)				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	12:00 - 13:00	2,28	3667	A
	18:00 - 19:00	2,95	3663	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	12:00 - 13:00	4,45	4329	A
	16:00 - 17:00	2,80	4093	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	2,60	3423	A
	17:00 - 18:00	2,93	3500	A
Troço 7.3: Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Castelo Novo - Fundão, sentido Sul-Norte (inclinação específica)				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	12:00 - 13:00	1,96	3830	A
	18:00 - 19:00	2,53	3825	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	12:00 - 13:00	3,48	4618	A
	16:00 - 17:00	2,19	4366	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	2,23	3575	A
	17:00 - 18:00	2,51	3656	A
Troço 8: Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Fundão - Alcaria, sentido Sul-Norte				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	12:00 - 13:00	1,47	4551	A
	18:00 - 19:00	1,45	4650	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	12:00 - 13:00	2,88	4777	A
	16:00 - 17:00	1,71	4730	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	1,85	3916	A
	17:00 - 18:00	1,72	4029	A

Tabela 3.30 - Resultados da análise de cada troço do troço 9.1 ao troço 10, sentido Sul - Norte.

Troço 9.1: Lanço Alcaria / Belmonte, sublanço Alcaria - Covilhã Sul, sentido Sul-Norte				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	12:00 - 13:00	1,16	3641	A
	18:00 - 19:00	1,28	3670	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	12:00 - 13:00	2,57	4504	A
	16:00 - 17:00	1,55	4064	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	1,57	3236	A
	17:00 - 18:00	1,44	3523	A
Troço 9.2: Lanço Alcaria / Belmonte, sublanço Alcaria - Covilhã Sul, sentido Sul-Norte (inclinação específica)				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	12:00 - 13:00	0,72	5867	A
	18:00 - 19:00	0,77	5872	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	12:00 - 13:00	1,73	6697	A
	16:00 - 17:00	1,01	6233	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	1,01	5038	A
	17:00 - 18:00	0,95	5357	A
Troço 9.3: Lanço Alcaria / Belmonte, sublanço Alcaria - Covilhã Sul, sentido Sul-Norte (inclinação específica)				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	12:00 - 13:00	0,92	5867	A
	18:00 - 19:00	1,01	5872	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	12:00 - 13:00	2,43	6697	A
	16:00 - 17:00	1,35	6233	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	1,32	5038	A
	17:00 - 18:00	1,30	5357	A
Troço 10: Lanço Alcaria / Belmonte, sublanço Covilhã Sul - Covilhã Norte, sentido Sul-Norte				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	12:00 - 13:00	0,90	3966	A
	18:00 - 19:00	1,24	4157	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	12:00 - 13:00	1,95	4683	A
	16:00 - 17:00	1,38	4488	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	1,11	3904	A
	17:00 - 18:00	1,45	3743	A

Tabela 3.31 - Resultados da análise de cada troço do troço 1 ao troço 5, sentido Norte - Sul.

Troço 1: Lanço Gardete / Castelo Branco, sublanço Castelo Branco Sul - Hospital, no sentido Norte-Sul				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	9:00 - 10:00	1,01	4125	A
	11:00 - 12:00	1,31	4268	A
	18:00 - 19:00	1,17	4431	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	11:00 - 12:00	0,99	4686	A
	12:00 - 13:00	0,98	4362	A
	17:00 - 18:00	1,20	4490	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	6,02	4062	A
	17:00 - 18:00	5,61	4045	A
Troço 2: Lanço Gardete / Castelo Branco, sublanço Hospital - Castelo Branco Norte, sentido Norte-Sul				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	9:00 - 10:00	1,09	4139	A
	11:00 - 12:00	0,98	4288	A
	18:00 - 19:00	0,90	4390	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	11:00 - 12:00	0,94	4361	A
	12:00 - 13:00	0,92	4607	A
	17:00 - 18:00	0,68	4667	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	3,09	4034	A
	17:00 - 18:00	3,15	4066	A
Troço 3: Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Castelo Branco Norte - Alcains, sentido Norte-Sul				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	9:00 - 10:00	1,01	4071	A
	11:00 - 12:00	1,18	4189	A
	18:00 - 19:00	1,19	4280	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	11:00 - 12:00	0,92	4514	A
	12:00 - 13:00	1,02	4471	A
	17:00 - 18:00	1,08	4610	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	3,69	4039	A
	17:00 - 18:00	3,54	4065	A
Troço 4: Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Alcains - Lardosa, sentido Norte-Sul				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	9:00 - 10:00	1,15	3747	A
	11:00 - 12:00	1,34	3833	A
	18:00 - 19:00	1,15	4210	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	11:00 - 12:00	0,99	4404	A
	12:00 - 13:00	0,87	4364	A
	17:00 - 18:00	1,24	4464	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	4,82	3999	A
	17:00 - 18:00	4,57	4016	A
Troço 5: Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Lardosa - Soalheira, sentido Norte-Sul				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	9:00 - 10:00	1,26	4361	A
	11:00 - 12:00	1,16	4447	A
	18:00 - 19:00	1,29	4597	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	11:00 - 12:00	1,06	4660	A
	12:00 - 13:00	1,01	4544	A
	17:00 - 18:00	1,20	4734	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	4,82	4060	A
	17:00 - 18:00	4,55	4059	A

Tabela 3.32 - Resultados da análise de cada trecho do trecho 6 ao trecho 8, sentido Norte - Sul.

Troço 6 : Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Soalheira - Castelo Novo, sentido Norte-Sul				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	9:00 - 10:00	1,70	2808	A
	11:00 - 12:00	1,54	3068	A
	18:00 - 19:00	1,42	3456	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	11:00 - 12:00	1,25	3881	A
	12:00 - 13:00	1,13	3648	A
	17:00 - 18:00	1,22	4213	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	4,70	3918	A
	17:00 - 18:00	4,47	3910	A
Troço 7.1: Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Castelo Novo - Fundão, sentido Norte-Sul				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	9:00 - 10:00	2,29	3360	A
	11:00 - 12:00	2,14	3270	A
	18:00 - 19:00	2,49	3641	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	11:00 - 12:00	1,67	4037	A
	12:00 - 13:00	1,65	3719	A
	17:00 - 18:00	1,67	4191	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	5,72	3941	A
	17:00 - 18:00	5,33	3961	A
Troço 7.2: Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Castelo Novo - Fundão, sentido Norte-Sul (Túnel)				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	9:00 - 10:00	2,67	3217	A
	11:00 - 12:00	2,50	3130	A
	18:00 - 19:00	2,91	3486	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	11:00 - 12:00	1,95	3865	A
	12:00 - 13:00	1,92	3560	A
	17:00 - 18:00	1,95	4012	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	7,31	3695	B
	17:00 - 18:00	6,81	3713	A
Troço 7.3: Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Castelo Novo - Fundão, sentido Norte-Sul (inclinação específica)				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	9:00 - 10:00	2,26	3399	A
	11:00 - 12:00	2,10	3342	A
	18:00 - 19:00	2,56	3543	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	11:00 - 12:00	1,75	3858	A
	12:00 - 13:00	1,74	3517	A
	17:00 - 18:00	1,76	3975	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	5,86	3848	A
	17:00 - 18:00	5,44	3880	A
Troço 8: Lanço Castelo Branco / Alcaria, sublanço Fundão - Alcaria, sentido Norte-Sul				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	9:00 - 10:00	1,44	4485	A
	11:00 - 12:00	1,53	4443	A
	18:00 - 19:00	1,62	4578	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	11:00 - 12:00	1,20	4569	A
	12:00 - 13:00	1,38	4438	A
	17:00 - 18:00	1,27	4729	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	4,51	4049	A
	17:00 - 18:00	4,31	4050	A

Tabela 3.33 - Resultados da análise de cada troço do troço 9.1 ao troço 10, sentido Norte - Sul.

Troço 9.1: Lanço Alcaria / Belmonte, sublanço Alcaria - Covilhã Sul, sentido Norte-Sul				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	9:00 - 10:00	1,59	2591	A
	11:00 - 12:00	1,67	2962	A
	18:00 - 19:00	1,69	3020	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	11:00 - 12:00	1,13	3648	A
	12:00 - 13:00	1,19	3826	A
	17:00 - 18:00	1,20	4133	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	3,92	3808	A
	17:00 - 18:00	3,62	3975	A
Troço 9.2: Lanço Alcaria / Belmonte, sublanço Alcaria - Covilhã Sul, sentido Norte-Sul (inclinação específica)				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	9:00 - 10:00	1,01	4071	A
	11:00 - 12:00	1,26	3919	A
	18:00 - 19:00	1,28	4002	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	11:00 - 12:00	0,95	4342	A
	12:00 - 13:00	1,05	4349	A
	17:00 - 18:00	1,10	4523	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	3,73	3998	A
	17:00 - 18:00	3,55	4049	A
Troço 9.3: Lanço Alcaria / Belmonte, sublanço Alcaria - Covilhã Sul, sentido Norte-Sul (inclinação específica)				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	9:00 - 10:00	0,87	4750	A
	11:00 - 12:00	0,95	5194	A
	18:00 - 19:00	0,96	5306	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	11:00 - 12:00	0,71	5846	A
	12:00 - 13:00	0,77	5880	A
	17:00 - 18:00	0,79	6297	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	2,64	5658	A
	17:00 - 18:00	2,42	5940	A
Troço 10: Lanço Alcaria / Belmonte, sublanço Covilhã Sul - Covilhã Norte, sentido Norte-Sul				
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Capacidade (vlp/h)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 16/04/2014	9:00 - 10:00	1,27	3566	A
	11:00 - 12:00	1,10	3776	A
	18:00 - 19:00	1,06	3749	A
Sexta-feira dia 18/04/2014	11:00 - 12:00	0,93	4036	A
	12:00 - 13:00	1,06	4338	A
	17:00 - 18:00	0,79	4329	A
Domingo dia 20/04/2014	16:00 - 17:00	3,16	3946	A
	17:00 - 18:00	3,17	4039	A

Tabela 3.34 - Resultados da análise dos segmentos junto às rampas de aceleração e desaceleração no nó 31 no sentido Sul - Norte.

Rampa de aceleração no sentido Norte - Sul			
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 27/08/2014	09:00	0,28	A
	11:00	0,37	A
	18:00	0,28	A
Rampa de desaceleração no sentido Norte - Sul			
Quarta-feira dia 27/08/2014	09:00	-1,59	A
	11:00	-1,53	A
	18:00	-1,56	A

Tabela 3.35 - Resultados da análise dos segmentos junto às rampas de aceleração e desaceleração no nó 31 no sentido Norte - Sul.

Rampa de aceleração no sentido Norte - Sul			
Dia de análise	Hora de ponta	Densidade (vlp/km/via)	Nível de Serviço
Quarta-feira dia 27/08/2014	09:00	0,28	A
	11:00	0,37	A
	18:00	0,28	A
Rampa de desaceleração no sentido Norte - Sul			
Quarta-feira dia 27/08/2014	09:00	-1,59	A
	11:00	-1,53	A
	18:00	-1,56	A

Fazendo uma análise mais cuidada dos valores relativos às densidades obtidas ao longo da secção corrente da estrada multivias, verifica-se no geral, que estas variam numa gama de valores compreendida entre 0,68 vlp/km/via e 7,31 vlp/km/via, com um valor médio de 2,00 vlp/km/via. Realizando-se uma análise a cada dia estudado, constata-se que o dia em que as densidades assumem máximos mais elevados é o Domingo, dia 20/04/2014, sendo que o valor maior de densidade é registado no sentido Norte - Sul, no troço 7.2, relativo ao lanço Castelo Branco/Alcaria, no sublanço Castelo Novo - Fundão, mais concretamente no troço referente ao túnel de Gardunha, durante a hora de ponta compreendida entre as 16:00 e as 17:00 horas. Na realidade, como foi referido no capítulo anterior, uma das limitações da metodologia é a aplicação da mesma em túneis, sendo esta, a causa provável do aparecimento deste valor mais elevado da densidade. O dia em que a densidade assume valores inferiores é a sexta-feira, dia 18/04/2014, sendo este registado no troço 2, relativo ao lanço Gardete/Castelo Branco mais especificamente no sublanço Hospital - Castelo Branco Norte, na hora de ponta compreendida entre as 17:00 e as 18:00 horas.

Como se pode constatar, as densidades são no geral bastante baixas, o que dá origem a um nível de serviço elevado.

Tendo em conta as capacidades calculadas, verifica-se que estas variam na gama de valores compreendida entre 2591 vlp/h e 6697 vlp/h. É possível verificar que o dia em que a capacidade assume valores superiores é a sexta-feira dia 18/04/2014 ao longo do troço 9.3 no sentido Sul - norte e o dia em que a capacidade assume valores inferiores é o dia referente à quarta-feira, dia 16/04/2014 no troço 9.1, referente ao lanço Castelo Branco/Alcaria, mais concretamente no sublanço compreendido entre Castelo Novo e o Fundão, à hora de ponta entre as 9:00 e as 10:00 horas. Comparando estes valores, conclui-se que os valores das capacidades calculados, que são de aproximadamente 4000 vlp/h são bastante superiores aos volumes de veículos registados, já que o maior volume corresponde a 1446 vlp/h, registado no troço 1, lanço Gardete/Castelo Branco, sublanço Castelo Branco Sul - Hospital no sentido Norte - Sul, na hora de ponta compreendida entre as 16:00 e as 17:00 horas.

Em relação às junções das rampas de aceleração e desaceleração do nó de ligação 31, verifica-se que os valores de densidades obtidos são igualmente muito pequenos, tal como acontece com as secções correntes da estrada multivias. Os valores estão compreendidos na gama de valores que vai de -1,88 a 0,81, tendo sido o maior valor registado na rampa de aceleração do sentido Sul-Norte, no único dia de análise, na hora de ponta compreendida entre as 12:00 e as 13:00 horas. O valor mais baixo registou-se na rampa de desaceleração localizada no sentido Sul - Norte, no dia escolhido para a análise, ao longo da hora de ponta compreendida entre as 12:00 e as 13:00 horas.

Nas junções das rampas de desaceleração registaram-se valores de densidade bastante inferiores ao esperado aquando da aplicação da metodologia. Os valores obtidos são inferiores a 6 vlp/km/via e negativos, o que pode estar relacionado com o reduzido volume de tráfego medido nas rampas.

O cálculo da densidade em rampas de desaceleração é realizado através da expressão 2.69. Fixando o parâmetro relativo à extensão da rampa de desaceleração, L_D , e fazendo variar o volume de tráfego, U_{12} , a expressão passa a refletir a equação de uma reta onde o valor da constante é negativa devido à extensão da rampa. Muito provavelmente este acontecimento deve-se ao fato da variável, que é o volume de tráfego, ser muito reduzida originando resultados de densidade negativos. Este resultado pode dever-se ao fato da gama de valores utilizados para o desenvolvimento da expressão não considerar volumes de tráfego tão reduzidos como os que foram registados.

No gráfico 4.1 é possível verificar a variação de valores relativos ao ajuste do fluxo de procura nas vias 1 e 2 da estrada multivias imediatamente a montante da área de influência da rampa, considerando que a rampa de desaceleração tem uma extensão de 290 metros.

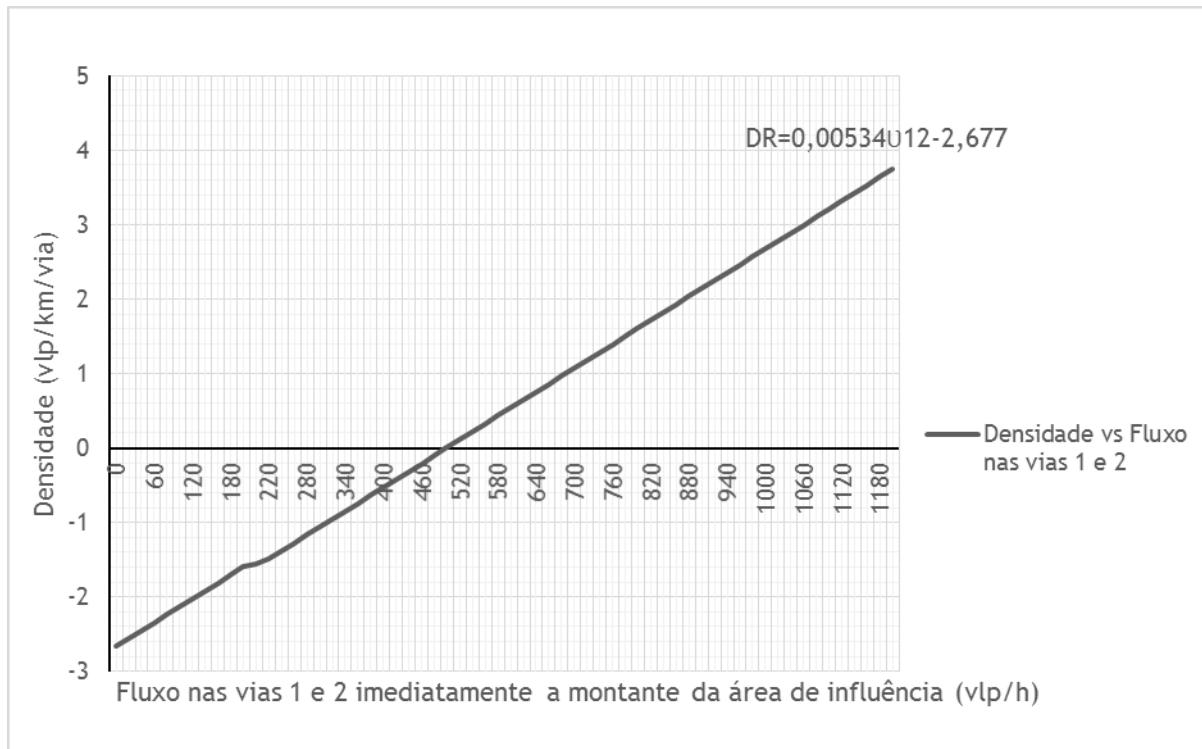


Figura 3.8 - Retas da equação da densidade considerando uma rampa de desaceleração com 290 m de extensão.

Como é possível observar no gráfico, o zero da função ocorre para um fluxo de veículos de 499 vlp/h pelo que, valores inferiores a este originam densidades negativas. Como o valor máximo dos valores obtidos para a fluxo nas rampas de desaceleração é de 228 vlp/h, o resultado das densidades é negativo para todas as rampas de desaceleração analisadas.

Fazendo uma análise global da extensão estudada, é possível concluir que a A23, entre o nó Castelo Branco Sul e o nó Covilhã Norte (PK 114,200 ao PK 175,275 respetivamente), oferece aos seus utentes condições de circulação correspondentes a um NS A, disponibilizando aos utentes condições de tráfego muito aproximadas às ideais, verificando-se operações de manobras de carácter livre, velocidade de fluxo livre constante e em caso de rotura ou incidentes, estes são facilmente absorvidos pela corrente de tráfego. Uma vez que o tráfego nesta autoestrada diminuiu significativamente nos últimos anos, depois da introdução de portagens, esta situação vai de encontro ao esperado, verificando-se níveis de serviço muito elevados mesmo para um período considerado como semana de ponta.

Capítulo 4

Conclusões e Trabalho Futuro

Em Portugal verificou-se um enorme crescimento do sistema rodoviário nos últimos anos, com principal incidência na construção de estradas multivias. Este investimento deve ser monitorizado de modo a que as infraestruturas mantenham a qualidade para a qual foram projetadas inicialmente. O principal indicador que caracteriza do ponto de vista qualitativo este e outros tipos de infraestruturas rodoviárias é o Nível de Serviço.

A metodologia utilizada para o cálculo do nível de serviço baseia-se principalmente nas condições de tráfego que a estrada é capaz de oferecer aos seus utilizadores, isto é, na maneira com o tráfego flui e na facilidade com que este pode absorver situações desfavoráveis à circulação do mesmo.

A metodologia baseia-se na determinação do nível de serviço, com abordagens individualizadas, para 3 tipos de segmentos que podem ser encontrados nas estradas multivias: secções correntes, segmentos junto a rampas de aceleração e desaceleração e segmentos de entrecruzamento.

Para as secções correntes, os parâmetros que influenciam as condições de circulação estão relacionados com a geometria da infraestrutura e são compostos pela largura das vias, a desobstrução lateral direita, o número de vias em cada faixa de rodagem, o tipo de terreno presente ao longo do traçado e o número de acessos à infraestrutura por quilómetro. O volume da procura, a composição do tráfego, o fator de ponta horário e a familiarização que os utilizadores têm com a infraestrutura, constituem os parâmetros considerados relativos ao tráfego.

Tendo em conta as características do tráfego e a geometria da estrada é determinada a densidade do tráfego, a qual reflete a quantidade de veículos que circulam numa determinada infraestrutura ao longo de um quilómetro de extensão, numa via da faixa de rodagem. É através desta que é feita a caracterização do nível de serviço.

Tal como para as secções correntes, na caracterização do nível de serviço dos segmentos junto a rampas de aceleração e desaceleração, também são consideradas variáveis geométricas e de tráfego. A grande diferença do estudo entre este tipo de componentes da estrada multivias e a secção corrente é a consideração nas últimas, que o tráfego flui todo na mesma direção, enquanto nos segmentos junto a rampas, as condições geométricas e de tráfego alteram-se na passagem da

rampa de acesso para a secção corrente (junção da rampa de aceleração) ou da secção corrente para a rampa de acesso (junção da rampa de desaceleração). Estas alterações levam a que o tráfego tenha de se adaptar a estes movimentos de convergência e divergência dos veículos, movimentos estes que são absorvidos nos segmentos junto às rampas. Assim, na definição dos dados a recolher é importante considerar os volumes de tráfego da secção corrente, das vias mais próximas das rampas e das rampas de acesso, tal como a velocidade praticada em cada um destes elementos, o número de vias das rampas, a extensão na qual será realizada a adaptação à secção corrente da infraestrutura e a proximidade com outras rampas.

Estas variáveis são usadas na determinação da densidade de tráfego verificada, definindo o nível de serviço prestado.

Apesar de se ter efetuado um estudo da abordagem sugerida para os segmentos de entrecruzamento, não foi possível realizar a aplicação desta metodologia no troço analisado, optando-se por não a incluir neste trabalho.

A aplicação prática da metodologia foi realizada através de um caso de estudo na A23 - Autoestrada da Beira Interior. Convém referir que esta infraestrutura foi projetada para uma previsão de volume de tráfego, muito superior ao volume observado atualmente. Esta constatação verificou-se essencialmente após a data da introdução de portagens reais nesta via, pelo que, era expectável que a aplicação da metodologia apontasse para um nível de serviço elevado. A análise foi efetuada para as secções correntes e para os segmentos junto às rampas de aceleração e desaceleração.

A semana de ponta de tráfego indicada pela concessionária foi a semana da Páscoa (de 15 de Abril a 22 de Abril de 2014), tendo-se identificado como representativos os dias de quarta-feira como dia da semana laboral, a sexta-feira santa como feriado e o domingo como o dia de fim-de-semana. No geral, as horas de ponta identificadas decorreram entre as 9:00 e as 11:00 horas, no pico de procura da manhã, próximas das 12:00 horas, no pico de procura do meio do dia, e entre as 17:00 e as 19:00 horas, no pico de procura da tarde.

Da aplicação da metodologia às secções correntes (correspondentes aos 10 sublanços considerados entre os nós Castelo Branco Sul e Covilhã Norte), foi possível verificar que as condições de tráfego era ótimas. O nível de serviço prevalecente foi o A, uma vez que ao longo de praticamente toda a extensão analisada os valores relativos às densidades calculadas foram muito baixos (entre 0,68 vlp/km/via e 7,31 vlp/km/via). Estes valores estão diretamente relacionados com o fato dos volumes de veículos contabilizados serem reduzidos. Tratando-se de dados de uma semana representativa de um período de ponta anual (semana da Páscoa) em termos de tráfego, não é expectável que o nível de serviço se altere significativamente para os restantes períodos do ano.

Nas secções correntes com inclinações específicas registou-se também o nível de serviço máximo, A. Nestes locais era esperado que o nível de serviço diminuísse devido ao impacto no tráfego dos veículos pesados a operarem a velocidades mais reduzidas. Considerando os volumes de tráfego registados, o impacto destes veículos na corrente de tráfego é muito reduzido e por isso a densidade registada não é substancialmente afetada. Analisando as densidades obtidas nestes troços, o valor registado é inferior ao valor calculado na restante parte do troço que não é afetada pela inclinação específica. Esta redução da densidade deve-se à existência de uma via de lentos, evitando a redução do NS nestes locais.

Em relação às zonas de influência das rampas, a contagem de veículos foi feita num dia de tráfego também superior ao normal, no final do mês de Agosto. Este dia foi escolhido considerando o tráfego derivado do regresso de férias dos utentes. O dia escolhido foi também a quarta-feira, e as horas de ponta consideradas as mesmas que as utilizadas na análise relativa ao mesmo dia da semana da Páscoa analisada. Esta escolha justifica-se pela necessidade de uniformizar os períodos de observação, tentando minimizar fatores externos, e pela falta de informação das correntes de tráfego nas zonas de influência das rampas.

No cálculo dos valores das densidades das áreas de influência das rampas verificou-se que os resultados são muito baixos, variando num intervalo compreendido entre -1,88 vlp/km/via e 0,81 vlp/km/via. Tendo em conta a expressão adotada pela metodologia, é possível que os valores negativos calculados se devam aos volumes de tráfego reduzidos medidos nas rampas de desaceleração. Apesar de negativos, estes valores são inferiores a 6 vlp/km/via, o que não invalida a interpretação do NS, isto é, a densidade é baixa, sendo por isso, associada a um NS A.

Fazendo uma análise global dos resultados obtidos, verifica-se que o nível de serviço não varia na extensão analisada. Assim, classifica-se o troço compreendido entre os nós de Castelo Branco Sul e Covilhã Norte com o nível de serviço A.

Após a aplicação efetuada é possível concluir que a metodologia HCM 2010 se revelou um método bastante abrangente, considerando na determinação dos níveis de serviço as principais zonas com variações das condições de circulação em estradas multivias. É importante referir que esta metodologia se baseia principalmente na realidade do sistema rodoviário americano, sendo por isso composta por diversas situações características das infraestruturas deste país. Depois de devidamente ajustada para aplicação ao sistema rodoviário Português, verificou-se que, com as devidas adaptações ao sistema de unidades internacional realizadas nas expressões e tabelas propostas, é possível obter o nível de serviço de para infraestrutura multivias.

Salienta-se, ainda, que uma vez que a contagem de veículos de recreio não é realizada de forma individualizada pela Administração Rodoviária Portuguesa, como acontece com outros tipos de veículos, estes não foram contabilizados como tal na aplicação da metodologia em Portugal. Tendo em conta a pouca representatividade deste tipo de veículos nas correntes de tráfego portuguesas e a sua contabilização na classe de veículos ligeiros de passageiros, parece verosímil considerar que o impacto causado por estes não é muito significativo.

Assim, verificou-se que a aplicação da metodologia à secção corrente é executável, uma vez que as informações de tráfego e da geometria da estrada necessárias são de obtenção relativamente fácil. No entanto, a instalação de contadores automáticos deverá ser alargada às áreas de influência das vias de aceleração, desaceleração e de entrecruzamento para aplicação da metodologia a toda a extensão dos troços em análise, permitindo uma avaliação mais global da infraestrutura.

Como comentário final volta a lembrar-se que os volumes de tráfego verificados na extensão da A23 que constituiu o caso de estudo, são actualmente relativamente baixos para o tipo de estrada analisada (multivias). A constatação desta realidade limitou a análise efectuada sugerindo-se para trabalhos futuros a aplicação da metodologia a infraestruturas com volumes de tráfego maiores, preferencialmente considerando diversas gamas de volumes de tráfego, permitindo testar a metodologia em diversas situações de tráfego. Atendendo à falta de segmentos de entrecruzamento no caso de estudo analisado, sugere-se igualmente a aplicação futura da metodologia neste tipo de componentes.

Sugere-se ainda, como continuação do trabalho efetuado, realizar a adaptação do manual para uma versão Portuguesa, com o sistema de unidades e expressões adaptados ao sistema métrico, facilitando a aplicação da metodologia por parte das empresas concessionárias e servindo de apoio ao desenvolvimento de uma aplicação informática.

Referências Bibliográficas

- Azeredo, V I - Avaliação do Nível de Serviço em Estradas de Faixa de Rodagem Única Segundo o HCM 2010. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2012. Dissertação de Mestrado.
- Branco, F; Pereira, P; Santos L P - Pavimentos Rodoviários. Coimbra: Edição Almedina, 2011. 978-972-40-2648-0.
- Brisa Concessão - A1 - Autoestrada do Norte. (2014 Setembro 29) Disponível em [www:<URL: http://www.brisaconcessao.pt/pt/informacao-corporativa/concessao-brisa>](http://www.brisaconcessao.pt/pt/informacao-corporativa/concessao-brisa)
- Castro, A - Análise do Nível de Serviço em Estradas de Duas Vias. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. Dissertação de Mestrado.
- Costa, A M; Macedo, J M - Manual de Planeamento de Acessibilidades e Transportes (PDF). Níveis de Serviço em Estradas e Autoestradas. Dezembro 2008. (2013 Novembro 11) Disponível em [www:<URL: http:// www.estgv.ipv.pt / PaginasPessoais / Vasconcelos / Documentos / ManualdeAcessibilidades / ManuaisCCDRNmiolo_AF / 01EngTrafego_AF.pdf>](http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/Vasconcelos/Documentos/ManualdeAcessibilidades/ManuaisCCDRNmiolo_AF/01EngTrafego_AF.pdf)
- DECRETO - LEI nº 280/85. I Série - A. 222 (98-07-17) 3444-3454
- DECRETO - LEI nº 222/98. I Série - A. 163 (85-09-26) 3444-3454
- Kittelson, W K; Roess, R P - Highway Capacity Analysis After Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board. 0361-1981. 1776:1 (2001), 10-16.
- Junta Autónoma das Estradas - Normas de Traçado. Lisboa: Junta Autónoma das Estradas, 1994.96379-6-2.
- Santos, B; Gonçalves, J - Highway Capacity Manual - HCM 2010: Volume 2: Fluxo Ininterrupto - Estradas Multivias (Sebenta de apoio à Unidade Curricular de Vias de Comunicação): Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura da Universidade da Beira Interior, 2014.
- Scutvias - Relatório e Contas, 2010
- Transportation Research Board 2000 Executive Committee - Highway Capacity Manual. Washington, DC: TRB; 2000. 0-309-06681-6.
- Transportation Research Board 2010 Executive Committee - Highway Capacity Manual: Volume 2, Uninterrupted Flow. Washington, DC: TRB; 2010. 978-0-309-16079-7..

