



Estudo comparativo da aplicação do HCM na análise de infraestruturas rodoviárias tipo

JOÃO PEDRO NETO LESTO
(Licenciado em Engenharia Civil)

Trabalho de Projeto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

Orientador:

Doutor Paulo José de Matos Martins

Júri:

Presidente: Doutora Paula Raquel Pires da Cunha Lamego

Vogais:

Doutor Paulo José de Matos Martins

Doutor Paulo Jorge Henriques Mendes

Dezembro de 2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Professor Paulo Martins por toda a disponibilidade, apoio e dedicação na elaboração deste projeto, de modo a conseguirmos alcançar os objetivos pretendidos com este trabalho.

Ao corpo docente do ISEL, pois forneceu-me um ensino de qualidade que me permitiu obter sucesso, sobretudo, na realização deste trabalho final de mestrado.

Aos meus colegas e amigos por me acompanharem na minha jornada e por me apoiarem nesta etapa. Quero, sobretudo agradecer ao meu colega Gustavo Silva pela ajuda prestada referente à parte de programação deste projeto.

Pretendo também agradecer, a uma pessoa muito especial chamada Alane que sempre me ajudou, incentivou e apoiou ao longo do mestrado. Agradeço-lhe por toda a força que me deu, e com isso lhe dedico parte desse projeto.

A todos os meus familiares pelo suporte e por todos os sacrifícios que fizeram para me permitir evoluir na minha formação e atingir este meu sonho.

[Estudo comparativo da aplicação do HCM na análise de infraestruturas rodoviárias tipo]

RESUMO

Com a crescente procura e desenvolvimento dos veículos e, consecutivamente da mobilidade urbana, surge a necessidade de se usar métodos de análise para se avaliar o desempenho das infraestruturas rodoviárias. Para isso, são utilizadas metodologias provenientes de um manual considerado referência dentro da engenharia de transportes, chamado Highway Capacity Manual (HCM). Nesse manual, é possível estabelecer uma forma de classificar a qualidade de escoamento de tráfego em função de uma ou várias medidas de desempenho.

Ao longo dos anos, foram surgindo novas edições do manual com acréscimos de informação provenientes de novos estudos e análises de tráfego. De entre essas edições destacam-se duas: a edição do ano 2000 (HCM2000) e a mais recente de 2022 (7ª edição). A edição de 2000 foi a primeira a surgir em sistema métrico enquanto a mais recente utiliza o sistema imperial. Com este projeto pretende-se fazer uma comparação das metodologias e medidas de desempenho existente em cada um dos manuais, através da compatibilização das unidades para um sistema comum (neste caso o sistema internacional (SI) adotado pela maioria dos países) em dois tipos de infraestruturas rodoviárias distintas: troços correntes de autoestrada e estradas de duas vias.

Com o intuito de fazer essa comparação, pretende-se desenvolver um programa informático que utiliza a linguagem de programação simples para desenvolvimento *web* chamada *JavaScript*. Com o desenvolvimento dessa aplicação, também será possível facilitar o uso das metodologias da 7ª edição, através da obtenção rápida de resultados.

Por fim, pretende-se utilizar dois exemplos práticos (um para cada infraestrutura rodoviária) provenientes do HCM 7ª edição para a respetiva validação do programa, sendo necessariamente feitos os respetivos cálculos para a edição de 2000. Posteriormente, pretende-se fazer uma crítica aos resultados obtidos das duas edições e uma perspetiva de desenvolvimentos futuros para melhorar ou incrementar mais informação para os o programa.

PALAVRAS-CHAVE

Mobilidade urbana, Análise de tráfego, Infraestruturas Rodoviárias, *Highway Capacity Manual*, programa informático

[Comparative study of the application of HCM in the analysis of standard road infrastructures]

ABSTRACT

With the increasing demand and development of vehicles, and consequently urban mobility, the need arises to employ analysis methods to evaluate the performance of road infrastructures. For this purpose, methodologies from a reference manual in transportation engineering, known as the *Highway Capacity Manual (HCM)*, are used. Within this manual, a classification method for assessing traffic flow quality based on one or more performance measures can be established.

Over the years, new editions of the manual have emerged, incorporating additional information from new traffic studies and analyses. Two editions stand out among these: the 2000 edition (HCM2000) and the most recent one from 2022 (7th edition). The 2000 edition was the first to be introduced in the metric system, while the latest edition uses the imperial system. This project aims to compare the methodologies and performance measures present in each of these manuals, by aligning the units to a common system (in this case, the International System of Units (SI) adopted by most countries) for two distinct types of road infrastructures: segments of highways and two-lane roads.

To facilitate this comparison, a computer program will be developed using the simple web development programming language called *JavaScript*. This application's development will also streamline the utilization of methodologies from the 7th edition by providing quick access to results.

Lastly, two practical examples (one for each type of road infrastructure) from the 7th edition of the HCM will be utilized to validate the program, with the necessary calculations also conducted for the 2000 edition. Subsequently, a critique of the results obtained from both editions will be presented, along with a perspective on future developments aimed at enhancing or incorporating more information into the program.

KEYWORDS

Urban mobility, Traffic studies, Road infrastructures, *Highway Capacity Manual*, computer program

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	ENQUADRAMENTO.....	1
1.2	PROBLEMA A ABORDAR.....	2
1.3	OBJETIVOS.....	3
1.4	MOTIVAÇÃO PARA A RESOLUÇÃO DO PROBLEMA.....	3
1.5	ESTRUTURA DO TFM E RESUMO DOS CAPÍTULOS.....	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO HCM.....	5
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	5
2.2	GÊNESE E EVOLUÇÃO DO HCM.....	5
2.3	ESTRUTURA DO HCM – 7ª EDIÇÃO.....	8
2.3.1	<i>Objetivos e Aplicabilidade.....</i>	<i>8</i>
2.3.2	<i>Níveis de Análise.....</i>	<i>9</i>
2.3.3	<i>Modos de Transporte Presentes.....</i>	<i>10</i>
2.3.4	<i>Tipos de Elementos do Sistema Rodoviário.....</i>	<i>11</i>
2.3.5	<i>Condições de Operação do Tráfego.....</i>	<i>12</i>
2.3.6	<i>Estrutura da Sétima Edição do HCM.....</i>	<i>14</i>
2.4	DEFINIÇÕES FUNDAMENTAIS.....	15
2.4.1	<i>Definição de Procura e Volume.....</i>	<i>15</i>
2.4.2	<i>Definição de Capacidade.....</i>	<i>15</i>
2.4.3	<i>Definição de Nível de Serviço.....</i>	<i>16</i>
2.4.4	<i>Definição de Densidade de Tráfego.....</i>	<i>16</i>
2.4.5	<i>Definição de Velocidade de Fluxo Livre.....</i>	<i>17</i>
2.4.6	<i>Definição de Tempo De Seguimento Com Atraso.....</i>	<i>18</i>
2.4.7	<i>Definição de Velocidade Média De Percurso.....</i>	<i>18</i>
2.5	TROÇOS CORRENTES DE AUTOESTRADAS.....	18
2.5.1	<i>Comparação entre o HCM2000 e o HCM 7ª Edição.....</i>	<i>19</i>
2.6	ESTRADAS DE DUAS VIAS.....	28
2.6.1	<i>Comparação entre o HCM2000 e o HCM 7ª Edição.....</i>	<i>29</i>
3	MODELAÇÃO DO PROGRAMA.....	49
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	49
3.2	ESTRUTURA DO PROGRAMA.....	50
3.3	TROÇOS CORRENTES DE AUTOESTRADA.....	56
3.3.1	<i>Dados de entrada.....</i>	<i>57</i>
3.3.2	<i>Lógica interna.....</i>	<i>58</i>
3.3.3	<i>Dados de saída.....</i>	<i>59</i>
3.4	ESTRADAS DE DUAS VIAS.....	60
3.4.1	<i>Dados de entrada.....</i>	<i>61</i>

3.4.2	<i>Lógica interna</i>	61
3.4.3	<i>Dados de saída</i>	63
3.5	LIMITAÇÕES DO PROGRAMA.....	64
4	ESTUDO E APLICAÇÃO DE TESTE	67
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	67
4.2	EXEMPLO DE TESTE (TROÇO CORRENTE DE AUTOESTRADA)	67
4.2.1	<i>Dados de entrada a considerar</i>	67
4.2.2	<i>Cálculos feitos pelo modelo</i>	68
4.2.3	<i>Verificação de resultados</i>	69
4.3	EXEMPLO DE TESTE (ESTRADA DE DUAS VIAS)	73
4.3.1	<i>Dados de entrada a considerar</i>	73
4.3.2	<i>Cálculos feitos pelo modelo</i>	74
4.3.3	<i>Verificação de resultados</i>	75
4.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
5	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	81
5.1	CONCLUSÕES	81
5.2	PERSPETIVAS FUTURAS.....	81
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
	APÊNDICES	85
	APÊNDICE I. FICHEIROS <i>HTML</i>	87
I.1	FICHEIRO “INDEX.HTML”	87
I.2	FICHEIRO “AE.HTML”	88
I.3	FICHEIRO “EN.HTML”	101
	APÊNDICE II. FICHEIROS <i>JAVASCRIPT</i>	115
II.1	FICHEIRO “AE_HCM2000.JS”.....	115
II.2	FICHEIRO “AE_HCM2022.JS”	119
II.3	FICHEIRO “EN_HCM2000.JS”	121
II.4	FICHEIRO “EN_HCM2022.JS”	132
II.5	FICHEIRO “VALIDATOR.JS”	141
	APÊNDICE III. FICHEIROS <i>CSS</i>	147
III.1	FICHEIRO “ESTILOAE.CSS”	147
III.2	FICHEIRO “ESTILOEN.CSS”	151
III.3	FICHEIRO “ESTILOINDEX.CSS”	155
	APÊNDICE IV. FICHEIROS <i>PHP</i>	159
IV.1	FICHEIRO “EXPORT.PHP”	159
IV.2	FICHEIRO “VALIDATION.PHP”	162

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1 - EVOLUÇÃO CRONOLÓGICA DO HCM	8
FIGURA 2-2 – ESQUEMA COM AS ÁREAS, REDES, CORREDORES E SISTEMA (TRB & NASEM, 2022)	12
FIGURA 2-3 - CLASSIFICAÇÃO DOS FLUXOS E CONDIÇÕES DE TRÁFEGO.....	14
FIGURA 2-4 - ESQUEMA COM A DIVISÃO DO HCM 7ª EDIÇÃO	14
FIGURA 2-5 - REPRESENTAÇÃO DOS NÍVEIS DE SERVIÇO NUMA INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA (AMANAMBA, 2016).....	16
FIGURA 2-6 - ESQUEMA PARA OBTENÇÃO DA DENSIDADE EM UM TROÇO (SILVA, 2007)	17
FIGURA 2-7 - VELOCIDADE DE FLUXO LIVRE EM FUNÇÃO DO DEBITO DO POR VIA (HCM 7ª EDIÇÃO).....	27
FIGURA 2-8 - COMPOSIÇÃO DE UMA ESTRADA DE DUAS VIAS (ADAPTADO DE SASAHARA & McTRANS, 2021).....	28
FIGURA 2-9 - VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO VS DÉBITO NOS 2 SENTIDOS (COSTA & MACEDO, 2008).....	31
FIGURA 2-10 – CURVA COM A PERCENTAGEM DE SEGUIDORES EM FUNÇÃO DO DÉBITO (HCM 7ª EDIÇÃO).....	45
FIGURA 3-1 – PÁGINA INICIAL DO <i>VISUAL STUDIO CODE</i> (MICROSOFT, 2021).....	49
FIGURA 3-2 - CÓDIGO FONTE DO MENU PRINCIPAL DO PROGRAMA	50
FIGURA 3-3 - CÓDIGO DO ELEMENTO ' <i><HEAD></i> ' DO MENU PRINCIPAL	51
FIGURA 3-4 - CÓDIGO DO ELEMENTO ' <i><BODY></i> ' DO MENU PRINCIPAL	51
FIGURA 3-5 - MENU PRINCIPAL DO PROGRAMA.....	52
FIGURA 3-6 - DIAGRAMA COM A FUNCIONALIDADE DO MENU DE ESCOLHA.....	52
FIGURA 3-7 - DIAGRAMA COM A FUNCIONALIDADE GERAL DO PROGRAMA	53
FIGURA 3-8 - EXEMPLOS DE CAIXAS DE ENTRADA.....	54
FIGURA 3-9 - EXEMPLOS DE RÓTULOS	54
FIGURA 3-10 - EXEMPLO DE BOTÕES DE OPÇÃO	54
FIGURA 3-11 - EXEMPLO DE CAIXA DE VERIFICAÇÃO	55
FIGURA 3-12 - EXEMPLO DE CAIXA DE SELEÇÃO.....	55
FIGURA 3-13 - EXEMPLO DE TABELA	55
FIGURA 3-14 - FICHEIROS <i>JAVASCRIPT</i> COM AS FUNÇÕES UTILIZADAS NO CÓDIGO	56
FIGURA 3-15 - PÁGINA REFERENTE AOS "TROÇOS CORRENTES DE AUTOESTRADA"	57
FIGURA 3-16 - FORMULÁRIO COM IDENTIFICAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA COMUNS ÀS DUAS VERSÕES	57
FIGURA 3-17 - FORMULÁRIO COM IDENTIFICAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA DO HCM2000	58
FIGURA 3-18 - FORMULÁRIO COM IDENTIFICAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA DO HCM 7ª EDIÇÃO.....	58
FIGURA 3-19 - DIAGRAMA COM A ESTRUTURA USADA NO CÓDIGO DOS TROÇOS CORRENTES DE AUTOESTRADA	58
FIGURA 3-20 - BOTÃO DE PARA EFETUAR O CÁLCULO.....	59
FIGURA 3-21 - EXCERTO DE CÓDIGO REFERENTE AO BOTÃO DE "LIMPAR DADOS".....	59
FIGURA 3-22 - BOTÃO PARA LIMPAR OS DADOS DO PROGRAMA.....	59
FIGURA 3-23 - TABELA COMPARATIVA DOS RESULTADOS DE AMBAS AS EDIÇÕES DO HCM	60
FIGURA 3-24 - BOTÃO DE EXPORTAÇÃO DE DADOS PARA EXCEL.....	60
FIGURA 3-25 - PÁGINA REFERENTE ÀS "ESTRADAS NACIONAIS"	61
FIGURA 3-26 - FORMULÁRIO COM IDENTIFICAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA COMUNS ÀS DUAS VERSÕES	61
FIGURA 3-27 - FORMULÁRIO COM IDENTIFICAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA DO HCM2000	61
FIGURA 3-28 - FORMULÁRIO COM IDENTIFICAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA DO HCM 7ª EDIÇÃO.....	61
FIGURA 3-29 - DIAGRAMA COM A METODOLOGIA DO HCM2000	62
FIGURA 3-30 - DIAGRAMA COM A METODOLOGIA DO HCM 7ª EDIÇÃO	63
FIGURA 3-31 - DADOS DE SAÍDA DA METODOLOGIA DO HCM2000	63
FIGURA 3-32 - DADOS DE SAÍDA DA METODOLOGIA DO HCM 7ª EDIÇÃO	64
FIGURA 3-33 - DADO DE SAÍDA COMUM ÀS 2 METODOLOGIAS	64

FIGURA 4-1 - PREENCHIMENTO DOS DADOS DE ENTRADA GERAIS	68
FIGURA 4-2 - PREENCHIMENTO DOS DADOS DE ENTRADA DO HCM2000	69
FIGURA 4-3 - PREENCHIMENTO DOS DADOS DE ENTRADA DO HCM 7ª EDIÇÃO	69
FIGURA 4-4 - RESULTADOS DO PROGRAMA	70
FIGURA 4-5 - COMPARAÇÃO DOS PRINCIPAIS RESULTADOS DAS 2 EDIÇÕES	72
FIGURA 4-6 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS RELATIVOS À DENSIDADE DE TRÁFEGO PARA AS 2 EDIÇÕES	73
FIGURA 4-7 - PREENCHIMENTO DOS DADOS DE ENTRADA GERAIS	74
FIGURA 4-8 - PREENCHIMENTO DOS DADOS DE ENTRADA DA EDIÇÃO DE 2000	74
FIGURA 4-9 - PREENCHIMENTO DOS DADOS DE ENTRADA DA 7ª EDIÇÃO	74
FIGURA 4-10 - RESULTADOS DO PROGRAMA REFERENTES AO HCM 2000	76
FIGURA 4-11 - RESULTADOS DO PROGRAMA REFERENTES À 7ª EDIÇÃO	76
FIGURA 4-12 - RESULTADOS DO PROGRAMA COMUNS ÀS DUAS EDIÇÕES	77

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2-1 – TIPOS DE ANÁLISE, O SEU NÍVEL DE ABRANGÊNCIA E PRECISÃO.....	9
TABELA 2-2 - NÍVEL DE SERVIÇO PARA TROÇOS CORRENTES DA AE (ADAPTADO DE HCM 7ª EDIÇÃO).....	19
TABELA 2-3 -TABELA COMPARATIVA DAS EXPRESSÕES DE CÁLCULO DO DÉBITO DE TRÁFEGO (VP).....	20
TABELA 2-4 - LIMITES DO FATOR DE HORA DE PONTA (PHF) NAS DUAS EDIÇÕES DO HCM.....	20
TABELA 2-5 - COMPARAÇÃO DAS EXPRESSÕES DO FATOR DE AJUSTAMENTO E EQUIVALÊNCIA DOS VEÍCULOS PESADOS.....	21
TABELA 2-6 - COMPARAÇÃO DOS FATORES DE EQUIVALÊNCIA PARA VEÍCULOS PESADOS	22
TABELA 2-7 - COMPARAÇÃO DAS EXPRESSÕES DE CÁLCULO DO FFS NAS DUAS VERSÕES DO HCM.....	23
TABELA 2-8 - AJUSTAMENTO (F_{ID}) DEVIDO À DENSIDADE DE NÓS DE LIGAÇÃO (ADAPTADO DO HCM2000).....	23
TABELA 2-9 - COMPARAÇÃO DAS DOS FATORES DE REDUÇÃO RELATIVO À LARGURA DA VIA NAS VERSÕES DO HCM.....	23
TABELA 2-10 - COMPARAÇÃO DOS FATORES ASSOCIADO À LARGURA DA BERMA DIREITA NAS DUAS VERSÕES DO HCM	24
TABELA 2-11 - AJUSTAMENTO (F_N) DEVIDO AO NÚMERO DE VIAS (AUTOESTRADAS URBANAS) (ADAPTADO DO HCM2000).....	24
TABELA 2-12 - FATOR DE AJUSTAMENTO DA VELOCIDADE (SAF) PARA A METEOROLOGIA (ADAPTADO DE HCM 7ª EDIÇÃO).....	25
TABELA 2-13 - COMPARAÇÃO DAS EXPRESSÕES DE CÁLCULO DO FFS NAS DUAS VERSÕES DO HCM.....	25
TABELA 2-14 - FATOR DE AJUSTAMENTO DA CAPACIDADE (CAF) (ADAPTADO DE HCM 7ª EDIÇÃO).....	26
TABELA 2-15 - EXPRESSÕES DE CÁLCULO DA VELOCIDADE MÉDIA DE TRÁFEGO NO HCM2000	26
TABELA 2-16 - EXPRESSÕES DE CÁLCULO DA VELOCIDADE MÉDIA DE TRÁFEGO NO HCM 7ª EDIÇÃO.....	27
TABELA 2-17 - NÍVEL DE SERVIÇO PARA ESTRADAS DE 2 VIAS DA CLASSE I (ADAPTADO DE HCM2000).....	29
TABELA 2-18 - NÍVEL DE SERVIÇO PARA ESTRADAS DE 2 VIAS DA CLASSE II (ADAPTADO DE HCM2000).....	30
TABELA 2-19 - AJUSTAMENTO (F_L s) DEVIDO À LARGURA DAS VIAS E À LARGURA DAS BERMAS (COSTA & MACEDO, 2008).....	32
TABELA 2-20 - AJUSTAMENTO (F_A) DEVIDO À DENSIDADE DE PONTOS DE ACESSO (COSTA & MACEDO, 2008).....	32
TABELA 2-21 - FATOR DE AJUSTAMENTO PARA A VELOCIDADE MÉDIA DE PERCURSO (ADAPTADO DO HCM 2000).....	33
TABELA 2-22 - COEFICIENTES “A” E “B” DO TEMPO BASE DE PERCURSO COM ATRASO (ADAPTADO DO HCM2000).....	34
TABELA 2-23 - FATOR DE AJUSTAMENTO DO TEMPO DE PERCURSO COM ATRASO (FNP) (ADAPTADO DO HCM2000)	35
TABELA 2-24 -FATOR DE AJUSTAMENTO PARA O TIPO DE TERRENO (F_G) DA ATS (ADAPTADO DE HCM2000).....	36
TABELA 2-25 - FATOR DE AJUSTAMENTO PARA O TIPO DE TERRENO (F_G) DO PTSF (ADAPTADO DE HCM2000)	37
TABELA 2-26 - FATORES DE EQUIVALÊNCIA PARA DETERMINAÇÃO DA ATS (ADAPTADO DE HCM2000)	37
TABELA 2-27 - FATORES DE EQUIVALÊNCIA PARA DETERMINAÇÃO DO PTSF (ADAPTADO DO HCM2000)	38
TABELA 2-28 - NÍVEIS DE SERVIÇO PARA ESTRADA DE DUAS VIAS (ADAPTADO DE HCM 7ª EDIÇÃO)	38
TABELA 2-29 - CLASSIFICAÇÃO VERTICAL (ADAPTADO DE HCM 7ª EDIÇÃO)	39
TABELA 2-30 - EXTENSÕES DE ANÁLISE MÍNIMA E MÁXIMA PARA AS CLASSES VERTICAIS (ADAPTADO DE HCM 7ª EDIÇÃO).....	40
TABELA 2-31 - COEFICIENTES A UTILIZAR NA EXPRESSÃO (2-17) (ADAPTADO DE HCM 7ª EDIÇÃO)	41
TABELA 2-32 - COEFICIENTES A UTILIZAR NA EXPRESSÃO (2-21) (ADAPTADO DE HCM 7ª EDIÇÃO)	43
TABELA 2-33 - COEFICIENTES A UTILIZAR NA EXPRESSÃO (2-22) (ADAPTADO DE HCM 7ª EDIÇÃO)	43
TABELA 2-34 - COEFICIENTES A UTILIZAR NA EXPRESSÃO (2-23) (ADAPTADO DE HCM 7ª EDIÇÃO)	44
TABELA 2-35 - COEFICIENTES A UTILIZAR NA EXPRESSÃO (2-24) (ADAPTADO DE HCM 7ª EDIÇÃO)	44
TABELA 2-36 - COEFICIENTES A UTILIZAR NA EXPRESSÃO (2-26) (ADAPTADO DE HCM 7ª EDIÇÃO);	45
TABELA 2-37 - COEFICIENTES A UTILIZAR NA EXPRESSÃO (2-27) (ADAPTADO DE HCM 7ª EDIÇÃO)	46
TABELA 2-38 - COEFICIENTES A UTILIZAR NA EXPRESSÃO (2-28) (ADAPTADO DE HCM 7ª EDIÇÃO)	46
TABELA 2-39 - COEFICIENTES A UTILIZAR NA EXPRESSÃO (2-29) (ADAPTADO DE HCM 7ª EDIÇÃO)	47
TABELA 3-1 – SIMBOLOGIA USADA NOS FLUXOGRAMAS	52
TABELA 4-1 - CONVERSÃO DE UNIDADES DE SISTEMA IMPERIAL PARA MÉTRICO (ADAPTADO DO HCM 7ª EDIÇÃO)	67
TABELA 4-2 - DADOS DE ENTRADA DO EXEMPLO 6 DO CAPÍTULO 26 DO HCM 7ª EDIÇÃO	67
TABELA 4-3 - COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS OBTIDOS DO EXEMPLO DA 7ª EDIÇÃO E OS OBTIDOS PELO PROGRAMA.....	70

TABELA 4-4 - RESULTADOS OBTIDOS PELO PROGRAMA E POR CÁLCULO MANUAL.....	71
TABELA 4-5 - ERROS ABSOLUTOS E RELATIVOS DOS RESULTADOS DO PROGRAMA E MANUAIS	71
TABELA 4-6 - COMPARAÇÃO E DIFERENÇA DOS RESULTADOS RELATIVOS ÀS DUAS METODOLOGIAS.....	72
TABELA 4-7 - DADOS DE ENTRADA DO EXEMPLO 1 DAS ESTRADAS DE DUAS VIAS DO HCM 7ª EDIÇÃO.....	73
TABELA 4-8 - CONVERSÃO DE DADOS DE ENTRADA PARA SISTEMA MÉTRICO.....	74
TABELA 4-9 - COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS OBTIDOS DO EXEMPLO DA 7ª EDIÇÃO E OS OBTIDOS PELO PROGRAMA.....	77
TABELA 4-10 - ERROS ABSOLUTOS E RELATIVOS DO PROGRAMA FACE AOS CÁLCULOS MANUAIS PARA A EDIÇÃO DE 2000	77
TABELA 4-11 - ERROS ABSOLUTOS E RELATIVOS À 7ª EDIÇÃO	78

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

- a - Parâmetro adimensional
- a - Parâmetro de calibração (igual a 2.0)
- a_0 - a_5 - Coeficientes associados ao cálculo do parâmetro “a”
- APD - Densidade de pontos de acesso (Número de pontos de acesso/milha)
- ATS - Velocidade média de percurso (km/h)
- b_0 - b_5 - Coeficientes adimensionais associados ao cálculo do parâmetro “m”
- BFFS - Velocidade em regime livre base (km/h)
- BP - Ponto de quebra (uvl/h/via)
- BP_{adj} - Ponto de quebra ajustado (uvl/h/via)
- BPTSF – Percentagem de tempo de percurso com atraso base
- c - Capacidade base do trecho (uvl/h/via)
- c_0 - c_3 - Coeficientes adimensionais associados ao cálculo do parâmetro “ b_3 ”
- c_{adj} - Capacidade base do trecho ajustada (uvl/h/via)
- CAF - Fator de ajustamento da capacidade (decimal) (igual a 1 para condições de base)
- cap - Capacidade de uma via sem zonas de ultrapassagem
- CSS - *Cascading Style Sheet*
- D - Densidade ou concentração de tráfego (uvl/km/via)
- d_0 - d_3 - Coeficientes adimensionais associados ao cálculo do parâmetro “ b_4 ”
- d_1 - d_2 - Coeficientes adimensionais
- D_c - Densidade na capacidade máxima (igual a 45 uvl/mi/via)
- e_0 - e_4 - Coeficientes adimensionais
- E_R - Fator de equivalência de veículos de recreio (RVs) em veículos ligeiros de passageiros
- E_T - Fator de equivalência de camiões em veículos ligeiros de passageiros
- f_0 - f_8 - Coeficientes adimensionais associados ao cálculo do parâmetro “p”
- f_A - Fator de ajustamento devido aos pontos de acesso
- FD - Densidade de seguidores por via (uvl/mi/via)
- $f_{d/np}$ - Fator de ajustamento devido ao efeito combinado da repartição do tráfego e da percentagem de zonas de não ultrapassagem
- FFS - Velocidade em regime livre (km/h)
- FFS_{adj} - Velocidade em regime livre ajustada (mi/h)
- f_G - Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno
- f_{HV} - Fator de ajustamento devido à presença de veículos pesados na corrente de tráfego
- f_{ID} - Ajustamento devido à densidade de nós de ligação
- f_{LC} - Ajustamento devido à desobstrução lateral do lado da berma direita
- f_{LS} - Fator de ajustamento devido à largura das vias e das bermas
- f_{LW} - Ajustamento devido à largura das vias
- f_N - Ajustamento devido ao número de vias
- f_{np} - Fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem

f_p - Fator de ajustamento devido ao tipo de condutores
 f_{RLC} - Ajustamento devido à desobstrução lateral do lado da berma direita
 HCM - *Highway Capacity Manual*
 HTML - *Hyper Text Markup Language*
 HV% - Percentagem de veículos pesados na corrente de tráfego (em valor numérico)
 i - Índice que representa o sentido (“d” (representa o sentido de análise) ou “o” (representa o sentido oposto))
 L - Comprimento máximo do segmento em estudo (mi)
 LOS – *Level of Service*
 LW - Largura da via (ft) varia de 9 ft (2,74 m) a 12 ft (3,65 m)
 m - Fator associado à inclinação
 m' - Fator associado à inclinação
 N - Número de faixas
 NS – *Nível de serviço*
 p - Fator associado à capacidade
 p' - Fator associado à capacidade
 PF_{25cap} - % de seguidores para 25% da capacidade da via
 PF_{cap} - % de seguidores para 100% da capacidade da via
 PHF - Fator de ponta horária
 P_R - % de veículos de recreio (RVs) na corrente de tráfego
 P_T - % de camiões na corrente de tráfego
 PTSF - Tempo de percurso com atraso
 PF – Percentagem de seguidores
 S - Velocidade média de percurso (km/h)
 SAF - Fator de ajustamento da velocidade (decimal) (em condições de base é igual a 1)
 SFM - Velocidade média do tráfego, medida no local (km/h)
 SI - Sistema Internacional
 S_{pl} - Velocidade limite (mi/h)
 SW - Largura da berma (ft) varia de 0 ft a 6 ft (1,82 m)
 TRB - *Transportation Research Board*
 TRD - Densidade de nós de ligação (rampas/mi)
 uvl – Unidade de veículo ligeiro
 V - Volume de tráfego para a hora de ponta (veic/h)
 V_f - Débito para o período em que se realizaram as medições de velocidade (veh/h)
 v_o - Débito de tráfego no sentido oposto ao analisado (veic/h)
 V_p - Débito para o período de ponta de 15 minutos (uvl/h)
 v_p - Débito para o período de ponta de 15 minutos no conjunto das 2 vias (uvl/h)
 V_p' - Débito por cada via (uvl/h/via)

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

De acordo com Sousa (2023) a mobilidade urbana é definida pela capacidade de deslocamento de pessoas e bens numa área geográfica. Rodrigue (2020) definiu a existência de três tipos de transporte: transporte individual, de mercadorias e coletivo. Todos eles coexistem e efetuam deslocamentos que só são possíveis devido à existência de infraestruturas rodoviárias dispostas com a qualidade necessária e dispostas a formar uma rede. Na antiguidade, as cidades eram compostas por caminhos pedonais e caminhos rurais uma vez que a principal forma de locomoção era a pé ou a cavalo. Durante Império Romano, surgiram as primeiras estradas pavimentadas, como a famosa Via Ápia usada para facilitar o deslocamento de tropas. Mais tarde com a Revolução Industrial (século XIX) existiu uma expansão das cidades e a necessidade de melhorias na mobilidade associadas a necessidade de transporte de mercadorias, foi nessa altura que surgiram as locomotivas a vapor. Com o surgimento dos motores de combustão e consequentemente dos automóveis, as estradas precisaram de ser melhoradas de forma a suportar veículos motorizados, levando à construção das primeiras autoestradas nas décadas de 1920 e 1930. Nesse período o transporte individual teve uma evolução muito grande o que começou a gerar grandes fluxos de tráfego, e a partir dos anos 1950, os projetos de infraestrutura rodoviária precisaram de ser melhorados. Houve o foco no desenvolvimento de vias rápidas e sistemas de trânsito rápido tornou-se uma prioridade em muitas cidades. Hoje, com a crescente urbanização e a procura por soluções sustentáveis, as infraestruturas rodoviárias necessitam ser melhoradas de forma a incorporar tecnologias inteligentes, como sistemas de transporte público eficientes, ciclovias e veículos elétricos.

As autoestradas são estradas de alta capacidade projetadas para transportar grandes volumes de tráfego de forma eficiente e segura. Segundo Cabral (2016), a primeira autoestrada em Portugal foi construída em 1944 e ligava Lisboa e o Estádio Nacional. De acordo com Silveiras (2021) na década de 90, Portugal tinha 300 quilómetros de autoestrada e passados dez anos passou a ter o mesmo rácio de quilómetros de autoestrada por mil habitantes que a Holanda e 82% da Bélgica. No ano de 2010, Portugal era o sexto país com a maior rede de autoestradas na UE (União Europeia). Com isso, é possível constatar-se um desenvolvimento enorme nas autoestradas a nível nacional.

O surgimento das autoestradas surge pela necessidade de melhorar a mobilidade e conectividade entre as diferentes zonas do país e reduzir a dependência do transporte rodoviário de média e baixa capacidade. As autoestradas desempenham também um papel importante na integração de Portugal nas redes europeias de transportes e na promoção do turismo.

Os métodos de cálculo usados na projeção e avaliação do desempenho das rodovias evoluíram ao longo do tempo para acompanhar as mudanças nos padrões de tráfego e nas tecnologias de transporte. O HCM 2000, foi um manual de referência técnica amplamente utilizado em todo o mundo. “Em Portugal o HCM tem sido utilizado desde há muitos anos, contribuindo para a definição das metodologias que integram alguns documentos da ex-JAE (p.e. Normas de Traçado).” (Costa & Macedo, 2008). Este manual fornece um conjunto de metodologias e equações matemáticas para analisar o fluxo de tráfego, a capacidade e os níveis de serviço rodoviário. O manual também fornece orientação para a seleção de critérios de projeto apropriados para diferentes tipos de rodovias, levando em consideração fatores como volume de tráfego, velocidades operacionais, geometria da rodovia, características do veículo e condições ambientais.

1.2 Problema a Abordar

O problema a abordar com este TFM prende-se com a dificuldade prática da utilização das metodologias desenvolvidas nas versões mais recentes do *HCM* no cálculo dos níveis de serviço das infraestruturas rodoviárias, por estas metodologias só serem disponibilizadas no sistema de unidades imperial.

Não é prático, nem fácil, efetuar, caso a caso, a conversão das metodologias e das expressões matemáticas entre sistemas imperial e o sistema internacional (SI), o que se torna numa barreira real, pois o uso de diferentes unidades de medida pode levar a erros de cálculo, mal-entendidos e dificuldades na comparação e análise de dados em um contexto global. Logo torna-se mais complicada a utilização das versões mais recentes do *HCM*, nomeadamente em países, como Portugal, onde não existe qualquer tipo de regulamentação oficial de tráfego.

A situação anterior permitiu identificar três desafios para serem abordados neste projeto. O primeiro corresponde a testar a viabilidade da utilização das novas versões do HCM em formato de Sistema Internacional, partindo das versões originais em Sistema Imperial e fazendo a sua conversão, cálculo e reconversão dos resultados através do próprio software. A prova de conceito será efetuada através do desenvolvimento de uma aplicação incluindo as rotinas de cálculo dos níveis de serviço em troços correntes de autoestradas e em estradas nacionais de duas vias.

O segundo desafio consiste em adicionalmente permitir fazer a comparação entre os resultados obtidos através da versão *HCM2000*, bem conhecida em Portugal, e a nova 7ª Edição. Esta comparação permite estudar as diferenças entre as duas versões e a sua evolução.

O terceiro desafio corresponde ao desenvolvimento de abordagens para identificar as equações da atual edição do HCM que podem ser facilmente convertíveis do sistema imperial para o sistema métrico, através do cálculo dos seus coeficientes, e quais aquelas cuja conversão matemática direta é insuficiente e que terão de continuar a ser calculadas indiretamente, utilizando os pressupostos do primeiro desafio.

1.3 Objetivos

Para alcançar o objetivo proposto é necessário abordar, os seguintes tópicos:

- Identificação de inputs gerais às duas versões do HCM: O primeiro passo será identificar e analisar os parâmetros gerais necessários comuns às metodologias do HCM 2000 e da 7ª edição do HCM. Isso envolverá a compreensão dos requisitos de entrada de dados, como volume de tráfego, geometria da estrada, características dos veículos, entre outros.
- Identificação dos parâmetros de cálculo específicos a cada metodologia: Será necessário identificar os parâmetros de cálculo específicos para cada metodologia, levando em consideração as diferenças nas expressões e fórmulas utilizadas. Isso permitirá uma compreensão clara das variáveis e dos cálculos necessários em cada versão do HCM.
- Escolha de 2 tipos de infraestruturas (troços correntes de AE e Estradas Nacionais) e validação com exemplos: Serão selecionados dois tipos de infraestruturas (de dois capítulos distintos do HCM): como troços de autoestradas e estradas nacionais, para validar as adaptações feitas no sistema de unidades. Serão aplicados exemplos reais e os resultados serão comparados.
- Conversão para sistema métrico, através da identificação de coeficientes que facilitem a conversão das expressões: Com base na identificação dos parâmetros específicos, será realizada uma conversão das expressões e fórmulas do sistema imperial para o sistema métrico. Serão identificados coeficientes de conversão apropriados para garantir a consistência e a precisão dos resultados obtidos.
- Comparação com a metodologia do HCM 2000 e HCM 7ª edição através de um quadro comparativo: Com os resultados de saída, será elaborado um quadro comparativo entre a metodologia do HCM 2000 e a 7ª edição do HCM, destacando as diferenças nas expressões, fórmulas e resultados obtidos. Isso permitirá uma análise comparativa e uma compreensão mais abrangente das implicações da atualização do HCM.

1.4 Motivação para a resolução do Problema

O tema escolhido é atual e representa uma grande condicionante à utilização em Portugal das novas versões atualizadas do HCM (6ª e 7ª edições), por estas não serem disponibilizadas em SI. Tendo em conta a inexistência de regulamentação de tráfego nacional, é fundamental que a comunidade técnica continue a dispor com alguma facilidade de meios e abordagens metodológicas que permitam quantificar de forma rigorosa os níveis de serviço, presentes ou planeados, nas infraestruturas rodoviárias em Portugal.

A utilização banalizada do HCM2000 (versão SI) tem sido uma prática corrente em Portugal, mas passados 23 anos da publicação deste manual há uma necessidade premente de encontrar formas de evoluir na adaptação e utilização da série de manuais HCM. Este trabalho pretende ser um pequeno contributo nessa evolução, desenvolvendo algumas perspetivas inovadoras que possam vir a ser úteis a subsequentes desenvolvimentos no sentido da utilização banalizada da 7ª edição do HCM ou das edições que venham a ser propostas, usando, muito possivelmente, o sistema imperial, tal como tem sucedido até ao presente.

1.5 Estrutura do TFM e Resumo dos Capítulos

O desenvolvimento dos trabalhos efetuados permite antever que o projeto e a estrutura do relatório do TFM sejam divididos em 5 capítulos principais.

O primeiro capítulo é nomeado de “Introdução” e nele corresponderá ao aprofundamento e consolidação da introdução deste trabalho de projeto.

O segundo capítulo possui a designação de “Revisão Bibliográfica do *HCM*” e apresenta-se o enquadramento do manual e da sua importância para a engenharia de tráfego. Faz-se uma introdução teórica com a história e evolução temporal do *Highway Capacity Manual (HCM)*, aborda-se a descrição das metodologias dos troços correntes da autoestrada e as estradas de duas vias, em particular da edição de 2000 e da 7ª edição. Este capítulo é apresentado também no presente relatório, podendo vir a sofrer pequenos melhoramentos na sua versão final.

O terceiro capítulo possui o título de “Modelação do Programa” aborda o desenvolvimento da aplicação informática, sendo essa a parte principal deste projeto. Nele se apresenta o *design* do programa, as suas etapas de desenvolvimento (lógica interna) e as suas respetivas limitações.

O quarto capítulo tem o nome de “Estudo e aplicação de teste” a validação da aplicação informática através da comparação dos “*outputs*” da mesma com os procedimentos de cálculo de ambas as versões do HCM. Numa segunda fase procede-se ao estudo de exemplos a definir que permitam das respostas concretas ao desafio da comparação de resultados entre ambas as versões do HCM e à eventual conversão direta de formulações do HCM 7ª Edição para o sistema métrico.

Por fim o quinto e último capítulo tem o nome de “Conclusões e Perspetivas Futuras” são apresentadas as conclusões do trabalho, indicando algumas perspetivas de desenvolvimentos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DO HCM

2.1 Considerações iniciais

Neste capítulo pretende-se fazer uma revisão bibliográfica do HCM de forma a permitir uma contextualização histórica do manual, da sua importância, dos seus objetivos e identificar as metodologias necessárias para a elaboração deste projeto.

2.2 Gênese e Evolução do HCM

De acordo com Kittelson (2000), em 1920 surgiram os resultados das primeiras pesquisas sobre capacidade das estradas. No entanto, não havia um resumo abrangente dessas informações e não havia acordo sobre os métodos apropriados para se efetuar a análise de diferentes tipos de estradas. As análises de capacidade eram obtidas empiricamente através de experiências locais ou regionais. Com a expectativa do desenvolvimento futuro de um sistema de autoestradas interestaduais, a necessidade de métodos uniformes de estimativa da capacidade tornou-se mais evidente. Ainda segundo Kittelson (2000) em 1941, o Presidente Franklin D. Roosevelt nomeou um comitê para criar um sistema nacional de autoestradas. Perante essa missão o engenheiro O.K. Normann colocou medidores gráficos em estradas de curta extensão, de forma a registrar os intervalos de tempo entre veículos. Com essa abordagem permitiu-lhe estimar a capacidade horária da estrada com base na velocidade e no espaçamento entre veículos. Normann concluiu que a capacidade ocorria quando os veículos viajavam a cerca de 56 km/h, com espaçamento de dois segundos entre eles.

Em 1944, no âmbito do desenvolvimento do sistema de estradas interestaduais foi efetuada a publicação de um documento intitulado "*Highways: A Message From the President of the United States*" pelo Comitê criado pelo Presidente Franklin. Quando esse documento foi publicado, muitos profissionais especializados em engenharia de transporte começaram a perceber que eram necessários métodos de estimativa de capacidade melhores e mais uniformes para orientar o trabalho em todos os tipos de infraestruturas de transporte. Assim, o *Highway Research Board (HRB)* estabeleceu o Comitê de Capacidade das Autoestradas nesse mesmo ano.

Após a criação desse comitê surgiu a primeira edição do *HCM* (HRB, 1950) tornou-se o modelo padrão para a análise de capacidade de estradas nos Estados Unidos da América e também foi traduzido para nove outros idiomas para uso em todo o mundo. Embora tivesse apenas 147 páginas, permitiu a definição de métodos práticos para estimar a capacidade de estradas de duas, três e várias vias; interseções sinalizadas; secções de entrecruzamento e rampas. Com isso, HRB (1950) definiu três níveis de capacidade:

- Capacidade básica: O número máximo de veículos de passageiros que podem passar num determinado ponto de uma estrada durante uma hora, nas condições mais próximas do ideal (sem congestionamento).
- Capacidade possível: O número máximo de veículos que podem passar por um determinado ponto numa faixa de rodagem ou estrada durante uma hora, nas condições prevalentes da estrada e do tráfego.
- Capacidade prática: O número máximo de veículos que podem passar num determinado ponto de uma estrada ou numa faixa designada durante uma hora, sem que a densidade do tráfego seja tão grande que possa causar atrasos não razoáveis, perigos ou restrições à liberdade de manobra dos condutores nas condições prevalentes da estrada e do tráfego.

No ano de 1965 foi elaborado um novo relatório (HRB & NRC, 1965) onde foram apresentados mais estudos, resultando numa atualização do HCM. Nesta segunda edição surgiu o conceito de nível de serviço, que desde então tem sido o ponto principal para analisar a qualidade de qualquer infraestrutura de transporte, seja do ponto de vista do planeamento, projeto e operações. Surgiu também um primeiro capítulo sobre o transporte público em autocarros.

Em 1985 foi produzida a terceira edição do HCM (HRB & NRC, 1985), que permitiu dar mais um passo significativo na evolução do HCM. Ela aperfeiçoou o conceito de nível de serviço e incorporou os resultados de diversos projetos de pesquisa importantes realizados desde a publicação da edição anterior. O seu conteúdo também foi ampliado através da adição de capítulos sobre peões e bicicletas e a dinamização dos capítulos associados ao transporte público.

Posteriormente, em 1997 e 1998, foram efetuadas algumas atualizações (HRB & NRC, 1998) nas metodologias de algumas infraestruturas, nomeadamente troços base de autoestradas, ramos de acesso e egresso, cruzamentos e entrecruzamentos, estradas com várias vias e interseções não sinalizadas ou sinalizadas.

No ano de 2000 foi publicada a quarta edição, o *HCM2000*, desta vez em duas versões. Uma editada no sistema imperial e outra no sistema internacional (TRB, 2000). Devido ao facto de ter sido apresentada uma edição em Sistema Internacional, esta edição foi de longe a mais divulgada internacionalmente. Esta versão implicou também a atualização de algumas metodologias provenientes das edições anteriores e a reorganização dos capítulos, sendo essa versão composta por 31 capítulos. As principais mudanças estavam relacionadas com:

- Arruamentos – Introdução de um capítulo intitulado "Arterial Streets" no HCM de 1997, este capítulo não altera significativamente, mas inclui novas folhas de cálculo.
- Interseções Sinalizadas - É adicionada uma metodologia para a estimativa do retorno à fila, juntamente com novos fatores de ajustamento do caudal de saturação fatores de

ajustamento do caudal de saturação para efeitos de peões e bicicletas. São fornecidas novas folhas de cálculo consolidadas.

- Intersecções sem Sinalização - As adições a este capítulo incluem uma nova equação de estimativa de fila de percentil 95 e novas folhas de cálculo.
- Peões - Este capítulo expande a metodologia do HCM de 1985, permitindo a avaliação de vários tipos de instalações para peões anteriormente não abordados.
- Bicicletas - Uma nova metodologia para avaliação de instalações para bicicletas, baseada no conceito de impedimento, substituiu integralmente a versão anterior.
- Estrada de duas faixas - Uma nova metodologia para avaliar as estradas de duas vias por sentido de circulação ou por ou por ambos os sentidos combinados, substituiu integralmente a versão anterior.
- Autoestradas com várias vias - São introduzidos novos valores de equivalência associados a veículos pesado.
- Segmentos básicos de autoestrada - Mais uma vez, são introduzidos novos valores de equivalência para camiões.
- Entrecruzamentos - A metodologia do HCM de 1997 foi ligeiramente revista.
- Rampas e cruzamentos de rampas - É apresentado um novo modelo de previsão de velocidade.

Dentro desses capítulos destacam-se a “análise de corredores e áreas” e a “simulação e outros modelos” que foram adicionados nessa edição. Com a análise de corredores e áreas essa edição permitia fazer uma análise de tráfego combinando várias infraestruturas rodoviárias, já no caso da simulação eram apresentados conceitos e exercícios numéricos utilizando modelos de simulação de tráfego. Para além disso, demonstra aplicações típicas de modelos de simulação.

Passado mais uma década, surgiu o HCM 5ª Edição (NRC (U.S.),2010) que foi editado num novo formato de volumes (formato que se mantêm até à data) e trouxe ainda novas atualizações para a estimativa da capacidade, assim como metodologias para estimar a capacidade e o nível de serviço. Segundo Azeredo (2012), que analisou as principais diferenças do manual de 2010 em relação ao seu antecessor, estas são:

- Novos procedimentos de análise para rotundas;
- Procedimentos completos de ruas envolvendo peões, bicicletas e transportes públicos;
- Análise do tráfego usando ferramentas de simulação.

Em 2016 surgiu o HCM 6ª Edição (TRB,2016) que desenvolveu investigação de forma atualizar o conteúdo mais antigo do manual e incorporou uma série de novos tópicos:

- Explorou o conceito de fiabilidade do tempo de viagem;
- Abordou as vias de tráfego específico (por exemplo, as vias onde circulam veículos de alta ocupação).

- Explorou a influência das zonas de trabalho na capacidade da infraestrutura rodoviária;

Finalmente, em 2022 surgiu a atual versão, o HCM 7ª Edição (TRB & NASEM, 2022) que entre outros detalhes, atualiza uma das metodologias mais antigas do HCM (estradas de duas vias), fornece um novo método de análise de rede para avaliar os efeitos de extravasamento de filas entre autoestradas e vias urbanas, e prevê o desenvolvimento de novos métodos de planeamento para avaliar os efeitos de veículos autónomos em autoestradas, intersecções e em rotundas. Esta edição também atualiza os métodos de análise de peões para intersecções semaforizadas e cruzamentos.

Na Figura 2-1 é possível observar-se a evolução cronológica do HCM ao longo dos anos desde a sua criação até à atualidade

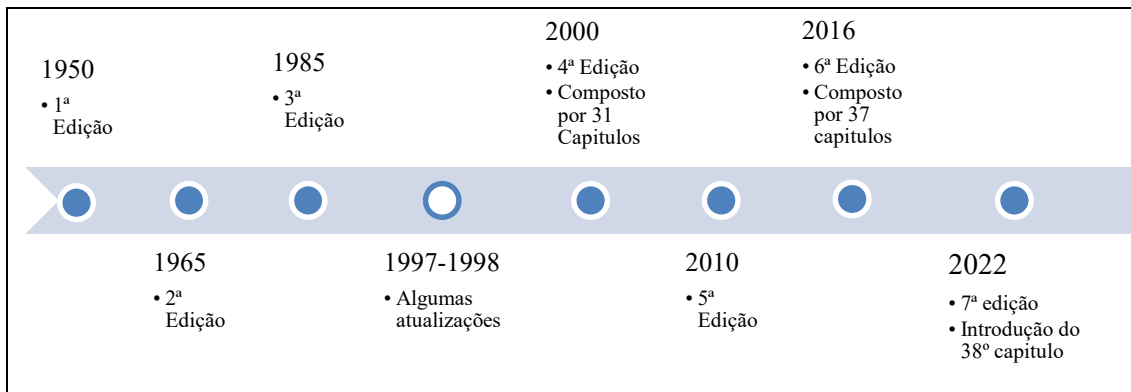


Figura 2-1 - Evolução cronológica do HCM

2.3 Estrutura do HCM – 7ª Edição

2.3.1 Objetivos e Aplicabilidade

A 7ª edição do HCM (TRB & NASEM, 2022) tem o objetivo principal de fornecer metodologias e procedimentos para avaliar o desempenho multimodal das infraestruturas rodoviárias. Dentro desse objetivo, o HCM tem o propósito de alcançar alguns objetivos secundários importantes:

- Definir medidas de desempenho e apresentar metodologias de avaliação para as principais características do tráfego. Isso inclui parâmetros como: fluxo de veículos, capacidade das vias e tempos de viagem.
- Fornecer metodologias que permitam estimar e prever medidas de desempenho. Isso é fundamental para uma análise precisa e atualizada do funcionamento das infraestruturas rodoviárias.
- Explicar as metodologias de forma detalhada, permitindo uma fácil compreensão profunda dos fatores que influenciam a operação multimodal.

Esta versão, foi desenvolvida para ser utilizada em diversas perspetivas de análise, tais como operacional, projeto, engenharia preliminar e planeamento. Além disso, abrange diferentes

modos de transporte, como veículos motorizados, peões, bicicletas e o transporte público constituindo um sistema único em funcionamento em toda a infraestrutura urbana. Simultaneamente, pode ser aplicado em diferentes níveis de análise, desde pontos específicos, troços ou até na globalidade de uma infraestrutura rodoviária. Por fim, o HCM tem em conta diferentes cenários temporais, ou seja, pode ser aplicado tanto em condições de tráfego abaixo da capacidade (subsaturado), quanto em situações de tráfego acima da capacidade (sobressaturado).

Nas próximas seções apresentam-se de forma mais detalhada alguns dos conceitos referidos.

2.3.2 Níveis de Análise

Dentro dos níveis de análise, a sétima edição do HCM (TRB & NASEM, (2022)) define-os da seguinte forma:

A análise operacional foca-se tipicamente nas condições correntes ou a curto prazo. Envolve a utilização de *inputs* detalhados (obtidos em campo) aplicados às metodologias, com a mínima utilização de valores pré-definidos

A análise de projeto utiliza os procedimentos do HCM para identificar as características de uma infraestrutura de transporte para que a mesma permita operar num nível de serviço desejado, faz recurso a alguns valores pré-definidos.

Dowling et al., (2016) indicou que as análises de planeamento e de engenharia preliminar permitem a identificação de problemas, nas análises de longo prazo e aplicações de monitorização de desempenho, em infraestruturas rodoviárias. Normalmente, essas análises permitem avaliar uma elevada extensão de infraestrutura (analisar vários elementos, porém os resultados apresentados têm uma menor precisão) uma vez que os “*inputs*” específicos para as metodologias são baseados em valores pré-definidos.

As análises de microsimulação de tráfego, são definidas por Fratar Engenharia Consultiva (2020) como uma simulação do comportamento individual de veículos e condutores dentro de uma infraestrutura rodoviária, tendo como objetivo principal a estimativa dos impactos relativos a mudanças nos padrões de tráfego resultantes de modificações no fluxo de tráfego, aumento do número de vias ou na sinalização existente. Estes modelos, de acordo com Dowling et al., (2016), por exigirem um elevado número de parâmetros, tempo de modelação e requererem resultados muito precisos, dificilmente são utilizados para estudos de planeamento.

Na Tabela 2-1 apresenta-se uma síntese dos tipos de análise e a sua classificação quanto ao nível de análise presente no HCM.

Tabela 2-1 – Tipos de análise, o seu nível de abrangência e precisão

Tipo de análise	Nível de análise
-----------------	------------------

Análise operacional	Restrita, mais detalhada e com resultados precisos
Análise de projeto	Mais abrangente que a análise operacional. Os resultados tendem a ser mais precisos que os da análise de planeamento
Análises de planeamento e de engenharia preliminar	Abrangente, porém, gera resultados menos precisos

2.3.3 Modos de Transporte Presentes

De acordo com TRB & NASEM (2022) O modo de transporte motorizado corresponde ao tráfego de todos os veículos motorizados que utilizam uma estrada. Dentro desse grupo incluem-se o transporte individual (automóveis), veículos pesados (camiões, autocarros, etc.), caravanas, motocicletas e autocarros de transporte público, que são todos considerados modos baseados em veículos motorizados para efeitos de análise.

Devido à utilização generalizada dos veículos individuais (automóveis), o HCM utiliza estes veículos como ‘unidade de normalização’ do tráfego para permitir a homogeneização dos fluxos de tráfego. Por exemplo, os veículos pesados ocupam mais espaço na estrada do que os veículos individuais e circulam mais lentamente, particularmente em subidas. Por isso, o HCM converte os pesados em equivalentes de veículos de passageiros - por exemplo, para a análise de troços correntes de autoestrada em trainel plano, um pesado médio ocupa espaço na estrada aproximadamente igual ao de dois automóveis ligeiros. Mas estes fatores de conversão dependem da infraestrutura e da situação específica. Por exemplo, se o trainel de autoestrada se desenvolver em terreno montanhoso, o fator de equivalência é bastante superior).

O modo de transporte de bicicleta é constituído pelos utilizadores de uma estrada ou via que circulam de bicicleta não motorizada; os limites do nível de serviço em bicicletas refletem a sua perspectiva. Dentro desse grupo os ciclomotores e *scooters* motorizados não são considerados bicicletas para efeitos de análise do HCM.

O modo de transporte pedonal é constituído pelos utilizadores que, ao longo de uma estrada ou em uma via pedonal efetuam uma deslocação (ou pelo menos parte dela) a pé. Os peões caminham a diferentes velocidades, dependendo da sua idade, da sua mobilidade, e das características do ambiente (por exemplo, inclinações e clima). Calçadas e caminhos podem ser utilizados por mais do que apenas tráfego pedonal - por exemplo, patinadores em linha e pessoas em cadeiras de rodas. Contudo no HCM, os cálculos do nível de serviço refletem a perspectiva das pessoas que fazem um percurso a pé.

Por fim, existe o modo de transporte público que é constituído pelas estradas urbanas partilhadas com autocarros de transporte público e, ocasionalmente, com veículos de transporte

ferroviário, como os elétricos tradicionais ou os elétricos rápidos de superfície (também designados em Portugal por metros ligeiros), que se deslocam sobre carris. No HCM são propostos métodos para avaliar a qualidade do serviço do sistema de transporte público, do ponto de vista do passageiro.

2.3.4 Tipos de Elementos do Sistema Rodoviário

O HCM estabelece uma lista de elementos que compõem um sistema de tráfego, desde os elementos de menor dimensão como os “pontos” até aos zonamentos macroscópicos (TRB e NASEM 2022).

Os pontos de acesso são os locais nas infraestruturas rodoviárias onde:

- As correntes de tráfego opostas se cruzam, fundem ou divergem;
- Existe uma única corrente de tráfego que é regulada por um dispositivo de controlo de tráfego (como o caso dos semáforos, mas não só);
- Ou uma alteração significativa da capacidade do segmento (por exemplo, associada a uma descida, adição de uma via, existência de uma ponte estreita, melhoramento significativo, início ou fim de uma zona de influência de rampa).

Alguns pontos, como por exemplo, o fim dos nós de ligação, podem efetivamente ter um comprimento físico significativo a ser considerado. Para a análise de arruamentos, os pontos são tratados como tendo uma extensão nula e os atrasos nos tempos de viagem ocorrem nele. No caso dos pontos, não existem medidas de desempenho ou capacidade associadas, uma vez que esses parâmetros são calculados ao nível do segmento.

Os segmentos, por sua vez, representam a ligação de dois pontos numa estrada. Geralmente, as características físicas e os volumes de tráfego permanecem consistentes ao longo de um segmento, apesar da existência pequenas variações possíveis (como mudanças nos volumes de tráfego decorrentes de acessos com baixo fluxo).

Os troços são extensões de estradas, ciclovias e passagens para peões compostas por uma série de pontos e segmentos ligados entre si. Os troços podem ou não ser direcionais e são definidas por dois pontos finais. O *HCM* define troços de autoestrada, troços de estradas de duas vias, arruamentos urbanos e vias reservadas a peões e bicicletas.

Os corredores representam um conjunto paralelo de vias de transporte. Por exemplo, um corredor pode englobar uma autoestrada e uma ou mais vias urbanas paralelas. Além disso, serviços de transporte como comboios e autocarros podem operar ao longo desse corredor. Os corredores podem ser separados e paralelos, possuindo inclusive faixas dedicadas para peões e ciclistas.

As redes são constituídas por uma infraestrutura rodoviária específica ou um conjunto de infraestruturas associadas a elas, que podem ser autoestradas, ruas urbanas, ou ambas. O HCM

utiliza a análise de rede para avaliar os efeitos do congestionamento de uma infraestrutura para a outra. As redes são diferentes dos corredores porque permitem a existência de uma conexão direta entre as várias infraestruturas rodoviárias.

As áreas são constituídas por redes interconectadas de infraestruturas rodoviárias, atendendo aos deslocamentos dentro de uma região geográfica específica, assim como entre áreas adjacentes. Normalmente, os seus limites podem ser definidos por importantes vias de transporte, fronteiras políticas ou características topográficas, como cumes ou grandes linhas de água.

Já os sistemas abrangem todos os meios e modos de transporte numa determinada região. Em áreas metropolitanas amplas, os sistemas usualmente possuem diversos corredores que subdividem a região em áreas menores. Cada área engloba várias infraestruturas, compostas por pontos e segmentos. Além disso, os sistemas podem ser subdivididos em subsistemas modais (como o sistema rodoviário e o sistema de transporte público) e em subsistemas que consideram elementos rodoviários específicos, como autoestradas e vias urbanas.

Na Figura 2-2 é possível observar-se um esquema que mostra a definição visual dos conceitos de área, sistema, corredor e rede.

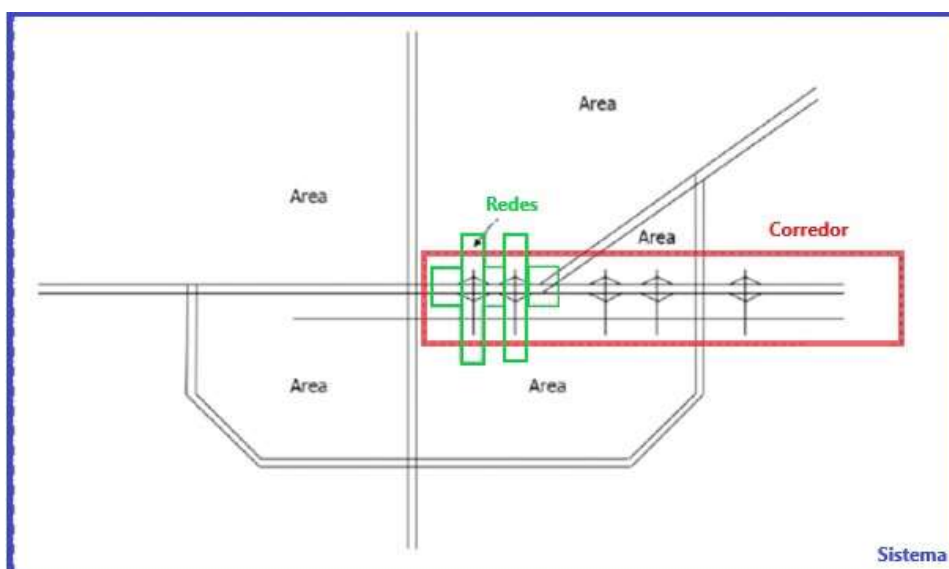


Figura 2-2 – Esquema com as áreas, redes, corredores e sistema (TRB e NASEM 2022)

2.3.5 Condições de Operação do Tráfego

O HCM (TRB e NASEM 2022) classifica as infraestruturas rodoviárias com base nos tipos de fluxo de tráfego a que estão sujeitas:

- Fluxo contínuo;
- Fluxo interrompido.

A principal diferença entre ambos os tipos de infraestrutura está na existência de constrangimentos fixos associadas a atrasos ou interrupções, que sejam externas ao fluxo de tráfego no caso do fluxo interrompido. Por exemplo, a existência de um semáforo ou de uma

portagem. Quando não existem esses constrangimentos, os fluxos movem-se de forma mais ou menos contínua, segundo as teorias físicas dos fluidos. Como exemplos temos as autoestradas, que possuem troços que operam com fluxo contínuo ao longo de distâncias extensas, entre pontos fixos de interrupção. O fluxo de tráfego nas vias de fluxo contínuo resulta da interação entre veículos individuais e as características geométricas da via. O padrão desse fluxo é principalmente influenciado pelas características das atividades urbanas que geram o tráfego nessa infraestrutura. No entanto, as estratégias de gestão e operação das autoestradas, incluindo o controlo dos acessos, faixas auxiliares, existência praças de portagem, variação dos limites de velocidade e sinistralidade rodoviária, também podem afetar o fluxo de tráfego.

No caso do fluxo interrompido existem interrupções e causas específicas para a geração de atrasos na corrente de tráfego. Um exemplo de uma infraestrutura onde ocorre esse tipo de fluxo é um arruamento urbano. Neste caso os padrões de fluxo de tráfego não são apenas influenciados pelas interações entre veículos e características geométricas da via, mas também pelos sistemas de controlo de tráfego existentes nas intersecções e pela frequência dos pontos de acesso à infraestrutura. Um exemplo, disso são os sinais de trânsito, que permitem movimentos específicos somente durante certas partes do ciclo de sinalização (ou seja, em determinados momentos de uma hora). Esse tipo de controlo tem duas implicações significativas sendo elas:

- O tempo torna-se um fator importante que afeta tanto o fluxo quanto a capacidade da via, já que esta não está disponível para uso contínuo.
- O fluxo de tráfego é condicionado pelo tipo de controlo adotado. Por exemplo, semáforos geram grupos de veículos que se movem ao longo da via em conjunto, com intervalos substanciais entre esses grupos. Em contrapartida, intersecções controladas por sinais de STOP e rotundas distribuem os veículos de forma mais aleatória, originando pequenos intervalos no tráfego local.

Cada um desses fluxos pode ser classificado, para um dado período de análise (por exemplo, 15 minutos) como:

- Subsaturado (quando o fluxo de tráfego é inferior à capacidade do segmento);
- Saturado (quando o fluxo de tráfego é superior à capacidade do segmento);

No caso dos fluxos subsaturados não existem filas remanescentes de um incidente e não são afetados pelas condições de saída de tráfego. A velocidade de circulação, em situações ideais (terreno plano, sem acidentes, e com boas condições climáticas), geralmente varia entre 10 e 20% da velocidade de fluxo livre, em infraestruturas com fluxo contínuo, mesmo quando existe um fluxo intenso de veículos (TRB & NASEM, 2022). Já no caso das infraestruturas que possuem fluxo interrompido, as filas de espera ocorrem naturalmente e estão associadas à sinalização existente, as velocidades de circulação sejam de 30 a 65% mais baixas que a velocidade de fluxo livre no caso de fluxos subsaturados (TRB e NASEM 2022).

No caso de fluxos que apresentem saturação, existe a formação de filas de espera decorrentes de acidentes, impactando as condições de tráfego devido às circunstâncias de saída de veículos. No caso dos fluxos contínuos, a formação de filas de espera resulta de situações de estrangulamento de tráfego que originam uma diminuição brusca da velocidade de circulação e por conseguinte influência o débito de tráfego, aumentando a sua densidade até valores limite. Para as situações de fluxo interrompido, a saturação ocorre quando a formação de filas de espera se processa mais rapidamente do que a própria capacidade de escoamento de tráfego. Normalmente, as filas de espera geradas por interseções não semaforizadas dissipam-se mais gradualmente do que no caso das interseções semaforizadas. Em síntese, na Figura 2-3 apresenta-se a divisão da classificação e condições de tráfego que podem existir nas infraestruturas rodoviárias.

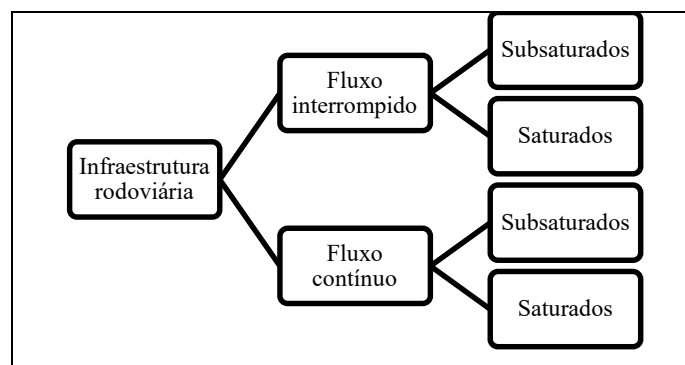


Figura 2-3 - Classificação dos fluxos e condições de tráfego

2.3.6 Estrutura da Sétima Edição do HCM

Na versão mais atual o HCM está dividido em 4 volumes como mostra a Figura 2-4. De entre esses 4 volumes o 1º e 4º apresentam a definição de conceitos importantes para a compreensão do manual e aplicações das metodologias em exemplos base respetivamente.

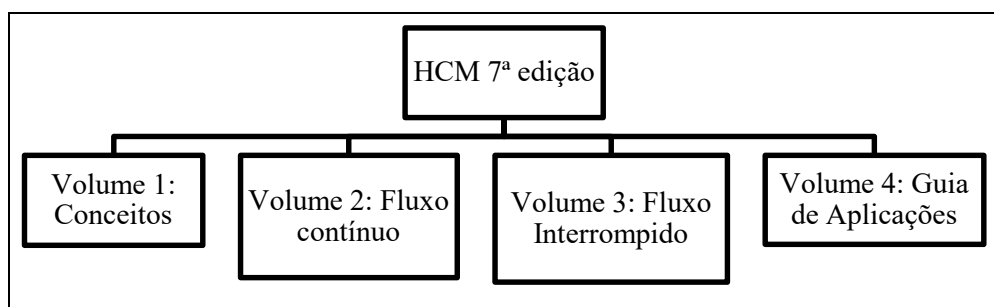


Figura 2-4 - Esquema com a divisão do HCM 7ª Edição

O 1º volume (que se estende desde o capítulo 1 ao 9) apresenta uma indicação do propósito e a estrutura do HCM, ele explora as várias aplicações possíveis, desde a análise de tráfego até as características dos diferentes modos de transporte. Além disso, abrange os conceitos fundamentais de operações de tráfego, capacidade e qualidade de serviço, e oferece orientações para a interpretação de resultados. Nesse volume existe ainda um glossário e símbolos são incluídos para garantir a compreensão dos termos técnicos usados no HCM.

O 2º (capítulos 10 ao 15) e 3º volume (capítulos 16 ao 24) contém os capítulos metodológicos relativos aos elementos do sistema de fluxo contínuo e fluxo interrompido dentro de cada um desses volumes são abordadas as metodologias de análise e cálculo do nível de serviço de cada infraestrutura rodoviária sendo elas:

- Vias rápidas, autoestradas de duas vias, autoestradas de múltiplas vias e todos os seus componentes rodoviários (rampas de acesso e egresso e zonas de entrecruzamento) - ao nível do fluxo contínuo;
- Arruamentos urbanas, rotundas, cruzamentos semaforizados e prioritários, ciclovias de peões e de bicicletas – ao nível do fluxo interrompido;

O 4º volume está disponível online através de site e nele existem alguns capítulos suplementares (capítulo 25 até ao 38) com exemplos que demonstram a aplicação prática das metodologias do HCM, com detalhes computacionalmente mais complexos. Possui algumas correções e esclarecimentos para melhorar a precisão e clareza presentes no manual junto com alguns guias de aplicação que mostram como aplicar as metodologias do HCM em diversas operações e projetos. Por fim, nele existe um fórum de discussão para quem utiliza o HCM poder discutir tópicos com outros utilizadores.

2.4 Definições Fundamentais

Para se conseguir compreender melhor alguns conceitos abordados ao longo das metodologias é necessário ter-se a definição de termos “chave” que são usados dentro das mesmas, para assim se proceder à respetiva análise das infraestruturas. Nesta secção serão definidos conceitos de procura, volume, capacidade, nível de serviço, densidade e velocidade de fluxo livre.

2.4.1 Definição de Procura e Volume

De acordo com o HCM2000 (TRB, 2000), a procura representa a principal medida da quantidade de tráfego para uma dada infraestrutura rodoviária. A procura diz respeito à chegada de veículos, enquanto o volume diz respeito aos veículos que circulam na infraestrutura rodoviária. No caso de não existir fila de espera, a procura é equivalente ao volume de tráfego num determinado ponto da estrada.

2.4.2 Definição de Capacidade

De acordo com Martins (2019) a capacidade (C) representa o valor máximo do fluxo que se pode escoar através duma determinada infraestrutura, de forma repetida, quer esta seja uma via contínua ou um nó, como é o caso dos pontos de estrangulamento. Ou seja, quer se considere uma via contínua, ou uma intersecção, onde os veículos são forçados a certas restrições, a capacidade

dessa infraestrutura corresponde sempre ao fluxo máximo servido, e permitido de repetir, ou seja, que atravessa a mesma.

2.4.3 Definição de Nível de Serviço

O manual HCM 7ª edição (TRB & NASEM, 2022) define o conceito de nível de serviço (NS) (em inglês *Level of Service (LOS)*) como uma estratificação quantitativa de uma medida ou várias medidas de desempenho que têm o objetivo de representar a qualidade do serviço de uma infraestrutura rodoviária para os utilizadores. O HCM define seis níveis de serviço, variando de “A” a “F”, estes encontram-se representados na Figura 2-5. O nível de serviço “A” representa as melhores condições de funcionamento do ponto de vista do utilizar, já o nível de serviço “F” o pior.

Por razões de custo económico, impacto ambiental e outras, as estradas são normalmente concebidas não para proporcionar condições com o NS “A”, durante os períodos de ponta, mas sim para proporcionar um nível inferior que equilibre os desejos dos utentes com os desejos da sociedade e os recursos financeiros disponíveis. No entanto, fora do horário de ponta, uma infraestrutura pode funcionar com o nível de serviço “A”.




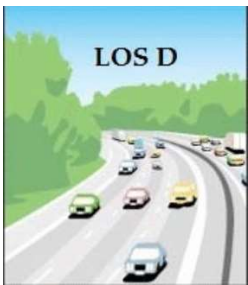
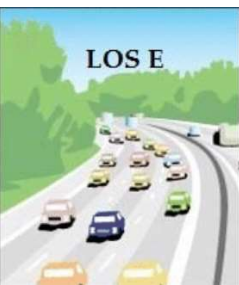
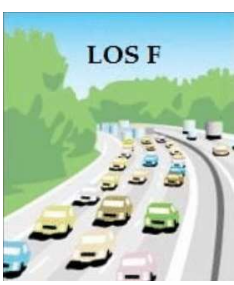
Nível de serviço A	Nível de serviço B	Nível de serviço C
		
Nível de serviço D	Nível de serviço E	Nível de serviço F
		

Figura 2-5 - Representação dos níveis de serviço numa infraestrutura rodoviária (Amanamba, 2016)

2.4.4 Definição de Densidade de Tráfego

A densidade de tráfego equivale ao número de veículos que em dado momento ocupa uma unidade de comprimento (geralmente o quilómetro) de uma via de tráfego. A densidade é um parâmetro muito importante na análise de tráfego, pois faz parte da equação fundamental do tráfego apresentada na expressão (2-1):

$$q = v * k \quad (2-1)$$

Em que:

q - Fluxo de tráfego (veículos/h)

v - Velocidade (km/h ou mi/h)

k - Densidade de tráfego (veículos/h/km ou mi)

Segundo Silva (2007), a densidade é uma grandeza espacial, que traduz o número de veículos presentes numa determinada extensão de via. Para isso considera-se um troço de via de comprimento X limitado pelas seções SS' e S₁S'₁, como esquematizado na Figura 2-6. Contam-se os veículos que atravessam esse troço num determinado instante (t) e a densidade k(t), em veículos/km, é dada pela expressão (2-2):

$$k = \frac{N(t)}{X} \quad (2-2)$$

N - Número de veículos (por unidade de tempo normalmente 15 minutos);

X - Extensão da via (km);

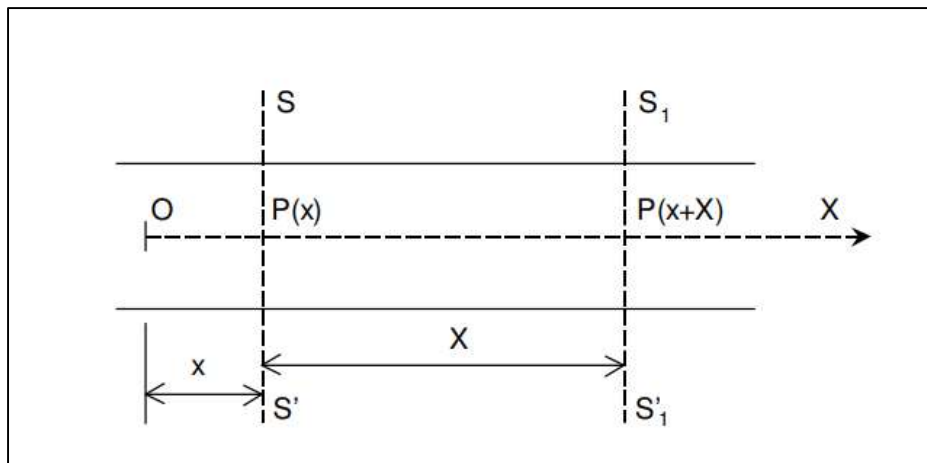


Figura 2-6 - Esquema para obtenção da densidade em um troço (Silva 2007)

2.4.5 Definição de Velocidade de Fluxo Livre

Segundo o HCM2000 (TRB, 2000) a velocidade de fluxo livre corresponde à velocidade média dos veículos numa determinada via, medida sob condições de baixo volume e fluxo livre, quando os utilizadores tendem a mover-se na sua velocidade desejada e não são limitados por atrasos relacionados com o tráfego ou de controle. Para a maioria dos procedimentos que usam a velocidade como medida de eficiência no HCM, a velocidade média de viagem é o parâmetro principal de análise. Para vias com fluxo contínuo que não operam no nível de serviço F, a velocidade média de viagem é igual à velocidade média de operação.

2.4.6 Definição de Tempo De Seguimento Com Atraso

Porcentagem de tempo de seguimento com atraso (PTSF) ou porcentagem de seguidores (PF) corresponde à porcentagem média do tempo total de viagem em que os veículos deve viajar em pelotões atrás dos veículos mais lentos devido à incapacidade de ultrapassagem nas estradas de duas vias. Representa, portanto, uma medida da liberdade de manobra e conveniência de viajar. Como esse é um parâmetro de difícil medição em campo. A porcentagem de tempo gasto a seguir é difícil de medir no terreno. O HCM, no entanto, sugere que essa porcentagem corresponde à porcentagem de veículos que circulam com tempos de espera inferiores a 3 segundos num local representativo seja utilizada como medida de substituição.

2.4.7 Definição de Velocidade Média De Percurso

A velocidade média de viagem (ATS) exprime a mobilidade numa autoestrada de duas vias: é o comprimento do segmento da autoestrada dividido pelo tempo médio de viagem de todos os veículos que atravessam o segmento em ambos os sentidos durante um determinado intervalo.

2.5 Troços Correntes de Autoestradas

Segundo Costa & Macedo (2008) as autoestradas são vias destinadas a oferecer aos utilizadores boas condições de circulação e fluidez no tráfego. Normalmente possuem velocidades na gama dos 90 a 120 km e 2 vias para cada sentido. Essas vias possuem sentidos de tráfego separados fisicamente por um separador central, com pelos menos duas vias em cada sentido e acessos condicionados. As entradas e saídas das autoestradas são feitas pelos ramos/nós de ligação forma permitir o acesso às zonas de convergência e divergência. O fluxo de tráfego em uma autoestrada é determinado pelas interações entre os veículos da corrente de tráfego e os aspetos geométricos da via.

Para se efetuar o estudo da capacidade e níveis de serviço em uma autoestrada, HCM2000 (TRB, 2000) considerada três diferentes seções:

- Troços Correntes: são elementos que não sofrem influência das zonas de divergência ou convergência.
- Zonas de Entrecruzamento: são os segmentos onde existem várias correntes de tráfego que se movem no mesmo sentido se cruzam através de uma sequência de movimentação convergente e divergente.
- Ramos de Ligação: são os elementos onde ocorrem as manobras de convergência ou divergência devido às movimentações de entrada ou saída de veículos. Normalmente, estão associados a vias de aceleração ou desaceleração.

2.5.1 Comparação entre o HCM2000 e o HCM 7ª Edição.

De acordo com HCM2000 (TRB, 2000) a elaboração da metodologia dos troços correntes de autoestrada utilizada foi criada tendo em atenção as condições de base: bom tempo, sem acidentes ou incidentes e boa visibilidade. Caso não se verifique os valores de nível de serviço serão indiretamente afetados, pois esses parâmetros afetam a velocidade de fluxo livre. Com elaboração do HCM 6ª edição, Washburn & Washburn, (2022) analisou a sexta edição e identificaram coeficientes de ajuste associados à capacidade e à velocidade que tem como principal objetivo refletir o efeito da temperatura, condições climáticas e visibilidade sendo eles designados por CAF (*Capacity Adjustment Factor*) e SAF (*Speed Adjustment Factor*). Esses parâmetros não foram alterados segundo HCM 7ª edição (TRB e NASEM 2022).

As condições de base comuns às metodologias do HCM2000 e da 7ª edição são:

- Largura mínima das faixas de rodagem de 3,6 m;
- Fluxo de tráfego composto exclusivamente por veículos de passageiros;
- Uma população de condutores composta principalmente por utilizadores regulares da infraestrutura;
- Terreno nivelado com inclinações até 2%;

Apesar dos avanços com os estudos e desenvolvimento de metodologia mais recente do HCM 7ª edição, existem algumas limitações que se mantêm desde o HCM 2000 tais como:

- Faixas especiais reservadas a um único tipo de veículo, como as faixas para veículos de alta ocupação (*HOV*), faixas para camiões e faixas de subida;
- Troços alargados de pontes e túneis;
- Troços próximos de uma praça de portagem;
- Instalações com velocidades de fluxo livre inferiores a 90 km/h ou superiores a 120 km/h;
- A influência de bloqueios a jusante ou de filas de espera num troço;
- Efeitos de aumento de capacidade da medição de rampas.

Ao fazer-se a comparação das duas versões do HCM, é possível constatar que, os valores referências usados para limitar os níveis de serviço dos troços correntes (densidade de tráfego), manteve-se inalterado com os valores apresentados na Tabela 2-2.

Tabela 2-2 - Nível de serviço para troços correntes da AE (adaptado de HCM 7ª Edição)

Nível de Serviço	Concentração (uvl/km/via)
A	0 - 7
B	> 7 - 11
C	> 11 - 16

D	> 16 - 22
E	> 22 - 28
F	> 28

Por conseguinte, a expressão (2-3) permite o cálculo da densidade que permite identificar os limites do nível de serviço, mantém se inalterada da edição de 2000 para a 7ª.

$$D = \frac{v_p}{S} \quad (2-3)$$

Em que:

D - Densidade de tráfego (uve/km/via);

S - Velocidade média de tráfego em condições base (km/h);

v_p - Débito de tráfego por cada via de tráfego em condições de base (uvl/h/via);

O débito de tráfego (v_p) reflete a variação temporal do fluxo de tráfego ao longo uma hora e é expresso em unidade de veículo ligeiro por hora por via (uvl/h/via). Este débito deve refletir a influência dos veículos pesados através do uso de um fator de ajustamento (f_{hv}), do número de vias (N) no volume de horário (V). O cálculo do débito de tráfego sofreu uma ligeira mudança do manual de 2000 para atual edição, essa expressão englobava um parâmetro associado ao tipo de condutores (f_p) na edição atual já não é contemplado na expressão do cálculo, como é possível observar-se na Tabela 2-3.

Tabela 2-3 - Tabela comparativa das expressões de cálculo do débito de tráfego (v_p)

Parâmetro	HCM 2000	HCM 7ª Edição
Débito de tráfego por via de tráfego (v_p)	$v_p = \frac{V}{PHF * N * f_p * f_{HV}}$	$v_p = \frac{V}{PHF * N * f_{HV}}$

O fator hora de hora (PHF) é um parâmetro adimensional que tem a função de expressar a variação do fluxo de tráfego dentro de uma hora específica (hora de ponta). Com a observação das correntes de tráfego, constatou-se que os fluxos encontrados no período de ponta de 15 minutos dentro de uma hora não são constantes. A gama de valores para o fator de hora de ponta nas duas edições do HCM em estudo encontram-se na Tabela 2-4.

Tabela 2-4 - Limites do fator de hora de ponta (PHF) nas duas edições do HCM

Parâmetro	HCM 2000	HCM 7ª Edição
Fator de hora de ponta (PHF)	Varia de 0,80 até 0,95	Varia de 0,85 até 0,98

Nas duas versões do HCM, os fatores de hora de ponta podem assumir valores mais baixos para autoestradas fora da hora de ponta e valores mais elevados no meio urbano ou suburbano.

O fator de ajustamento de veículos pesados (f_{HV}) é um fator adimensional que exprime o efeito de veículos pesados na corrente de tráfego. Para o seu cálculo a obtenção do fator, segundo o HCM2000, é necessário conhecer-se as percentagens de veículos pesados e recreativos (P_T e P_R), bem como os seus fatores de equivalência (E_T e E_R , respetivamente). No entanto a partir da 6ª edição, Washburn & Washburn (2022) constaram que os veículos pesados passaram a ser divididos em dois grandes grupos (“*Single Unit Trucks*” (SUTs) (veículos únicos) e “*tractor-trailers*” (TTs) (semirreboques). Os veículos recreativos passaram a fazer parte desse primeiro grupo e por isso, apenas se considerou um fator geral para os veículos pesados. Por conseguinte, na 7ª edição manteve-se a ideia da edição anterior. Na Tabela 2-5 é possível ver a comparação das expressões de cálculo do fator de ajustamento de veículos pesados.

Tabela 2-5 - Comparação das expressões do fator de ajustamento e equivalência dos veículos pesados

Parâmetro	HCM 2000	HCM 7ª Edição
Fator de ajustamento dos veículos pesados (f_{HV})	$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T * (E_T - 1) + P_R * (E_R - 1)}$	$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T * (E_T - 1)}$
Fator de equivalência de veículos pesados (E_T)	O parâmetro permite exprimir o número veículos pesados na corrente de tráfego (camiões e autocarros) em veículos ligeiros, sendo função do tipo de terreno.	A partir da 6ª edição, apenas existe este parâmetro que exprime o número geral de veículos pesados em veículos ligeiros
Fator de equivalência de veículos recreativos (E_R)	O parâmetro permite exprimir o número veículos recreativos na corrente de tráfego (camiões e autocarros) em veículos ligeiros, sendo função do tipo de terreno.	Não contemplado

No caso fator de equivalência de veículos pesados (E_T) é um parâmetro que é função direta do tipo de terreno e da sua inclinação. Ambos os manuais definem dois tipos de terreno para o fator de equivalência como mostrado na Tabela 2-6, sendo eles:

- Plano - terrenos que possuam trainéis de até 2% de inclinação longitudinal ou terrenos que permitam que os veículos pesados mantenham a velocidade que os veículos ligeiros de passageiros;
- Terreno Ondulado - terrenos que possuam trainéis superiores a 2% ou que faça os veículos pesados serem obrigados a reduzir a sua velocidade face aos ligeiros;

No caso do HCM2000, este ainda considera outro tipo de terreno designado de montanhoso, que é considerado para inclinações na gama dos 3% e para extensões curtas de 500 metros.

Tabela 2-6 - Comparação dos fatores de equivalência para veículos pesados

HCM2000				HCM 7ª Edição		
Parâmetro	Tipos de terrenos			Parâmetro	Tipo de Terreno	
	Plano	Ondulado	Montanhoso		Plano	Ondulado
E_T	1,5	2,5	4,5	E_T	2,0	3,0
E_R	1,2	2,0	4,0			

Na autoestrada, a velocidade em regime livre (FFS) é a média de velocidade dos veículos ligeiros de passageiros quando o fluxo de tráfego é baixo e moderado (menos de 1300 veículos ligeiros por hora por via). O HCM define dois métodos para determinar a essa velocidade:

- O primeiro método, preferencialmente utilizado, consiste na medição efetuada localmente, utilizando um procedimento semelhante ao usado em estradas de múltiplas vias, com a constituição de uma amostra com pelo menos 100 velocidades de veículos selecionados, para um dado período temporal e estabelecer uma média;
- O segundo método consiste numa estimativa da velocidade através da utilização de parâmetros geométricos e físicos da infraestrutura rodoviária;

Para se estimar o valor da velocidade em regime livre, de acordo com o segundo método, as duas edições do HCM utilizam os seguintes parâmetros geométricos e físicos da autoestrada:

- Número de vias de trânsito no sentido em estudo (influência o fator de redução associado ao número de vias (f_N));
- Largura da berma direita (influência os fatores de redução associado à berma direita (f_{LC} e f_{RLC}));
- Largura da via (influência o fator de redução associado à largura da via (f_{LW}));
- Velocidade em regime livre base (km/h) (110 km/h em meio urbano e 120 km/h em meio rural) (BFFS);
- Número de rampas por extensão (TRD e influência o fator de redução associado ao número de acessos/rampas (f_{ID}));

A comparação nas expressões de cálculo para estimativa da velocidade em regime livre, apresenta-se na Tabela 2-7. Um aspeto importante a ter em conta é a questão relativa às unidades de cada expressão, sendo a edição de 2000 em km/h e a 7ª edição em milhas/h. Para se poder comparar ambas as velocidades é preciso que ambos os valores estejam no mesmo sistema de unidades (neste caso o métrico (km/h)). Visando isso, a 7ª edição assim como as suas anteriores

possui uns fatores de conversão para converter a unidades imperiais em métricas. Neste caso, basta multiplicar-se o valor de FFS por 1,61 para se fazer a respetiva conversão.

Tabela 2-7 - Comparação das expressões de cálculo do FFS nas duas versões do HCM

Parâmetro	HCM 2000	HCM 7ª Edição
Velocidade em regime livre (FFS)	$FFS = BFFS - f_{IW} - f_{LC} - f_N - f_{ID}$	$FFS = BFFS - f_{lw} - f_{RLC} - 3.22 * TRD^{0.84}$

O valor da velocidade em regime livre base (BFFS) reflete o valor da velocidade em regime livre para as condições base na autoestrada. Por defeito e dificuldade de estimar o valor, pode-se considerar igual ao limite de velocidade associada à infraestruturura rodoviária. No HCM2000, existem dois valores característicos (110 km/h em meio urbano e 120 km/h em meio rural), no entanto a edição atual estabelece os limites de velocidade para 55 milhas (80 km/h) e 75 milhas (120 km/h).

O efeito das rampas e pontos de acesso na edição do HCM2000 era expressa em função do fator de redução associado aos pontos de acesso (f_{ID}) apresentados na .

Tabela 2-8.

Tabela 2-8 - Ajustamento (f_{ID}) devido à densidade de nós de ligação (adaptado do HCM2000)

Densidade de nós de ligação por km	Redução na FFS, f_{ID} (km/h)
≤ 0,3	0,0
0,4	1,1
0,5	2,1
0,6	3,9
0,7	5,0
0,8	6,0
0,9	8,1
1,0	9,2
1,1	10,2
1,2	12,1

O parâmetro de redução associado à largura da via apresenta pouca diferença de uma edição para outra como é apresentado na Tabela 2-9,

Tabela 2-9 - Comparação das dos fatores de redução relativo à largura da via nas versões do HCM

Largura da via (m)	Fator de redução associado à largura da via (f_{lw})	
	HCM2000 (km/h)	HCM 7ª Edição (km/h)
3,6	0,0	0,0

3,5	1,0	3,1
3,4	2,1	3,1
3,3	3,1	10,6
3,2	5,6	10,6
3,1	8,1	10,6
3,0	10,6	10,6

O parâmetro de redução associado à desobstrução lateral da berma direita também apresenta poucas diferenças de uma edição para outra como é apresentado na Tabela 2-10 (os valores entre parêntesis são os que sofreram alteração na 7ª edição).

Tabela 2-10 - Comparação dos fatores associado à largura da berma direita nas duas versões do HCM

Desobstrução Lateral da Berma direita (m)	Redução da Velocidade em Regime Livre (f_{LC} ou f_{RLC}) (km/h)			
	Vias num sentido			
	2	3	4	≥ 5
≥ 1,8	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	1,0	0,7 (0,6)	0,3	0,2
1,2	1,9	1,3	0,7 (0,6)	0,4 (0,3)
0,9	2,9	1,9	1,0	0,6 (0,5)
0,6	3,9	2,6	1,3	0,8 (0,6)
0,3	4,8	3,2	1,6	1,1 (0,8)
0,0	5,8	3,9	1,9	1,3 (1,0)

Outro aspeto importante que deixou de ter sido em conta na edição mais atual, foi a redução da velocidade associada ao número de vias (f_N) esses valores encontram-se na Tabela 2-11.

Tabela 2-11 - Ajustamento (f_N) devido ao número de vias (autoestradas urbanas) (adaptado do HCM2000)

Número de vias (Num sentido)	Redução na FFS, f_N (km/h)
≥ 5	0,0
4	2,4
3	4,8
2	7,3

Outra diferença entre as versões, está na necessidade do ajuste da velocidade em regime livre (FFSadj), para isso foi introduzido, a partir da 6ª edição e mantido na atual, o parâmetro de

ajuste da velocidade (SAF) que pretende mostrar o efeito, por exemplo, das condições climatéricas (parâmetro escolhido para a análise deste trabalho), das condições de pavimento entre outros. A velocidade em regime livre ajustada é dada pela expressão (2-4):

$$FFS_{adj} = FFS * SAF \quad (2-4)$$

Onde:

FFS_{adj} - Velocidade em regime livre ajustada (km/h);

FFS - Velocidade em regime livre estimada (km/h);

SAF - Fator de ajustamento da velocidade (decimal);

O parâmetro SAF (presente na Tabela 2-12) associado às condições climáticas varia de entre 0,80 e 1. No caso de ser igual a 1 a autoestrada encontra-se nas condições de base. Os outros valores foram obtidos de forma empírica através da observação e estudo das condições de tráfego.

Tabela 2-12 - Fator de Ajustamento da Velocidade (SAF) para a meteorologia (adaptado de HCM 7ª Edição)

Tipo de clima	Condições do evento meteorológico	Fator de Ajustamento da Velocidade (SAF)				
		88,55 km/h	96,6 km/h	104,65 km/h	112,7 km/h	120,75 km/h
Precipitação média	>2,54-6,35 mm/h	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93
Elevada precipitação	>6,35 mm/h	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91
Pouca neve	>0-1,27 mm/h	0,94	0,92	0,89	0,87	0,84
Neve ligeira	>1,27-2,54 mm/h	0,92	0,9	0,88	0,86	0,83
Muita neve	>2,54-12,7 mm/h	0,9	0,88	0,86	0,84	0,82
Nevão	>12,7 mm/h	0,88	0,86	0,85	0,83	0,81
Frio severo	<-20 °C	0,95	0,95	0,94	0,93	0,92
Pouca visibilidade	805-1540 m	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93
Muito pouca visibilidade	403-789 m	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
Visibilidade mínima	<403 m	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
Situação de base	Nenhuma das anteriores	1	1	1	1	1

A capacidade de cada via depende de fatores como a visibilidade, fatores climatéricos, a existência de incidentes, entre outros. Na edição de 2000, o valor da capacidade máxima era fixo e limitado a 2400 uvl/h/via como mostra a Tabela 2-13. Atualmente é possível estimar-se a capacidade da via uma vez que é função direta da velocidade de fluxo livre, no entanto o valor máximo continua fixo nos 2400 uvl/h/via.

Tabela 2-13 - Comparação das expressões de cálculo do FFS nas duas versões do HCM

Parâmetro	HCM 2000	HCM 7ª Edição
Capacidade (uvl/h/via)	Limita máximo de 2400 uvl/h/via	$c = 2200 + 10 * (FSS - 50)$

Capacidade ajustada (uvl/h/via)	Não é contemplado	$c_{adj} = c * CAF$
------------------------------------	-------------------	---------------------

A 7ª Edição apresenta, paralelamente ao parâmetro SAF, o fator de ajustamento da capacidade (CAF) (presente na Tabela 2-14) associado às condições climáticas varia de entre 0,72 e 1. No caso de ser igual a 1 a autoestrada encontra-se nas condições de base. Os outros valores foram obtidos de forma empírica através da observação e estudo das condições de tráfego.

Tabela 2-14 - Fator de Ajustamento da Capacidade (CAF) (adaptado de HCM 7ª Edição)

Tipo de clima	Condições do evento meteorológico	Coeficiente de Ajustamento da Capacidade (CAF)				
		88,55 km/h	96,6 km/h	104,65 km/h	112,7 km/h	120,75 km/h
Precipitação média	>2,54-6,35 mm/h	0,94	0,93	0,92	0,91	0,9
Elevada precipitação	>6,35 mm/h	0,89	0,88	0,86	0,84	0,82
Pouca neve	>0-1,27 mm/h	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95
Neve ligeira	>1,27-2,54 mm/h	0,95	0,94	0,92	0,9	0,88
Muita neve	>2,54-12,7 mm/h	0,93	0,91	0,9	0,88	0,87
Nevão	>12,7 mm/h	0,8	0,78	0,76	0,74	0,72
Frio severo	<-20 °C	0,93	0,92	0,92	0,91	0,9
Pouca visibilidade	805-1540 m	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Muito pouca visibilidade	403-789 m	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
Visibilidade mínima	<403 m	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Situação de base	Nenhuma das anteriores	1	1	1	1	1

A velocidade média de tráfego (S) é um parâmetro muito importante para a obtenção do nível de serviço uma vez que, através do seu quociente com o débito de tráfego é possível calcular-se a densidade de tráfego. Esse parâmetro representa uma medida do fluxo de tráfego baseada no tempo de percurso observado numa numa extensão conhecida de autoestrada. Resulta do comprimento do troço dividido pelo tempo médio de deslocação dos veículos que o atravessam, incluindo todos os seus tempos de paragem. Na Tabela 2-15, é possível observar-se expressões de cálculo da velocidade média e condições de aplicabilidade utilizados pelo HCM2000.

Tabela 2-15 - Expressões de cálculo da velocidade média de tráfego no HCM2000

Expressões	Condições de aplicabilidades
$S = FFS - \left[\frac{1}{28} * (23 * FFS - 1800) * \left(\frac{v_p + 15 * FFS - 3100}{20 * FFS - 1300} \right)^{2,6} \right]$	Se $90 \leq FFS \leq 120$ e $(3100 - 15 * FFS) <$ $v_p \leq 1800 + 5 * FFS$

$S = FFS$	Se $90 \leq FFS \leq 120$ e $v_p \leq (3100 - 15 * FFS)$
-----------	-------------------------------------------------------------

Relativamente à 7 edição, as expressões de cálculo da velocidade média de percurso e as suas condições de aplicabilidade são apresentadas na Tabela 2-16. Na segunda expressão existe a necessidade de se utilizar obrigatoriamente os parâmetros em unidades do sistema imperial e converter-se posteriormente o resultado para sistema métrico. Isso acontece, pois, a expressão é não linear e não é possível determinar um coeficiente que permita ajustar a expressão internamente. Nesse caso, a expressão engloba alguns parâmetros não mencionados anteriormente, sendo eles:

- BP_{adj} - Ponto de quebra ajustado (uvl/h/via);
- BP - Ponto de quebra (uvl/h/via);
- a - Parâmetro de calibração (igual a 2,0);
- D_c - Densidade na capacidade máxima (igual a 45 uvl/mi/via);

Tabela 2-16 - Expressões de cálculo da velocidade média de tráfego no HCM 7ª Edição

Expressões	Condições de aplicabilidades
$S = FFS_{adj}$	Se $v_p \leq BP_{adj}$
$S = FFS_{adj} - \frac{(FFS_{adj} - \frac{c_{adj}}{D_c}) * (v_p - BP_{adj})^a}{(c_{adj} - BP_{adj})^a}$	Se $BP_{adj} < v_p \leq c$

Na Figura 2-7 encontra-se a relação entre a velocidade de fluxo livre em função do débito por via, é de observar que o gráfico se mantém constante para um dado débito de tráfego, até que num dado ponto *breakpoint* (BP) acontece um decaimento na velocidade média.

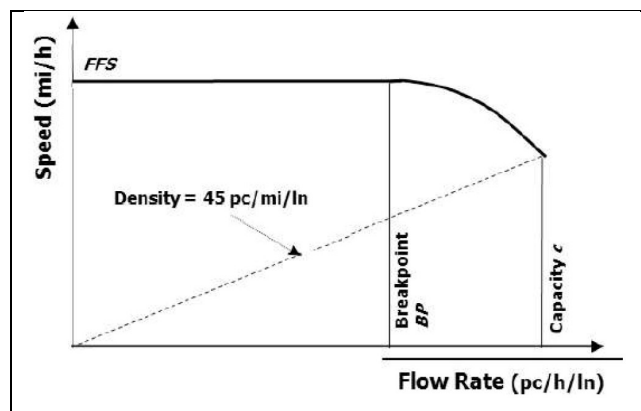


Figura 2-7 - Velocidade de fluxo livre em função do debito do por via (HCM 7ª Edição)

A edição atual permite calcular o débito de tráfego para o qual ocorre esse ponto de quebra (uvl/h/via), através da expressão (2-5).

$$BP = [1000 + 40 * (75 - FFS)] * CAF^2 \quad (2-5)$$

Onde:

BP - Ponto de quebra (uvl/h/via);

FFS - Velocidade em regime livre estimada (mi/h);

CAF - Fator de ajustamento da capacidade (decimal) (igual a 1 para condições de base);

Por conseguinte, esse ponto de quebra está sujeito a ser calibrado uma vez que depende da velocidade de fluxo livre e a mesma está dependente dos fatores de calibração (SAF e CAF). Esse ponto de quebra ajustado (BP_{adj}) será usado para definir o valor da velocidade média de tráfego e é obtido através da expressão (2-6)

$$BP_{adj} = [1000 + 40 * (75 - FFS_{adj})] * (CAF)^2 \quad (2-6)$$

Onde:

BP_{adj} - Ponto de quebra ajustado (uvl/h/via);

FFS_{adj} - Velocidade em regime livre ajustada (mi/h);

CAF - Fator de ajustamento da capacidade (decimal);

2.6 Estradas de duas vias

Uma estrada de duas vias (Figura 2-8) é uma estrada constituída por duas vias de tráfego, uma para cada sentido, em que não existe qualquer separação física entre elas.” (Costa e Macedo 2008). Nela, é possível ocorrer a manobra de ultrapassagem que é uma manobra importante, especialmente quando se precisa ultrapassar veículos mais lentos, o que requer o uso da faixa oposta com segurança, respeitando os intervalos entre os veículos e a visibilidade.

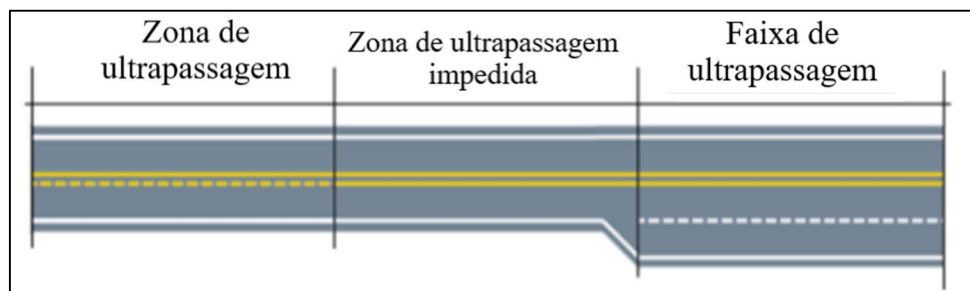


Figura 2-8 - Composição de uma estrada de duas vias (adaptado de Sasahara & McTrans, 2021)

À medida que o tráfego aumenta, a possibilidade de ultrapassagem diminui, e isso provoca atrasos. Neste caso, o escoamento do tráfego em uma direção condiciona o da direção oposta, nas zonas de ultrapassagem. Essas estradas classificam-se como:

- Classe I - De acordo com Costa & Macedo (2008) permitem utilizadores circular a velocidades mais elevadas, facilitando a mobilidade.
- Classe II - Costa & Macedo (2008) indicam que o foco destas estradas é a acessibilidade. Nelas atingir alta velocidade não é o aspeto principal, sendo, esse o tempo de atraso, que é usado como parâmetro de avaliação da qualidade do serviço.

Segundo o HCM2000, a capacidade desse tipo de estradas é de 1700 veic/h em cada sentido de tráfego. Essa capacidade é quase independente da distribuição direcional do tráfego na estrada, mas para troços de elevada extensão, a capacidade não deva exceder 3200 veic/h para ambos os sentidos de tráfego. Já para troços curtos, como túneis ou pontes, é possível atingir uma capacidade combinada de 3200 a 3400 veic/h para ambos os sentidos de tráfego. A classificação está relacionada com a hierarquia viária, onde as principais vias distribuidoras são Classe I e as locais são Classe II.

Com a análise do HCM 7ª edição feita por Aghdashi & Sasahara (2022) a divisão de estradas em classes deixou de existir, então passou-se a avaliar a percentagem de utilizadores por quilómetro por via e classificou-se as estradas em função do limite de velocidade da mesma, de forma a otimizar a análise da infraestrutura.

2.6.1 Comparação entre o HCM2000 e o HCM 7ª Edição

As metodologias do HCM2000 e 7ª Edição são bastante distintas e possuem abordagem e parâmetros muito distintos. Logo, neste capítulo as duas metodologias não poderão ser apresentadas a ‘par e passo’ e terão que ser abordadas separadamente.

2.6.1.1 Metodologia do HCM2000

Apresenta-se a metodologia proposta no HCM2000 (TRB, 2000). Na Tabela 2-17 são apresentados os valores das diferentes variáveis que caracterizam os níveis de serviço para as estradas de Classes I.:

Tabela 2-17 - Nível de Serviço para estradas de 2 vias da Classe I (adaptado de HCM2000)

Nível de Serviço	Tempo de percurso com atraso (%)	Velocidade Média de Percurso (km/h)
A	≤35	>90
B	>35-50	>80-90
C	>50-65	>70-80
D	>65-80	>60-70
E	>80	≤60
F	Aplica-se quando o tráfego excede a capacidade da via	

Já os níveis de serviço para as estradas de classe II são apresentados na Tabela 2-18, sendo o tempo a percentagem de tempo de seguimento com atraso como o critério principal.

Tabela 2-18 - Nível de Serviço para estradas de 2 vias da Classe II (adaptado de HCM2000)

Nível de Serviço	Tempo de seguimento com atraso (%)
A	≤ 40
B	> 40 - 55
C	> 55 - 70
D	> 70 - 85
E	> 85

Segundo o HCM2000, existem duas maneiras distintas de definir o nível de serviço em estradas de duas vias, as quais dependem do tipo de terreno e da presença de troços inclinados, que devido ao declive e extensão exigem uma análise isolada.

Assim, as seguintes situações são consideradas:

- Terreno plano: se os veículos pesados circularem a uma velocidade aproximadamente idêntica à dos veículos ligeiros. Pode incluir troços íngremes de curta extensão, desde que o declive não exceda os 2%.
- Terreno ondulado: se o traçado da estrada obrigar os veículos pesados a circular a uma velocidade significativamente inferior à dos veículos ligeiros, sem que atinjam a chamada "velocidade lenta" por um período significativo ou em intervalos frequentes. Geralmente, inclui troços íngremes de curta ou média extensão com declive inferior a 4%.

Para avaliar o nível de serviço em estradas de duas vias, é necessário ter conhecimento prévio da velocidade em regime livre. Essa velocidade corresponde à velocidade média dos veículos que circulam na estrada em estudo. Se o tráfego total nas duas vias for de até 200 veículos por hora, essa velocidade pode ser diretamente medida no local. Caso o tráfego seja superior a 200 veículos por hora, é necessário fazer uma correção. Se não for possível realizar medições, é necessário usar um modelo que permita estimar o valor da velocidade. Ou seja, pode-se obter a velocidade em regime livre:

- Por medição no local;
- Ou através de uma estimativa;

No caso da medição no local é necessário selecionar-se uma amostra com um tamanho mínimo de 100 veículos, por exemplo, selecionando os veículos com ordem múltipla de dez. Se o tráfego for baixo (até 200 veículos por hora), a velocidade média medida será a velocidade em regime livre.

No entanto, se o estudo de velocidades for realizado para um tráfego de veículos superior a 200 veículos por hora no total dos dois sentidos, a velocidade em regime livre pode ser obtida usando a relação apresentada na Figura 2-9 e registrando simultaneamente os débitos de tráfego.

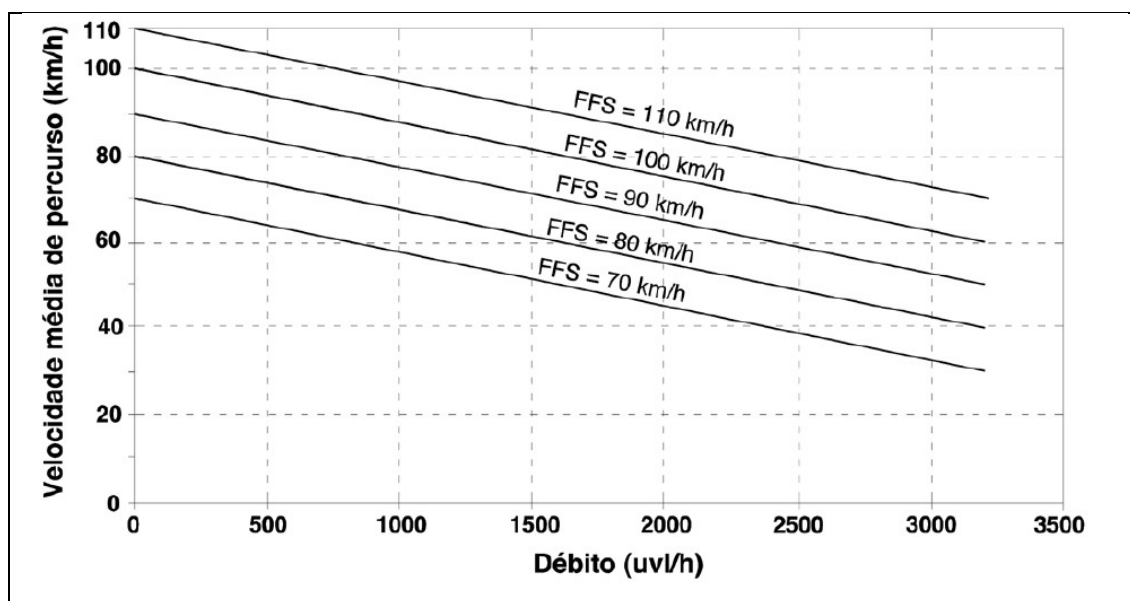


Figura 2-9 - Velocidade média de percurso vs Débito nos 2 sentidos (Costa & Macedo, 2008)

A velocidade em regime livre pode ser calculada com base nos dados coletados no local usando a expressão (2-7):

$$FFS = SFM + 0,0125 * \frac{V_f}{f_{HV}} \quad (2-7)$$

Em que:

FFS — Velocidade em regime livre (km/h);

SFM — Velocidade média do tráfego, medida no local (km/h);

V_f — Débito para o período em que se realizaram as medições de velocidade (veh/h);

f_{HV} — Fator de ajustamento relativo aos veículos pesados pela expressão (2-13);

Caso as medições de campo não sejam criteriosas, existe a possibilidade de utilizar valores de outra estrada com características semelhantes como substitutos. A estrada substituta tem de ser semelhante à estrada em estudo ao nível da largura das vias e bermas e à densidade de pontos de acesso.

Embora seja sempre preferível medir diretamente a velocidade em regime livre no local, na maioria dos casos isso pode não ser possível, sendo então necessário recorrer-se a uma estimativa desse valor. Sendo essa calculada a partir da velocidade em regime livre base, à qual são aplicadas correções que levam em conta as características geométricas da estrada em estudo, conforme mostrado na expressão (2-8). A velocidade em regime livre base pode ser a velocidade em regime livre de estradas que tenham requisitos de condições geométricas semelhantes, ou, alternativamente, pode-se usar a velocidade base ou a velocidade limite legal da estrada.

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \quad (2-8)$$

Em que:

FFS — Velocidade em regime livre (km/h)

BFFS — Velocidade em regime livre base (km/h)

f_{LS} — fator de ajustamento devido à largura das vias e das bermas;

f_A — fator de ajustamento devido aos pontos de acesso;

O fator de ajustamento devido à largura é obtido pela Tabela 2-19 e é função da largura das vias e da berma.

Tabela 2-19 - Ajustamento (f_{LS}) devido à largura das vias e à largura das bermas (Costa & Macedo, 2008)

Largura da via (m)	Redução na FFS (km/h)			
	Largura da berma (m)			
	$\geq 0,0 < 0,6$	$\geq 0,6 < 1,2$	$\geq 1,2 < 1,8$	$\geq 1,8$
$2,7 < 3,0$	10,3	7,7	5,6	3,5
$\geq 3,0 < 3,3$	8,5	5,9	3,8	1,7
$\geq 3,3 < 3,6$	7,5	4,9	2,8	0,7
$\geq 3,6$	6,8	4,2	2,1	0,0

Já o fator de ajustamento devido aos pontos de acesso é obtido pela Tabela 2-20, tendo em conta o número de acessos por quilómetro.

Tabela 2-20 - Ajustamento (f_A) devido à densidade de pontos de acesso (Costa & Macedo, 2008)

Pontos de Acesso por km	Redução na FFS (km/h)
0	0
6	4
12	8
18	12
≥ 24	16

Para a análise em um sentido, a velocidade média de percurso é obtida pela expressão (2-9).

$$ATS_d = FFS_d - 0,0125 * (v_d + v_o) - f_{np} \quad (2-9)$$

Em que:

ATS_d — Velocidade média de percurso (km/h) para o sentido em análise;

FFS_d — Velocidade de fluxo livre (km/h) para o sentido em análise;

v_d — Débito de tráfego para o período de ponta de 15 minutos no sentido em análise (uvl/h);

v_o — Débito de tráfego para o período de ponta de 15 minutos no sentido oposto (uvl/h);

f_{np} — Factor de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem;

O fator de ajustamento devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem é obtido pela Tabela 2-21.

Tabela 2-21 - Fator de ajustamento para a velocidade média de percurso (adaptado do HCM 2000)

Débito de tráfego no sentido contrário, vo (veículos/h)	Zonas de não ultrapassagem (%)				
	≤ 20	40	60	80	100
FFS = 110 km/h					
≤ 100	1,7	3,5	4,5	4,8	5,0
200	3,5	5,3	6,2	6,5	6,8
400	2,6	3,7	4,4	4,5	4,7
600	2,2	2,4	2,8	3,1	3,3
800	1,1	1,6	2,0	2,2	2,4
1000	1,0	1,3	1,7	1,8	1,9
1200	0,9	1,3	1,5	1,6	1,7
1400	0,9	1,2	1,4	1,4	1,5
≥ 1600	0,9	1,1	1,2	1,2	1,3
FFS = 100 km/h					
≤ 100	1,2	2,7	4,0	4,5	4,7
200	3,0	4,6	5,9	6,4	6,7
400	2,3	3,3	4,1	4,4	4,6
600	1,8	2,1	2,6	3,0	3,2
800	0,9	1,4	1,8	2,1	2,3
1000	0,9	1,1	1,5	1,7	1,9
1200	0,8	1,1	1,4	1,5	1,7
1400	0,8	1,0	1,3	1,3	1,4
≥ 1600	0,8	1,0	1,1	1,1	1,2
FFS = 90 km/h					
≤ 100	0,8	1,9	3,6	4,2	4,4
200	2,4	3,9	5,6	6,3	6,6
400	2,1	3,0	3,8	4,3	4,5
600	1,4	1,8	2,5	2,9	3,1
800	0,8	1,1	1,7	2,0	2,2
1000	0,8	0,9	1,3	1,5	1,8
1200	0,8	0,9	1,2	1,4	1,6
1400	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4
≥ 1600	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1
FFS = 80 km/h					
≤ 100	0,3	1,1	3,1	3,9	4,1
200	1,9	3,2	5,3	6,2	6,5
400	1,8	2,6	3,5	4,2	4,4
600	1,0	1,5	2,3	2,8	3,0
800	0,6	0,9	1,5	1,9	2,1
1000	0,6	0,7	1,1	1,4	1,8
1200	0,6	0,7	1,1	1,3	1,6
1400	0,6	0,7	1,0	1,1	1,3
≥ 1600	0,6	0,7	0,8	0,8	1,0
FFS = 70 km/h					
≤ 100	0,1	0,6	2,7	3,6	3,8

200	1,5	2,6	5,0	6,1	6,4
400	1,5	0,8	3,2	4,1	4,3
600	0,7	0,5	2,1	2,7	2,9
800	0,5	0,5	1,3	1,8	2,0
1000	0,5	0,5	1,0	1,3	1,8
1200	0,5	0,5	1,0	1,2	1,6
1400	0,5	0,5	1,0	1,0	1,2
≥ 1600	0,5	0,5	0,7	0,7	0,9

A percentagem de tempo de percurso com atraso é obtida a partir da expressão (2-10).

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np} \quad (2-10)$$

Em que:

$PTSF_d$ – Percentagem do tempo de percurso com atraso, para o sentido em análise;

$BPTSF_d$ – Percentagem base do tempo de percurso com atraso para o sentido em análise, obtido pela expressão (2-11);

f_{np} – Fator de ajustamento do tempo de percurso com atraso devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem;

A expressão que permite calcular a percentagem base do tempo de percurso com atraso é a (2-11).

$$BPTSF_d = 100 * (1 - e^{a*v_d^b}) \quad (2-11)$$

Em que:

$BPTSF_d$ – Percentagem base do tempo de percurso com atraso para o sentido em análise;

v_d - Débito para o período de ponta de 15 minutos para o sentido em análise (uvl/h);

a – Coeficiente adimensional;

b – Coeficiente adimensional;

Os coeficientes “a” e “b” da expressão (2-11) são determinados a partir do débito de tráfego no sentido oposto ao de análise como é mostrada na Tabela 2-22.

Tabela 2-22 - Coeficientes “a” e “b” do tempo base de percurso com atraso (adaptado do HCM2000)

Débito de tráfego no sentido contrário, v_o (veículos/h)	a	b
≤ 200	-0,013	0,668
400	-0,057	0,479
600	-0,100	0,413
800	-0,173	0,349
1000	-0,320	0,276
1200	-0,430	0,242
1400	-0,522	0,225
≥ 1600	-0,665	0,199

O fator de ajustamento do tempo de percurso com atraso devido à percentagem de zonas de não ultrapassagem (f_{np}) é obtido a partir da Tabela 2-23.

Tabela 2-23 - Fator de ajustamento do tempo de percurso com atraso (f_{np}) (adaptado do HCM2000)

Débito de tráfego no sentido contrário, vo (veículos/h)	Zonas de não ultrapassagem (%)				
	≤ 20	40	60	80	100
	FFS = 110 km/h				
≤ 100	10,1	17,2	20,2	21,0	21,8
200	12,4	19,0	22,7	23,8	24,8
400	9,0	12,3	14,1	14,4	15,4
600	5,3	7,7	9,2	9,7	10,4
800	3,0	4,6	5,7	6,2	6,7
1000	1,8	2,9	3,7	4,1	4,4
1200	1,3	2,0	2,6	2,9	3,1
1400	0,9	1,4	1,7	1,9	2,1
≥ 1600	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4
FFS = 100 km/h					
≤ 100	8,4	14,9	20,9	22,8	26,6
200	11,5	18,2	24,1	26,2	29,7
400	8,6	12,1	14,8	15,9	18,1
600	5,1	7,5	9,6	10,6	12,1
800	2,8	4,5	5,9	6,7	7,7
1000	1,6	2,8	3,7	4,3	4,9
1200	1,2	1,9	2,6	3,0	3,4
1400	0,8	1,3	1,7	2,0	2,3
≥ 1600	0,6	0,9	1,1	1,2	1,5
FFS = 90 km/h					
≤ 100	6,7	12,7	21,7	24,5	31,3
200	10,5	17,5	25,4	28,6	34,7
400	8,3	11,8	15,5	17,5	20,7
600	4,9	7,3	10,0	11,5	13,9
800	2,7	4,3	6,1	7,2	8,8
1000	1,5	2,7	3,8	4,5	5,4
1200	1,0	1,8	2,6	3,1	3,8
1400	0,7	1,2	1,7	2,0	2,4
≥ 1600	0,6	0,9	1,2	1,3	1,5
FFS = 80 km/h					
≤ 100	5,0	10,4	22,4	26,3	36,1
200	9,6	16,7	26,8	31,0	39,6
400	7,9	11,6	16,2	19,0	23,4
600	4,7	7,1	10,4	12,4	15,6
800	2,5	4,2	6,3	7,7	9,8
1000	1,3	2,6	3,8	4,7	5,9
1200	0,9	1,7	2,6	3,2	4,1
1400	0,6	1,1	1,7	2,1	2,6
≥ 1600	0,5	0,9	1,2	1,3	1,6
FFS = 70 km/h					

≤ 100	3,7	8,5	23,2	28,2	41,6
200	8,7	16,0	28,2	33,6	45,2
400	7,5	11,4	16,9	20,7	26,4
600	4,5	6,9	10,8	13,4	17,6
800	2,3	4,1	6,5	8,2	11,0
1000	1,2	2,5	3,8	4,9	6,4
1200	0,8	1,6	2,6	3,3	4,5
1400	0,5	1,0	1,7	2,2	2,8
≥ 1600	0,4	0,9	1,2	1,3	1,7

Para calcular o débito para o período de ponta de 15 minutos para o sentido em análise, com base nos valores do volume de tráfego medido para a hora de ponta, usa-se a expressão (2-12).

$$v_d = \frac{V}{PHF * f_G * f_{HV}} \quad (2-12)$$

Em que:

v_d — Débito para o período de ponta de 15 minutos (uvl/h) no sentido em análise;

V — Volume de tráfego para a hora de ponta (veíc/h);

PHF — Fator de ponta horária;

f_G — Fator de ajustamento devido ao tipo de terreno;

f_{HV} — Fator de ajustamento devido à existência de veículos pesados na corrente de tráfego;

O fator f_G depende do parâmetro que se deseja calcular, portanto, o débito apresentará dois valores: um a ser utilizado no cálculo da velocidade média do percurso e outro no cálculo do tempo de percurso.

Na escassez de dados locais disponíveis, TRB (2000) permite que se utilize os seguintes valores como aproximação para o fator de ponta horária (quociente entre o débito da ponta máxima de 15 minutos e o volume da hora de ponta):

- 0,88 para áreas rurais
- 0,92 para áreas urbanas

O fator (f_G) devido ao tipo de terreno utilizado para o cálculo da velocidade média de percurso é obtido com recurso à Tabela 2-24.

Tabela 2-24 -Fator de ajustamento para o tipo de terreno (f_G) da ATS (adaptado de HCM2000)

Débito no conjunto das duas vias (uvl/h)	Débito num sentido (uvl/h)	Tipo de Terreno	
		Plano	Ondulado
0-600	0-300	1,00	0,71
600-1200	300-600	1,00	0,93
>1200	>600	1,00	0,99

O fator (f_G) a considerar-se na determinação do tempo de percurso com atraso é obtido pela Tabela 2-25.

Tabela 2-25 - Fator de ajustamento para o tipo de terreno (f_G) do PTSF (adaptado de HCM2000)

Débito no conjunto das duas vias (uvl/h)	Débito num sentido (uvl/h)	Tipo de Terreno	
		Plano	Ondulado
0-600	0-300	1,00	0,77
600-1200	300-600	1,00	0,94
>1200	>600	1,00	1,00

O fator de ajustamento (f_{HV}) devido à existência de veículos pesados na corrente de tráfego é obtido através da expressão (2-13).

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T * (E_T - 1) + P_R * (E_R - 1)} \quad (2-13)$$

Em que:

f_{HV} — Factor de ajustamento relativo à existência de veículos pesados;

P_T — % de camiões na corrente de tráfego;

P_R — % de veículos de recreio (RVs) na corrente de tráfego;

E_T — Factor de equivalência de camiões em veículos ligeiros de passageiros (Tabela 2-26 ou Tabela 2-27);

E_R — Factor de equivalência de veículos de recreio (RVs) em veículos ligeiros de passageiros (Tabela 2-26 e Tabela 2-27).

Tabela 2-26 - Fatores de Equivalência para determinação da ATS (adaptado de HCM2000)

Tipo de Veículo	Débito numa única via (uvl/h)	Tipo de Terreno	
		Plano	Ondulado
Pesados, E_T	0-300	1,7	2,5
	>300-600	1,2	1,9
	>600	1,2	1,5
Veículos de recreio, E_R	0-300	1,0	1,1
	>300-600	1,0	1,1
	>600	1,0	1,1

O mesmo fator de equivalência de veículos pesados e recreativos deve ser calculado para o tempo de percurso ou seguimento com atraso como é mostrado na Tabela 2-27.

Tabela 2-27 - Fatores de Equivalência para determinação do PTSF (adaptado do HCM2000)

Tipo de Veículo	Débito numa única via (uvl/h)	Tipo de Terreno	
		Plano	Ondulado
Pesados, E _T	0-300	1,1	1,8
	>300-600	1,1	1,5
	>600	1,0	1,0
Veículos de recreio, E _R	0-300	1,0	1,0
	>300-600	1,0	1,0
	>600	1,0	1,0

Para calcular o valor do débito para o período de ponta de 15 minutos utilizando a expressão (2-12), é importante notar que este valor se refere ao tráfego total no sentido em análise

Para se obter o valor do débito de tráfego no sentido oposto usa-se a mesma expressão, só que o volume de tráfego é o desse sentido. Caso o valor calculado do débito exceda a capacidade da via (1600 uvl/h), isso indica que o nível de serviço da estrada é considerado nível de serviço F.

2.6.1.2 Metodologia do HCM 7ª Edição

De acordo com o HCM 7ª edição (TRB e NASEM 2022), a análise das estradas de duas vias é feita por direção, sendo assim assume-se que todos os valores das variáveis correspondem à direção escolhida para a análise. No entanto, existem expressões que envolvem variáveis que abrangem ambos os sentidos.

Em primeiro lugar é necessário identificar os limites da estrada em estudo, para isso é necessário classificar o trecho em estudo, como:

- Zona de não ultrapassagem;
- Faixa de ultrapassagem;
- Zona de ultrapassagem:

Cada um desses segmentos deve possuir propriedades homogêneas em relação ao volume de tráfego, inclinação, larguras das faixas e bermas e limite de velocidade. As interseções semaforizadas, cruzamentos, entroncamentos e rotundas são os locais lógicos para terminar um segmento, daí a análise deva terminar num desses locais. Os diferentes níveis de serviço são apresentados na Tabela 2-28;

Tabela 2-28 - Níveis de serviço para estrada de duas vias (adaptado de HCM 7ª Edição)

Nível de serviço	FD - Densidade de tráfego (uvl/km/via)
------------------	----------------------------------------

	Estradas com velocidade limite $\geq 80,5$ km/h	Estradas com velocidade limite $< 80,5$ km/h
A	$\leq 1,2$	$\leq 1,6$
B	$> 1,2 - 2,5$	$> 1,6 - 3,1$
C	$> 2,5 - 5,0$	$> 3,1 - 6,2$
D	$> 5,0 - 7,5$	$> 6,2 - 9,3$
E	$> 7,5$	$> 9,3$
F	A procura excede a capacidade	

Após escolhido o troço a ser analisado é necessário classificá-lo quando à classe vertical. Para isso é necessário saber o comprimento e a inclinação do mesmo (em %) para poder classificar o segmento escolhido. Na Tabela 2-29 é possível extrair-se a classificação vertical dos troços (os valores entre parêntesis refletem segmentos em descidas).

Tabela 2-29 - Classificação vertical (adaptado de HCM 7ª Edição)

Comprimento do troço (km)	Inclinação em percentagem (%)									
	≤ 1	> 1	> 2	> 3	> 4	> 5	> 6	> 7	> 8	> 9
$\leq 0,161$	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (1)	2 (2)	2 (2)
$> 0,161 \leq 0,322$	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (1)	2 (2)	2 (2)	3 (2)	3 (3)	3 (3)
$> 0,322 \leq 0,483$	1 (1)	1 (1)	1 (1)	2 (1)	2 (2)	3 (2)	3 (3)	4 (3)	4 (4)	5 (5)
$> 0,483 \leq 0,644$	1 (1)	1 (1)	2 (1)	2 (2)	3 (2)	3 (3)	4 (4)	5 (4)	5 (5)	5 (5)
$> 0,644 \leq 0,805$	1 (1)	1 (1)	2 (1)	2 (2)	3 (3)	4 (3)	5 (4)	5 (5)	5 (5)	5 (5)
$> 0,805 \leq 0,966$	1 (1)	1 (1)	2 (1)	3 (2)	3 (3)	4 (4)	5 (5)	5 (5)	5 (5)	5 (5)
$> 0,966 \leq 1,127$	1 (1)	1 (1)	2 (1)	3 (2)	4 (3)	4 (4)	5 (5)	5 (5)	5 (5)	5 (5)
$> 1,127 \leq 1,288$	1 (1)	1 (1)	2 (1)	3 (3)	4 (4)	5 (4)	5 (5)	5 (5)	5 (5)	5 (5)
$> 1,288 \leq 1,449$	1 (1)	1 (1)	2 (1)	3 (3)	4 (4)	5 (5)	5 (5)	5 (5)	5 (5)	5 (5)
$> 1,449 \leq 1,61$	1 (1)	1 (1)	2 (2)	3 (3)	4 (4)	5 (5)	5 (5)	5 (5)	5 (5)	5 (5)
$> 1,61 \leq 1,771$	1 (1)	1 (1)	2 (2)	3 (3)	4 (4)	5 (5)	5 (5)	5 (5)	5 (5)	5 (5)
$> 1,771$	1 (1)	1 (1)	2 (2)	4 (4)	4 (4)	5 (5)	5 (5)	5 (5)	5 (5)	5 (5)

Após definida a classificação vertical do troço é necessário saber se o comprimento do segmento a ser analisado está de acordo com os limites estabelecidos na Tabela 2-30. É também importante saber se, caso a via de ultrapassagem exceda os 4.83 km, é recomendado utilizar-se a metodologia dos troços correntes de autoestrada (definida nos capítulos 12 e 26)

Tabela 2-30 - Extensões de análise mínima e máxima para as classes verticais (adaptado de HCM 7ª Edição)

Classe Vertical	Zonas de ultrapassagem restrita		Zonas de ultrapassagem		Vias de ultrapassagem	
	Mínimo (km)	Máximo (km)	Mínimo (km)	Máximo (km)	Mínimo (km)	Máximo (km)
1	0,40	4,83	0,40	3,22	0,81	4,83
2	0,40	4,83	0,40	3,22	0,81	4,83
3	0,40	1,77	0,40	1,77	0,81	1,77
4	0,81	4,83	0,81	3,22	0,81	4,83
5	0,81	4,83	0,81	3,22	0,81	4,83

Posteriormente é necessário calcular-se o débito de tráfego no sentido em estudo (expressão (2-14)) e para isso é necessário conhecer-se o volume de tráfego no sentido em análise e o fator de ponta horário que toma valores idênticos aos do HCM2000.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF} \quad (2-14)$$

Em que:

v_i – Débito de tráfego no sentido i (veículos/h)

i – índice que representa o sentido (“d” (representa o sentido de análise) ou “o” (representa o sentido oposto));

V_i – Volume de tráfego no sentido i (veículos/hora);

PHF – Fator de ponta horário (decimal);

Após o respetivo cálculo é possível calcular-se o rácio v_i/c (débito relativamente à capacidade da via 1700 veic/h). Caso esse rácio seja superior a 1, o segmento possui intuitivamente nível de serviço F dado que a procura excede a capacidade. Caso o rácio seja inferior ou igual a 1 retoma-se novamente o cálculo.

À semelhança do HCM2000, a 7ª edição estipula que a velocidade de fluxo livre (FFS) pode ser obtida:

- Por medição direta – caso se analise apenas um sentido a medição é feita diretamente, se ambos os sentidos forem analisados deve-se medir cada sentido isoladamente. Para a medição deve-se considerar, pelo menos, velocidade de 100 veículos. Caso os fluxos sejam inferiores a 200 veículos/h a medição pode ser feita diretamente.
- Por estimativa – para isso vai-se usar a velocidade de base em regime livre que é obtida pela expressão (2-15) e tem em conta a velocidade limite da via, para estradas de 40 a 75 mi/h.

$$BFFS = 1,14 * S_{pl} \quad (2-15)$$

Em que:

BFFS – Velocidade de base em regime livre (mi/h)

S_{pl} – Velocidade limite (mi/h);

Em seguida o valor da velocidade de fluxo livre é obtido pela expressão (2-16).

$$FFS = BFFS - a * (HV\%) - f_{Ls} - f_A \quad (2-16)$$

Em que:

FFS – Velocidade de fluxo livre (mi/h);

BFFS – Velocidade de base em regime livre (mi/h);

a – Parâmetro adimensional obtido pela expressão;

HV% - Percentagem de veículos pesados na corrente de tráfego (em valor numérico);

f_{Ls} - Fator de ajustamento associado à largura da via e da berma) (mi/h);

f_A – Fator de ajustamento relativo à densidade de pontos de acesso (mi/h);

O parâmetro adimensional “a” é calculado através da expressão (2-17) e envolve a velocidade de base em regime livre, o comprimento do segmento e o débito de tráfego no sentido oposto.

$$a = \max \left[0,0333; a_0 + a_1 * BFFS + a_2 * L + \max(0; a_3 + a_4 * BFFS + a_5 * L) * \frac{v_o}{1000} \right] \quad (2-17)$$

Em que:

a – Parâmetro adimensional obtido pela expressão (2-17);

a_0 - a_5 – coeficientes associados ao cálculo do parâmetro “a” (obtidos pela Tabela 2-31);

L – Comprimento máximo do segmento em estudo (mi) em conformidade com a Tabela 2-30;

BFFS – Velocidade de base em regime livre (mi/h);

v_o – Débito de tráfego no sentido oposto ao analisado (veic/h);

Tabela 2-31 - Coeficientes a utilizar na expressão (2-17) (adaptado de HCM 7ª Edição)

Classe Vertical	a₀	a₁	a₂	a₃	a₄	a₅
1	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
2	-0,45036	0,00814	0,01358	0,01358	0,00000	0,00000
3	-0,29591	0,00743	0,00000	0,01246	0,00000	0,00000
4	-0,40902	0,00975	0,00767	-0,18363	0,00423	0,00000
5	-0,38360	0,01074	0,01945	-0,69848	0,01069	0,12700

O fator de ajustamento associado à largura da berma e da via, é um parâmetro que permite exprimir a influência das mesmas na velocidade de fluxo livre da via. Segundo a expressão (2-18), tomando os valores mínimo de largura, é possível obter-se uma redução de 6 mi/h e analogamente considerando os valores máximos o fator toma o valor nulo.

$$f_{LS} = 0,6 * (12 - LW) + 0,7 * (6 - SW) \quad (2-18)$$

Em que:

f_{LS} – Fator de ajustamento associado à largura da via e da berma) (mi/h);

LW – Largura da via (ft), varia de 9 ft (2,74 m) a 12 ft (3,65 m);

SW – Largura da berma (ft), varia de 0 ft a 6 ft (1,82 m);

O fator de ajustamento associado aos pontos de acesso (calculado através da expressão (2-19)) é um parâmetro que permite exprimir a influência dos pontos de acesso na velocidade de fluxo livre da via. Para isso é necessário calcular-se o número de ponto de acessos no segmento em estudo.

$$f_A = \min \left(\frac{APD}{4}, 10 \right) \quad (2-19)$$

Em que:

f_A – Fator de ajustamento relativo à densidade de pontos de acesso (mi/h);

APD – Densidade de pontos de acesso (Número de pontos de acesso/milha);

No passo seguinte, calcula-se a velocidade média (expressão (2-20)) no sentido em estudo, caso o valor do débito de tráfego seja inferior a 100 veículos/h, o valor da velocidade média é igual ao valor da velocidade em fluxo livre. Caso contrário, é necessário obter-se pela outra expressão que relaciona a velocidade de fluxo livre com fatores que relacionam a inclinação (m) e a capacidade da via (p).

$$S = \begin{cases} FFS, & \text{se } v_d \leq 100 \\ FFS - m * \left(\frac{v_d}{1000} - 0,1 \right)^p, & \text{se } v_d > 100 \end{cases} \quad (2-20)$$

Em que:

S – Velocidade média no sentido em análise (mi/h);

FFS – Velocidade de fluxo livre (mi/h);

v_d – Débito de tráfego no sentido em análise (veic/h);

m – Fator associado à inclinação;

p – Fator associado à capacidade;

Caso o débito exceda os 100 veículos/h, é necessário calcular-se um fator associado à inclinação (m) dado pela expressão (2-21).

$$m = \max [b_5; b_0 + b_1 * FFS + b_2 * \sqrt{\frac{v_o}{1000}} + \max(0, b_3) * \sqrt{L} + \max(0, b_4) * \sqrt{HV\%}] \quad (2-21)$$

Em que:

FFS – Velocidade de fluxo livre (mi/h);

b_0 - b_5 – coeficientes adimensionais associados ao cálculo do parâmetro “m” (Tabela 2-32);

L – Comprimento máximo do segmento em estudo (mi) em conformidade com a Tabela 2-30;

HV% - Percentagem de veículos pesados na corrente de tráfego (em valor numérico);

v_o – Débito de tráfego no sentido oposto ao analisado (veic/h);

Tabela 2-32 - Coeficientes a utilizar na expressão (2-21) (adaptado de HCM 7ª Edição)

Classe Vertical	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
1	0,0558	0,0542	0,3278	0,1029	0,0000	0,0000
2	5,7280	-0,0809	0,7404	Expressão (2-22)	Expressão (2-23)	3,1155
3	9,3079	-0,1706	1,1292	Expressão (2-22)	Expressão (2-23)	3,1155
4	9,0115	-0,1994	1,8252	Expressão (2-22)	Expressão (2-23)	3,2685
5	23,9144	-0,6925	1,9473	Expressão (2-22)	Expressão (2-23)	3,5115

O parâmetro b_3 é dado pela expressão (2-22) enquanto o parâmetro b_4 é dado pela expressão (2-23), para segmentos de classe vertical 2 a 5.

$$b_3 = c_0 + c_1 * \sqrt{L} + c_2 * FFS + c_3 * (FFS * \sqrt{L}) \quad (2-22)$$

Em que:

FFS – Velocidade de fluxo livre (mi/h);

c_0 - c_3 – coeficientes adimensionais associados ao cálculo do parâmetro “ b_3 ” (Tabela 2-33);

L – Comprimento máximo do segmento em estudo (mi) em conformidade com a Tabela 2-30;

Tabela 2-33 - Coeficientes a utilizar na expressão (2-22) (adaptado de HCM 7ª Edição)

Classe Vertical	C_0	C_1	C_2	C_3
1	0,1029	0,0000	0,0000	0,0000
2	-13,8036	0,0000	0,2446	0,0000
3	-11,9703	0,0000	0,2542	0,0000
4	-12,5113	0,0000	0,2656	0,0000
5	-14,8961	0,0000	0,4370	0,0000

O parâmetro “ b_4 ” é obtido através da expressão (2-23).

$$b_4 = d_0 + d_1 * \sqrt{HV\%} + d_2 * FFS + d_3 * (FFS * \sqrt{HV\%}) \quad (2-23)$$

Em que:

FFS – Velocidade de fluxo livre (mi/h);

d_0 - d_3 – coeficientes adimensionais associados ao cálculo do parâmetro “ b_4 ” (Tabela 2-34);

HV% - Percentagem de veículos pesados na corrente de tráfego (em valor numérico);

Tabela 2-34 - Coeficientes a utilizar na expressão (2-23) (adaptado de HCM 7ª Edição)

Classe Vertical	d0	d1	d2	d3
1	0	0,0000	0,0000	0,0000
2	-1,7765	0,0000	0,0392	0,0000
3	-3,555	0,0000	0,0826	0,0000
4	-5,7775	0,0000	0,1373	0,0000
5	-18,2910	2,3875	0,4494	-0,052

O fator de associado à capacidade (p) é dado pela expressão (2-24).

$$p = \max [f_8; f_0 + f_1 * FFS + f_2 * L + f_3 * \frac{v_o}{1000} + f_4 * \sqrt{\frac{v_o}{1000}} + f_5 * HV\% + f_6 * \sqrt{HV\%} + f_7 * (L * HV\%)] \quad (2-24)$$

Em que:

FFS – Velocidade de fluxo livre (mi/h);

f₀-f₈ – coeficientes adimensionais associados ao cálculo do parâmetro “p” (Tabela 2-34);

HV% - Percentagem de veículos pesados na corrente de tráfego (em valor numérico);

v_o– Débito de tráfego no sentido oposto ao analisado (veic/h);

L – Comprimento máximo do segmento em estudo (mi) em conformidade com a Tabela 2-30;

Tabela 2-35 - Coeficientes a utilizar na expressão (2-24) (adaptado de HCM 7ª Edição)

Classe Vertical	f ₀	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	f ₇	f ₈
1	0,67576	0,00000	0,00000	0,12060	-0,35919	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
2	0,34524	0,00591	0,02031	0,14911	-0,43784	-0,00296	0,02956	0,00000	0,41622
3	0,17291	0,00917	0,05698	0,27734	-0,61893	-0,00918	0,09184	0,00000	0,41622
4	0,67689	0,00534	-0,13037	0,25699	-0,68465	-0,00709	0,07087	0,00000	0,33950
5	1,13262	0,00000	-0,26367	0,18811	-0,64304	-0,00867	0,08675	0,00000	0,30590

Posteriormente é necessário estimar-se a % de seguidores com a expressão (2-25). É de notar que para esse cálculo serão usados parâmetros “m” e “p” que têm o mesmo significado físico que os usados na expressão de cálculo da velocidade média, todavia têm expressão de cálculos diferentes.

$$PF = 100 * [1 - e^{(m' * (\frac{v_d}{1000})^{p'})}] \quad (2-25)$$

Em que:

PF - % de seguidores na direção em análise;

v_d– Débito de tráfego no sentido em análise (veic/h);

m' - Fator associado à inclinação (calculado pela expressão (2-26));

p' – Fator associado à capacidade (calculado pela expressão (2-29));

Neste caso, o fator associado à inclinação do segmento é dado pela expressão (2-26).

$$m' = d_1 * \left(\frac{0 - \ln \left[1 - \frac{PF_{25cap}}{100} \right]}{0,25 * \left[\frac{cap}{1000} \right]} \right) + d_2 * \left(\frac{0 - \ln \left[1 - \frac{PF_{cap}}{100} \right]}{\left[\frac{cap}{1000} \right]} \right) \quad (2-26)$$

Em que:

m' - Fator associado à inclinação

PF_{cap} - % de seguidores para 100% da capacidade da via;

PF_{25cap} - % de seguidores para 25% da capacidade da via;

Cap – Capacidade de uma via sem zonas de ultrapassagem (1700 veic/h);

d_1 - d_2 – coeficientes adimensionais (Tabela 2-36);

Tabela 2-36 - Coeficientes a utilizar na expressão (2-26) (adaptado de HCM 7ª Edição);

Tipo de Segmento	d_1	d_2
Zonas de ultrapassagem e não ultrapassagem	-0,29764	-0,71917
Faixas de ultrapassagem	-0,15808	-0,83732

Os coeficientes m' e p' são calculados de forma que a expressão da % de seguidores tenha um andamento exponencial como sugere a Figura 2-10. Para o traçado dessa curva são necessários dois pontos (25% de capacidade e 100% da capacidade). A 7ª edição do HCM define que as expressões necessárias para o cálculo dos pontos, sendo essas a expressão (2-27) e (2-28), respetivamente.

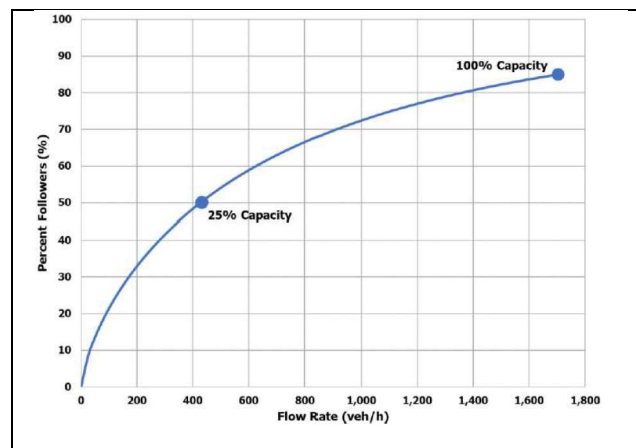


Figura 2-10 – Curva com a percentagem de seguidores em função do débito (HCM 7ª Edição)

A percentagem de seguidores para a capacidade máxima é dada pela expressão (2-27).

$$PF_{cap} = b_0 + b_1 * (L) + b_2(\sqrt{L}) + b_3 * (FFS) + b_4 * (\sqrt{FFS}) + b_5 * (HV\%) + b_6 * \left(FFS * \frac{v_0}{1000} \right) + b_7 * \left(\sqrt{\frac{v_0}{1000}} \right) \quad (2-27)$$

Em que:

PF_{cap} - % de seguidores para 100% da capacidade da via;

FFS – Velocidade de fluxo livre (mi/h);

b_0 - b_7 – coeficientes adimensionais (Tabela 2-37)

HV% - Percentagem de veículos pesados na corrente de tráfego (em valor numérico);

v_o – Débito de tráfego no sentido oposto ao analisado (veic/h);

L – Comprimento máximo do segmento em estudo (mi) em conformidade com a Tabela 2-30;

Tabela 2-37 - Coeficientes a utilizar na expressão (2-27) (adaptado de HCM 7ª Edição)

Classe Vertical	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7
1	37,68080	3,05089	-7,90866	-0,94321	13,64266	-0,00050	-0,05500	7,13758
2	58,21104	5,73387	-13,66293	-0,66126	9,08575	-0,00950	-0,03602	7,14619
3	113,20439	10,01778	-18,90000	0,46542	-6,75338	-0,03000	-0,05800	10,03239
4	58,29978	-0,53611	7,35076	-0,27046	4,49850	-0,01100	-0,02968	8,89680
5	3,32968	-0,84377	7,08952	-1,32089	19,98477	-0,01250	-0,02960	9,99453

Já a expressão (2-28) permite calcular a percentagem de seguidores para 25% da capacidade da via.

$$PF_{25cap} = c_0 + c_1 * (L) + c_2(\sqrt{L}) + c_3 * (FFS) + c_4 * (\sqrt{FFS}) + c_5 * (HV\%) + c_6 * \left(FFS * \frac{v_0}{1000}\right) + c_7 * \left(\sqrt{\frac{v_0}{1000}}\right) \quad (2-28)$$

Em que:

PF_{25cap} - % de seguidores para 25% da capacidade da via;

FFS – Velocidade de fluxo livre (mi/h);

c_0 - c_7 – coeficientes adimensionais (Tabela 2-38)

HV% - Percentagem de veículos pesados na corrente de tráfego (em valor numérico);

v_o – Débito de tráfego no sentido oposto ao analisado (veic/h);

L – Comprimento máximo do segmento em estudo (mi) em conformidade com a Tabela 2-30;

Tabela 2-38 - Coeficientes a utilizar na expressão (2-28) (adaptado de HCM 7ª Edição)

Classe Vertical	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7
1	18,01780	10,00000	-21,60000	-0,97853	12,05214	-0,00750	-0,06700	11,60405
2	47,83887	12,80000	-28,20000	-0,61758	5,80000	-0,04550	-0,03344	11,35573
3	125,40000	19,50000	-34,90000	0,90672	-16,10000	-0,11000	-0,06200	14,71136
4	103,13534	14,68459	-23,72704	0,66444	-11,95763	-0,10000	0,00172	14,70067
5	89,00000	19,02642	-34,54240	0,29792	-6,62528	-0,16000	0,00480	17,56611

Como referido anteriormente, o parâmetro p' envolve a utilização da % de seguidores para 25% da capacidade e para 100% da capacidade como sugere a expressão (2-29).

$$p' = e_0 + e_1 \left(\frac{0 - \ln \left[1 - \frac{PF_{25cap}}{100} \right]}{0,25 * \left[\frac{cap}{1000} \right]} \right) + e_2 * \left(\frac{0 - \ln \left[1 - \frac{PF_{cap}}{100} \right]}{\left[\frac{cap}{1000} \right]} \right) + e_3$$

$$* \sqrt{\frac{0 - \ln \left[1 - \frac{PF_{25cap}}{100} \right]}{0,25 * \left[\frac{cap}{1000} \right]}} + e_4 * \sqrt{\frac{0 - \ln \left[1 - \frac{PF_{cap}}{100} \right]}{0,25 * \left[\frac{cap}{1000} \right]}}$$
(2-29)

Em que:

PF_{cap} - % de seguidores para 100% da capacidade da via;

PF_{25cap} - % de seguidores para 25% da capacidade da via;

Cap – Capacidade de uma via sem zonas de ultrapassagem (1700 veic/h);

e₀-e₄ – Coeficientes adimensionais (Tabela 2-39);

Tabela 2-39 - Coeficientes a utilizar na expressão (2-29) (adaptado de HCM 7ª Edição)

Tipo de Segmento	e0	e1	e2	e3	e4
Zonas de ultrapassagem e não ultrapassagem	0,81165	0,37920	-0,49524	-2,11289	2,41146
Faixas de ultrapassagem	-1,63246	1,64960	-4,45823	-4,89119	10,33057

Por fim, basta aplicar-se a expressão (2-30) para calcular a densidade do tráfego em uvl/mi/hora e comparar com a Tabela 2-28 para identificar o nível de serviço do segmento em estudo.

$$FD = \frac{PF}{100} * \frac{v_d}{S}$$
(2-30)

Em que:

FD – Densidade de seguidores ou densidade do tráfego por via (uvl/mi/via);

PF – % de seguidores no sentido em análise;

v_d – Débito de tráfego no sentido em análise (veic/h);

S – Velocidade média no sentido em análise (mi/h);

3 MODELAÇÃO DO PROGRAMA

3.1 Considerações iniciais

Para a construção do programa, adotou-se a solução de se elaborar um site para permitir a funcionalidade em computadores e outros dispositivos. Para isso, o programa foi elaborado com recurso a 4 ferramentas informáticas:

- *Hyper Text Markup Language* (HTML) - que serve de base para a construção e estruturação dos diversos elementos que compõem a estrutura do site;
- *JavaScript* - é uma linguagem de programação que serviu para implementar a lógica associada ao código, todas as funcionalidades dinâmicas e a transformação de dados enviados e recebidos;
- *Cascading Style Sheet* (CSS) - que é utilizado para a estilização dos diversos elementos;
- PHP - que é uma linguagem de programação utilizada para o desenvolvimento de aplicação informática, nomeadamente facilitar a conexão entre o servidor e utilizador;

Para a escrita e compilação do código usou-se o editor de código de nome *Visual Studio Code* (Figura 3-1) pelos seguintes motivos:

- É um editor de código gratuito e disponível para todos os sistemas operativos;
- Permite a instalação de extensões que permitem agilizar certo tipo de processos;
- Maior rapidez de processamento e desempenho mesmo em projetos de elevada dimensão;
- Permite suportar diversas linguagens de programação;
- Faz uso de *IntelliSense* que fornece sugestões de código, informações sobre algum parâmetro e completamento de palavras;
- Fácil navegação e organização entre ficheiros;

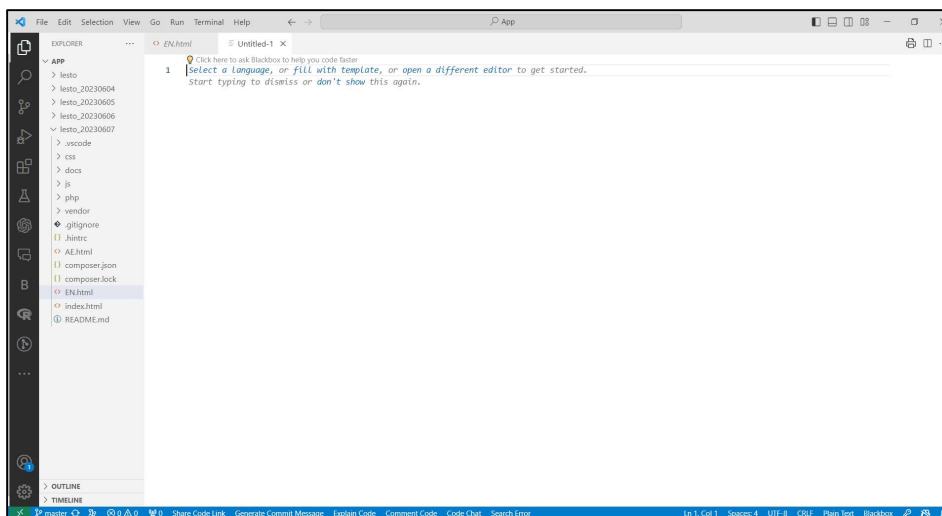


Figura 3-1 – Página inicial do *Visual Studio Code* (Microsoft 2021)

Todo o código pode ser consultado e descarregado através da seguinte hiperligação: https://github.com/joaolesto/TFM_2023

3.2 Estrutura do programa

O programa na sua estrutura principal é composto por um menu principal e duas páginas secundárias. Cada página refere-se a uma infraestrutura específica, sendo elas correspondentes a troços corrente de autoestrada e estrada de duas vias.

O código fonte da página referente ao menu principal do programa é apresentado na Figura 3-2 e apresentado completo no apêndice I.1 Ficheiro “index.html”, é composto por dois elementos: ‘<head>’ e ‘<body>’. A secção ‘<head>’ contém informações sobre o documento, como metadados, o link para a página responsável pela estilização (ficheiro de CSS), scripts, e outros elementos que não são diretamente relacionados ao conteúdo visível na página. Já no elemento ‘<body>’ contém todo o conteúdo visível de uma página da *web* (texto, imagens e cabeçalhos) e é segmentado através de secções chamadas ‘<div>’.

```
1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="en">
3 <head>
4   <link rel="stylesheet" href="css/estiloINDEX.css">
5   <meta charset="UTF-8">
6   <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
7   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
8   <title>Menu Principal</title>
9 </head>
10 <body>
11   <div class="grid-container">
12     <div class="title">
13       <h1>Menu Principal</h1>
14     </div>
15     <div class="methods">
16       <label>Escolha o que deseja calcular:</label>
17       <a href="AE.html" class="box">Troços Corrente de Autoestrada (AE)</a>
18       <a href="EN.html" class="box">Estradas de duas vias</a>
19     </div>
20     <div class="wrapper">
21       <div class="developer">
22         <label>Sobre o Desenvolvedor</label>
23         
24         <p>Programa desenvolvido por João Lesto, estudante de engenharia civil, no
25         âmbito do trabalho final de mestrado para a obtenção de grau mestre na área de vias de
26         comunicação e transportes </p>
27       </div>
28       <div class="versions">
29         <label>Versões do HCM Utilizadas</label>
30         <div class="images">
31           
32           
33         </div>
34         <div class="editions">
35           <p>HCM 2000</p>
36           <p>HCM 7ª Edição</p>
37         </div>
38         <p>As duas versões utilizadas neste trabalho são a versão de 2000 e a 7ª
39         Edição (que corresponde à mais recente)</p>
40       </div>
41     </div>
42   </div>
43 </body>
44 </html>
```

Figura 3-2 - Código fonte do menu principal do programa

No elemento ‘<head>’ do menu principal (Figura 3-3) destacam-se três *tags*. A primeira é uma *tag* de *link* de acesso a uma página de estilização chamada ‘estiloIndex.css’ apresentada no apêndice III.3 Ficheiro “estiloINDEX.css”, localizado numa diretoria chamado ‘css’. Em seguida, três *tags* designadas de ‘<meta>’ tendo elas as funções de:

- ‘<meta charset="UTF-8">’: Define o conjunto de caracteres para *UTF-8*, permitindo a exibição correta de caracteres especiais;
- ‘<meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">’: Indica ao *Internet Explorer* para usar a versão mais recente do mecanismo de renderização;
- ‘<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">’: Configura a *viewport* para dispositivos móveis, permitindo uma exibição adequada em diferentes tamanhos de ecrã;

Por fim, existe a *tag* ‘<title>’ que permite atribuir um título que será exibido na barra de navegador.

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="en">
3 <head>
4   <link rel="stylesheet" href="css/estiloINDEX.css">
5   <meta charset="UTF-8">
6   <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
7   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
8   <title>Menu Principal</title>
9 </head>

```

Figura 3-3 - Código do elemento ‘<head>’ do menu principal

No elemento ‘<body>’ do menu principal (Figura 3-4) destacam-se as *tags* de: ‘<h1>’ que permite inserir um título na página, ‘<label>’ atribui um rótulo com uma descrição, ‘<href>’ que redireciona para outra página com a classe CSS ‘box’, ‘’ que permite inserir imagens existentes numa dada diretoria e ‘<p>’ que permite inserir um parágrafo com informações.

```

10 <body>
11   <div class="grid-container">
12     <div class="title">
13       <h1>Menu Principal</h1>
14     </div>
15     <div class="methods">
16       <label>Escolha o que deseja calcular:</label>
17       <a href="AE.html" class="box">Troços Corrente de Autoestrada (AE)</a>
18       <a href="EN.html" class="box">Estradas de duas vias</a>
19     </div>
20     <div class="wrapper">
21       <div class="developer">
22         <label>Sobre o Desenvolvedor</label>
23         
24         <p>Programa desenvolvido por João Lesto, estudante de engenharia civil, no
25         âmbito do trabalho final de mestrado para a obtenção de grau mestre na área de vias de
26         comunicação e transportes </p>
27       </div>
28       <div class="versions">
29         <label>Versões do HCM Utilizadas</label>
30         <div class="images">
31           
32           
33         </div>
34         <div class="editions">
35           <p>HCM2000</p>
36           <p>HCM 7ª Edição</p>
37         </div>
38         <p>As duas versões utilizadas neste trabalho são a versão de 2000 e a 7ª
39         Edição (que corresponde à mais recente)</p>
40       </div>
41     </div>
42 </body>
43 </html>

```

Figura 3-4 - Código do elemento ‘<body>’ do menu principal

Após compilado o código completo, o menu principal do programa, apresentado na Figura 3-5, é composto por quatro secções importantes, sendo elas:

- Título que identifica a página: “Menu Principal”
- Menu de escolha: composto por dois botões que permitem o utilizador escolher a infraestrutura que serão feitos os cálculos;
- Informação sobre o desenvolvedor;
- Versões do HCM utilizadas no programa: HCM2000 e HCM 7ª edição;



Figura 3-5 - Menu principal do programa

O funcionamento do menu de escolha é representado esquematicamente na Figura 3-6 , onde o utilizador escolhe qual a infraestrutura que pretende analisar. Após clicar na pretendida, é redirecionado para a página referente à sua escolha.

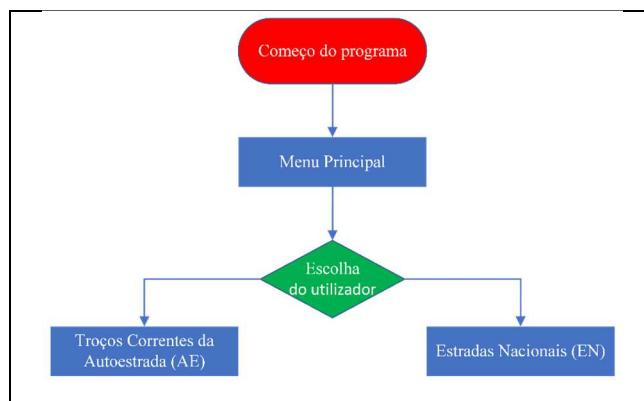






Figura 3-6 - Diagrama com a funcionalidade do menu de escolha

Na Tabela 3-1 é apresentado os símbolos usados na criação dos fluxogramas, com a respetiva designação dos mesmos.

Tabela 3-1 – Simbologia usada nos fluxogramas

Símbolo	Designação
	Começo do programa

	Método ou processo
	<i>Input ou Output</i>
	Escolha do utilizador ou condição

Na Figura 3-7 é apresentado o diagrama de funcionamento geral de cada página do programa, sendo esse segmentado da seguinte forma:

- Utilizador insere os dados de entrada gerais ou comuns às duas edições, insere os dados referentes à edição de 2000 e os dados referentes à 7ª edição;
- Por conseguinte, o programa aplica as metodologias de cada edição;
- São obtidos os resultados e compilados em uma tabela comparativa com os resultados comuns às duas edições;

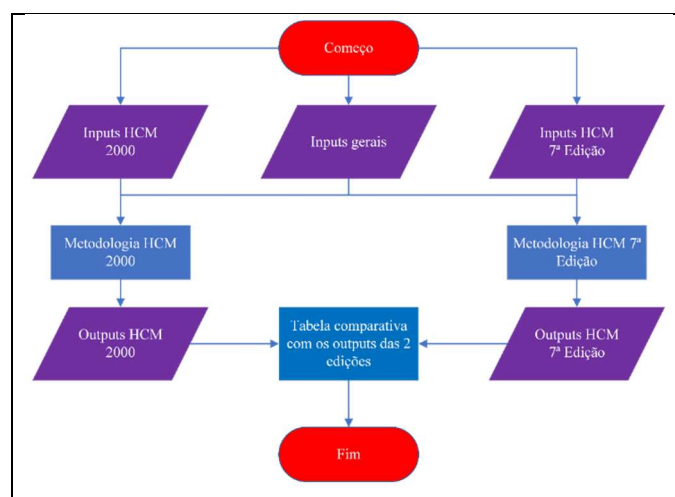


Figura 3-7 - Diagrama com a funcionalidade geral do programa

Para a construção de cada uma das páginas que compõem os modelos são visíveis os seguintes elementos:

- *Forms* (Formulários): elementos que permitem aos utilizadores inserir e enviar dados para um servidor *web* ou para interações dentro de uma página da *web*.
- *Inputs* (Caixa de Entrada): são elementos que permitem aos usuários inserir informações, como é mostrada na Figura 3-8. Existem vários tipos de inputs, incluindo *text*, *password*, *email*, *number*, etc.

Volume de tráfego (veículos/h)	<input type="text"/>
Fator de Ponta Horário	<input type="text"/>
Número de Vias	<input type="text"/>
% de Veículos Pesados	<input type="text"/>
% de Veículos Recriativos	<input type="text"/>

Figura 3-8 - Exemplos de caixas de entrada

- *Labels* (Rótulos): são usados para descrever o propósito de um input e melhorar a acessibilidade, como é mostrada na Figura 3-9. Eles geralmente estão associados a um input usando o atributo `for` ou envolvendo o input com a tag ``.

Volume de tráfego (veículos/h)	<input type="text"/>
<u>Fator de Ponta Horário</u>	<input type="text"/>
<u>Número de Vias</u>	<input type="text"/>
<u>% de Veículos Pesados</u>	<input type="text"/>
<u>% de Veículos Recriativos</u>	<input type="text"/>

Figura 3-9 - Exemplos de rótulos

- *Radio Buttons* (Botões de opção): são usados quando se deseja que os utilizadores escolham uma opção exclusiva de um grupo de opções como é mostrada na Figura 3-10. Os *radio buttons* são agrupados usando o atributo `name` e cada opção é representada por um ``. Apenas uma opção pode ser selecionada de cada vez.

Inputs Gerais

Terreno Ondulado

Terreno Plano

Terreno Montanhoso

Figura 3-10 - Exemplo de botões de opção

- *Checkboxes* (Caixas de verificação): são usadas quando se deseja que os utilizadores selecionem várias opções de um grupo como é mostrada na Figura 3-11. Cada *checkbox* é representada por um ``. Os utilizadores podem selecionar várias opções.

AE em Meio Rural



Figura 3-11 - Exemplo de caixa de verificação

- *Select Boxes* (Caixas de seleção): são usadas quando se deseja que os usuários escolham uma opção de um menu suspenso, como é mostrada na Figura 3-12. Elas são criadas usando a tag `<select>` e contêm uma ou mais opções representadas por `<option>`.

Inputs HCM 2000

Tipos de Condutores

Select Option ▼

Figura 3-12 - Exemplo de caixa de seleção

- *Table* (Tabela): é uma estrutura que organiza dados em linhas e colunas como mostra a Figura 3-13. As tabelas são definidas com os elementos `<table>`, `<tr>` (linhas), `<th>` (cabecinhos de coluna) e `<td>` (células de dados). Elas são utilizadas para exibir informações (dados) de uma forma organizada e estruturada em uma página *web*.

Outputs	HCM 2000	HCM 7ª edição
FHV		
Vp (uvl/h/via)		
Velocidade de fluxo livre (km/h)		
Velocidade de fluxo livre ajustada (km/h)		
Capacidade (uvl/h/via)		
Capacidade ajustada (uvl/h/via)		
Velocidade média (km/h)		
Densidade de tráfego por via (uvl/km/via)		
Nível de Serviço		

Figura 3-13 - Exemplo de tabela

Ao nível interno a composição do código é feita com recurso ao de linhas de código que relacionam funções e eventos. Uma função é um bloco de código *JavaScript* reutilizável que realiza uma tarefa específica, neste projeto as funções responsáveis pelo cálculo de parâmetros foram feitas em ficheiros isolados (Figura 3-14) de forma a não tornar o código principal de cada página denso.

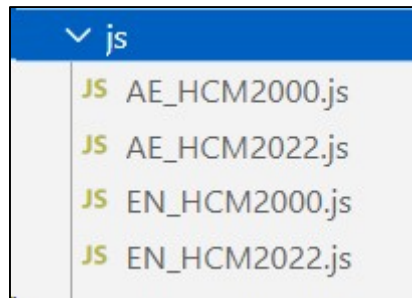


Figura 3-14 - Ficheiros *Javascript* com as funções utilizadas no código

As funções são definidas usando a palavra-chave *function* seguida por um nome e um ou vários parâmetros (se necessário) chamados de argumentos. As funções permitem:

- Reutilização de Código: Isso permite evitar a duplicação de código, tornando-o desnecessariamente mais extenso.
- Organização: ajudam a organizar o código em blocos lógicos e separados, tornando-o mais legível e menos denso.
- Abstração: permitem ocultar a complexidade de uma tarefa ou processo, tornando o código mais abstrato e mais fácil de entender.
- Parâmetros e Retornos: permitem aceitar argumentos (parâmetros) e retornar valores, o que as torna úteis para realizar tarefas dinâmicas e gerar resultados.

Um evento é uma ação que ocorre no navegador da *web*, como um clique do rato, o pressionar de uma tecla, o carregamento de uma página, etc. Com o *JavaScript*, é possível criar manipuladores de eventos para responder a esses eventos. Os aspetos importantes que os eventos abordam são:

- Interatividade: Pois permite tornar as páginas web interativas, respondendo a ações do utilizador, como clicar em botões, preencher formulários ou mover o rato.
- Experiência do Utilizador: Pois melhora a experiência do utilizador, tornando a interação com o site ou aplicação mais responsiva e amigável.
- Dinamismo: Com eventos, é possível fazer com que certas ações ocorram em resposta a eventos específicos, criando um comportamento dinâmico em suas páginas.

O código para restringir a inserção de determinados caracteres e valores nos dados de entrada encontra-se no apêndice II.5 Ficheiro “*validator.js*”

3.3 Troços correntes de autoestrada

Na Figura 3-15 é apresentado o *layout* da página referentes aos troços correntes de autoestrada. É composta por:

- Título - Com indicação da infraestrutura a ser analisada;
- Três formulários para inserção de dados;

- Três botões - um para efetuar os cálculos, um para exportar os dados e outro para apagar todos os campos preenchidos;
- Tabela comparativa - com três colunas (uma com a indicação do parâmetro calculado e outras duas com o *output* referente à edição usada).

Figura 3-15 - Página referente aos "Troços correntes de Autoestrada"

3.3.1 Dados de entrada

Como mencionado na secção anterior os dados de entrada são formulários que permitem recolher os dados do utilizador. Dentro deles é possível distinguir-se dois tipos: formulário de dados gerais (ou comuns) às duas edições e formulários de inputs específicos de cada edição do HCM.

Na Figura 3-16 é possível observar-se o formulário de dados de entrada comum aos troços correntes de autoestrada

Figura 3-16 - Formulário com identificação dos dados de entrada comuns às duas versões

Na Figura 3-17 é apresentado o formulário com o dado de entrada específico da edição do HCM2000, o parâmetro referente ao tipo de condutor: parâmetro f_p . Para isso usou-se uma caixa de seleção com as opções "Condutores Habituais" e "Condutores Esporádicos".



Figura 3-17 - Formulário com identificação dos dados de entrada do HCM2000

No caso do formulário com o dado de entrada específico da 7ª edição do HCM, criou-se uma caixa de seleção com as opções apresentadas na Figura 3-18. Esse dado de entrada corresponde à atribuição numérica dos parâmetros CAF e SAF, que permitem ajustar a capacidade e a velocidade média de tráfego.

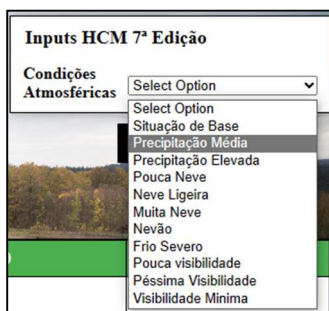


Figura 3-18 - Formulário com identificação dos dados de entrada do HCM 7ª Edição

3.3.2 Lógica interna

A lógica interna do programa é estruturada baseada no esquema apresentado na Figura 3-19.

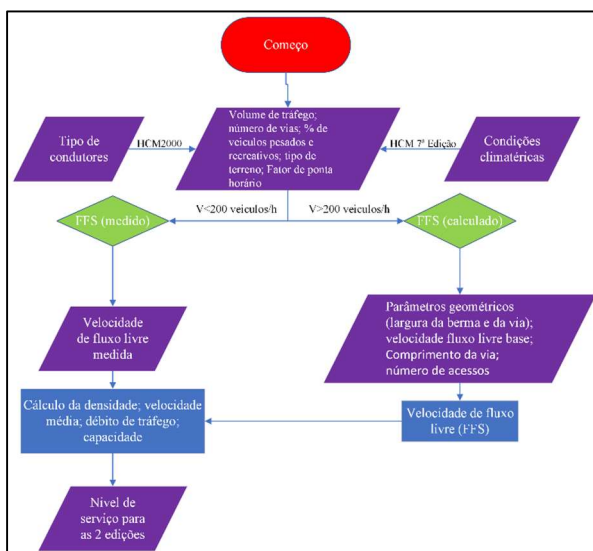


Figura 3-19 - Diagrama com a estrutura usada no código dos troços correntes de autoestrada

A lógica interna está inserida em um evento que, por conseguinte, está associado a um botão mostrado na Figura 3-20, esse botão ao ser clicado executa a rotina de cálculo.

Calcular

Figura 3-20 - Botão de para efetuar o cálculo

O código para limpeza de dados (Figura 3-21) de entrada e saída está associado a um evento de clique com o rato. Dentro dele, cada variável é considerada nula através da atribuição de `$.val('')` e a remover a seleção dos *radio buttons* através da `$.prop('checked', false)`.

```
$('#Limpar').click(function(e) {
    e.preventDefault();
    //inputs
    $('input[name="terreno"]').prop('checked', false);
    $('input[name="FFS"]').prop('checked', false);
    $('#car_volume').val('');
    $('#N_acessos').val('');
    $('#phf').val('');
    $('#pt').val('');
    $('#pr').val('');
    $('#berma').val('');
    $('#FFS').val('');
    $('#via').val('');
    $('#length').val('');
    $('#N_vias').val('');
    $('#BFFS').val('');
    $('#tipos_de_condutores').val('');
    $('#cond_atmos').val('');
    //outputs
    $('#fhv').val('');
    $('#fhv_2022').val('');
    $('#vp').val('');
    $('#vp_2022').val('');
    $('#FFS_o').val('');
    $('#FFS_o_2022').val('');
    $('#FFS_o_ajustada').val('');
    $('#FFS_o_2022_ajustada').val('');
```

Figura 3-21 - Excerto de código referente ao botão de "Limpar Dados"

Na Figura 3-22 é apresentado o botão responsável pela limpeza de todos os campos do programa, permitindo que seja mais fácil um novo preenchimento dos formulários.

Limpar Dados

Figura 3-22 - Botão para limpar os dados do programa

O código completo é apresentado no apêndice I.2 Ficheiro "AE.html", as respetivas expressões de cálculo referentes ao *HCM 2000* apêndice II.1 Ficheiro "AE_HCM2000.js" e para as expressões do *HCM 7ª* edição estão no apêndice II.2 Ficheiro "AE_HCM2022.js". Por fim, o ficheiro de estilização da página está no apêndice III.1 Ficheiro "estiloAE.css".

3.3.3 Dados de saída

Na Figura 3-23 é apresentada a tabela comparativa com os resultados do cálculo, esse tipo de

Outputs	HCM 2000	HCM 7ª edição
FHV		
Vp (uvl/h/via)		
Velocidade de fluxo livre (km/h)		
Velocidade de fluxo livre ajustada (km/h)		
Capacidade (uvl/h/via)		
Capacidade ajustada (uvl/h/via)		
Velocidade média (km/h)		
Densidade de tráfego por via (uvl/km/via)		
Nível de Serviço		

Figura 3-23 - Tabela comparativa dos resultados de ambas as edições do HCM

Na Figura 3-24 é apresentado o botão de exportar, esse botão permite fazer respectiva exportação de dados (*inputs* e *outputs*) para o um ficheiro de *excel* (formato .xlsx).



Figura 3-24 - Botão de exportação de dados para Excel

Para se conseguir exportar os dados é necessário usar-se a linguagem de programação PHP que permite ligar a página *web* a um servidor, assim permitindo armazenar os dados no servidor, e posteriormente enviá-los do servidor para um ficheiro Excel através do módulo de PHP chamado “*spreadsheet*” que permite a edição e manipulação de informação para Excel. O utilizador consegue escolher o nome e a localização onde fica guardado o ficheiro. O código que se usou para a programação do botão encontra-se no apêndice IV.1 Ficheiro “Export.php” e o código para testar o botão encontra-se no apêndice IV.2 Ficheiro “validation.php”.

3.4 Estradas de duas vias

Na Figura 3-25 é apresentado o *layout* da página referentes às estradas de duas vias. E esta é composta por:

- Título - Com indicação da infraestrutura a ser analisada;
- Três formulários para inserção de dados;
- Três botões - um para efetuar os cálculos, um para exportar os dados e outro para apagar todos os campos preenchidos;
- Três tabela de apresentação de dados;

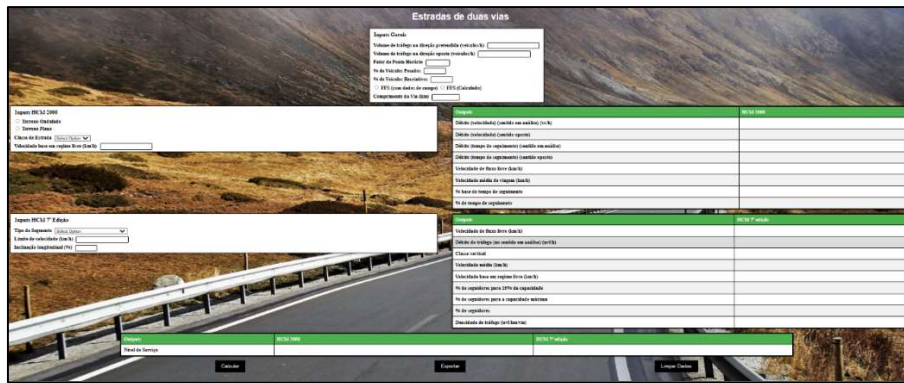


Figura 3-25 - Página referente às "Estradas Nacionais"

3.4.1 Dados de entrada

Na Figura 3-26 é apresentado o formulário com os respetivos dados de entrada comuns às duas edições do HCM.

Inputs Gerais

Volume de tráfego na direção pretendida (veículos/h)

Volume de tráfego na direção oposta (veículos/h)

Fator de Ponta Horário

% de Veículos Pesados

% de Veículos Recreativos

FFS (com dados de campo) FFS (Calculado)

Comprimento da Via (km)

Figura 3-26 - Formulário com identificação dos dados de entrada comuns às duas versões

Na Figura 3-27 é apresentado o formulário com os dados referentes à edição de 2000 do HCM.

Inputs HCM 2000

Terreno Ondulado

Terreno Plano

Classe de Estrada

Velocidade base em regime livre (km/h)

Figura 3-27 - Formulário com identificação dos dados de entrada do HCM2000

Na Figura 3-28 é apresentado o formulário com os dados de entrada do HCM 7ª edição nas estradas de duas vias.

Inputs HCM 7ª Edição

Tipo de Segmento

Limite de velocidade (km/h)

Inclinação longitudinal (%)

Figura 3-28 - Formulário com identificação dos dados de entrada do HCM 7ª Edição

3.4.2 Lógica interna

Referente à lógica interna é apresentado na Figura 3-29 o diagrama que permite perceber-se qual foi a sequência usada para aplicação da metodologia do HCM 2000.

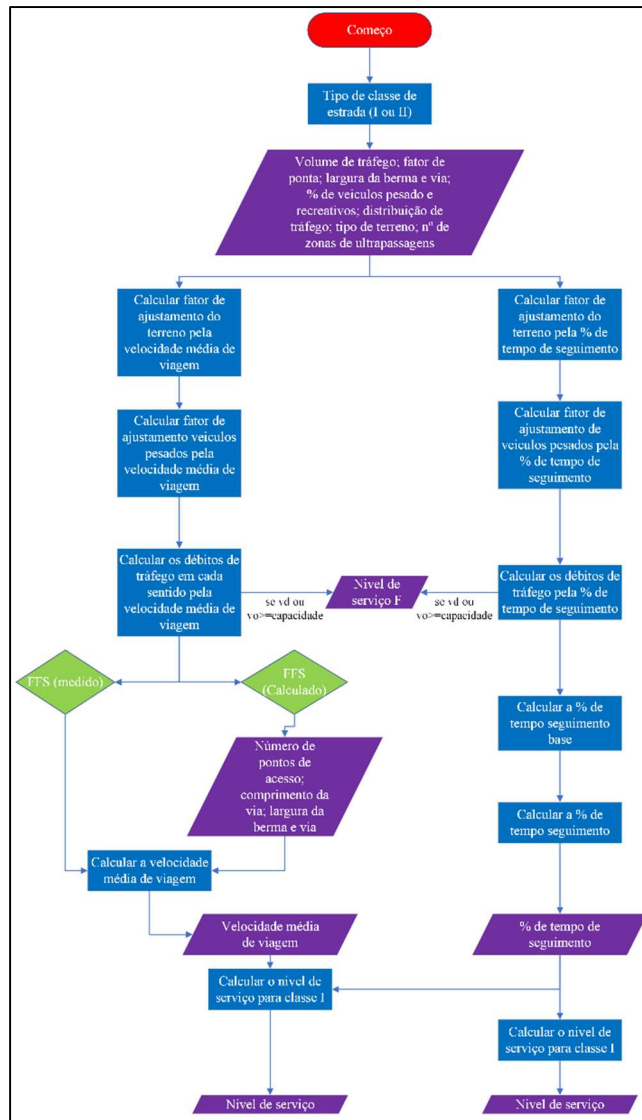


Figura 3-29 - Diagrama com a metodologia do HCM2000

Na Figura 3-30 é apresentado o diagrama que permite identificar qual foi a sequência de cálculo usada para aplicação da metodologia do HCM 7ª edição.

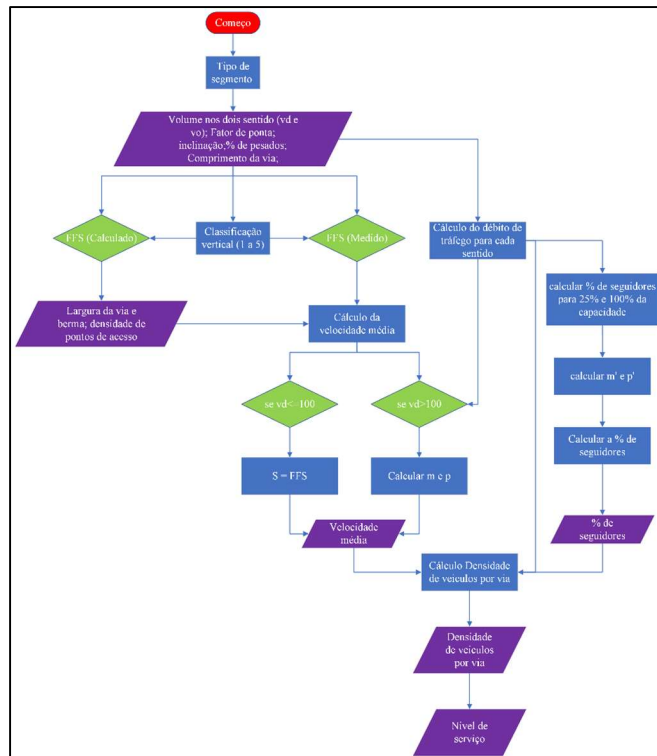


Figura 3-30 - Diagrama com a metodologia do HCM 7ª edição

Relativo a estas duas metodologias está associado um botão igual ao dos troços correntes que permite que os cálculos sejam feitos em simultâneo.

O código completo é apresentado no apêndice I.3 Ficheiro “EN.html”, as respetivas expressões de cálculo do *HCM 2000* apêndice II.3 Ficheiro “EN_HCM2000.js” e para as expressões do HCM 7ª edição estão no apêndice II.4 Ficheiro “EN_HCM2022.js”. Por fim, o ficheiro de estilização da página está no apêndice III.2 Ficheiro “estiloEN.css”.

3.4.3 Dados de saída

Após efetuado o cálculo, os resultados são apresentados sob a forma de tabela, como apresentado na Figura 3-31, associados à metodologia da edição de 2000.

Outputs	HCM 2000
Débito (velocidade) (sentido em análise) (vc/h)	
Débito (velocidade) (sentido oposto)	
Débito (tempo de seguimento) (sentido em análise)	
Débito (tempo de seguimento) (sentido oposto)	
Velocidade de fluxo livre (km/h)	
Velocidade média de viagem (km/h)	
% base de tempo de seguimento	
% de tempo de seguimento	

Figura 3-31 - Dados de saída da metodologia do HCM2000

Na Figura 3-32 é apresentado a tabela com os dados de saída do HCM 7ª edição.

Outputs	HCM 7ª edição
Velocidade de fluxo livre (km/h)	
Débito de tráfego (no sentido em análise) (uvl/h)	
Classe vertical	
Velocidade média (km/h)	
Velocidade base em regime livre (km/h)	
% de seguidores para 25% da capacidade	
% de seguidores para a capacidade máxima	
% de seguidores	
Densidade de tráfego (uvl/km/via)	

Figura 3-32 - Dados de saída da metodologia do HCM 7ª Edição

Por fim na Figura 3-33, é apresentada a tabela com o dado de saída comum às duas metodologias neste caso, correspondente ao nível de serviço.

Outputs	HCM 2000	HCM 7ª edição
Nível de Serviço		

Figura 3-33 - Dado de saída comum às 2 metodologias

3.5 Limitações do programa

No que diz respeito ao desenvolvimento do modelo, foram identificadas limitações classificadas em duas categorias distintas: limitações gerais e limitações específicas. Essas limitações têm implicações variadas tanto na funcionalidade quanto na utilidade do programa.

As limitações gerais estão relacionadas a aspetos que afetam a aplicação como um todo e incluem:

- Incapacidade de realizar cálculos no sentido inverso, por exemplo, inserir um nível de serviço e obter o número de vias necessárias para alcançar esse nível;
- Falta de suporte para a leitura de arquivos de texto contendo dados;
- Incapacidade para armazenar resultados internamente, como mantê-los em uma base de dados de histórico de resultados;

Já as limitações específicas estão associadas a páginas individuais que compõem o modelo, especificamente nas páginas que tratam de troços correntes de autoestrada e estradas de duas vias, e incluem:

No contexto dos Troços Correntes, as limitações incluem:

- Apenas a consideração do efeito meteorológico na metodologia, deixando de lado outros fatores críticos, como zonas de trabalho, acidentes na faixa de rodagem e fluxos mistos, que envolvem veículos autônomos e condutores não habituais;

- A interrupção dos cálculos dos outros parâmetros caso os troços correntes alcancem o Nível de Serviço "F", mesmo quando a análise de outros parâmetros poderia ser relevante;

No contexto das estradas de duas vias, as limitações incluem:

- Análise apenas de um segmento por vez, limitando a capacidade de avaliar cenários mais abrangentes;
- A não consideração de situações envolvendo faixas de ultrapassagem, que são elementos comuns nas estradas de duas vias;

Todas as limitações estão associadas ao tempo de desenvolvimento que foi limitado a seis meses, à extensão das metodologias do HCM e à complexidade da programação que esteve inerente à criação do programa.

4 ESTUDO E APLICAÇÃO DE TESTE

4.1 Considerações iniciais

Para a validação do modelo foram utilizados exercícios práticos do HCM 7ª Edição, uma vez que possui exemplos com resultados conhecidos. Uma nota importante reside na necessidade de converter os valores de entrada para sistema métrico para introduzir no programa. E converter os resultados do exemplo prático para comparar com os resultados do programa. Para ajudar nessa conversão o HCM fornece uma lista de coeficientes (apresentados na Tabela 4-1) para converter as unidades do sistema imperial para métrico.

Tabela 4-1 - Conversão de unidades de sistema imperial para métrico (adaptado do HCM 7ª edição)

Unidade Sistema Imperial	Coefficiente de conversão	Unidade de Sistema métrico
<i>feet</i> (ft.) (pés)	0,305	metros (m)
<i>miles</i> (mi) (milhas)	1,61	quilómetros (km)
<i>Fahrenheit</i>	$\frac{(F - 32)}{1,8}$	Celsius (°C)

Após efetuados os cálculos é possível calcular-se os erros associados aos resultados, para permitir perceber a precisão do programa e a dispersão nos valores dos parâmetros. A expressão (4-1) permite calcular o erro relativo (%) sendo o “valor exato” correspondente ao resultados calculados manualmente ou pelo exemplo resolvido e o “valor aproximado” correspondente aos resultados calculados pelo programa.

$$\text{Erro relativo (\%)} = \frac{|\text{valor aproximado} - \text{valor exato}|}{\text{valor exato}} \quad (4-1)$$

Na expressão (4-2) é apresentada a formulação para o cálculo do erro absoluto.

$$\text{Erro absoluto} = |\text{valor exato} - \text{valor aproximado}| \quad (4-2)$$

4.2 Exemplo de teste (Troço corrente de autoestrada)

4.2.1 Dados de entrada a considerar

Para proceder à validação do modelo escolheu-se o exemplo 6 do HCM 7ª edição apresentado no capítulo 26. Exemplo esse onde existe influência de condições severas de meteorologia num troço com 2 vias em cada sentido. Os dados iniciais são os apresentados na Tabela 4-2.

Tabela 4-2 - Dados de entrada do exemplo 6 do capítulo 26 do HCM 7ª edição

Número de vias em cada sentido	2
Largura de cada via	11 ft

Desobstrução na berma direita	2 ft
Volume de tráfego	2000 veículos/h
Composição do tráfego	5% de veículos pesados
Fator da hora de ponta	0,92
Tipo de terreno	Ondulado
Número de rampas por milha	4 rampas/mi
Condições climáticas	Nevão
Tipo de condutores	Habituais
Velocidade de fluxo livre base (BFFS)	75,4 milhas/h

Para se poder inserir esta informação no programa é necessário converter a largura de cada via e a desobstrução da berma direita para sistema métrico. Para isso basta multiplicar-se cada um dos valores por 0,305, de acordo com a Tabela 4-1, uma vez que é necessário converter pés (ft.) para metros. Para converter a velocidade de fluxo livre base de mi/h para km/h basta multiplicar-se por 1,61. Dessa forma obtém-se:

$$Largura da via (m) = Largura da via (ft) * 0,305 = 11 * 0,305 = 3,355 m$$

$$Des. da berma direita (m) = Des. da berma direita (ft) * 0,305 = 2 * 0,305 = 0,61 m$$

$$BFFS \left(\frac{km}{h} \right) = BFFS \left(\frac{mi}{h} \right) * 1,61 = 75,4 * 1,61 = 121,4 km/h$$

4.2.2 Cálculos feitos pelo modelo

Os dados gerais são introduzidos no programa como apresentado na Figura 4-1.

Inputs Gerais	
<input checked="" type="radio"/> Terreno Ondulado	
<input type="radio"/> Terreno Plano	
<input type="radio"/> Terreno Montanhoso	
Volume de tráfego (veículos/h)	<input type="text" value="2000"/>
Fator de Ponta Horário	<input type="text" value="0,92"/>
Número de Vias	<input type="text" value="2"/>
% de Veículos Pesados	<input type="text" value="5"/>
% de Veículos Recreativos	<input type="text" value="0"/>
<input type="radio"/> FFS (Medido em campo)	
Velocidade de fluxo livre (km/h)	<input type="text"/>
<input checked="" type="radio"/> FFS (Calculado)	
Largura da Berma (m)	<input type="text" value="0,61"/>
Largura da Via (m)	<input type="text" value="3,355"/>
AE em Meio Rural	<input type="checkbox"/>
Comprimento da Via (km)	<input type="text" value="1,61"/>
Número de Acessos	<input type="text" value="4"/>
Velocidade base em regime livre (km/h)	<input type="text" value="121,4"/>

Figura 4-1 - Preenchimento dos dados de entrada gerais

Relativo aos dados preenchidos para edição de 2000 deve ser escolhida a opção “condutores habituais” (como mostra a Figura 4-2) que permite atribuir ao fator populacional o valor numérico de 1.

The image shows a software window titled "Inputs HCM 2000". Inside, there is a label "Tipos de Condutores" followed by a dropdown menu. The dropdown menu is open, showing the selected option "Condutores Habituais".

Figura 4-2 - Preenchimento dos dados de entrada do HCM2000

Para o caso dos dados de entrada da 7ª edição, deve ser escolhida a opção referente às condições de “Nevão”, pois ela permite atribuir aos parâmetros CAF e SAF os valores de 0,78 e 0,85, respetivamente.

The image shows a software window titled "Inputs HCM 7ª Edição". Inside, there is a label "Condições Atmosféricas" followed by a dropdown menu. The dropdown menu is open, showing the selected option "Nevão".

Figura 4-3 - Preenchimento dos dados de entrada do HCM 7ª edição

4.2.3 Verificação de resultados

Os cálculos manuais de acordo com a edição do HCM2000 apresentam-se de seguida:

Para terreno ondulado: $ET = 2,5$ e $ER = 2,0$;

O fator de ajustamento de veículos pesados é dado por:

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + Pt * (Et - 1) + Pr * (Er - 1)} = \frac{1}{1 + 0,05 * (2,5 - 1) + 0 * (2,0 - 1)} = 0,930$$

O débito de tráfego corresponde a: $vp = \frac{v}{PHF * N * f_{HV} * f_p} = \frac{2000}{0,92 * 2 * 0,930 * 1} = 1168,7$ uvl/h/km

Para uma via com 3,335 metros: $f_{lw} = 2,75$ km/h;

Para uma berma de 0,61 metros e 2 vias em cada sentido: $f_{lc} = 3,9$ km/h;

Para 2 vias em cada sentido: $f_N = 7,3$ km/h;

Para 4 pontos de acesso por milha: $f_{ID} = 12,1$ km/h;

O cálculo da velocidade de fluxo livre é dado por:

$$FFS = BFFS - f_{lw} - f_{lc} - f_N - f_{ID} = 121,4 - 2,75 - 3,9 - 7,3 - 12,1 = 95,6 \text{ km/h};$$

A velocidade média é dada por: $S = FFS$, pois 95,6 está entre 90 e 120 km/h e o débito é inferior a $(3100 - 15 * FFS) = (3100 - 15 * 95,6) = 1666$ uvl/h/via;

A densidade de tráfego é: $D = \frac{vp}{S} = \frac{1168,7}{95,6} = 12,2$ uvl/km/via o que corresponde a um nível de serviço “C”.

Os resultados do programa encontram-se na Figura 4-4, e é possível comparar-se os resultados obtidos pela metodologia da edição de 2000 e a 7ª edição.

Outputs	HCM 2000	HCM 7ª edição
FHV	0.930	0.909
V _p (uvl/h/via)	1168.5	1195.7
Velocidade de fluxo livre (km/h)	95.6	97.9
Velocidade de fluxo livre ajustada (km/h)	95.6	84.2
Capacidade (uvl/h/via)	2400	2308
Capacidade ajustada (uvl/h/via)	2400	1800
Velocidade média (km/h)	95.6	84.2
Densidade de tráfego por via (uvl/km/via)	12.2	14.2
Nível de Serviço	C	C

Figura 4-4 - Resultados do programa

Na Tabela 4-3 é apresentado a comparação dos resultados da 7ª edição convertidos em sistema métrico com os resultados obtidos pelo programa.

Tabela 4-3 - Comparação dos parâmetros obtidos do exemplo da 7ª edição e os obtidos pelo programa

Parâmetros	Resultados do HCM 7ª edição	Conversão para Sistema métrico	Resultados do programa (Sistema métrico)
Fator de ajustamento de veículos pesados (FHV)	0,909	-	0,909
Débito de tráfego (V _p)	1195 veíc/h/via	-	1195 veíc/h/via
Velocidade de fluxo livre (FFS)	60,8 mi/h	97,89 km/h	97,9 km/h
Capacidade (uvl/h/via)	1800 veíc/h/via	-	1800 veic/h/via
Velocidade média (S)	52,3 mi/h	84,20 km/h	84,20 km/h
Densidade de tráfego ou concentração (D)	22,8 veíc/mi/via	14,16 veíc/km/via	14,2 veic/km/via
Nível de Serviço	C	-	C

Na Tabela 4-4 é possível observar-se uma síntese com os resultados calculados manualmente e pelo programa.

Tabela 4-4 - Resultados obtidos pelo programa e por cálculo manual

Parâmetro	HCM 2000 (Calculado)	HCM2000 (Programa)	HCM 7ª Edição (Calculado)	HCM 7ª Edição (Programa)
fhv	0,930	0,930	0,909	0,909
vp (uvl/h/via)	1168,7	1168,5	1195,7	1195,7
FFS (km/h)	95,6	95,6	97,89	97,9
FFS ajustado (km/h)	95,6	95,6	84,2	84,2
Capacidade (uvl/h/via)	2400	2400	2308	2308
Capacidade ajustada (uvl/h/via)	2400	2400	1800	1800
S (km/h)	95,6	95,6	84,2	84,2
D (uvl/km/via)	12,2	12,2	14,16	14,2
Nível de Serviço	C	C	C	C

Os cálculos relativos aos erros são apresentados na Tabela 4-5, e com a observação dos mesmos é possível perceber que o programa aproxima muito bem os resultados, dado que os erros são decimais.

Tabela 4-5 - Erros absolutos e relativos dos resultados do programa e manuais

Parâmetro	Erro Absoluto		Erro Relativo	
	HCM 2000	HCM 7ª Edição	HCM 2000	HCM 7ª Edição
fhv	0,00	0,00	0,00%	0,00%
vp (uvl/h/via)	0,20	0,00	0,02%	0,00%
FFS (km/h)	0,00	-0,01	0,00%	0,01%
FFS ajustado (km/h)	0,00	0,00	0,00%	0,00%
Capacidade (uvl/h/via)	0,00	0,00	0,00%	0,00%
Capacidade ajustada (uvl/h/via)	0,00	0,00	0,00%	0,00%
S (km/h)	0,00	0,00	0,00%	0,00%
D (uvl/km/via)	0,00	-0,04	0,00%	0,28%
Nível de Serviço	-	-	-	-

Uma vez obtidos os erros, é possível fazer-se uma análise referente à diferença dos resultados dados pela edição de 2000 e os da 7ª edição. Para isso, calcula-se a diferença cada um dos resultados associados ao mesmo parâmetro, como é mostrado na Tabela 4-6.

Tabela 4-6 - Comparação e diferença dos resultados relativos às duas metodologias

Parâmetro	HCM2000 (Programa)	HCM 7ª Edição (Programa)	Diferença
fhv	0,930	0,909	0,021
vp (uvl/h/via)	1168,5	1195,7	27,2
FFS (km/h)	95,6	97,9	2,3
FFS ajustado (km/h)	95,6	84,2	11,4
Capacidade (uvl/h/via)	2400	2308	92
Capacidade ajustada (uvl/h/via)	2400	1800	600
S (km/h)	95,6	84,2	11,4
D (uvl/km/via)	12,2	14,2	2
Nível de Serviço	C	C	-

Para uma melhor percepção das diferenças, é mostrada na Figura 4-5 um gráfico com os parâmetros das duas edições do HCM.

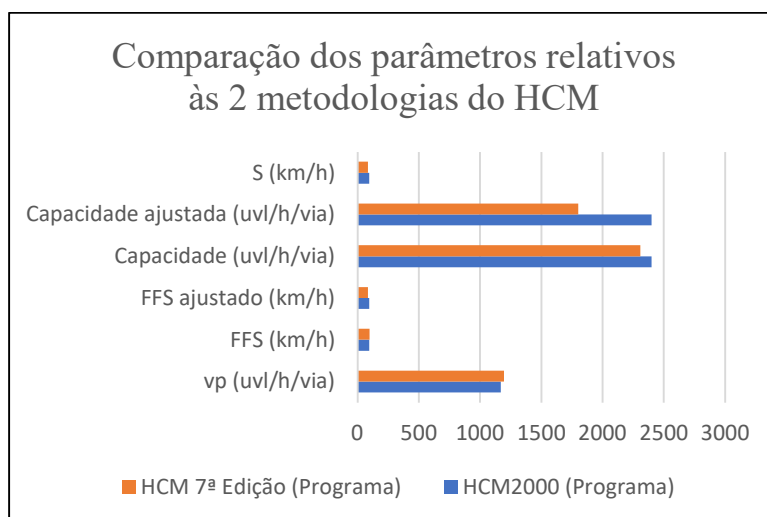


Figura 4-5 - Comparação dos principais resultados das 2 edições

Na Figura 4-6 é possível ver-se a diferença entre as densidades calculadas por cada uma das metodologias, e observa-se que a 7ª edição possui o valor mais elevado, uma vez que se encontra condicionada pelo fator meteorológico. Mesmo assim em ambos os casos o nível de serviço do troço de autoestrada é “C”. Nesse sentido e dadas essas condições é possível perceber que ambas as metodologias podiam ser utilizadas para análise deste exemplo sem existir uma que penalizasse mais em termos de nível de serviço.

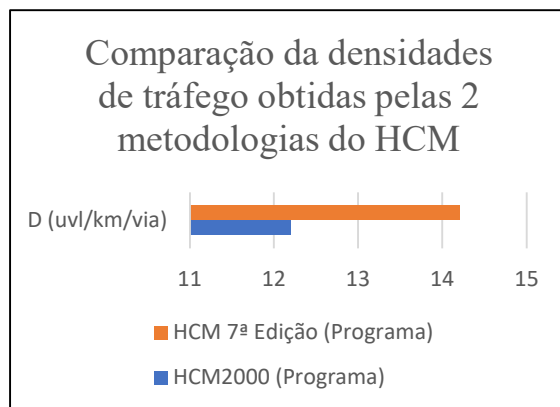


Figura 4-6 - Comparação dos resultados relativos à densidade de tráfego para as 2 edições

4.3 Exemplo de teste (Estrada de duas vias)

4.3.1 Dados de entrada a considerar

Para proceder à validação do modelo escolheu-se o exemplo 1 das estradas de duas vias do HCM 7ª edição apresentado no capítulo 26. Exemplo esse onde é considerado um segmento reto em terreno plano, sem possibilidade de ultrapassagem em que os dados iniciais são os apresentados na Tabela 4-7.

Tabela 4-7 - Dados de entrada do exemplo 1 das estradas de duas vias do HCM 7ª edição

Tipo de segmento	Ultrapassagem impedida
Largura de cada via	12 ft
Largura da berma direita	6 ft
Volume de tráfego no sentido em análise	752 veículos/h
Composição do tráfego	5% de veículos pesados
Fator da hora de ponta	0,94
Tipo de terreno	Plano
Número de pontos de acesso	0
inclinação	0% (plano)
Curvatura horizontal	Não
Zonas de ultrapassagem a montante	Não
Limite de velocidade	50 milhas/h
Comprimento do segmento	3960 ft (0,75 milhas)

Para se obter o volume de tráfego no sentido oposto, o HCM 7ª edição considerou o débito máximo de tráfego de 1500 veículos/h no sentido oposto e então usou-se a expressão (2-14) e resolve-se em ordem ao volume de tráfego. Feitos os cálculos obtém-se:

$$1500 = \frac{V_i}{0,94} \Leftrightarrow V_i = 1500 * 0,94 = 1410 \text{ veiculos/h}$$

Para se poder colocar os dados no programa é necessário converter-se o limite de velocidade, comprimento do segmento, larguras da berma e de cada via para as unidades de sistema métrico. As conversões de unidades apresentam-se na Tabela 4-8.

Tabela 4-8 - Conversão de dados de entrada para sistema métrico

Largura de cada via	12 * 0,305 = 3,66 m
Largura da berma direita	6 * 0,305 = 1,83 m
Limite de velocidade	50 * 1,61 = 80,5 km/h
Comprimento do segmento	0,75 * 1,61 = 1,2075 km

4.3.2 Cálculos feitos pelo modelo

Na Figura 4-7 apresenta-se o preenchimento dos dados gerais referente ao exemplo anteriormente escolhido.

Inputs Gerais

Volume de tráfego na direção pretendida (veículos/h)

Volume de tráfego na direção oposta (veículos/h)

Fator de Ponta Horário

% de Veículos Pesados

% de Veículos Recreativos

FFS (com dados de campo) FFS (Calculado)

Comprimento da Via (km)

Largura da Berma (m)

Largura da Via (m)

Número de Acessos

Figura 4-7 - Preenchimento dos dados de entrada gerais

Na Figura 4-8 é apresentado o preenchimento dos dados do programa referentes à metodologia da edição de 2000.

Inputs HCM 2000

Terreno Ondulado

Terreno Plano

Classe de Estrada

Velocidade base em regime livre (km/h)

Figura 4-8 - Preenchimento dos dados de entrada da edição de 2000

Por fim, na Figura 4-9 apresenta-se o preenchimento dos dados referentes à 7ª edição do HCM.

Inputs HCM 7ª Edição

Tipo de Segmento

Limite de velocidade (km/h)

Inclinação longitudinal (%)

Figura 4-9 - Preenchimento dos dados de entrada da 7ª edição

4.3.3 Verificação de resultados

No texto seguinte é apresentado o cálculo manual referente à edição de 2000 para o exemplo proposto:

Para calcular o ATS

Assume-se estrada de classe II: como terreno plano (inclinação de 0%) e volume de veículos no sentido em análise é >600 veículos/h:

- $f_G = 1,0$
- $E_T = 1,1$ e $E_R = 1,0$

Para o sentido em análise:

O fator de ajustamento dos veículos pesados é dado por:

$$f_{HV_d} = \frac{1}{1 + P_T * (E_T - 1) + P_R * (E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0,05 * (1,1 - 1)} = 0,995$$

O débito de tráfego é dado por:

$$v_d = \frac{V}{PHF * f_g * f_{HV}} = \frac{752}{1 * 0,94 * 0,995} = 804 \text{ uvl/h}$$

Para o sentido oposto:

O fator de ajustamento dos veículos pesados é dado por:

$$f_{HV_o} = f_{HV_d} = 0,995$$

O débito de tráfego é dado por:

$$v_o = \frac{V}{PHF * f_g * f_{HV}} = \frac{1410}{1 * 0,94 * 0,995} = 1507 \text{ uvl/h}$$

Verificou-se que ambos os débitos de tráfego são inferiores a 1700 uvl/h.

Para se obter o valor da velocidade de fluxo livre base em regime livre usou-se o valor do HCM 7ª edição.

$$BFFS = 91,77 \text{ km/h}$$

Para o cálculo da velocidade de fluxo livre no sentido em análise considerou-se

Para uma via com 3,66 m de largura e uma berma de 1,83 m tem-se: $f_{LS} = 0,0$ km/h

Devido à inexistência de acessos no segmento em questão tem-se: $f_A = 0,0$ km/h

Por fim, a velocidade de fluxo livre é dada por:

$$FFS_d = 91,77 - 0,0 - 0,0 = 91,77 \text{ km/h}$$

A velocidade média de percurso é dada por:

$$ATS_d = FFS_d - 0,0125 * (v_d + v_o) - f_{np} = 91,77 - 0,0125 * (804 + 1507) - 1,1$$

Para $v_o = 1507$ uvl/h e sem possibilidade de ultrapassagem, tem-se: $f_{np} = 1,1$ km/h

Logo $ATS_d = 61,78$ km/h

Para calcular o PTSE

Como terreno plano e volume de veículos no sentido em análise é >600 veículos/h: $f_G = 1,0$

- $f_G = 1,0$

- $E_T = E_R = 1,0$

O fator de ajustamento dos veículos pesados é dado por:

$$f_{HV_d} = f_{HV_o} = \frac{1}{1 + P_T * (E_T - 1) + P_R * (E_R - 1)} = \frac{1}{1 + 0,05 * (1 - 1)} = \frac{1}{1} = 1$$

O débito de tráfego para o sentido em análise é dado por:

$$v_d = \frac{V}{PHF * f_g * f_{HV}} = \frac{752}{1 * 0,94 * 1} = 800 \text{ uvl/h}$$

Já o débito de tráfego para o sentido oposto é dado por:

$$v_o = \frac{V}{PHF * f_g * f_{HV}} = \frac{1410}{1 * 0,94 * 1} = 1500 \text{ uvl/h}$$

Verifica-se que são inferiores a 1700 uvl/h

Como $v_o = 1500$ uvl/h tem-se $a = -0,665$, $b = 0,199$ e $f_{np} = 1,5\%$

Sendo assim obtém-se o tempo de base de seguimento com atraso:

$$BPTSF = 100 * (1 - e^{-0,665 * 800^{0,199}}) = 91,91 \%$$

A percentagem de tempo de seguimento com atraso é dada por:

$$PTSF_d = BPTSF_d + f_{np} = 91,91 + 1,5 = 93,41 \%$$

Logo, de acordo com a Tabela 2-18 essa estrada possui o nível de serviço “E”.

Na Figura 4-10 são apresentados os resultados referentes à metodologia do HCM 2000.

Outputs	HCM 2000
Débito (velocidade) (sentido em análise) (vc/h)	804
Débito (velocidade) (sentido oposto)	1507
Débito (tempo de seguimento) (sentido em análise)	800
Débito (tempo de seguimento) (sentido oposto)	1500
Velocidade de fluxo livre (km/h)	91.77
Velocidade média de viagem (km/h)	61.78
% base de tempo de seguimento	91.91
% de tempo de seguimento	93.41

Figura 4-10 - Resultados do programa referentes ao HCM 2000

Os resultados do programa associados à 7ª edição são apresentados na Figura 4-11.

Outputs	HCM 7ª edição
Velocidade de fluxo livre (km/h)	91.50
Débito de tráfego (no sentido em análise) (uvl/h)	800
Classe vertical	1
Velocidade média (km/h)	86.47
Velocidade base em regime livre (km/h)	91.77
% de seguidores para 25% da capacidade	50.52
% de seguidores para a capacidade máxima	86.41
% de seguidores	67.71
Densidade de tráfego (uvl/km/via)	6.26

Figura 4-11 - Resultados do programa referentes à 7ª edição

Os níveis de serviço obtidos por cada uma das metodologias é apresentado na Figura 4-12.

Outputs	HCM 2000	HCM 7ª edição
Nível de Serviço	E	D

Figura 4-12 - Resultados do programa comuns às duas edições

Para a avaliação e validação dos resultados compara-se diretamente com os resultados do exercício resolvido, sendo necessário apresentar-se a respectiva conversão de unidades como é apresentado na Tabela 4-9.

Tabela 4-9 - Comparação dos parâmetros obtidos do exemplo da 7ª edição e os obtidos pelo programa

Parâmetros	Resultados do HCM 7ª edição	Conversão para Sistema métrico	Resultados do programa (Sistema métrico)
Velocidade de fluxo livre base (BFFS)	57	91,77	91,77
Débito de tráfego (v_d)	800 veíc/h	-	800 veíc/h
Velocidade de fluxo livre (FFS)	56,82 mi/h	91,49 km/h	91,50 km/h
Classe vertical	1	-	1
Velocidade média (S)	53,70 mi/h	86,46 km/h	84,47 km/h
Densidade de tráfego (D)	10,11 veíc/mi/via	6,28 veíc/km/via	6,26 veíc/km/via
% de seguidores	67,7	-	67,71
% de seguidores para 25% da capacidade	50,52	-	50,52
% de seguidores para a capacidade máxima	86,41	-	86,41
Nível de Serviço	D	-	D

Após confirmados os resultados são calculados os erros absolutos e relativos, para a edição do HCM 2000, como mostra a Tabela 4-10.

Tabela 4-10 - Erros absolutos e relativos do programa face aos cálculos manuais para a edição de 2000

Parâmetro	HCM 2000 (Manual)	HCM 2000 (Programa)	Erro absoluto	Erro relativo (%)
Débito (velocidade) sentido em análise (veículos/h)	804	804	0	0
Débito (velocidade) sentido em oposto (veículos/h)	1507	1507	0	0

Débito (tempo de seguimento) sentido em análise (veículos/h)	800	800	0	0
Débito (tempo de seguimento) sentido em oposto (veículos/h)	1500	1500	0	0
Velocidade de fluxo livre (km/h)	91,77	91,77	0	0
Velocidade média de viagem (km/h)	61,78	61,78	0	0
% base de tempo de seguimento	91,91	91,91	0	0
% de tempo de seguimento	93,41	93,41	0	0
Nível de serviço	E	E	-	-

O cálculo dos erros deve ser feito inclusive para os resultados da 7ª edição e os mesmos são mostrados na Tabela 4-11.

Tabela 4-11 - Erros absolutos e relativos à 7ª edição

Parâmetro	HCM 7ª Edição (Manual)	HCM 7ª Edição (Programa)	Erro absoluto	Erro relativo (%)
Velocidade de fluxo livre (FFS) (km/h)	91,49	91,50	0,01	0,01%
Débito de tráfego (v_d) (uvl/h)	800	800	0	0
Classe vertical	1	1	0	0
Velocidade média (S) (km/h)	86,46	86,47	0,01	0,01%
Velocidade base em regime livre (km/h)	91,77	91,77	0	0
% de seguidores para 25% da capacidade	50,52	50,52	0	0
% de seguidores para a capacidade máxima	86,41	86,41	0	0
% de seguidores	67,7	67,71	0,01	0
Densidade de tráfego (D) (uvl/km/via)	6,28	6,26	0,02	0,3%
Nível de Serviço	D	D	0	0

Como os resultados quer da 7ª edição e da edição de 2000 não apresentam erros significativos, é possível afirmar-se que o programa executa corretamente as metodologias. Quanto aos resultados é possível afirmar-se que a 7ª edição permite valores menos conservadores que a edição de 2000, pois para as mesmas condições a estrada possui um nível de serviço mais crítico para edição de 2000.

4.4 Considerações finais

De acordo com o estudo e aplicação do programa é possível perceber-se que os cálculos realizados pelo mesmo estão corretos e permitem aproximar com bastante exatidão os resultados. Em ambos os casos o parâmetro que possui o maior erro relativo é a densidade (0,3%).

Como a densidade de tráfego é um dos últimos parâmetros a ser calculado, esse valor tende a ser resultado do acumular de diversos arredondamentos feitos ao longo do cálculo. Mesmo assim, essa percentagem de erro é bastante residual e permite concluir que o programa aproxima muito bem os resultados das duas metodologias.

5 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

5.1 Conclusões

Com este trabalho de projeto, foi possível construir uma ferramenta que viabiliza a aplicação das metodologias do HCM 7ª edição em sistema métrico, focando em estradas de duas vias e troços correntes de autoestrada. Para além disso, foi possível efetuar-se comparação direta dos resultados com a metodologia do 2000. Nesse contexto, tornou-se evidente que, apesar de a edição de 2000 estar desatualizada, ela ainda oferece estimativas de tráfego robustas, especialmente no que diz respeito aos troços correntes de autoestrada.

Ainda com a elaboração do código, foi possível constatar-se que alguns parâmetros de tráfego ainda são tidos em consideração nas duas metodologias, existindo muitos parâmetros comuns às duas metodologias, por exemplo: Velocidade de fluxo livre (parâmetros dinâmicos) e larguras da via e berma (parâmetros geométricos).

Para garantir a consistência e precisão dos resultados, a identificação cuidadosa de fatores de conversão apropriados e a subsequente aplicação de expressões e fórmulas do sistema imperial ao sistema métrico foram essenciais.

Os resultados obtidos possibilitaram uma análise abrangente das discrepâncias entre a metodologia HCM 2000 e a 7ª edição, apresentadas de maneira organizada em uma tabela comparativa. A ênfase em inconsistências em descrições, fórmulas e resultados proporcionou uma compreensão mais profunda das implicações práticas das atualizações do HCM.

5.2 Perspetivas Futuras

Com este trabalho de projeto pretendeu-se dar um contributo para facilitar a utilização do HCM 7ª edição para infraestruturas tipo (troços correntes de autoestrada e estradas de duas vias) em sistema métrico. Ainda dentro desse campo foi possível criar-se uma aplicação que permita comparar e perceber as diferenças das metodologias e consecutivamente dos resultados da edição de 2000 e a atual (2022).

Para desenvolvimento futuro, pode-se acrescentar e desenvolver mais metodologias do HCM por exemplo, a dos cruzamentos semaforizados e prioritários. Outro aspeto que seria interessante de desenvolver seria poder-se criar uma secção que permitisse ao utilizador inserir dados via ficheiro, por exemplo Excel ou bloco de notas (tipo .xlsx ou csv).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aghdashi, B. e Sasahara, F. (2022) *What Is New In The 7th Edition Of Highway Capacity Manual*. Estados Unidos da América. Disponível em: https://ksite.org/images/meeting/040722/what_is_new_in_the_7th_edition_of_hcm_04.07.2022.pdf (Acedido: 3 de Janeiro de 2024).
- Amanamba, E. (2016) «Performance Evaluation of a ‘Priority-Controlled’ Intersection Converted to “Signal-Controlled” Intersection», *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 10, pp. 948–957.
- Azeredo, V. (2012) *Avaliação do Nível de Serviço em Estradas de Faixa de Rodagem Única Segundo o HCM 2010*. Faculdade de engenharia da universidade do Porto. Disponível em: <http://www.fe.up.pt> (Acedido: 25 de Março de 2023).
- Cabral, J. (2016) *Primeira Auto-Estrada em Portugal, PORTUGALd’antigamente*. Disponível em: <https://portugaldeantigamente.blogs.sapo.pt/primeira-auto-estrada-em-portugal-39332> (Acedido: 5 de Abril de 2023).
- Costa, A. e Macedo, J. (2008) *Manual do Planeamento de Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária - Níveis de Serviço em Estradas e Auto-Estradas*. Disponível em: www.imt-ip.pt (Acedido: 25 de Março de 2023).
- Dowling, R. et al. (2016) *Planning and Preliminary Engineering Applications Guide to the Highway Capacity Manual*. Disponível em: <https://doi.org/10.17226/23632>.
- Fratat Engenharia Consultiva (2020) *Microssimulação de Tráfego, Fratat Engenharia Consultiva*. Disponível em: <https://www.fratat.com.br/servicos/estudos-de-trafego-e-transportes/microssimulacao-de-trafego/> (Acedido: 10 de Agosto de 2023).
- Highway Research Board (1950) *Highway Capacity Manual: Practical Applications of Research*. Washington D.C.: Bureau of Public Roads, U.S. Department of Commerce.
- Highway Research Board e National Research Council (1965) *Special Report 87: Highway Capacity Manual*. Washington D.C.,.
- Highway Research Board e National Research Council (1985) *Special Report 209: Highway Capacity Manual*. Washington D.C.,: Transportation Research Board, National Research Council. Disponível em: <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr209/209.pdf> (Acedido: 19 de Julho de 2023).
- Highway Research Board e National Research Council (1998) *Special Report 209: Highway Capacity Manual*. Third Edit. Washington, D.C.,.
- Kittelson, W.K. (2000b) *Historical Overview of the Committee on Highway Capacity and Quality of Service*. Estados Unidos da América. Disponível em: <https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/millennium/00051.pdf> (Acedido: 3 de Janeiro de 2024).
- Martins, P.M. (2019) *Apontamentos sobre Modelos Dinâmicos de Congestionamento*. Lisboa.

- Microsoft (2021) *Visual Studio Code*. Microsoft. Disponível em: <https://code.visualstudio.com/brand> (Acedido: 31 de Dezembro de 2023).
- National Research Council (U.S.) (2010) *HCM 2010 : Highway Capacity Manual*. 5th ed, *HCM 2010 : highway capacity manual*. 5th ed. Washington, D.C.: Transportation Research Board.
- Rodrigue, J.-P. (2020) *The Geography of Transport Systems*. 5th editio. London.
- Sasahara, D.F. e McTrans (2021) *Two-Lane Highways Analysis*. Disponível em: <https://mctrans-wordpress-prd-app.azurewebsites.net/two-lane-highways-analysis-a-look-ahead-at-the-upcoming-release-of-the-hcm-from-a-practitioners-perspective/>.
- Silva, P. (2007) *Engenharia de Tráfego apostila: Teoria do Fluxo de Tráfego*. Universidade de Brasília. Disponível em: <https://www.sinaldetransito.com.br/artigos/teoria-do-fluxo-de-trafego.pdf> (Acedido: 3 de Janeiro de 2024).
- Silvares, M. (2021) *Portugal é o segundo país europeu com maior rede de autoestradas por habitante*. Disponível em: <https://eco.sapo.pt/2021/08/12/portugal-e-o-segundo-pais-europeu-com-maior-rede-de-autoestradas-por-habitante/> (Acedido: 5 de Abril de 2023).
- Sousa, P. (2023) *Mobilidade - O que é, conceito, importância e estrutura*. Disponível em: <https://conceito.de/mobilidade> (Acedido: 10 de Agosto de 2023).
- Transportation Research Board (2000) *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board, National Research Council.
- Transportation Research Board (2016) *Highway Capacity Manual 6th Edition, Highway Capacity Manual 6th Edition*. Washington, DC: The National Academies Press. Disponível em: <https://doi.org/10.17226/24798>.
- TRB, T.R.B. e NASEM, National Academies of Sciences, Engineering, and M. (2022) *Highway Capacity Manual 7th Edition: A Guide for Multimodal Mobility Analysis*. Washington, DC: The National Academies Press. Disponível em: <https://doi.org/10.17226/26432>.
- Washburn, S.S. e Washburn, L.D. (2022) *Highway Capacity Manual-6 th Edition Overview Course No: C03-065 Credit: 3 PDH*. Disponível em: www.cedengineering.com (Acedido: 3 de Janeiro de 2024).

APÊNDICES

APÊNDICE I. FICHEIROS *HTML*

I.1 Ficheiro “index.html”

31/12/23, 18:08

Index.html

lesto_20230607\index.html

```
1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="en">
3 <head>
4   <link rel="stylesheet" href="css/estiloINDEX.css">
5   <meta charset="UTF-8">
6   <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
7   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
8   <title>Menu Principal</title>
9 </head>
10 <body>
11   <div class="grid-container">
12     <div class="title">
13       <h1>Menu Principal</h1>
14     </div>
15     <div class="methods">
16       <label>Escolha o que deseja calcular:</label>
17       <a href="AE.html" class="box">Troços Corrente de Autoestrada (AE)</a>
18       <a href="EN.html" class="box">Estradas de duas vias</a>
19     </div>
20     <div class="wrapper">
21       <div class="developer">
22         <label>Sobre o Desenvolvedor</label>
23         
24         <p>Programa desenvolvido por João Lesto, estudante de engenharia civil, no
25         âmbito do trabalho final de mestrado para a obtenção de grau mestre na área de vias de
26         comunicação e transportes </p>
27       </div>
28       <div class="versions">
29         <label>Versões do HCM Utilizadas</label>
30         <div class="images">
31           
32           
33         </div>
34         <div class="editions">
35           <p>HCM2000</p>
36           <p>HCM 7ª Edição</p>
37         </div>
38         <p>As duas versões utilizadas neste trabalho são a versão de 2000 e a 7ª
39         Edição (que corresponde à mais recente)</p>
40       </div>
41     </div>
42   </div>
43 </body>
44 </html>
```

localhost:60215/9bcabb67-2482-4940-9e40-0c0b0bb54b46/

1/1

I.2 Ficheiro “AE.html”

21/12/23, 21:10

AE.html

AE.html

```
1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="en">
3 <head>
4   <link rel="stylesheet" href="css/estiloAE.css">
5   <script src="https://code.jquery.com/jquery-3.6.4.min.js"
6     integrity="sha256-oP6HI9z1XAzNBpTURtCoU5SXUnxFr8s3BzRl+cbzUq8="
7     crossorigin="anonymous"
8   >>/script>
9   <script src="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/moment.js/2.18.1/moment.min.js"></script>
10  <script type="text/javascript" src="js/validator.js"></script>
11  <meta charset="UTF-8">
12  <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
13  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
14  <title>Troços correntes de Autoestrada (AE)</title>
15 </head>
16 <h1>Troços correntes da Autoestrada (AE)</h1>
17 <body>
18   <div class="parent">
19     <div class="form-input-gerais">
20       <form name="input" id="input_geral" class="form" method="post">
21         <fieldset>
22           <legend>Inputs Gerais</legend>
23           <input type="radio" name="terreno" id="ondulado" />
24           <label for="ondulado">Terreno Ondulado</label>
25           <br/>
26           <input type="radio" name="terreno" id="plano" />
27           <label for="plano">Terreno Plano</label>
28           <br/>
29           <input type="radio" name="terreno" id="montanhoso" />
30           <label for="montanhoso">Terreno Montanhoso</label>
31           <br/>
32           <div class="general-inputs">
33             <div class="row">
34               <label for="car_volume">Volume de tráfego (veiculos/h)</label>
35               <input type="number" name="car_volume" id="car_volume" min="0"
36                 number-only />
37             </div>
38             <div class="row">
39               <label for="phf">Fator de Ponta Horário</label>
40               <input type="number" name="phf" id="phf" step="0.01" min="
41                 0.80" max="0.95" />
42             </div>
43             <div class="row">
44               <label for="N_vias">Número de Vias</label>
45               <input type="number" name="N_vias" id="N_vias" min="2" max="
46                 10" step="1" number-only/>
47             </div>
48             <div class="row">
49               <label for="pt">% de Veiculos Pesados</label>
50               <input type="number" name="pt" id="pt" min="0" max="100"/>
51             </div>
52             <div class="row">
53               <label for="pr">% de Veiculos Recriativos</label>
54               <input type="number" name="pr" id="pr" min="0" max="100"/>
55             </div>
56             <input type="radio" name="FFS" id="FFS_m"/>
57             <label for="FFS_m">FFS (Medido em campo)</label>
58           </div>
59         </fieldset>
60       </form>
61     </div>
62   </div>
63 </body>
64 </html>
```

localhost64096/29f450c3-c916-4fee-9fc5-3a4808062362/

1/13

```

55     <div class="row">
56         <label for="FFS">Velocidade de fluxo livre (km/h)</label>
57         <input type="number" name="FFS_m" id="FFS" min="0"/>
58     </div>
59     <input type="radio" name="FFS" id="FFS_c"/>
60     <label for="FFS_c">FFS (Calculado)</label>
61     <div class="row">
62         <label for="berma">Largura da Berma (m)</label>
63         <input type="number" name="berma" id="berma" step="0.01" min=
64     "0"/>
65     </div>
66     <div class="row">
67         <label for="via">Largura da Via (m)</label>
68         <input type="number" name="via" id="via" step="0.01" min=
69     "3.0"/>
70     </div>
71     <div class="row">
72         <label for="rural">AE em Meio Rural</label>
73         <input type="checkbox" name="rural" id="rural"/>
74     </div>
75     <div class="row">
76         <label for="length">Comprimento da Via (km)</label>
77         <input type="number" name="length" id="length" step="0.01"
78     min="0" max="100" />
79     </div>
80     <div class="row">
81         <label for="N_acessos">Número de Acessos</label>
82         <input type="number" name="acessos" id="N_acessos" min="0" />
83     </div>
84     <div class="row">
85         <label for="BFFS">Velocidade base em regime livre (km/h)</label>
86         <input type="number" name="BFFS" id="BFFS" min="45"/>
87     </div>
88 </div>
89 </fieldset>
90 </form>
91 </div>
92 <div class="form-hcm-2000">
93     <form name="input" id="input_HCM2000" class="form" method="post">
94         <fieldset>
95             <legend>Inputs HCM 2000</legend>
96             <div class="row">
97                 <label for="tipos_de_condutores">Tipos de Condutores</label>
98                 <select id="tipos_de_condutores" name="tipos_de_condutores">
99                     <option value="">Select Option</option>
100                    <option>Condutores Habituais</option>
101                    <option>Condutores Exporádicos</option>
102                </select>
103            </div>
104        </fieldset>
105        <button type="submit" id="Calcular">Calcular</button>
106    </form>
107 </div>
108 <div class="form-outputs">
109     <form name="outputs" id="outputs" class="form" action="php/validation.php"
110     method="post">
111         <table id="tabela">
112             <thead>
113                 <tr>
114                     <th>Outputs</th>
115                 </tr>
116             </thead>
117         </table>
118     </form>
119 </div>

```

```

111         <th>HCM 2000</th>
112         <th>HCM 7ª edição</th>
113     </tr>
114 </thead>
115 <tbody>
116     <tr>
117         <td id="label_fhv">FHV</td>
118         <td><input type="text" name="fhv" id="fhv" disabled</td>
119         <td><input type="text" name="fhv_2022" id="fhv_2022" disabled>
120     </td>
121     </tr>
122     <tr>
123         <td id="label_vp">Vp (uvl/h/via)</td>
124         <td><input type="text" name="vp" id="vp" disabled</td>
125         <td><input type="text" name="vp_2022" id="vp_2022" disabled>
126     </td>
127     </tr>
128     <tr>
129         <td id="label_ffs">Velocidade de fluxo livre (km/h)</td>
130         <td><input type="text" name="ffs_o" id="FFS_o" disabled</td>
131         <td><input type="text" name="ffs_o_2022" id="FFS_o_2022"
132     disabled</td>
133     </tr>
134     <tr>
135         <td id="label_ffs_ajustada">Velocidade de fluxo livre ajustada
136     (km/h)</td>
137         <td><input type="text" name="FFS_o_ajustada" id="
138     FFS_o_ajustada" disabled</td>
139         <td><input type="text" name="FFS_o_2022_ajustada" id="
140     FFS_o_2022_ajustada" disabled</td>
141     </tr>
142     <tr>
143         <td id="label_capacidade">Capacidade (uvl/h/via)</td>
144         <td><input type="text" name="capacidade" id="c" disabled</td>
145         <td><input type="text" name="capacidade_2022" id="c_2022"
146     disabled</td>
147     </tr>
148     <tr>
149         <td id="label_capacidade_ajustada">Capacidade ajustada
150     (uvl/h/via)</td>
151         <td><input type="text" name="capacidade" id="c_ajustada"
152     disabled</td>
153         <td><input type="text" name="capacidade_2022" id="
154     c_2022_ajustada" disabled</td>
155     </tr>
156     <tr>
157         <td id="label_velocidade_media">Velocidade média (km/h)</td>
158         <td><input type="text" name="velocidade_media" id="S"
159     disabled</td>
160         <td><input type="text" name="velocidade_media_2022" id="
161     S_2022" disabled</td>
162     </tr>
163     <tr>
164         <td id="label_densidade">Densidade de tráfego por via
165     (uvl/km/via)</td>
166         <td><input type="text" name="densidade" id="D" disabled</td>
167         <td><input type="text" name="densidade_2022" id="D_2022"
168     disabled</td>
169     </tr>
170     <tr>
171         <td id="label_service_level">Nível de Serviço</td>
172         <td><input type="text" name="service_level" id="service_level"
173     disabled</td>
174     </tr>

```

```

159         <td><input type="text" name="service_level_2022" id="
service_level_2022" disabled></td>
160     </tr>
161 </tbody>
162 </table>
163 </form>
164 <button type="submit" id="Limpar">Limpar Dados</button>
165 </div>
166 <div class="form-hcm-7-edition">
167 <form name="input" id="input_HCM7" class="form" method="post">
168 <fieldset>
169 <legend>Inputs HCM 7ª Edição</legend>
170 <div class="row">
171 <label for="cond_atmos">Condições Atmosféricas</label>
172 <select id="cond_atmos" name="Condições_base">
173 <option value="">Select Option</option>
174 <option>Situação de Base</option>
175 <option>Precipitação Média</option>
176 <option>Precipitação Elevada</option>
177 <option>Pouca Neve</option>
178 <option>Neve Ligeira</option>
179 <option>Muita Neve</option>
180 <option>Nevão</option>
181 <option>Frio Severo</option>
182 <option>Pouca visibilidade</option>
183 <option>Péssima Visibilidade</option>
184 <option>Visibilidade Mínima</option>
185 </select>
186 </div>
187 </fieldset>
188 </form>
189 <button type="submit" id="Exportar" form="outputs" disabled>Exportar</button>
190 </div>
191 </div>
192 </body>
193 <script type="text/javascript">
194 $(function () {
195     $("#FFS_m").click(function () {
196         if ($(this).is(":checked")) {
197             $("#FFS").attr("disabled", false);
198             $("#length").attr("disabled", true);
199             $("#via").attr("disabled", true);
200             $("#berma").attr("disabled", true);
201             $("#BFFS").attr("disabled", true);
202             $("#N_acessos").attr("disabled", true)
203         }
204     });
205 });
206 $(function () {
207     $("#FFS_c").click(function () {
208         if ($(this).is(":checked")) {
209             $("#FFS").attr("disabled", true);
210             $("#length").attr("disabled", false);
211             $("#berma").attr("disabled", false);
212             $("#via").attr("disabled", false);
213             $("#BFFS").attr("disabled", false);
214             $("#N_acessos").attr("disabled", false)
215         }
216     });
217 });

```

```

218 </script>
219 <script src="js/AE_HCM2000.js"></script>
220 <script src="js/AE_HCM2022.js"></script>
221 <script>
222   $('#Exportar').on('click', function (e) {
223     e.preventDefault();
224
225     let data_input = [];
226     let data_output = [];
227
228     // preparation to send the post inputs
229     data_input.push('Terreno')
230     data_input.push(`${input[name="terreno"]:checked}`).next('label').text()
231
232     data_input.push('FFS')
233     data_input.push(`${input[name="FFS"]:checked}`).next('label').text()
234
235
236     $('.general-inputs .row').each(function (key, el) {
237       // get the labels and inputs
238       let $el = $(el);
239       let $label = $el.find('label');
240       let $input = $el.find('input');
241
242       // remove disable ones
243       if ($input.prop('disabled')) {
244         return
245       }
246
247       // join
248       data_input.push($label.text())
249       data_input.push(
250         $input.prop('type') === 'checkbox' ?
251           $input.prop('checked') ? 'Sim' : 'Não'
252           : $input.val()
253       )
254     })
255
256     $('.form-hcm-2000 .row, .form-hcm-7-edition .row').each(function (key, el) {
257       // get the labels and inputs
258       let $el = $(el);
259       let $label = $el.find('label');
260       let $input = $el.find('select option:selected');
261
262       // join
263       data_input.push($label.text())
264       data_input.push($input.text())
265     })
266
267     // preparation to send the post outputs
268     $([ 'label_fhv', 'fhv', 'fhv_2022',
269       'label_vp', 'vp', 'vp_2022',
270       'label_ffs', 'FFS_o', 'FFS_o_2022',
271       'label_ffs_ajustada', 'FFS_o_ajustada', 'FFS_o_2022_ajustada',
272       'label_capacidade', 'c', 'c_2022',
273       'label_capacidade_ajustada', 'c_ajustada', 'c_2022_ajustada',
274       'label_velocidade_media', 'S', 'S_2022',
275       'label_densidade', 'D', 'D_2022',
276       'label_service_level', 'service_level', 'service_level_2022'
277     ]).each(function (key, el) {

```

```

278     let $element = $('#${el}');
279     data_output.push($element.val() || $element.text())
280   })
281
282   $.ajax({
283     url: $('#outputs').attr('action'),
284     method: 'POST',
285     data: {input: data_input, output : data_output, 'type': 'ae'},
286     xhrFields: {
287       responseType: 'blob'
288     },
289     success: function (data) {
290       // Create a URL object from the binary data
291       let url = URL.createObjectURL(data);
292
293       // Create a temporary anchor element to trigger the download
294       let a = document.createElement('a');
295       a.href = url;
296       a.download = 'AEexported_' + moment().format('DD_MM_YYYY H:m')+'.xlsx';
297       a.style.display = 'none';
298       document.body.appendChild(a);
299       a.click();
300
301       // Clean up the URL object and the temporary anchor element
302       URL.revokeObjectURL(url);
303       document.body.removeChild(a);
304     },
305     error: function (xhr, status, error) {
306       console.error('Error downloading the file:', error);
307     }
308   });
309 })
310 </script>
311 <script defer>
312   $('#Calcula').click(function(e) {
313     e.preventDefault();
314     // HCM2000
315     let car_volume = parseInt($('#car_volume').val());
316     let N_aceessos = parseInt($('#N_aceessos').val());
317     let phf = parseFloat($('#phf').val());
318     let PT = parseInt($('#pt').val());
319     let PR = parseInt($('#pr').val());
320     let berma = parseFloat($('#berma').val());
321     let via = parseFloat($('#via').val());
322     let length = parseFloat($('#length').val());
323     let N = parseInt($('#N_vias').val());
324     let BFFS = parseFloat($('#BFFS').val());
325     let ET = 0;
326     let ER = 0;
327     let fp = 0;
328     let fhv = 0;
329     let vp = 0;
330     let FFS = 0;
331     let S = 0;
332     let D = 0;
333     //HCM2022
334     let ET_2022 = 0;
335     let fhv_2022 = 0;
336     let vp_2022 = 0;
337     let FFS_2022 = 0;

```

```

338     let FFSadj_2022 = 0;
339     let c_2022 = 0;
340     let cadj_2022 = 0;
341     let CAF = 0;
342     let SAF = 0;
343     let BP = 0;
344     let BPadj = 0;
345     let S_2022 = 0;
346     let D_2022 = 0;
347     if ($('#car_volume').val() === '' || $('#phf').val() === '' || $('#pt').val() ===
'' || $('#pr').val() === '' || $('#N_vias').val() === '' || $('#input[name="FFS"]:checked')
.length === 0 || $('#input[name="terreno"]:checked').length === 0) {
348         alert("Preencha todos os campos necessários");
349         return
350     } else if ($('#FFS_m').is(":checked") && $('#FFS').val() === '') {
351         alert("Introduza o valor do FFS (km/h)");
352         return;
353     } else if ($('#FFS_c').is(":checked") && ($('#berma').val() === '' || $('#length')
.val() === '' || $('#N_acessos').val() === '' || $('#via').val() === '' || $('#BFFS')
.val() === '')) {
354         alert("Preencha todos os campos necessários para calcular o FFS");
355         return;
356     } else if ($('#cond_atmos').val() === "" || $('#tipos_de_condutores').val() === " ") {
357         alert("Selecione a condição atmosférica e/ou tipo de condutor");
358         return;
359     } else {
360         // Campos preenchidos, prosseguir com o cálculo
361         if ($('#ondulado').is(":checked")) {
362             ET = 2.5
363             ER = 2.0
364             //HCM 2022
365             ET_2022 = 3.0
366         } else if ($('#plano').is(":checked")) {
367             ET = 1.5;
368             ER = 1.2;
369             //HCM 2022
370             ET_2022=2.0
371         } else if ($('#montanhoso').is(":checked")) {
372             ET = 4.5
373             ER = 4.0;
374             //HCM 2022
375             ET_2022 = 3.0
376         }
377
378         fhv = f_hv(PT,ET,PR,ER); // Passo 2
379         fhv_2022 = f_hv_2022(PT+PR,ET_2022);
380
381
382         $('#fhv').val(fhv.toFixed(3));
383         $('#fhv_2022').val(fhv_2022.toFixed(3));
384
385         if ($('#tipos_de_condutores').val() === "Condutores Exponádicos") {
386             fp = 0.85
387         } else {
388             fp = 1.0
389         }
390
391         vp = v_p(car_volume,phf,N,fhv,fp); // Passo 3
392         vp_2022 = v_p_2022(car_volume,phf,N,fhv_2022)
393
394         $('#vp').val(vp.toFixed(1));

```

```

395     $('#vp_2022').val(vp_2022.toFixed(1));
396
397     if (vp<2400 || vp_2022<2400) {
398         if ($('#FFS_m').is(":checked")) {
399             FFS = parseFloat($('#FFS').val());
400             $('#FFS_o').val(FFS.toFixed(1));
401             $('#FFS_o_2022').val(FFS.toFixed(1));
402             FFS_2022 = FFS;
403             $('#FFS_o_ajustada').val(FFS_2022.toFixed(1));
404             $('#FFS_o_2022_ajustada').val(FFS_2022.toFixed(1));
405
406         } else if ($('#FFS_c').is(":checked")) {
407             //HCM2000
408             let flw = 0; //via
409             flw = f_lw(via);
410             let flc = 0; //Nº vias e berma
411             flc = f_lfc(N,berma);
412             let fn = 0;
413             if ($('#rural').prop('checked')) {
414                 fn = 0;
415             }else{
416                 fn = f_n(N);
417             }
418             let fid = 0;
419             let TRD = N_acessos/length
420             fid = f_id(TRD)
421             FFS = FFS_f(BFFS,flw,flc,fn,fid)
422             $('#FFS_o').val(FFS.toFixed(1));
423             //HCM2022
424             let flw_2022 = 0;
425             flw_2022 = f_lw_2022(via*(1/0.305)); //via
426             let flrc = 0;
427             flrc = f_rlc(N,berma*(1/0.305)) //N e berma
428             let TRD_2022 = 0;
429             TRD_2022=N_acessos/(length/1.61)
430             let FFS_2022_c=0;
431             FFS_2022_c = FFS_f_2022(BFFS*(1/1.61),flw_2022,flrc,TRD_2022)
432             FFS_2022 = FFS_2022_c*1.61;
433             $('#FFS_o_2022').val((FFS_2022).toFixed(1))
434         }
435
436         if ((FFS_2022/1.61)>=55 && (FFS_2022/1.61)<60){
437             if ($('#cond_atmos').val()=== "Precipitação Média") {
438                 CAF = 0.94;
439                 SAF = 0.96;
440             }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Precipitação Elevada") {
441                 CAF = 0.89;
442                 SAF = 0.94;
443             }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Pouca Neve") {
444                 CAF = 0.97;
445                 SAF = 0.94;
446             }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Neve Ligeira") {
447                 CAF = 0.95;
448                 SAF = 0.92;
449             }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Muita Neve") {
450                 CAF = 0.93;
451                 SAF = 0.9;
452             }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Nevão") {
453                 CAF = 0.8;
454                 SAF = 0.88;

```

```

455
456 }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Frio Severo") {
457     CAF = 0.93;
458     SAF = 0.95;
459
460 }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Pouca visibilidade") {
461     CAF = 0.98;
462     SAF = 0.96;
463
464 }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Péssima Visibilidade") {
465     CAF = 0.88;
466     SAF = 0.95;
467
468 }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Visibilidade Mínima") {
469     CAF = 0.98;
470     SAF = 0.95;
471
472 }else{
473     CAF = 1.0;
474     SAF = 1.0;
475 }
476
477 }else if((FFS_2022/1.61)>=60 && (FFS_2022/1.61)<65){
478
479     if ($('#cond_atmos').val()=== "Precipitação Média") {
480         CAF = 0.93;
481         SAF = 0.95;
482     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Precipitação Elevada") {
483         CAF = 0.88;
484         SAF = 0.93;
485
486     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Pouca Neve") {
487         CAF = 0.96;
488         SAF = 0.92;
489
490     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Neve Ligeira") {
491         CAF = 0.94
492         SAF = 0.9;
493
494     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Muita Neve") {
495         CAF = 0.91;
496         SAF = 0.88;
497
498     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Nevão") {
499         CAF = 0.78;
500         SAF = 0.86;
501
502     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Frio Severo") {
503         CAF = 0.92;
504         SAF = 0.95;
505
506     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Pouca visibilidade") {
507         CAF = 0.9;
508         SAF = 0.95;
509
510     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Péssima Visibilidade") {
511         CAF = 0.88;
512         SAF = 0.94;
513
514     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Visibilidade Mínima") {

```

```

515         CAF = 0.9;
516         SAF = 0.94;
517
518     }else{
519         CAF = 1.0;
520         SAF = 1.0;
521     }
522 }else if ((FFS_2022/1.61)>=65 && (FFS_2022/1.61)<70){
523     if ($('#cond_atmos').val()=== "Precipitação Média") {
524         CAF = 0.92;
525         SAF = 0.94;
526
527     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Precipitação Elevada") {
528         CAF = 0.86;
529         SAF = 0.93;
530
531     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Pouca Neve") {
532         CAF = 0.96;
533         SAF = 0.89;
534
535     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Neve Ligeira") {
536         CAF = 0.92;
537         SAF = 0.88;
538
539     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Muita Neve") {
540         CAF = 0.9;
541         SAF = 0.86;
542
543     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Nevão") {
544         CAF = 0.76;
545         SAF = 0.85;
546
547     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Frio Severo") {
548         CAF = 0.92;
549         SAF = 0.94;
550
551     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Pouca visibilidade") {
552         CAF = 0.9;
553         SAF = 0.94;
554
555     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Péssima Visibilidade") {
556         CAF = 0.88;
557         SAF = 0.93;
558
559     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Visibilidade Mínima") {
560         CAF = 0.9;
561         SAF = 0.93;
562
563     }else{
564         CAF = 1.0;
565         SAF = 1.0;
566     }
567 } else if ((FFS_2022/1.61)>=70 && (FFS_2022/1.61)<75){
568     if ($('#cond_atmos').val()=== "Precipitação Média") {
569         CAF = 0.91;
570         SAF = 0.93;
571
572     } else if ($('#cond_atmos').val()=== "Precipitação Elevada") {
573         CAF = 0.84;
574         SAF = 0.92;

```

```

575
576 } else if ($('#cond_atmos').val()=== "Pouca Neve") {
577     CAF = 0.95;
578     SAF = 0.87;
579
580 } else if ($('#cond_atmos').val()=== "Neve Ligeira") {
581     CAF = 0.9;
582     SAF = 0.86;
583
584 } else if ($('#cond_atmos').val()=== "Muita Neve") {
585     CAF = 0.88;
586     SAF = 0.84;
587
588 } else if ($('#cond_atmos').val()=== "Nevão") {
589     CAF = 0.74;
590     SAF = 0.83;
591
592 } else if ($('#cond_atmos').val()=== "Frio Severo") {
593     CAF = 0.91;
594     SAF = 0.93;
595
596 } else if ($('#cond_atmos').val()=== "Pouca visibilidade") {
597     CAF = 0.9;
598     SAF = 0.94;
599
600 } else if ($('#cond_atmos').val()=== "Péssima Visibilidade") {
601     CAF = 0.88;
602     SAF = 0.92;
603
604 } else if ($('#cond_atmos').val()=== "Visibilidade Mínima") {
605     CAF = 0.9;
606     SAF = 0.92;
607
608 } else{
609     CAF = 1.0;
610     SAF = 1.0;
611 }
612 }else if((FFS_2022/1.61)>=75){
613     if ($('#cond_atmos').val()=== "Precipitação Média") {
614         CAF = 0.9;
615         SAF = 0.93;
616
617     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Precipitação Elevada") {
618         CAF = 0.82;
619         SAF = 0.91;
620
621     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Pouca Neve") {
622         CAF = 0.95;
623         SAF = 0.84;
624
625     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Neve Ligeira") {
626         CAF = 0.88;
627         SAF = 0.83;
628
629     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Muita Neve") {
630         CAF = 0.87;
631         SAF = 0.82;
632
633     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Nevão") {
634         CAF = 0.72;

```

```

635         SAF = 0.81;
636
637     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Frio Severo") {
638         CAF = 0.9;
639         SAF = 0.92;
640
641     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Pouca visibilidade") {
642         CAF = 0.9;
643         SAF = 0.93;
644
645     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Péssima Visibilidade") {
646         CAF = 0.88;
647         SAF = 0.91;
648
649     }else if ($('#cond_atmos').val()=== "Visibilidade Mínima") {
650         CAF = 0.9;
651         SAF = 0.91;
652
653     }else{
654         CAF = 1.0;
655         SAF = 1.0;
656     }
657 }
658 c_2022 = c_f(FFS_2022/1.61);
659 $('#c_2022').val(c_2022.toFixed(0));
660 //verificação//
661 FFSadj=FFSadj_f(FFS_2022/1.61,SAF);
662 $('#FFS_o_2022_ajustada').val((FFSadj*1.61).toFixed(1))
663 $('#FFS_o_ajustada').val((FFS).toFixed(1))
664 //verificação
665 cadj_2022 = cadj_f(c_2022,CAF);
666 $('#c_2022_ajustada').val(cadj_2022.toFixed(0));
667 //verificação
668 BP=BP_f(FFS_2022/1.61,CAF);
669 BPadj=BPadj_f(FFSadj,CAF);
670 S_2022 = S_f_2022(FFSadj,vp,BPadj,c_2022,cadj_2022);
671 $('#S_2022').val((S_2022*1.61).toFixed(1));
672 D_2022 = D_f(vp_2022,S_2022);
673 $('#D_2022').val((D_2022/1.61).toFixed(1));
674 $('#service_level_2022').val(LOS_2022(D_2022));
675 $('#c').val(2400);
676 $('#c_ajustada').val(2400);
677 S = S_f(FFS,vp);
678 $('#S').val(S.toFixed(1));
679 D = D_f(vp,S);
680 $('#D').val(D.toFixed(1));
681 $('#service_level').val(LOS(D));
682 }else {
683     $('#c').val(2400);
684     $('#S').val('');
685     $('#D').val('');
686     $('#FFS_o').val('');
687     $('#service_level').val("F");
688     $('#S_2022').val('');
689     $('#D_2022').val('');
690     $('#FFS_o_2022').val('');
691     $('#service_level_2022').val("F");
692 }
693 }
694

```

```

695     $('#Exportar').attr('disabled', false)
696   })
697
698   $('#Limpar').click(function(e) {
699     e.preventDefault();
700     //inputs
701     $('#input[name="terreno"]').prop('checked', false);
702     $('#input[name="FFS"]').prop('checked', false);
703     $('#car_volume').val('');
704     $('#N_acessos').val('');
705     $('#phf').val('');
706     $('#pt').val('');
707     $('#pr').val('');
708     $('#berma').val('');
709     $('#FFS').val('');
710     $('#via').val('');
711     $('#length').val('');
712     $('#N_vias').val('');
713     $('#BFFS').val('');
714     $('#tipos_de_condutores').val('');
715     $('#cond_atmos').val('');
716     //outputs
717     $('#fhv').val('');
718     $('#fhv_2022').val('');
719     $('#vp').val('');
720     $('#vp_2022').val('');
721     $('#FFS_o').val('');
722     $('#FFS_o_2022').val('');
723     $('#FFS_o_ajustada').val('');
724     $('#FFS_o_2022_ajustada').val('');
725     $('#s').val('');
726     $('#s_2022').val('');
727     $('#c').val('');
728     $('#c_2022').val('');
729     $('#c_ajustada').val('');
730     $('#c_2022_ajustada').val('');
731     $('#D').val('');
732     $('#service_level').val('');
733     $('#D_2022').val('');
734     $('#service_level_2022').val('');
735   })
736 </script>
737 </html>
738

```

I.3 Ficheiro “EN.html”

31/12/23, 16:06

EN.html

lesto_20230607\EN.html

```
1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="en">
3 <head>
4   <link rel="stylesheet" href="css/estiloEN.css">
5   <script src="https://code.jquery.com/jquery-3.6.4.min.js" integrity="sha256-
6   oP6HI9z1XAzNBpJCk962eh99w3jGvd3q0J2L0780A=" crossorigin="anonymous"></script>
7   <script type="text/javascript" src="js/validator.js"></script>
8   <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/moment.js@2.18.1/moment.min.js"></
9   <script>
10  <meta charset="UTF-8">
11  <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge">
12  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
13  <title>Estradas de duas vias</title>
14 </head>
15 <h1>Estradas de duas vias</h1>
16 <body>
17   <div class="parent">
18     <div class="form-input-gerais">
19       <form name="input" id="input_geral" class="form" method="post">
20         <fieldset>
21           <legend>Inputs Gerais</legend>
22           <div class="general-inputs">
23             <div class="row">
24               <label for="car_volume_d">Volume de tráfego na direção
25               pretendida (veiculos/h)</label>
26               <input type="number" name="car_volume_d" id="car_volume_d"
27               min="0" number-only />
28             </div>
29             <div class="row">
30               <label for="car_volume_o">Volume de tráfego na direção oposta
31               (veiculos/h)</label>
32               <input type="number" name="car_volume_o" id="car_volume_o"
33               min="0" number-only />
34             </div>
35             <div class="row">
36               <label for="phf">Fator de Ponta Horário</label>
37               <input type="number" name="phf" id="phf" step="0.01" min="
38               0.80" max="0.95" />
39             </div>
40             <div class="row">
41               <label for="pt">% de Veiculos Pesados</label>
42               <input type="number" name="pt" id="pt" min="0" max="100"/>
43             </div>
44             <div class="row">
45               <label for="pr">% de Veiculos Recriativos</label>
46               <input type="number" name="pr" id="pr" min="0" max="100"/>
47             </div>
48             <input type="radio" name="FFS" id="FFS_m"/>
49             <label for="FFS_m">FFS (com dados de campo)</label>
50             <input type="radio" name="FFS" id="FFS_c"/>
51             <label for="FFS_c">FFS (Calculado)</label>
52             <div class="row">
53               <label for="length">Comprimento da Via (km)</label>
54               <input type="number" name="length" id="length" step="0.01"
55               min="0" max="100" />
56             </div>
57             <div class="row" style="display: none">
58               <label for="SFM">Velocidade média medida no terreno (km/h)<
59             /label>
60           </div>
61         </fieldset>
62       </form>
63     </div>
64   </div>
65 </body>
66 </html>
```

localhost64710/b2666a36-2776-4e39-ba3b-727fa49ec6bb/

1/13

```

51         <input type="number" name="FFS_m" id="SFH" min="0"/>
52     </div>
53     <div class="row" style="display: none">
54         <label for="berma">Largura da Berma (m)</label>
55         <input type="number" name="berma" id="berma" step="0.01" min=
"0"/>
56     </div>
57     <div class="row" style="display: none">
58         <label for="via">Largura da Via (m)</label>
59         <input type="number" name="via" id="via" step="0.01" min="
3.0"/>
60     </div>
61     <div class="row" style="display: none">
62         <label for="N_acessos">Número de Acessos</label>
63         <input type="number" name="acessos" id="N_acessos" min="0" />
64     </div>
65 </div>
66 </fieldset>
67 </form>
68 </div>
69 <div class="form-hcm-2000">
70     <form name="input" id="input_HCM2000" class="form" method="post">
71         <fieldset>
72             <legend>Inputs HCM 2000</legend>
73             <input type="radio" name="terreno" id="ondulado" />
74             <label for="ondulado">Terreno Ondulado</label>
75             <br/>
76             <input type="radio" name="terreno" id="plano" />
77             <label for="plano">Terreno Plano</label>
78             <br/>
79             <div class="row">
80                 <label for="classe_estrada">Classe de Estrada</label>
81                 <select id="classe_estrada" name="classe_estrada">
82                     <option value="">Select Option</option>
83                     <option>1</option>
84                     <option>2</option>
85                 </select>
86             </div>
87             <div class="row">
88                 <label for="BFFS">Velocidade base em regime livre (km/h)</label>
89                 <input type="number" name="BFFS" id="BFFS" min="45"/>
90             </div>
91         </fieldset>
92     </form>
93 </div>
94 <div class="form-outputs_2000">
95     <form name="outputs-2000" id="outputs" class="form" action="
php/validation.php" method="post">
96         <table id="tabela">
97             <thead>
98                 <tr>
99                     <th>Outputs</th>
100                    <th>HCM 2000</th>
101                </tr>
102            </thead>
103            <tbody>
104                <tr>
105                    <td id="label_vd_s">Débito (velocidade) (sentido em análise)
(vc/h)</td>
106                    <td><input type="text" name="vd_s" id="vd_s" disabled</td>
107                </tr>

```



```

163         <td id="label_velocidade_media_2022">Velocidade média (km/h)</td>
164         <td><input type="text" name="velocidade_media_2022" id="S_2022"
disabled</td>
165     </tr>
166     <tr>
167         <td id="label_BFF5_2022">Velocidade base em regime livre (km/h)<
/td>
168         <td><input type="text" name="BFF5_2022" id="BFF5_2022" disabled<
/td>
169     </tr>
170     <tr>
171         <td id="label_PF25cap_2022">% de seguidores para 25% da
capacidade</td>
172         <td><input type="text" name="PF25cap_2022" id="PF25cap_2022"
disabled</td>
173     </tr>
174     <tr>
175         <td id="label_PFcap_2022">% de seguidores para a capacidade
máxima</td>
176         <td><input type="text" name="PFcap_2022" id="PFcap_2022" disabled<
/td>
177     </tr>
178     <tr>
179         <td id="label_PF_2022">% de seguidores</td>
180         <td><input type="text" name="PF_2022" id="PF_2022" disabled</td>
181     </tr>
182     <tr>
183         <td id="label_FD_2022">Densidade de tráfego (uvl/km/via) </td>
184         <td><input type="text" name="FD_2022" id="FD_2022" disabled</td>
185     </tr>
186 </tbody>
187 </table>
188 </form>
189 </div>
190 <div class="form-hcm-7-edition">
191     <form name="input" id="input_HCM7" class="form" method="post">
192         <fieldset>
193             <legend>Inputs HCM 7ª Edição</legend>
194             <div class="row">
195                 <label for="tipo_segmento">Tipo de Segmento</label>
196                 <select id="tipo_segmento" name="Tipo_de_Segmento">
197                     <option value="">Select Option</option>
198                     <option>Zona de Ultrapassagem</option>
199                     <option>Zona de Ultrapassagem Impedida</option>
200                 </select>
201             </div>
202             <div class="row">
203                 <label for="ldv">Limite de velocidade (km/h)</label>
204                 <input type="number" name="ldv" id="ldv" min="45"/>
205             </div>
206             <div class="row">
207                 <label for="inclinação">Inclinação longitudinal (%)</label>
208                 <input type="number" name="inclinação" id="inclinação" min="0"
max="100"/>
209             </div>
210         </fieldset>
211     </form>
212 </div>
213 <div class="form-outputs-gerais">
214     <form name="outputs_gerais" id="outputs_gerais" class="form" action="
php/validation.php" method="post">
215         <table id="tabela_gerais">

```

```

216         <thead>
217         <tr>
218             <th>Outputs</th>
219             <th>HCM 2000</th>
220             <th>HCM 73 edição</th>
221         </tr>
222         </thead>
223         <tbody>
224         <tr>
225             <td id="label_service_level">Nível de Serviço</td>
226             <td><input type="text" name="service_level" id="service_level"
disabled></td>
227             <td><input type="text" name="service_level_2022" id="
service_level_2022" disabled></td>
228         </tr>
229         </tbody>
230     </table>
231 </form>
232 <div class="buttons">
233     <button type="submit" id="Calcular">Calcular</button>
234     <button type="submit" id="Exportar">Exportar</button>
235     <button type="submit" id="Limpar">Limpar Dados</button>
236 </div>
237 </div>
238 </div>
239 </body>
240 <script type="text/javascript">
241     $(function () {
242         $("#FFS_m").click(function () {
243             if ($(this).is(":checked")) {
244                 $("#SFM").attr("disabled", false).parent().show();
245                 $("#via").attr("disabled", true).parent().hide();
246                 $("#Berma").attr("disabled", true).parent().hide();
247                 $("#BFFS").attr("disabled", true).parent().hide();
248                 $("#N_acessos").attr("disabled", true).parent().hide();
249             }
250         });
251     });
252     $(function () {
253         $("#FFS_c").click(function () {
254             if ($(this).is(":checked")) {
255                 $("#SFM").attr("disabled", true).parent().hide();
256                 $("#Berma").attr("disabled", false).parent().show();
257                 $("#via").attr("disabled", false).parent().show();
258                 $("#BFFS").attr("disabled", false).parent().show();
259                 $("#N_acessos").attr("disabled", false).parent().show();
260             }
261         });
262     });
263 </script>
264 <script src="js/EN_HCM2000.js"></script>
265 <script src="js/EN_HCM2022.js"></script>
266 <script>
267     $('#Exportar').on('click', function (e) {
268         e.preventDefault();
269
270         let data_input = [];
271         let data_output = [];
272         let data_output2000 = [];
273         let data_output2022 = [];

```

```

274
275 // preparation to send the post inputs
276 data_input.push('Terreno')
277 data_input.push($('input[name="terreno"]:checked').next('label').text())
278
279 data_input.push('FFS')
280 data_input.push($('input[name="FFS"]:checked').next('label').text())
281
282 $(' .general-inputs .row').each(function (key, el) {
283 // get the labels and inputs
284 let $el = $(el);
285 let $label = $el.find('label');
286 let value;
287 if ($el.find('select').length !== 0) {
288 value = $el.find('select option:selected').text();
289 } else if ($el.find('input').prop('type') === 'text' || $el.find('input')
290 .prop('type') === 'number') {
291 value = $el.find('input').val();
292 } else if ($el.find('input').prop('type') === 'checkbox') {
293 value = $el.find('input').prop('checked') ? 'Sim' : 'Não';
294 }
295
296 // remove disable ones
297 if ($el.find('input').prop('disabled')) {
298 return
299 }
300
301 // No empty values
302 if (!value) {
303 return;
304 }
305
306 // join
307 data_input.push($label.text());
308 data_input.push(value);
309 }
310
311 $(' .form-hcm-2000 .row, .form-hcm-7-edition .row').each(function (key, el) {
312 // get the labels and inputs
313 let $el = $(el);
314 let $label = $el.find('label');
315 let value;
316 if ($el.find('select').length !== 0) {
317 value = $el.find('select option:selected').text();
318 } else if ($el.find('input').prop('type') === 'text' || $el.find('input')
319 .prop('type') === 'number') {
320 value = $el.find('input').val();
321 } else if ($el.find('input').prop('type') === 'checkbox') {
322 value = $el.find('input').prop('checked') ? 'Sim' : 'Não';
323 }
324
325 // No empty values
326 if (!value) {
327 return;
328 }
329
330 // join
331 data_input.push($label.text());
332 data_input.push(value);
333 }

```

```

332
333
334     $("input[name='FFS'], input[name='terreno']").each(function (key, el) {
335         // get the labels and inputs
336         let $el = $(el);
337         let id = $el.attr('id');
338         let $label = $('label[for='${id}']');
339         let value = $el.is(':checked') ? 'Sim' : 'Não';
340
341         // No empty values
342         if (!$el.is(':checked')) {
343             return;
344         }
345
346         // join
347         data_input.push($label.text())
348         data_input.push(value)
349     })
350
351     // preparation to send the post outputs 2000
352     $([
353         'label_vd_s', 'vd_s',
354         'label_vo_s', 'vo_s',
355         'label_vd_ts', 'vd_ts',
356         'label_ffs', 'FFS_o',
357         'label_ATS_d', 'ATS_d',
358         'label_BPTSF_d', 'BPTSF_d',
359         'label_PTSF_d', 'PTSF_d',
360         'label_service_level', 'service_level'
361     ]).each(function (key, el) {
362         let $element = $('#${el}');
363         data_output2000.push($element.val() || $element.text())
364     })
365
366     // preparation to send the post outputs 2022
367     $([
368         'label_ffs_o_2022', 'FFS_o_2022',
369         'label_vd_2022', 'vd_2022',
370         'label_classe_vertical', 'classe_vertical',
371         'label_velocidade_media_2022', 'S_2022',
372         'label_BFFS_2022', 'BFFS_2022',
373         'label_PFCap_2022', 'PFCap_2022',
374         'label_PF_2022', 'PF_2022',
375         'label_FD_2022', 'FD_2022',
376         'label_service_level', 'service_level_2022'
377     ]).each(function (key, el) {
378         let $element = $('#${el}');
379         data_output2022.push($element.val() || $element.text())
380     })
381
382     $.ajax({
383         url: $('#outputs').attr('action'),
384         method: 'POST',
385         data: {
386             input: data_input,
387             output_2000: data_output2000,
388             output_2022: data_output2022,
389             'type': 'en'
390         },
391         xhrFields: {
392             responseType: 'blob'
393         },
394         success: function (data) {

```

```

392 // Create a URL object from the binary data
393 let url = URL.createObjectURL(data);
394
395 // Create a temporary anchor element to trigger the download
396 let a = document.createElement('a');
397 a.href = url;
398 a.download = 'AEExported_' + moment().format('DD_MM/YYYY H:m') + '.xlsx';
399 a.style.display = 'none';
400 document.body.appendChild(a);
401 a.click();
402
403 // Clean up the URL object and the temporary anchor element
404 URL.revokeObjectURL(url);
405 document.body.removeChild(a);
406 },
407 error: function (xhr, status, error) {
408     console.error('Error downloading the file:', error);
409 }
410 });
411 })
412 </script>
413 <script defer>
414     $('#Calcula').click(function(e) {
415         e.preventDefault();
416         // HCM2000
417         let car_volume_d = parseInt($('#car_volume_d').val());
418         let car_volume_o = parseInt($('#car_volume_o').val());
419         let N_acessos = parseInt($('#N_acessos').val());
420         let phf = parseFloat($('#phf').val());
421         let PT = parseInt($('#pt').val());
422         let PR = parseInt($('#pr').val());
423         let berma = parseFloat($('#berma').val());
424         let via = parseFloat($('#via').val());
425         let length = parseFloat($('#length').val());
426         let BFFS = parseFloat($('#BFFS').val());
427         let inclinação = parseFloat($('#inclinação').val());
428         let fg_s_d = 0;
429         let fg_ts_d = 0;
430         let fg_s_o = 0;
431         let fg_ts_o = 0;
432         let ET_s_d = 0;
433         let ER_s_d = 0;
434         let ET_s_o = 0;
435         let ER_s_o = 0;
436         let ET_ts_d = 0;
437         let ER_ts_d = 0;
438         let ET_ts_o = 0;
439         let ER_ts_o = 0;
440         let vd_s = 0;
441         let vo_s = 0;
442         let vd_ts = 0;
443         let vo_ts = 0;
444         let SFM = 0;
445         let fa = 0;
446         let fls = 0;
447         let FFS = 0;
448         let FFS_2022 = 0;
449         let ATS_d = 0;
450         let fnp_s = 0;
451         let BPTSF_d = 0;

```

```

452 let a=0;
453 let b=0;
454 let PTSF_d = 0;
455 let fnp_ts=0;
456 let classe_estrada = 0;
457 let LOS = "";
458 let LOS_2022 = "";
459 //hcm2022
460 let fls_2022 =0;
461 if (
462     $('#car_volume_d').val() === '' ||
463     $('#car_volume_o').val() === '' ||
464     $('#phf').val() === '' ||
465     $('#pt').val() === '' ||
466     $('#pr').val() === '' ||
467     !$('#input[name="FFS"]').is(':checked')
468 ) {
469     alert("Preencha todos os campos inputs gerais");
470     return;
471 }else if ($('#FFS_m').is(":checked") && ($('#length').val() === '' || $('#SPM'
.val() === '')){
472     alert("Introduza o valor do FFS (km/h)");
473     return;
474 }else if ($('#FFS_c').is(":checked") && ($('#berma').val() === '' || $('#
#N_aceessos').val() === '' || $('#via').val() === '')) {
475     alert("Preencha todos os campos necessários para calcular o FFS (km/h)");
476     return;
477 } else if (
478     !$('#input[name="terreno"]').is(':checked') ||
479     $('#classe_estrada').val() === '' ||
480     ($('#FFS_c').is(":checked") && ($('#BFFS').val() === ''
481 ) {
482     alert("Preencha todos os campos inputs HCM 2000");
483     return;
484 } else if (
485     $('#tipo_segmento').val() === '' ||
486     $('#ldv').val() === '' ||
487     $('#inclinação').val() === ''
488 ) {
489     alert("Preencha todos os campos inputs HCM 7ª edição");
490     return;
491 }
492 // Campos preenchidos, prosseguir com o cálculo
493 if ($('#ondulado').is(":checked")) {
494     if(car_volume_d>=0 && car_volume_d<=300){
495         fg_s_d=0.71;
496         fg_ts_d=0.77;
497         ET_s_d=2.5;
498         ER_s_d=1.1;
499         ET_ts_d=1.0;
500         ER_ts_d=1.0;
501
502     }else if(car_volume_d>300 && car_volume_d<=600){
503         fg_s_d=0.93;
504         fg_ts_d=0.94;
505         ET_s_d=1.9;
506         ER_s_d=1.1;
507         ET_ts_d=1.5;
508         ER_ts_d=1.0;
509     }else if(car_volume_d>600){

```

```

510         fg_s_d=0.99;
511         fg_ts_d=1.00;
512         ET_s_d=1.5;
513         ER_s_d=1.1;
514         ET_ts_d=1.0;
515         ER_ts_d=1.0;
516     }
517 }else if ($('#plano').is(":checked")) {
518     fg_s_d = 1.00;
519     fg_ts_d = 1.00;
520     if(car_volume_d>=0 && car_volume_d<=300){
521         ET_s_d=1.7;
522         ER_s_d=1.0;
523         ET_ts_d=1.1;
524         ER_ts_d=1.0;
525     }else if(car_volume_d>300 && car_volume_d<=600){
526         ET_s_d=1.2;
527         ER_s_d=1.0;
528         ET_ts_d=1.1;
529         ER_ts_d=1.0;
530     }else if(car_volume_d>600){
531         ET_s_d=1.1;
532         ER_s_d=1.0;
533         ET_ts_d=1.0;
534         ER_ts_d=1.0;
535     }
536 }
537 //sentido oposito
538 //
539 if ($('#ondulado').is(":checked")) {
540     if(car_volume_o>=0 && car_volume_o<=300){
541         fg_s_o=0.71;
542         fg_ts_o=0.77;
543         ET_s_o=2.5;
544         ER_s_o=1.1;
545         ET_ts_o=1.8;
546         ER_ts_o=1.0;
547     }
548     }else if(car_volume_o>300 && car_volume_o<=600){
549         fg_s_o=0.93;
550         fg_ts_o=0.94;
551         ET_s_o=1.9;
552         ER_s_o=1.1;
553         ET_ts_o=1.5;
554         ER_ts_o=1.0;
555     }else if(car_volume_o>600){
556         fg_s_o=0.99;
557         fg_ts_o=1.00;
558         ET_s_o=1.5;
559         ER_s_o=1.1;
560         ET_ts_o=1.0;
561         ER_ts_o=1.0;
562     }
563 }else if ($('#plano').is(":checked")) {
564     fg_s_o = 1.00;
565     fg_ts_o = 1.00;
566     if(car_volume_o>=0 && car_volume_o<=300){
567         ET_s_o=1.7;
568         ER_s_o=1.0;
569         ET_ts_o=1.1;

```

```

570     ER_ts_o=1.0;
571 }else if(car_volume_o>300 && car_volume_o<=600){
572     ET_s_d=1.2;
573     ER_s_d=1.0;
574     ET_ts_d=1.1;
575     ER_ts_d=1.0;
576 }else if(car_volume_o>600){
577     ET_s_o=1.1;
578     ER_s_o=1.0;
579     ET_ts_o=1.0;
580     ER_ts_o=1.0;
581 }
582 }
583 //sentido oposto
584 fhv_s_d = fhv_f(PT,ET_s_d,PR,ER_s_d); // Passo 2
585 fhv_ts_d = fhv_f(PT,ET_ts_d,PR,ER_ts_d);
586 fhv_s_o = fhv_f(PT,ET_s_o,PR,ER_s_o);
587 fhv_ts_o = fhv_f(PT,ET_ts_o,PR,ER_ts_o);
588 console.log(ET_s_d)
589 console.log(ER_s_d)
590 console.log(fhv_s_d)
591 console.log(fg_s_d)
592 //passo3
593 vd_s=vp_f(car_volume_d,phf,fg_s_d,fhv_s_d);
594 $('#vd_s').val(vd_s.toFixed(0));
595 vd_ts=vp_f(car_volume_d,phf,fg_ts_d,fhv_ts_d);
596 $('#vd_ts').val(vd_ts.toFixed(0));
597 vo_s=vp_f(car_volume_o,phf,fg_s_o,fhv_s_o);
598 $('#vo_s').val(vo_s.toFixed(0));
599 vo_ts=vp_f(car_volume_o,phf,fg_ts_o,fhv_ts_o);
600 $('#vo_ts').val(vo_ts.toFixed(0));
601 var fhvmax=[fhv_s_d,fhv_ts_d];
602 var max = Math.max(...fhvmax);
603 //débito
604 let vd_2022 = 0;
605 vd_2022 = v_f(car_volume_d,phf)
606 $('#vd_2022').val(vd_2022.toFixed(0));
607 //classe vertical (i,L)
608 let classe = classe_vertical_f(inclinação,length); //meter a funcionar
609 console.log(classe);
610 $('#classe_vertical').val(classe);
611 //BFFS
612 let ldv = parseFloat($('#ldv').val());
613 let BFFS_2022 = 0;
614 BFFS_2022 = BFFS_f(ldv/1.61)
615 $('#BFFS_2022').val((BFFS_2022*1.61).toFixed(2));
616 let vo_2022 = 0;
617 vo_2022 = v_f(car_volume_o,phf);
618 //passo 4
619 if(vd_s>1700 || vo_s>1700 || vd_ts>1700 || vo_ts>1700){
620     $('#service_level').val("F");
621 }else{
622     if($('#FFS_m').is(":checked")){
623         let SFM = parseFloat($('#SFM').val());
624         FFS=SFM+0.0125*(car_volume_d/fhv_s_d);
625         FFS_2022=FFS
626         $('#FFS_o').val(FFS.toFixed(2));
627         $('#FFS_o_2022').val(FFS_2022.toFixed(2));
628     }
629     }else{

```

```

630     fls=f_ls(berma,via);
631     console.log(fls);
632     fls_2022=fls_f_2022(via/0.305,berma/0.305);
633     console.log(fls_2022)
634     fa=fa_f(N_acessos);
635     console.log(fa);
636     fa_2022 = fa_f_2022(N_acessos);
637     console.log(fa_2022)
638     a_2022 = a_f(classe,vo_2022,length/1.61,BFFS_2022)
639     console.log(a_2022)
640     console.log(BFFS_2022)
641     FFS_2022 = FFS_f_2022(BFFS_2022,a_2022,PT,fls_2022,fa_2022)
642     console.log(FFS_2022)
643     FFS=FFS_f(BFFS,fls,fa)
644     $('#FFS_o').val(FFS.toFixed(2));
645     $('#FFS_o_2022').val((FFS_2022*1.61).toFixed(2));
646 }
647 let U = 0;
648 if($('#tipo_segmento').val()=== "Zona de Ultrapassagem Impedida"){
649     U=1;
650 }else{
651     U=0;
652 }
653 fnp_ats = fnp_f_ats(FFS,vo_s,U);
654 ATS_d=ATS_f(FFS,vd_s,vo_s,fnp_ats);
655 $('#ATS_d').val(ATS_d.toFixed(2));
656 a = exps_ts(vo_ts)[0];
657 b = exps_ts(vo_ts)[1];
658 BPTSF_d=BPTSF_f(vd_ts,a,b);
659 $('#BPTSF_d').val((BPTSF_d).toFixed(2));
660 let fnp_ts = 0;
661 fnp_ts = fnp_f_ts(FFS,vo_ts,U)
662 PTSF_d=PTSF_f(BPTSF_d,fnp_ts)
663 $('#PTSF_d').val(((PTSF_d)).toFixed(2))
664 if ($('#classe_estrada').val()=== "1"){
665     classe_estrada=1;
666 }else{
667     classe_estrada=2;
668 }
669 LOS=LOS_f(classe_estrada,ATS_d,PTSF_d)
670 $('#service_level').val(LOS);
671 let m1_2022 = 0;
672 let p1_2022 = 0;
673 let S_2022 = 0;
674 let PF25cap_2022 = 0;
675 let PFcap_2022 = 0;
676 let m2_2022 = 0;
677 let p2_2022 = 0;
678 let cap = 1700;
679 let PF_2022 = 0;
680 let FD_2022 = 0;
681 m1_2022=m1_f_2022(classe,length/1.61,PT,FFS_2022,vo_2022);
682 console.log(m1_2022)
683 p1_2022=p1_f_2022(classe,FFS_2022,PT,length/1.61,vo_2022);
684 console.log(p1_2022)
685 S_2022 = S_f_2022(vd_2022,m1_2022,p1_2022,FFS_2022);
686 console.log(S_2022)
687 $('#S_2022').val((S_2022*1.61).toFixed(2));
688
689

```

31/12/23, 16:06

EN.html

```
690 PF25cap_2022=PF25cap_f(classe,length/1.61,FFS_2022,PT,vo_2022);
691 $('#PF25cap_2022').val((PF25cap_2022.toFixed(2)));
692
693 PFcap_2022=PFcap_f(classe,length/1.61,FFS_2022,PT,vo_2022);
694 $('#PFcap_2022').val((PFcap_2022.toFixed(2)));
695
696 m2_2022=m2_f_2022(PFcap_2022,PF25cap_2022,cap);
697 console.log(m2_2022);
698 p2_2022=p2_f_2022(PFcap_2022,PF25cap_2022,cap);
699 console.log(p2_2022);
700 PF_2022=PF_f(m2_2022,p2_2022,vd_2022);
701 $('#PF_2022').val(PF_2022.toFixed(2));
702
703
704 FD_2022=FD_f(PF_2022,vd_2022,S_2022)
705 console.log(FD_2022);
706 $('#FD_2022').val((FD_2022/1.61).toFixed(2));
707
708 LOS_2022=NS2022_f(ldv/1.61,FD_2022,vd_2022,vo_2022)
709 $('#service_level_2022').val(LOS_2022);
710 }
711
712 $('#Exportar').attr('disabled', false)
713 })
714 $('#Limpar').click(function(e) {
715 e.preventDefault();
716 $('input[type="radio"]').prop('checked', false);
717 $('input, select').val('');
718 })
719 </script>
720 </html>
721
```

localhost64710/b2666a36-2776-4e39-ba3b-727fa49ec6bb/

13/13

APÊNDICE II. FICHEIROS *JAVASCRIPT*

II.1 Ficheiro “AE_HCM2000.js”

```
21/12/23, 21:07 AE_HCM2000.js
js\AE_HCM2000.js
1 // Função de vp
2 function v_p(V,PHF,N,fHV,fp){
3     return V/(PHF*N*fHV*fp)
4 }
5
6 // Função de fhv
7 function f_hv(PT,ET,PR,ER){
8     return 1/(1+(PT/100)*(ET-1)+(PR/100)*(ER-1))
9 }
10 // Função de FFS
11 function FFS_f(BFFS,flw,flc,fn,fid){
12     let FFS = 0
13     FFS = BFFS - flw - flc - fn - fid
14     return FFS
15 }
16
17 // Função de Flw
18 function f_lw(lar){
19     if (lar>=3.0 && lar<=3.1) {
20         return 10.6-((3-lar)*(10.6-8.1)/(3-3.1))
21     }
22     }else if (lar>3.1 && lar<=3.2) {
23         return 8.1-((3.1-lar)*(8.1-5.6)/(3.1-3.2))
24     }
25     }else if (lar>3.2 && lar<=3.3) {
26         return 5.6-((3.2-lar)*(5.6-3.1)/(3.2-3.3))
27     }
28     }else if (lar>3.3 && lar<=3.4) {
29         return 3.1-((3.3-lar)*(3.1-2.1)/(3.3-3.4))
30     }
31     }else if (lar>3.4 && lar<=3.5) {
32         return 2.1-((3.4-lar)*(2.1-1)/(3.4-3.5))
33     }
34     }else if (lar>3.5 && lar<=3.6) {
35         return 1-((3.5-lar)*(1-0)/(3.5-3.6))
36     }
37     }else if (lar>3.6) {
38         return 0
39     }
40 }
41 }
42 //interpolação
43 function inter(x1,x2,xc,y1,y2){
44     return y1-((x1-xc)*(y1-y2)/(x1-x2))
45 }
46 // Função de Flc
47 function f_lc(N,Berma){
48     if (Berma>1.8){
49         return 0
50     }
51     if (N==2){
52         if (Berma==0){
53             return 5.8
54         }
55         }else if (Berma>0 && Berma<=0.3){
56             return inter(0,0.3,Berma,5.8,4.8)
57 }
```

localhost:64096/2f8053d4-6d6f-4573-b5ad-531477238b24/

1/4

```

58     }else if (Berma>0.3 && Berma<=0.6){
59         return inter(0.3,0.6,Berma,4.0,3.9)
60
61     }else if (Berma>0.6 && Berma<=0.9) {
62         return inter(0.6,0.9,Berma,3.9,2.9)
63
64     }else if (Berma>0.9 && Berma<=1.2) {
65         return inter(0.9,1.2,Berma,2.9,1.9)
66
67     }else if (Berma>1.2 && Berma<=1.5){
68         return inter(1.2,1.5,Berma,1.9,1.0)
69
70     }else if (Berma>1.5 && Berma<=1.8) {
71         return inter(1.5,1.8,Berma,1.0,0)
72     }
73 }
74
75 if (N===3){
76     if (Berma===0){
77         return 3.9
78
79     }else if (Berma>0 && Berma<=0.3){
80         return inter(0,0.3,Berma,3.9,3.2)
81
82     }else if (Berma>0.3 && Berma<=0.6){
83         return inter(0.3,0.6,Berma,3.2,2.6)
84
85     }else if (Berma>0.6 && Berma<=0.9) {
86         return inter(0.6,0.9,Berma,2.6,1.9)
87
88     }else if (Berma>0.9 && Berma<=1.2) {
89         return inter(0.9,1.2,Berma,1.9,1.3)
90
91     }else if (Berma>1.2 && Berma<=1.5){
92         return inter(1.2,1.5,Berma,1.3,0.7)
93
94     }else if (Berma>1.5 && Berma<=1.8) {
95         return inter(1.5,1.8,Berma,0.7,0)
96     }
97 }
98
99 if (N===4){
100     if (Berma===0){
101         return 1.9
102
103     }else if (Berma>0 && Berma<=0.3){
104         return inter(0,0.3,Berma,1.9,1.6)
105
106     }else if (Berma>0.3 && Berma<=0.6){
107         return inter(0.3,0.6,Berma,1.6,1.3)
108
109     }else if (Berma>0.6 && Berma<=0.9) {
110         return inter(0.6,0.9,Berma,1.3,1.0)
111
112     }else if (Berma>0.9 && Berma<=1.2) {
113         return inter(0.9,1.2,Berma,1.0,0.7)
114
115     }else if (Berma>1.2 && Berma<=1.5){
116         return inter(1.2,1.5,Berma,0.7,0.3)
117

```

```

118     }else if (Berma>1.5 && Berma<=-1.8) {
119         return inter(1.5,1.8,Berma,0.3,0)
120     }
121 }
122
123 if (N>=5){
124     if (Berma===0){
125         return 1.3
126     }
127     }else if (Berma>0 && Berma<=0.3){
128         return inter(0,0.3,Berma,1.3,1.1)
129     }
130     }else if (Berma>0.3 && Berma<=0.6){
131         return inter(0.3,0.6,Berma,1.1,0.8)
132     }
133     }else if (Berma>0.6 && Berma<=0.9) {
134         return inter(0.6,0.9,Berma,0.8,0.6)
135     }
136     }else if (Berma>0.9 && Berma<=1.2) {
137         return inter(0.9,1.2,Berma,0.6,0.4)
138     }
139     }else if (Berma>1.2 && Berma<=-1.5){
140         return inter(1.2,1.5,Berma,0.4,0.2)
141     }
142     }else if (Berma>1.5 && Berma<=-1.8) {
143         return inter(1.5,1.8,Berma,0.2,0)
144     }
145 }
146 }
147
148 //Função de FN
149 function f_n(N){
150     if (N>=5){
151         return 0
152     }
153     }else if (N===4) {
154         return 2.4
155     }
156     }else if (N===3) {
157         return 4.8
158     }
159     }else if (N===2) {
160         return 7.3
161     }
162 }
163
164 //Função de FID
165
166 function f_id(Pa){
167     if (Pa>=1.2) {
168         return 12.1
169     }
170     }else if (Pa<1.2 && Pa>=1.1){
171         return inter(1.2,1.1,Pa,12.1,10.2)
172     }
173     }else if (Pa<1.1 && Pa>=1.0){
174         return inter(1.1,1.0,Pa,10.2,9.2)
175     }
176     }else if (Pa<1.0 && Pa>=0.9) {
177         return inter(1.0,0.9,Pa,9.2,8.1)

```

```

178
179     }else if (Pa<0.9 && Pa>=0.8) {
180         return inter(0.9,0.8,Pa,8.1,6.0)
181
182     }else if (Pa<0.8 && Pa>=0.7) {
183         return inter(0.8,0.7,Pa,6.0,5.0)
184
185     }else if (Pa<0.7 && Pa>=0.6) {
186         return inter(0.7,0.6,Pa,5.0,3.9)
187
188     }else if (Pa<0.6 && Pa>=0.5) {
189         return inter(0.6,0.5,Pa,3.9,2.1)
190
191     }else if (Pa<0.5 && Pa>=0.4) {
192         return inter(0.5,0.4,Pa,2.1,1.1)
193
194     }else if (Pa<0.4 && Pa>=0.3) {
195         return inter(0.4,0.3,Pa,1.1,0.0)
196
197     }else if (Pa<0.3) {
198         return 0.0
199     }
200 }
201
202 //velocidade média S (Km/h)
203 function S_f(FFS,vp){
204     if(FFS<=120 && FFS>=90 && vp>(3100-15*FFS) && vp<=(1800+5*FFS)){
205         return (FFS - ((1/28)^(23*FFS-1800)*(((vp+15*FFS-3100)/(20*FFS-1300))**2.6)))
206
207     }else
208         return FFS
209     }
210
211 //densidade (pc/km/via)
212 function D_f(vp,S){
213     return vp/S
214 }
215
216
217 //Nivel de servico (A,F)
218 function LOS(D){
219     if (D>=0 && D<7){
220         return "A"
221
222     }else if (D>=7 && D<11){
223         return "B"
224
225     }else if (D>=11 && D<16){
226         return "C"
227
228     }else if (D>=16 && D<22){
229         return "D"
230
231     }else if (D>=22 && D<28){
232         return "E"
233
234     }else if (D>=28) {
235         return "F"
236     }
237 }

```

II.2 Ficheiro “AE_HCM2022.js”

21/12/23, 21:08

AE_HCM2022.js

js\AE_HCM2022.js

```
1 // Função de vp
2 function v_p_2022(V,PHF,N,fHV){
3     return V/(PHF*N*fHV)
4 }
5 // Função de fHV
6 function f_hv_2022(PT,ET){
7     return 1/(1+(PT/100)*(ET-1))
8 }
9 // Função de FFS
10 function FFS_f_2022(BFFS,flw,frlc,TRD){
11     return BFFS - flw - frlc - (3.22*TRD**0.84) //milhas
12 }
13
14 // Função de Flw
15 function f_lw_2022(lar){
16     if (lar>=12.0) {
17         return 0
18     }
19     }else if (lar>=11.0 && lar<12.0){
20         return 1.9
21     }
22     }else if (lar>=10.0 && lar<11.0){
23         return 6.6
24     }
25     }else{
26         return 6.6
27     }
28 }
29
30 //interpolação
31 function inter(x1,x2,xc,y1,y2){
32     return y1-((x1-xc)*(y1-y2)/(x1-x2))
33 }
34 // Função de Frlc
35 function f_rlc(N,Berma){
36
37     if (Berma>=6){
38         return 0
39     }
40     if (N==2){
41         return -0.6*Berma+3.6
42     }
43     if (N==3){
44         return -0.4*Berma+2.4
45     }
46     if (N==4){
47         return -0.2*Berma+1.2
48     }
49     if (N>=5){
50         return -0.1*Berma+0.6
51     }
52 }
53 //FFS_adj
54 function FFSadj_f(FFS,SAF){
55     return FFS*SAF
56 }
57
```

localhost64096/d893679e-b11f-4e20-b757-c967d5c0fcb5/

1/2

```

58 //c
59 function c_f(FFS){
60     return 2200+10*(FFS-50)
61 }
62
63 //c ajustado
64 function cadj_f(c,CAF){
65     return c*CAF
66 }
67
68 //Bp
69 function BP_f(FFS,CAF){
70     return (CAF**2)*(1000+40*(75-FFS))
71 }
72
73 //Bpadj
74 function BPadj_f(FFSadj,CAF){
75     return (CAF**2)*(1000+40*(75-FFSadj))
76 }
77
78 //velocidade média S (Km/h)
79 function S_f_2022(FFSadj,vp,BPadj,c,cadj){
80     if(vp<=BPadj){
81         return FFSadj
82     }
83     }else if (vp>BPadj && vp<=c){
84         return FFSadj-(((FFSadj-((cadj/45)*(vp-BPadj)**2))/((cadj-BPadj)**2)))
85     }
86 }
87
88 //densidade (pc/km/via)
89 function D_f(vp,S){
90     return vp/S
91 }
92
93
94 //Nivel de serviço (A,F)
95 function LOS_2022 (D){
96     if (D>=0 && D<=11){
97         return "A"
98     }
99     }else if (D>11 && D<=18){
100         return "B"
101     }
102     }else if (D>18 && D<=26){
103         return "C"
104     }
105     }else if (D>26 && D<=35){
106         return "D"
107     }
108     }else if (D>35 && D<=45){
109         return "E"
110     }
111     }else if (D>45) {
112         return "F"
113     }
114 }

```

II.3 Ficheiro “EN_HCM2000.js”

21/12/23, 21:08

EN_HCM2000.js

js\EN_HCM2000.js

```
1 //classe 1
2 //passo 2
3 function fhv_f(PT,ET,PR,ER) {
4     return 1/(1+(PT/100)*(ET-1)+(PR/100)*(ER-1))
5 }
6 //passo3
7 function vp_f(V,PHF,fg,fhv) {
8     return V/(PHF*fg+fhv)
9 }
10 // Expressão de cálculo do fls
11 function f_ls(B,V){
12     if (V>=2.7 && V<3.0 && B>=0 && B < 0.6){
13         return 10.3
14     }
15     else if (V>=2.7 && V<3.0 && B>=0.6 && B < 1.2){
16         return 7.7
17     }
18     else if (V>=2.7 && V<3.0 && B>=1.2 && B < 1.8){
19         return 5.6
20     }
21     else if (V>=2.7 && V<3.0 && B>=1.8){
22         return 3.5
23     }
24     if (V>=3.0 && V<3.3 && B>=0 && B < 0.6){
25         return 8.5
26     }
27     else if (V>=3.0 && V<3.3 && B>=0.6 && B < 1.2) {
28         return 5.9
29     }
30     else if (V>=3.0 && V<3.3 && B>=1.2 && B < 1.8) {
31         return 3.8
32     }
33     else if (V>=3.0 && V<3.3 && B>=1.8) {
34         return 1.7
35     }
36     if (V>=3.3 && V<3.6 && B>=0 && B < 0.6){
37         return 7.5
38     }
39     else if (V>=3.3 && V<3.6 && B>=0.6 && B < 1.2) {
40         return 4.9
41     }
42     else if (V>=3.3 && V<3.6 && B>=1.2 && B < 1.8) {
43         return 2.8
44     }
45     else if (V>=3.3 && V<3.6 && B>=1.8) {
46         return 0.7
47     }
48     if (V>=3.6 && B>=0 && B < 0.6) {
49         return 6.8
50     }
51     else if (V>=3.6 && B>=0.6 && B < 1.2) {
52         return 4.2
53     }
54     else if (V>=3.6 && B>=1.2 && B < 1.8) {
55         return 2.1
56     }
57     else if (V>=3.6 && B>=1.8) {
```

localhost64096f6ddd2aa-71b-4e0e-812b-1b7436d0da8/

1/11

```

58     return 0
59   }
60 }
61 function fa_f(A){
62   let fa = 0;
63   fa = (4/6)*A
64   if (A>24){
65     fa=16.0
66   }
67   return fa
68 }
69 //passo 6
70 function FFS_f(BFFS,fls,fa) {
71   return BFFS-fls-fa
72 }
73
74
75 //fnp_ats
76
77
78
79 //passo7 fim da primeira parte
80 function Ats_f(FFS,vd_s,vo_s,fnp_s) {
81   return FFS-0.0125*(vd_s+vo_s)-fnp_s
82 }
83
84 //classe 2
85 //passo 13
86 function BPTSF_f(vd_ts,a,b) {
87   return 100*(1-Math.exp(a*vd_ts**(b)))
88 }
89 //passo 14.1
90 function exps_ts(vo){
91   let a = 0;
92   let b = 0;
93   if (vo<=200){
94     a=-0.013;
95     b=0.668;
96   }else if(vo>200 && vo<=400){
97     a=-0.057;
98     b=0.479;
99   }else if (vo>400 && vo<=600){
100    a=-0.100;
101    b= 0.413;
102   }else if (vo>600 && vo<=800){
103    a=-0.173;
104    b= 0.349;
105   }else if (vo>800 && vo<=1000){
106    a=-0.320;
107    b=0.276;
108   }else if (vo>1000 && vo<=1200){
109    a=-0.430;
110    b=0.242;
111   }else if (vo>1200 && vo<=1400){
112    a=-0.522;
113    b=0.225;
114   }else if (vo>=1600){
115    a=-0.665;
116    b=0.199;
117   }

```

```

118     return [a, b]
119 }
120 //fnp_ts
121 function fnp_f_ts(FFS,vo,U){ //fnp tempo de seguimentp
122     let fnp_ts = 0;
123     if (U==0){ //sem ultrapassagem
124         if (FFS>=110){
125             if (vo<=100){
126                 fnp_ts=10.1;
127             }else if (vo>100 && vo<=200){
128                 fnp_ts=12.4;
129             }else if (vo>200 && vo<=400){
130                 fnp_ts=9.0;
131             }else if (vo>400 && vo<=600){
132                 fnp_ts=5.3;
133             }else if (vo>600 && vo<=800){
134                 fnp_ts=3.0;
135             }else if (vo>800 && vo<=1000){
136                 fnp_ts=1.8;
137             }else if (vo>1000 && vo<=1200){
138                 fnp_ts=1.3;
139             }else if (vo>1200 && vo<=1400){
140                 fnp_ts=0.9;
141             }else if (vo>1400){
142                 fnp_ts=0.7;
143             }
144         }else if (FFS<110 && FFS>=100){
145             if (vo<=100){
146                 fnp_ts=8.4;
147             }else if (vo>100 && vo<=200){
148                 fnp_ts=11.5;
149             }else if (vo>200 && vo<=400){
150                 fnp_ts=8.6;
151             }else if (vo>400 && vo<=600){
152                 fnp_ts=5.1;
153             }else if (vo>600 && vo<=800){
154                 fnp_ts=2.8;
155             }else if (vo>800 && vo<=1000){
156                 fnp_ts=1.6;
157             }else if (vo>1000 && vo<=1200){
158                 fnp_ts=1.2;
159             }else if (vo>1200 && vo<=1400){
160                 fnp_ts=0.8;
161             }else if (vo>1400){
162                 fnp_ts=0.6;
163             }
164         }else if (FFS<100 && FFS>=90){
165             if (vo<=100){
166                 fnp_ts=6.7;
167             }else if (vo>100 && vo<=200){
168                 fnp_ts=10.5;
169             }else if (vo>200 && vo<=400){
170                 fnp_ts=8.3;
171             }else if (vo>400 && vo<=600){
172                 fnp_ts=4.9;
173             }else if (vo>600 && vo<=800){
174                 fnp_ts=2.7;
175             }else if (vo>800 && vo<=1000){
176                 fnp_ts=1.5;
177             }else if (vo>1000 && vo<=1200){

```

```

178         fnp_ts=1.0;
179     }else if (vo>1200 && vo<=1400){
180         fnp_ts=0.7;
181     }else if (vo>1400){
182         fnp_ts=0.6;
183     }
184     }else if (FFS<90 && FFS>=80){
185         if (vo<=100){
186             fnp_ts=5.0;
187         }else if (vo>100 && vo<=200){
188             fnp_ts=9.6;
189         }else if (vo>200 && vo<=400){
190             fnp_ts=7.9;
191         }else if (vo>400 && vo<=600){
192             fnp_ts=4.7;
193         }else if (vo>600 && vo<=800){
194             fnp_ts=2.5;
195         }else if (vo>800 && vo<=1000){
196             fnp_ts=1.3;
197         }else if (vo>1000 && vo<=1200){
198             fnp_ts=0.9;
199         }else if (vo>1200 && vo<=1400){
200             fnp_ts=0.6;
201         }else if (vo>1400){
202             fnp_ts=0.5;
203         }
204     }else if (FFS<80 && FFS>=70){
205         if (vo<=100){
206             fnp_ts=3.7;
207         }else if (vo>100 && vo<=200){
208             fnp_ts=8.7;
209         }else if (vo>200 && vo<=400){
210             fnp_ts=7.5;
211         }else if (vo>400 && vo<=600){
212             fnp_ts=4.5;
213         }else if (vo>600 && vo<=800){
214             fnp_ts=2.3;
215         }else if (vo>800 && vo<=1000){
216             fnp_ts=1.2;
217         }else if (vo>1000 && vo<=1200){
218             fnp_ts=0.8;
219         }else if (vo>1200 && vo<=1400){
220             fnp_ts=0.5;
221         }else if (vo>1400){
222             fnp_ts=0.4;
223         }
224     }
225     }else{ //com ultrapassagem
226         if (FFS>=110){
227             if (vo<=100){
228                 fnp_ts=21.8;
229             }else if (vo>100 && vo<=200){
230                 fnp_ts=24.8;
231             }else if (vo>200 && vo<=400){
232                 fnp_ts=15.4;
233             }else if (vo>400 && vo<=600){
234                 fnp_ts=10.4;
235             }else if (vo>600 && vo<=800){
236                 fnp_ts=6.7;
237             }else if (vo>800 && vo<=1000){

```

```

238         fnp_ts=4.4;
239     }else if (vo>1000 && vo<=1200){
240         fnp_ts=3.1;
241     }else if (vo>1200 && vo<=1400){
242         fnp_ts=2.1;
243     }else if (vo>1400){
244         fnp_ts=1.4;
245     }
246 }else if (FF5<110 && FF5>=100){
247     if (vo<=100){
248         fnp_ts=26.6;
249     }else if (vo>100 && vo<=200){
250         fnp_ts=29.7;
251     }else if (vo>200 && vo<=400){
252         fnp_ts=18.1;
253     }else if (vo>400 && vo<=600){
254         fnp_ts=12.1;
255     }else if (vo>600 && vo<=800){
256         fnp_ts=7.7;
257     }else if (vo>800 && vo<=1000){
258         fnp_ts=4.9;
259     }else if (vo>1000 && vo<=1200){
260         fnp_ts=3.4;
261     }else if (vo>1200 && vo<=1400){
262         fnp_ts=2.3;
263     }else if (vo>1400){
264         fnp_ts=1.5;
265     }
266 }else if (FF5<100 && FF5>=90){
267     if (vo<=100){
268         fnp_ts=31.3;
269     }else if (vo>100 && vo<=200){
270         fnp_ts=34.7;
271     }else if (vo>200 && vo<=400){
272         fnp_ts=20.7;
273     }else if (vo>400 && vo<=600){
274         fnp_ts=13.9;
275     }else if (vo>600 && vo<=800){
276         fnp_ts=8.8;
277     }else if (vo>800 && vo<=1000){
278         fnp_ts=5.4;
279     }else if (vo>1000 && vo<=1200){
280         fnp_ts=3.8;
281     }else if (vo>1200 && vo<=1400){
282         fnp_ts=2.4;
283     }else if (vo>1400){
284         fnp_ts=1.5;
285     }
286 }else if (FF5<90 && FF5>=80){
287     if (vo<=100){
288         fnp_ts=36.1;
289     }else if (vo>100 && vo<=200){
290         fnp_ts=39.6;
291     }else if (vo>200 && vo<=400){
292         fnp_ts=23.4;
293     }else if (vo>400 && vo<=600){
294         fnp_ts=15.6;
295     }else if (vo>600 && vo<=800){
296         fnp_ts=9.8;
297     }else if (vo>800 && vo<=1000){

```

```

298         fnp_ts=5.9;
299     }else if (vo>1000 && vo<=1200){
300         fnp_ts=4.1;
301     }else if (vo>1200 && vo<=1400){
302         fnp_ts=2.6;
303     }else if (vo>1400){
304         fnp_ts=1.6;
305     }
306 }else if (FFS<80 && FFS>=70){
307     if (vo<=100){
308         fnp_ts=41.6;
309     }else if (vo>100 && vo<=200){
310         fnp_ts=45.2;
311     }else if (vo>200 && vo<=400){
312         fnp_ts=26.4;
313     }else if (vo>400 && vo<=600){
314         fnp_ts=17.6;
315     }else if (vo>600 && vo<=800){
316         fnp_ts=11.0;
317     }else if (vo>800 && vo<=1000){
318         fnp_ts=6.4;
319     }else if (vo>1000 && vo<=1200){
320         fnp_ts=4.5;
321     }else if (vo>1200 && vo<=1400){
322         fnp_ts=2.8;
323     }else if (vo>1400){
324         fnp_ts=1.7;
325     }
326 }
327 }
328 return fnp_ts
329 }
330 //fnp velocidade média de viagem
331 function fnp_f_ats(FFS,vo,U) { //fnp velocidade média de viagem
332     let fnp_ats = 0;
333     if (U==0){
334         if (FFS>=110){
335             if (vo<=100){
336                 fnp_ats=1.7;
337             }else if (vo>100 && vo<=200){
338                 fnp_ats=3.5;
339             }else if (vo>200 && vo<=400){
340                 fnp_ats=2.6;
341             }else if (vo>400 && vo<=600){
342                 fnp_ats=2.2;
343             }else if (vo>600 && vo<=800){
344                 fnp_ats=1.1;
345             }else if (vo>800 && vo<=1000){
346                 fnp_ats=1.0;
347             }else if (vo>1000 && vo<=1200){
348                 fnp_ats=0.9;
349             }else if (vo>1200 && vo<=1400){
350                 fnp_ats=0.9;
351             }else if (vo>1400){
352                 fnp_ats=0.9;
353             }
354         }else if (FFS<110 && FFS>=100){
355             if (vo<=100){
356                 fnp_ats=1.2;
357             }else if (vo>100 && vo<=200){

```

```

358         fnp_ats=3.0;
359     }else if (vo>200 && vo<=400){
360         fnp_ats=2.3;
361     }else if (vo>400 && vo<=600){
362         fnp_ats=1.8;
363     }else if (vo>600 && vo<=800){
364         fnp_ats=0.9;
365     }else if (vo>800 && vo<=1000){
366         fnp_ats=0.9;
367     }else if (vo>1000 && vo<=1200){
368         fnp_ats=0.8;
369     }else if (vo>1200 && vo<=1400){
370         fnp_ats=0.8;
371     }else if (vo>1400){
372         fnp_ats=0.8;
373     }
374 }else if (FFS<100 && FFS>=90){
375     if (vo<=100){
376         fnp_ats=0.8;
377     }else if (vo>100 && vo<=200){
378         fnp_ats=2.4;
379     }else if (vo>200 && vo<=400){
380         fnp_ats=2.1;
381     }else if (vo>400 && vo<=600){
382         fnp_ats=1.4;
383     }else if (vo>600 && vo<=800){
384         fnp_ats=0.8;
385     }else if (vo>800 && vo<=1000){
386         fnp_ats=0.8;
387     }else if (vo>1000 && vo<=1200){
388         fnp_ats=0.8;
389     }else if (vo>1200 && vo<=1400){
390         fnp_ats=0.8;
391     }else if (vo>1400){
392         fnp_ats=0.8;
393     }
394 }else if (FFS<90 && FFS>=80){
395     if (vo<=100){
396         fnp_ats=0.3;
397     }else if (vo>100 && vo<=200){
398         fnp_ats=1.9;
399     }else if (vo>200 && vo<=400){
400         fnp_ats=1.8;
401     }else if (vo>400 && vo<=600){
402         fnp_ats=1.0;
403     }else if (vo>600 && vo<=800){
404         fnp_ats=0.6;
405     }else if (vo>800 && vo<=1000){
406         fnp_ats=0.6;
407     }else if (vo>1000 && vo<=1200){
408         fnp_ats=0.6;
409     }else if (vo>1200 && vo<=1400){
410         fnp_ats=0.6;
411     }else if (vo>1400){
412         fnp_ats=0.6;
413     }
414 }else if (FFS<80 && FFS>=70){
415     if (vo<=100){
416         fnp_ats=0.1;
417     }else if (vo>100 && vo<=200){

```

```

418         fnp_at=1.5;
419     }else if (vo>200 && vo<=400){
420         fnp_at=1.5;
421     }else if (vo>400 && vo<=600){
422         fnp_at=0.7;
423     }else if (vo>600 && vo<=800){
424         fnp_at=0.5;
425     }else if (vo>800 && vo<=1000){
426         fnp_at=0.5;
427     }else if (vo>1000 && vo<=1200){
428         fnp_at=0.5;
429     }else if (vo>1200 && vo<=1400){
430         fnp_at=0.5;
431     }else if (vo>1400){
432         fnp_at=0.5;
433     }
434 }
435 }else{
436     if (FFS>=110){
437         if (vo<=100){
438             fnp_at=5.0;
439         }else if (vo>100 && vo<=200){
440             fnp_at=6.8;
441         }else if (vo>200 && vo<=400){
442             fnp_at=4.7;
443         }else if (vo>400 && vo<=600){
444             fnp_at=3.3;
445         }else if (vo>600 && vo<=800){
446             fnp_at=2.4;
447         }else if (vo>800 && vo<=1000){
448             fnp_at=1.9;
449         }else if (vo>1000 && vo<=1200){
450             fnp_at=1.7;
451         }else if (vo>1200 && vo<=1400){
452             fnp_at=1.5;
453         }else if (vo>1400){
454             fnp_at=1.3;
455         }
456     }else if (FF5<110 && FFS>=100){
457         if (vo<=100){
458             fnp_at=4.7;
459         }else if (vo>100 && vo<=200){
460             fnp_at=6.7;
461         }else if (vo>200 && vo<=400){
462             fnp_at=4.6;
463         }else if (vo>400 && vo<=600){
464             fnp_at=3.2;
465         }else if (vo>600 && vo<=800){
466             fnp_at=2.3;
467         }else if (vo>800 && vo<=1000){
468             fnp_at=1.9;
469         }else if (vo>1000 && vo<=1200){
470             fnp_at=1.7;
471         }else if (vo>1200 && vo<=1400){
472             fnp_at=1.4;
473         }else if (vo>1400){
474             fnp_at=1.2;
475         }
476     }else if (FF5<100 && FFS>=90){
477         if (vo<=100){

```

```

478         fnp_at=4.4;
479     }else if (vo>100 && vo<=200){
480         fnp_at=6.6;
481     }else if (vo>200 && vo<=400){
482         fnp_at=4.5;
483     }else if (vo>400 && vo<=600){
484         fnp_at=3.1;
485     }else if (vo>600 && vo<=800){
486         fnp_at=2.2;
487     }else if (vo>800 && vo<=1000){
488         fnp_at=1.8;
489     }else if (vo>1000 && vo<=1200){
490         fnp_at=1.6;
491     }else if (vo>1200 && vo<=1400){
492         fnp_at=1.4;
493     }else if (vo>1400){
494         fnp_at=1.1;
495     }
496 }else if (FF5<90 && FF5>=80){
497     if (vo<=100){
498         fnp_at=4.1;
499     }else if (vo>100 && vo<=200){
500         fnp_at=6.5;
501     }else if (vo>200 && vo<=400){
502         fnp_at=4.4;
503     }else if (vo>400 && vo<=600){
504         fnp_at=3.0;
505     }else if (vo>600 && vo<=800){
506         fnp_at=2.1;
507     }else if (vo>800 && vo<=1000){
508         fnp_at=1.8;
509     }else if (vo>1000 && vo<=1200){
510         fnp_at=1.6;
511     }else if (vo>1200 && vo<=1400){
512         fnp_at=1.3;
513     }else if (vo>1400){
514         fnp_at=1.0;
515     }
516 }else if (FF5<80 && FF5>=70){
517     if (vo<=100){
518         fnp_at=3.8;
519     }else if (vo>100 && vo<=200){
520         fnp_at=6.4;
521     }else if (vo>200 && vo<=400){
522         fnp_at=4.3;
523     }else if (vo>400 && vo<=600){
524         fnp_at=2.9;
525     }else if (vo>600 && vo<=800){
526         fnp_at=2.0;
527     }else if (vo>800 && vo<=1000){
528         fnp_at=1.8;
529     }else if (vo>1000 && vo<=1200){
530         fnp_at=1.6;
531     }else if (vo>1200 && vo<=1400){
532         fnp_at=1.2;
533     }else if (vo>1400){
534         fnp_at=0.9;
535     }
536 }
537 }

```

```

538     return fnp_ats
539 }
540
541
542 //passo 14 (corrigir)
543 function PTSF_f(BPTSF,fnp_ts) {
544     return BPTSF+fnp_ts
545 }
546 //passo15
547 function LOS_f(classe,ATS,PTSF) {
548     let LOS = ""
549     var NS = [];
550     if(classe===1){
551         if(ATS<=60){
552             NS[0] = 5;
553         }else if(ATS>60 && ATS<=70){
554             NS[0] = 4;
555         }else if(ATS>70 && ATS<=80){
556             NS[0] = 3;
557         }else if(ATS>80 && ATS<=90){
558             NS[0] = 2;
559         }else if(ATS>90){
560             NS[0] = 1;
561         }
562         if (PTSF<=35) {
563             NS[1] = 1;
564         }else if(PTSF>35 && PTSF<=50){
565             NS[1] = 2;
566         }else if(PTSF>50 && PTSF<=65){
567             NS[1] = 3;
568         }else if(PTSF>65 && PTSF<=80){
569             NS[1] = 4;
570         }else if(PTSF>80){
571             NS[1] = 5;
572         }
573         var max = Math.max(...NS);
574         if (max===1){
575             LOS = "A";
576         }else if(max===2){
577             LOS = "B";
578         }else if(max===3){
579             LOS = "C";
580         }else if(max===4){
581             LOS = "D";
582         }else if(max===5){
583             LOS = "E";
584         }
585     }else if(classe===2){
586         if(PTSF<=40) {
587             LOS = "A";
588         }else if(PTSF>40 && PTSF<=55){
589             LOS = "B";
590         }else if (PTSF>55 && PTSF<=70){
591             LOS = "C";
592         }else if (PTSF>70 && PTSF<=85){
593             LOS = "D";
594         }else if (PTSF>85){
595             LOS = "E"
596         }
597     }

```

21/12/23, 21:08

EN_HCM2000.js

```
598 |     return LOS;
599 | }
600 |
```

localhost64096/6ddd0aa-71fb-4e0e-812b-1b7436d0da8/

11/11

II.4 Ficheiro “EN_HCM2022.js”

21/12/23, 21:08

EN_HCM2022.js

js\EN_HCM2022.js

```
1 //passo 1
2 function NS2022_f(limite,FD,vd,vo){
3   let Los = "";
4   if (vd>1700 || vo>1700){
5     Los = "F";
6   }else if(limite>=80.5){
7     if(FD<=2.0){
8       Los = "A";
9       return Los
10    }else if(FD>2.0 && FD<=4.0){
11      Los = "B";
12      return Los
13    }else if(FD>4.0 && FD<=8.0){
14      Los = "C";
15      return Los
16    }else if(FD>8.0 && FD<=12.0){
17      Los = "D";
18      return Los
19    }else if(FD>12.0){
20      Los = "E";
21      return Los
22    }
23  }else if(limite<80.5){
24    if(FD<=2.5){
25      Los = "A";
26      return Los
27    }else if(FD>2.5 && FD<=5.0){
28      Los = "B";
29      return Los
30    }else if(FD>5.0 && FD<=10.0){
31      Los = "C";
32      return Los
33    }else if(FD>10.0 && FD<=15.0){
34      Los = "D";
35      return Los
36    }else if(FD>15.0){
37      Los = "E";
38      return Los
39    }
40  }
41 }
42 //passo 2
43 function classe_vertical_f(i,L){
44   let classe = 0;
45   if (i>=0) { //para as subidas
46     if (i<=1 && i<=2) {
47       classe = 1;
48     }else if ((i>2 && i<=3) && (L<=0.483)){
49       classe = 1;
50     }else if ((i>2 && i<=3) && (L>0.483)){
51       classe = 2;
52     }else if ((i>3 && i<=4) && (L<=0.322)){
53       classe = 1;
54     }else if ((i>3 && i<=4) && (L>0.322 && L<=0.805)){
55       classe = 2;
56     }else if ((i>3 && i<=4) && (L>0.805 && L<=1.771)){
57       classe = 3;
58     }
59   }
60 }
```

localhost64096/9e80c694-f640-46d1-947e-4b4f914aa1ed/

1/9

```

58     }else if ((i>3 && i<=4) && (L>1.771)){
59         classe = 4;
60     }else if ((i>4 && i<=5) && ( L<=0.161)){
61         classe = 1;
62     }else if ((i>4 && i<=5) && ( L>0.161 && L<=0.483)){
63         classe = 2;
64     }else if ((i>4 && i<=5) && ( L>0.483 && L<=0.966)){
65         classe = 3;
66     }else if ((i>4 && i<=5) && ( L>0.966)){
67         classe = 4;
68     }else if ((i>5 && i<=6) && (L<=0.161)){
69         classe = 1;
70     }else if ((i>5 && i<=6) && ( L>0.161 && L<=0.322)){
71         classe = 2;
72     }else if ((i>5 && i<=6) && ( L>0.322 && L<=0.644)){
73         classe = 3;
74     }else if ((i>5 && i<=6) && ( L>0.644 && L<=1.127)){
75         classe = 4;
76     }else if ((i>5 && i<=6) && ( L>1.127)){
77         classe = 5;
78     }else if ((i>6 && i<=7) && ( L<=0.161)){
79         classe = 1;
80     }else if ((i>6 && i<=7) && ( L>0.161 && L<=0.322)){
81         classe = 2;
82     }else if ((i>6 && i<=7) && ( L>0.322 && L<=0.483)){
83         classe = 3;
84     }else if ((i>6 && i<=7) && ( L>0.483 && L<=0.644)){
85         classe = 4;
86     }else if ((i>6 && i<=7) && ( L>0.644)){
87         classe = 5;
88     }else if ((i>7 && i<=8) && ( L<=0.161)){
89         classe = 2;
90     }else if ((i>7 && i<=8) && ( L>0.161 && L<=0.322)){
91         classe = 3;
92     }else if ((i>7 && i<=8) && ( L>0.322 && L<=0.483)){
93         classe = 4;
94     }else if ((i>7 && i<=8) && ( L>0.483)){
95         classe = 5;
96     }else if ((i>8 && i<=9) && ( L<=0.161)){
97         classe = 2;
98     }else if ((i>8 && i<=9) && ( L>0.161 && L<=0.322)){
99         classe = 3;
100    }else if ((i>8 && i<=9) && ( L>0.322 && L<=0.483)){
101        classe = 4;
102    }else if ((i>8 && i<=9) && ( L>0.483)){
103        classe = 5;
104    }else if (i>9 && (L<=0.161)){
105        classe = 2;
106    }else if (i>9 && (L>0.161 && L<=0.322)){
107        classe = 3;
108    }else if (i>9 && L>0.322){
109        classe = 5;
110    }
111 }else{
112     im = Math.abs(i); //para as descidas
113     if(im>1 && im<=-2){
114         classe = 1;
115     }else if (im>2 && im<=3 && L<=-1.449){
116         classe = 1;
117     }else if (im>2 && im<=3 && L>1.449){

```

```

118     classe = 2;
119 }else if (im>3 && im<=4 && L<=0.483){
120     classe = 1;
121 }else if (im>3 && im<=4 && L>0.483 && L<=1.127){
122     classe = 2;
123 }else if (im>3 && im<=4 && L>1.127){
124     classe = 3;
125 }else if (im>4 && im<=5 && L<0.322){
126     classe = 1;
127 }else if (im>4 && im<=5 && L>0.322 && L<=0.644){
128     classe = 2;
129 }else if (im>4 && im<=5 && L>0.644 && L<=1.127){
130     classe = 3;
131 }else if (im>4 && im<=5 && L>1.127){
132     classe = 4;
133 }else if (im>5 && im<=6 && L<=0.161){
134     classe = 1;
135 }else if (im>5 && im<=6 && L>0.161 && L<=0.483){
136     classe = 2;
137 }else if (im>5 && im<=6 && L>0.483 && L<=0.805){
138     classe = 3;
139 }else if (im>5 && im<=6 && L>0.805 && L<=1.288){
140     classe = 4;
141 }else if (im>5 && im<=6 && L>1.288){
142     classe = 5;
143 }else if (im>6 && im<=7 && L<=0.161){
144     classe = 1;
145 }else if (im>6 && im<=7 && L>0.161 && L<=0.322){
146     classe = 2;
147 }else if (im>6 && im<=7 && L>0.322 && L<=0.483){
148     classe = 3;
149 }else if (im>6 && im<=7 && L>0.483 && L<=0.805){
150     classe = 4;
151 }else if (im>6 && im<=7 && L>0.805){
152     classe = 5;
153 }else if (im>7 && im<=8 && L<=0.161){
154     classe = 1;
155 }else if (im>7 && im<=8 && L>0.161 && L<=0.322){
156     classe = 2;
157 }else if (im>7 && im<=8 && L>0.322 && L<=0.483){
158     classe = 3;
159 }else if (im>7 && im<=8 && L>0.483 && L<=0.644){
160     classe = 4;
161 }else if (im>7 && im<=8 && L>0.644){
162     classe = 5;
163 }else if (im>8 && im<=9 && L<=0.161){
164     classe = 2;
165 }else if (im>8 && im<=9 && L>0.161 && L<=0.322){
166     classe = 3;
167 }else if (im>8 && im<=9 && L>0.322 && L<=0.483){
168     classe = 4;
169 }else if (im>8 && im<=9 && L>0.483){
170     classe = 5;
171 }else if (im>9 && L<=0.161){
172     classe = 2;
173 }else if (im>9 && L>0.161 && L<=0.322){
174     classe = 3;
175 }else if (im>9 && L>0.322){
176     classe = 5;
177 }

```

```
178     }
179     return classe
180 }
181 //passo 3
182 function ext_f(classeV,L){
183
184 }
185 //Passo 4
186 function v_f(v,phf){
187     return v/phf
188 }
189 //passo 5
190 function BFFS_f(Spl){
191     return 1.14*Spl
192 }
193 //passo 6
194 function FFS_f_2022(BFFS,a,HV,fls,fa){
195     return BFFS-a*HV-fls-fa
196 }
197 //passo 7
198 function a_f(classe,vo,L,BFFS){
199     var array = [];
200     let a = 0;
201     let a0 = 0;
202     let a1 = 0;
203     let a2 = 0;
204     let a3 = 0;
205     let a4 = 0;
206     let a5 = 0;
207     if(classe==1){
208         a0=0;
209         a1=0;
210         a2=0;
211         a3=0;
212         a4=0;
213         a5=0;
214     }else if(classe==2){
215         a0=-0.45036;
216         a1=0.00814;
217         a2=0.01358;
218         a3=0.01358;
219         a4=0;
220         a5=0;
221     }else if(classe==3){
222         a0=-0.29591;
223         a1=0.00743;
224         a2=0;
225         a3=0.01246;
226         a4=0;
227         a5=0;
228     }else if(classe==4){
229         a0=-0.40902;
230         a1=0.00975;
231         a2=0.00767;
232         a3=-0.18363;
233         a4=0.00423;
234         a5=0;
235     }else if(classe==5){
236         a0=-0.38360;
237         a1=0.01074;
```

```

238     a2=0.01945;
239     a3=-0.69848;
240     a4=0.01069;
241     a5=0.12700;
242   }
243   a = Math.max(0.0333, a0+a1*BFFS+a2*L+Math.max(0, a3+a4*BFFS+a5*L)*vo/1000)
244   return a
245 }
246 //passo 8
247 function fLS_f_2022(LW,SW){
248   return 0.6*(12-LW)+0.7*(6-SW)
249 }
250 //passo 9
251 function fA_f_2022(APD){
252   return Math.min(APD/4,10)
253 }
254 //passo 10
255 function S_f_2022(vd,m,p,FFS){
256   if (vd<=100){
257     return FFS
258   }else if(vd>100){
259     return FFS-m*((vd/1000)-0.1)**p
260   }
261 }
262 //passo11
263 function m1_f_2022(classe,L,HV,FFS,vo){
264   let b0 = 0;
265   let b1 = 0;
266   let b2 = 0;
267   let b3 = 0;
268   let b4 = 0;
269   let b5 = 0;
270   let c0 = 0;
271   let c1 = 0;
272   let c2 = 0;
273   let c3 = 0;
274   let d0 = 0;
275   let d1 = 0;
276   let d2 = 0;
277   let d3 = 0;
278   if (classe===1){
279     b0 = 0.0558;
280     b1 = 0.0542;
281     b2 = 0.3278;
282     b3 = 0.1029;
283   }else if(classe===2){
284     b0 = 5.7280;
285     b1=-0.0889;
286     b2= 0.7404;
287     c0 = -13.8036;
288     c1 = 0;
289     c2 = 0.2446;
290     c3 = 0;
291     b3 = c0+c1*Math.sqrt(L)+c2*FFS+c3*(FFS*Math.sqrt(L))
292     d0 = -1.7765;
293     d2 = 0.0392
294     b4 = d0+d1*Math.sqrt(HV)+d2*FFS+d3*(FFS*Math.sqrt(HV))
295     b5 = 3.1155
296   }else if(classe===3){
297     b0 = 9.3079;

```

```

298     b1=-0.1706;
299     b2= 1.1292;
300     c0 = -11.9703;
301     c1 = 0;
302     c2 = 0.2542;
303     c3 = 0;
304     b3 = c0+c1*Math.sqrt(L)+c2*FFS+c3*(FFS*Math.sqrt(L))
305     d0 = -3.555;
306     d2 = 0.0826;
307     b4 = d0+d1*Math.sqrt(HV)+d2*FFS+d3*(FFS*Math.sqrt(HV))
308     b5 = 3.1155
309 }else if(classe===4){
310     b0 = 9.0115;
311     b1=-0.1994;
312     b2= 1.8252;
313     c0 = -12.5113;
314     c1 = 0;
315     c2 = 0.2656;
316     c3 = 0;
317     b3 = c0+c1*Math.sqrt(L)+c2*FFS+c3*(FFS*Math.sqrt(L))
318     d0 = -1.7765;
319     d2 = 0.1373;
320     b4 = d0+d1*Math.sqrt(HV)+d2*FFS+d3*(FFS*Math.sqrt(HV))
321     b5 = 3.2685
322 }else if(classe===5){
323     b0 = 23.9144;
324     b1=-0.6925;
325     b2= 1.9473;
326     c0 = -14.5113;
327     c1 = 0;
328     c2 = 0.4370;
329     c3 = 0;
330     b3 = c0+c1*Math.sqrt(L)+c2*FFS+c3*(FFS*Math.sqrt(L))
331     d0 = -18.2910;
332     d1 = 2.3875;
333     d2 = 0.4494;
334     d3 = -0.052;
335     b4 = d0+d1*Math.sqrt(HV)+d2*FFS+d3*(FFS*Math.sqrt(HV))
336     b5 = 3.5115;
337 }
338 let m = 0;
339 m = Math.max(b5,b0+b1*FFS+b2*(Math.sqrt(vo/1000))+Math.max(0,b3)*Math.sqrt(L)
+Math.max(0,b4)*Math.sqrt(HV))
340 return m
341 }
342 function p1_f_2022(classe,FFS,HV,L,vo) {
343     let f0 = 0;
344     let f1 = 0;
345     let f2 = 0;
346     let f3 = 0;
347     let f4 = 0;
348     let f5 = 0;
349     let f6 = 0;
350     let f7 = 0;
351     let f8 = 0;
352     if (classe===1){
353         f0 = 0.67576;
354         f3 = 0.12060;
355         f4 = -0.35919;
356     }else if (classe===2){

```

```

357     f0 = 0.34524;
358     f1 = 0.00591;
359     f2 = 0.02031;
360     f3 = 0.14911;
361     f4 = -0.43784;
362     f5 = -0.00296;
363     f6 = 0.02956;
364     f8 = 0.41622;
365   }else if (classe===3){
366     f0 = 0.17291;
367     f1 = 0.00917;
368     f2 = 0.05698;
369     f3 = 0.27734;
370     f4 = -0.61893;
371     f5 = -0.00918;
372     f6 = 0.09184;
373     f8 = 0.41662;
374   }else if (classe===4){
375     f0 = 0.67689;
376     f1 = 0.00534;
377     f2 = -0.13037;
378     f3 = 0.25699;
379     f4 = -0.68465;
380     f5 = -0.00709;
381     f6 = 0.07087;
382     f8 = 0.33950;
383   }else if (classe===5){
384     f0 = 1.13262;
385     f2 = -0.26367;
386     f3 = 0.18811;
387     f4 = -0.64304;
388     f5 = -0.00867;
389     f6 = 0.08675;
390     f8 = 0.30590;
391   }
392   let p = 0;
393   p = Math.max(f8, f0+f1*FFS+f2*L+f3*(vo/1000)+f4*Math.sqrt(vo/1000)
+f5*HV+f6*Math.sqrt(HV)+f7*(L*HV))
394   return p
395 }
396 //passo 12
397 function PF_f(m,p,vd){
398   return (100*(1-Math.E**(m*((vd/1000)**p))))
399 }
400 function m2_f_2022(PFcap,PF25cap,cap){
401   return -0.29764*((0-Math.log(1-(PF25cap/100)))/(0.25*(cap/1000)))+-0.71917*((0-
Math.log(1-(PFcap/100)))/(cap/1000))
402 }
403 function PFcap_f(classe,L,FFS,HV,vo){
404   let b0 = 0
405   let b1 = 0
406   let b2 = 0
407   let b3 = 0
408   let b4 = 0
409   let b5 = 0
410   let b6 = 0
411   let b7 = 0
412   if (classe===1){
413     b0 = 37.68000
414     b1 = 3.05089

```

```

415     b2 = -7.90066
416     b3 = -0.94321
417     b4 = 13.64266
418     b5 = -0.00050
419     b6 = -0.05500
420     b7 = 7.13758
421   }else if(classe===2){
422     b0 = 58.21104
423     b1 = 5.73387
424     b2 = -13.66293
425     b3 = -0.66126
426     b4 = 9.08575
427     b5 = -0.00950
428     b6 = -0.03602
429     b7 = 7.14619
430   }else if(classe===3){
431     b0 = 113.20439
432     b1 = 10.01778
433     b2 = -18.9
434     b3 = 0.46542
435     b4 = -6.75338
436     b5 = -0.0300
437     b6 = -0.058
438     b7 = 10.03239
439   }else if(classe===4){
440     b0 = 58.29978
441     b1 = -0.53611
442     b2 = 7.35076
443     b3 = -0.27046
444     b4 = 4.40850
445     b5 = -0.011
446     b6 = -0.02968
447     b7 = 8.89680
448   }else if(classe===5){
449     b0 = 3.32968
450     b1 = -0.84377
451     b2 = 7.08952
452     b3 = -1.32089
453     b4 = 19.98477
454     b5 = -0.0125
455     b6 = -0.02960
456     b7 = 9.99453
457   }
458   return b0+b1*L+b2*Math.sqrt(L)+b3*FFS+b4*Math.sqrt(FFS)+b5*HV+b6*(FFS*(vo/1000))+b7*
(Math.sqrt(vo/1000))
459 }
460 function PF25cap_f(classe,L,FFS,HV,vo){
461   let c0 = 0
462   let c1 = 0
463   let c2 = 0
464   let c3 = 0
465   let c4 = 0
466   let c5 = 0
467   let c6 = 0
468   let c7 = 0
469   if (classe===1){
470     c0 = 10.01780
471     c1 = 10
472     c2 = -21.6
473     c3 = -0.97853

```

```

474     c4 = 12.05214
475     c5 = -0.00750
476     c6 = -0.06700
477     c7 = 11.60405
478   }else if(classe===2){
479     c0 = 47.83887
480     c1 = 12.8
481     c2 = -28.2
482     c3 = -0.61758
483     c4 = 5.8
484     c5 = -0.04550
485     c6 = -0.03344
486     c7 = 11.35573
487   }else if(classe===3){
488     c0 = 125.4
489     c1 = 19.5
490     c2 = -34.9
491     c3 = 0.90672
492     c4 = -16.1
493     c5 = -0.11
494     c6 = -0.06200
495     c7 = 14.71136
496   }else if(classe===4){
497     c0 = 103.13534
498     c1 = 14.68459
499     c2 = -23.72704
500     c3 = 0.66444
501     c4 = -11.95763
502     c5 = -0.1
503     c6 = 0.00172
504     c7 = 14.70067
505   }else if(classe===5){
506     c0 = 89
507     c1 = 19.02642
508     c2 = -34.54240
509     c3 = 0.29792
510     c4 = -6.62528
511     c5 = -0.16
512     c6 = -0.00400
513     c7 = 17.56611
514   }
515   return c0+c1*L+c2*Math.sqrt(L)+c3*FFS+c4*Math.sqrt(FFS)+c5*HV+c6*(FFS*(vo/1000))+c7*
(Math.sqrt(vo/1000))
516 }
517 function p2_f_2022(PFcap,PF25cap,cap){
518   return 0.81165+0.37920*(((0-Math.log(1-(PF25cap/100)))/(0.25*(cap/1000)))-0.49524*
(((0-Math.log(1-(PFcap/100)))/(cap/1000)))-2.11289*Math.sqrt(((0-Math.log(1-(PF25cap/100))
)/(0.25*(cap/1000)))+2.41146*Math.sqrt(((0-Math.log(1-(PFcap/100)))/(cap/1000))))))
519 }
520 //passo final
521 function FD_f(PF,vd,S){
522   return (PF/100)*(vd/S)
523 }

```

II.5 Ficheiro “validator.js”

21/12/23, 21:08

validator.js

js\validator.js

```
1 $(document).ready(function() {
2
3     /**
4     * Positive Decimal Numbers
5     */
6     $("#pt,#pr,#FFS,#berma,#via,#length,#8FFS,#car_volume_d,#car_volume_o,#phf,#SFM", "~
7     #ldv").each(function(){
8         $(this).on('keydown', function(event) {
9
10            // Handle paste
11            if (event.type === 'paste') {
12                key = event.clipboardData.getData('text/plain');
13            } else {
14                // Handle key press
15                var key = event.keyCode || event.which;
16                key = String.fromCharCode(key);
17            }
18
19            return event.keyCode !== 69 && event.keyCode !== 189 && event.keyCode !== 43 &
20            & event.keyCode !== 187
21        });
22    });
23
24    /**
25    * Positive Whole Numbers
26    */
27    $("#car_volume,#N_vias,#N_acessos").each(function(){
28        $(this).on('keydown', function(event) {
29
30            // Handle paste
31            if (event.type === 'paste') {
32                key = event.clipboardData.getData('text/plain');
33            } else {
34                // Handle key press
35                var key = event.keyCode || event.which;
36                key = String.fromCharCode(key);
37            }
38
39            return event.keyCode !== 69 && event.keyCode !== 189 && event.keyCode !== 190
40            && event.keyCode !== 110 && event.keyCode !== 43 && event.keyCode !== 187 && event.keyCode
41            !== 188;
42        });
43    });
44
45    /**
46    * Show error message
47    */
48    $("#phf").on('focusout', function(event) {
49
50        let validacao = (!(parseFloat($(this).val()) >= 0.82) || !(parseFloat($(this)
51        .val()) <= 0.98));
52
53        if( validacao && !$("#error-phf").length && !($(this).val() === '')) {
54            $(this).parent().after('<strong id="error-phf">Numero tem que ser entre 0.82-
55            0.98</strong>')
56            return false
57        }
58    })
59
60 }
```

localhost64096f0cb0e0c2-5012-45e8-b5a6-eea8352f031f

1/6

```

53
54     if( validacao ) {
55         return false
56     }
57
58     $('#error-phf').remove();
59 })
60
61 /**
62  * Show error message
63  */
64 $('#N_vias').on('focusout', function(event) {
65
66     let validacao = (!(parseFloat($(this).val()) >= 2) || !(parseFloat($(this).val()) <=
10));
67
68     if( validacao && $('#error-N_vias').length && !($(this).val() === '') ) {
69         $(this).parent().after('<strong id="error-N_vias">Numero tem que ser entre 2-
10</strong>');
70         return false
71     }
72
73
74     if( validacao ) {
75         return false
76     }
77
78     $('#error-N_vias').remove();
79 })
80
81 /**
82  * Show error message for veiculos pesados
83  */
84 $('#pt').on('focusout', function() {
85
86     let validacao = (!(parseFloat($(this).val()) >= 0) || !(parseFloat($(this).val())
<= 100));
87
88     if( validacao && $('#error-pt').length && !($(this).val() === '') ) {
89         $(this).parent().after('<strong id="error-pt">Numero tem que ser entre 0-100<
/strong>');
90
91         return false
92     }
93
94     if( validacao ) {
95         return false
96     }
97
98     $('#error-pt').remove();
99 })
100
101 /**
102  * Show error message for veiculos recreativos
103  */
104 $('#pr').on('focusout', function() {
105
106     let validacao = (!(parseFloat($(this).val()) >= 0) || !(parseFloat($(this).val())
<= 100));
107
108     if( validacao && $('#error-pr').length && !($(this).val() === '') ) {

```

```

109     $(this).parent().after('<strong id="error-pr">Numero tem que ser entre 0-100<
/strong>')
110     return false
111   }
112
113   if( validacao ) {
114     return false
115   }
116
117   $('#error-pr').remove();
118 })
119
120 /**
121  * Show error message for velocidade de fluxo livre
122  */
123 $('#FFS').on('focusout', function() {
124
125   let validacao = (!(parseFloat($(this).val()) >= 90) || !(parseFloat($(this).val())
<= 120));
126
127   if( validacao && $('#error-FFS').length && !($(this).val() === '')) {
128     $(this).parent().after('<strong id="error-FFS">Numero tem que ser entre 90-
120km/h</strong>');
129     return false;
130
131   }
132
133   if( validacao ) {
134     return false;
135   }
136
137   $('#error-FFS').remove()
138 })
139
140 /**
141  * Show error message for velocidade media no terreno
142  */
143 $('#SFH').on('focusout', function() {
144
145   let validacao = !(parseFloat($(this).val()) >= 40);
146
147   if( validacao && $(this).parent().next(".error").length && !($(this).val() === ''
)) {
148     $(this).parent().after('<strong class="error">Numero tem que ser superior a
40km/h</strong>');
149     return false;
150
151   }
152
153   if( validacao ) {
154     return false;
155   }
156
157   $(this).parent().next(".error").remove()
158 })
159
160 /**
161  * Show error message for limite de velocidade
162  */
163 $('#BFFS').on('focusout', function() {
164

```

```

21/12/23, 21:08 validator.js
165 let validacao = (!(parseFloat($(this).val()) >= 40) || !(parseFloat($(this).val())
<= 125));
166
167 if( validacao && !$(this).parent().next(".error").length && !$(this).val() === ''
)) {
168     $(this).parent().after('<strong class="error">Numero tem que ser entre 40-
125km/h</strong>');
169     return false;
170
171 }
172
173 if( validacao ) {
174     return false;
175 }
176
177 $(this).parent().next(".error").remove()
178 })
179
180 /**
181  * Show error message for inclinação
182  */
183 $("#inclinação").on('focusout', function() {
184
185     let validacao = (!(parseFloat($(this).val()) >= -10) || !(parseFloat($(this).val()
) <= 10));
186
187     if( validacao && !$(this).parent().next(".error").length && !$(this).val() === ''
)) {
188         $(this).parent().after('<strong class="error">Numero tem que ser entre -10% a
10%</strong>');
189         return false;
190
191     }
192
193     if( validacao ) {
194         return false;
195     }
196
197     $(this).parent().next(".error").remove()
198 })
199
200 $("#berma").on('focusout', function() {
201
202     let validacao = (!(parseFloat($(this).val()) >= 0) || !(parseFloat($(this).val())
<= 4));
203
204     if( validacao && !$("#error-berma").length && !$(this).val() === '') {
205         $(this).parent().after('<strong id="error-berma">A berma deve ter um valor
entre 0 e 4 metros</strong>');
206         return false;
207
208     }
209
210     if( validacao ) {
211         return false;
212     }
213
214     $('#error-berma').remove()
215 })
216
217 $("#via").on('focusout',function() {
218     let validacao = (!(parseFloat($(this).val()) >= 2.75));

```

localhost64096f0cb0e0c2-5012-45e8-b5a6-eea8352f031f

4/6

```

219
220     if( validacao && !$(this).parent().next(".error").length && !$(this).val() === ''
221 )) {
222         $(this).parent().after('<strong class="error">A largura da via deve ter um
223 valor superior a 2,75m</strong> ');
224         return false;
225     }
226     if( validacao ) {
227         return false;
228     }
229     $(this).parent().next(".error").remove()
230 })
231
232     $("#length").on('focusout',function() {
233     let validacao = (!parseFloat($(this).val()) >= 1) || (!parseFloat($(this).val()
234 ) <= 5));
235     if( validacao && !$(this).parent().next(".error").length && !$(this).val() === ''
236 )) {
237         $(this).parent().after('<strong class="error">A via deve ter um valor superior
238 a 1km e inferior a 5km</strong> ');
239         return false;
240     }
241     if( validacao ) {
242         return false;
243     }
244     $(this).parent().next(".error").remove()
245 })
246
247     $("#car_volume_d, #car_volume_o").on('focusout',function() {
248     let validacao = (!parseFloat($(this).val()) > 0);
249
250 )) {
251     if( validacao && !$(this).parent().next(".error").length && !$(this).val() === ''
252 )) {
253         $(this).parent().after('<strong class="error">O volume de trafego deve ter um
254 valor superior ao número que indicou</strong> ');
255         return false;
256     }
257     if( validacao ) {
258         return false;
259     }
260     $(this).parent().next(".error").remove()
261 })
262     $("#ldv").on('focusout', function() {
263     let validacao = (!parseFloat($(this).val()) >= 40) || (!parseFloat($(this).val()
264 <= 125));
265     if( validacao && !$(this).parent().next(".error").length && !$(this).val() === ''
266 )) {
267         $(this).parent().after('<strong class="error">Numero tem que ser entre 40-
268 125km/h</strong> ');
269         return false;
270     }

```

21/12/23, 21:08

validator.js

```
271     if( validacao ) {  
272         return false;  
273     }  
274  
275     $(this).parent().next(".error").remove()  
276   })  
277 });  
278  
279  
280
```

localhost64096/0cb0e0c2-5012-45e8-b5a6-eeaf8352f031/

6/6

APÊNDICE III. FICHEIROS CSS

III.1 Ficheiro “estiloAE.css”

```
21/12/23, 21:06 estiloAE.css  
  
css\estiloAE.css  
  
1 body {  
2   background-image: url('../img/Highway_Background.jpg');  
3   background-size: cover;  
4   background-position: center center;  
5   background-repeat: no-repeat;  
6   background-attachment: fixed;  
7   height: 100vh;  
8   display: flex;  
9   justify-content: left;  
10  flex-direction: column;  
11 }  
12  
13 .form {  
14   display: inline-block;  
15   width: 100%;  
16   border: 1px solid #000;  
17   background-color: #fff;  
18   box-shadow: 0 0 10px rgba(0, 0, 0, 0.3);  
19   margin: auto;  
20   margin-left: auto;  
21   margin-right: auto;  
22   align-items: flex-start;  
23 }  
24  
25 table {  
26   border-collapse: collapse;  
27   width: 100%;  
28   height: 100%;  
29 }  
30  
31 th, td {  
32   border: 1px solid black;  
33   padding: 8px;  
34   text-align: left;  
35   font-weight: 700;  
36 }  
37  
38 th {  
39   background-color: #4CAF50;  
40   color: white  
41 }  
42  
43 tr:nth-child(even) {  
44   background-color: #f2f2f2;  
45 }  
46  
47 tr td input[type="text"] {  
48   border: unset;  
49   background: unset;  
50   font-size: 16px;  
51 }  
52  
53 tr:hover {  
54   background-color: #ddd;  
55 }  
56
```

localhost:64096/094542a3-1e0c-438b-bfbc-0fa422ac2cae/

1/4

```
57 h1 {
58   text-align: center;
59   font-family: Arial, sans-serif;
60   font-size: 30px;
61   color: ■ black
62   display: flex;
63   justify-content: center;
64   align-items: center;
65 }
66 /*
67 #input_HCM2000 {
68   margin-top: 360px; /* Ajuste o valor conforme necessário
69 }
70 #output_HCM2000 {
71   margin-top: 0px; /* Ajuste o valor conforme necessário
72 }*/
73
74
75 legend {
76   display: flex;
77   font-size: 18px;
78   font-weight: bold;
79 }
80
81 fieldset {
82   border: none;
83   padding: 10px 10px 0;
84   margin-top: 10px;
85 }
86
87 label {
88   display: inline-block;;
89   margin-bottom: 5px;
90   font-weight: bold;
91 }
92
93 input[type="number"], input[type="text"] {
94   width: 90%;
95   height: fit-content;
96   border: 1px solid black;
97   border-radius: 4px;
98   display: flex;
99   align-self: center;
100 }
101
102 button[type="submit"] {
103   display: block;
104   margin: 10px auto;
105   padding: 10px 20px;
106   font-size: 16px;
107   background-color: ■ black
108   color: □ #fff;
109   border: none;
110   cursor: pointer;
111   transition: background-color 0.2s ease-in-out;
112 }
113
114 button[type="submit"]:hover {
115   background-color: ■ #333;
```

```

116 }
117
118 .row {
119   display: flex;
120   margin: 5px 0;
121 }
122
123 .row input[type="number"] {
124   width: 50%;
125 }
126
127 .row label{
128   width: 50%;
129   margin-right: 10px;
130 }
131
132 .parent {
133   display: grid;
134   grid-template-columns: repeat(6, auto);
135   grid-template-rows: repeat(3, auto);
136   grid-column-gap: 50px;
137   grid-row-gap: 10px;
138 }
139
140 input {
141   text-align: center;
142 }
143
144 .form-input-gerais { grid-area: 1 / 1 / 7 / 3; }
145 .form-hcm-2000 { grid-area: 1 / 3 / 2 / 5; }
146 .form-hcm-7-edition { grid-area: 1 / 5 / 2 / 7; }
147 .form-outputs { grid-area: 2 / 3 / 5 / 7; }
148
149 @media only screen and (max-width: 960px) {
150   .form-input-gerais { grid-area: 1 / 2 / 3 / 6; }
151   .form-hcm-2000 { grid-area: 3 / 2 / 5 / 4; }
152   .form-hcm-7-edition { grid-area: 3 / 4 / 5 / 6; }
153   .form-outputs { grid-area: 5 / 2 / 7 / 6; }
154 }
155
156 @media only screen and (max-width: 625px) {
157   .parent {
158     grid-template-rows: repeat(18, auto);
159   }
160
161   .form-hcm-2000 { grid-area: 3 / 2 / 5 / 6; }
162   .form-hcm-7-edition { grid-area: 5 / 2 / 7 / 6; }
163   .form-outputs { grid-area: 7 / 2 / 9 / 6; }
164 }
165
166 #error-N_vias, #error-pt, #error-pr, #error-FFS, #error-phf {
167   display: block;
168   color: red;
169   margin-top: 0;
170   margin-bottom: 20px;
171 }
172
173 select {
174   height: fit-content;
175   display: flex;

```

21/12/23, 21:06

estiloAE.css

```
176 | align-self: center;  
177 | width: 100%;  
178 | }  
179 |
```

localhost:64096/094542a3-1ecc-438b-bfbc-0fa422ac2cae/

4/4

III.2 Ficheiro “estiloEN.css”

21/12/23, 21:07

estiloEN.css

css\estiloEN.css

```
1 body {
2   background-image: url('../img/EN_Background.jpg');
3   background-size: cover;
4   background-position: center center;
5   background-repeat: no-repeat;
6   height: 100vh;
7   display: flex;
8   justify-content: left;
9   flex-direction: column;
10  background-attachment: fixed;
11 }
12
13 .form {
14   display: inline-block;
15   width: 100%;
16   border: 1px solid #000;
17   background-color: #fff;
18   box-shadow: 0 0 10px rgba(0, 0, 0, 0.3);
19   margin: auto;
20   margin-left: auto;
21   margin-right: auto;
22   align-items: flex-start;
23 }
24 .form-input-gerais .form {
25   width: auto;
26 }
27
28 table {
29   border-collapse: collapse;
30   width: 100%;
31   height: 100%;
32 }
33
34 th, td {
35   border: 1px solid black;
36   padding: 8px;
37   text-align: left;
38   font-weight: 700;
39 }
40
41 th {
42   background-color: #4CAF50;
43   color: white;
44 }
45
46 tr:nth-child(even) {
47   background-color: #f2f2f2;
48 }
49
50 tr td input[type="text"] {
51   border: unset;
52   background: unset;
53   font-size: 16px;
54 }
55
56 tr:hover {
```

localhost64096ie79a827f-f06a-4b64-ad63-20ad31e96da2/

1/4

```
57   background-color: #ddd;
58 }
59
60 h1 {
61   text-align: center;
62   font-family: Arial, sans-serif;
63   font-size: 30px;
64   color: white;
65   display: flex;
66   justify-content: center;
67   align-items: center;
68 }
69 /*
70 #input_HCM2000 {
71   margin-top: 360px; /* Ajuste o valor conforme necessário
72 }
73 #output_HCM2000 {
74   margin-top: 0px; /* Ajuste o valor conforme necessário
75 }*/
76
77
78 legend {
79   display: flex;
80   font-size: 18px;
81   font-weight: bold;
82 }
83
84 fieldset {
85   border: none;
86   padding: 10px 10px 0;
87   margin-top: 10px;
88 }
89
90 label {
91   display: inline-block;;
92   margin-bottom: 5px;
93   font-weight: bold;
94 }
95
96 input[type="number"], input[type="text"] {
97   width: 90%;
98   height: fit-content;
99   border: 1px solid black;
100  border-radius: 4px;
101  display: flex;
102  align-self: center;
103 }
104
105 .buttons {
106  display: flex;
107 }
108
109 button[type="submit"] {
110  display: inline-block;
111  margin: 10px auto;
112  padding: 10px 20px;
113  font-size: 16px;
114  background-color: black;
115  color: #fff;
```

```

116 border: none;
117 cursor: pointer;
118 transition: background-color 0.2s ease-in-out;
119 }
120
121 button[type="submit"]:hover {
122 background-color: #333;
123 }
124
125 .row {
126 display: flex;
127 margin: 5px 0;
128 }
129
130 .row input[type="number"] {
131 width: unset;
132 }
133
134 .row label {
135 margin-right: 10px;
136 }
137
138 .parent {
139 display: grid;
140 grid-template-columns: repeat(8, auto);
141 grid-template-rows: repeat(8, auto);
142 grid-column-gap: 50px;
143 grid-row-gap: 10px;
144 }
145
146 input {
147 text-align: center;
148 }
149
150 .form-input-gerais { grid-area: 1 / 2 / 3 / 8; margin: 0 auto; }
151 .form-hcm-2000 { grid-area: 3 / 1 / 5 / 5; }
152 .form-outputs_2000 { grid-area: 3 / 5 / 5 / 9; }
153 .form-hcm-7-edition { grid-area: 5 / 1 / 7 / 5; }
154 .form-outputs_2022 { grid-area: 5 / 5 / 7 / 9; }
155 .form-outputs-gerais { grid-area: 7 / 2 / 9 / 8; }
156
157 @media only screen and (max-width: 1150px) {
158 .parent {
159 grid-template-rows: repeat(12, auto);
160 }
161
162 .form-hcm-2000 { grid-area: 3 / 2 / 5 / 8; }
163 .form-outputs_2000 { grid-area: 5 / 2 / 7 / 8; }
164 .form-hcm-7-edition { grid-area: 7 / 2 / 9 / 8; }
165 .form-outputs_2022 { grid-area: 9 / 2 / 11 / 8; }
166 .form-outputs-gerais { grid-area: 11 / 2 / 13 / 8; }
167 }
168
169 #error-N_vias, #error-pt, #error-pr, #error-FFS, #error-phf, #error-berma, #error-lenght,
170 .error {
171 display: block;
172 color: red;
173 margin-top: 0;
174 margin-bottom: 20px;
175 }

```

21/12/23, 21:07

estlioEN.css

```
175 |
176 | select {
177 |   height: fit-content;
178 |   display: flex;
179 |   align-self: center;
180 | }
181 |
```

localhost64096/e79a82f7-f08a-4b64-ad63-20ad31e96da2/

4/4

III.3 Ficheiro “estiloINDEX.css”

21/12/23, 21:07

estiloINDEX.css

css\estiloINDEX.css

```
1 body {
2   background-image: url('../img/Highway_Background.jpg');
3   background-repeat: no-repeat;
4   background-size: cover;
5   background-attachment: fixed;
6   font-family: Arial, sans-serif;
7 }
8 .grid-container {
9   display: grid;
10  grid-template-rows: repeat(3, auto);
11  grid-row-gap: 70px;
12 }
13
14 .title {
15   grid-area: 1 / 1 / 2 / 8;
16   margin: 0 auto;
17 }
18
19 .title label {
20   font-size: 24px;
21   color: white;
22   margin-bottom: 20px;
23   text-align: center;
24 }
25
26 .methods {
27   align-items: center;
28   background-color: rgba(0, 0, 0, 0.5);
29   border: 1px solid #000;
30   border-radius: 20px;
31   display: flex;
32   flex-direction: column;
33   grid-area: 2 / 1 / 3 / 8;
34   justify-self: center;
35   padding: 20px;
36   min-width: 600px;
37 }
38
39 .wrapper {
40   display: flex;
41   grid-area: 3 / 1 / 4 / 8;
42   column-gap: 20px;
43 }
44
45 .developer {
46   align-items: center;
47   background-color: rgba(0, 0, 0, 0.5);
48   border: 1px solid #000;
49   border-radius: 20px;
50   display: flex;
51   flex-direction: column;
52   flex-basis: 50%;
53   padding: 20px;
54 }
55
56 .developer label {
57   font-size: 24px;
```

localhost64096/13804c50-f215-4f0e-a5ed-ec4a647b27be/

1/3

```
58     color: □ white
59     margin-bottom: 12px;
60 }
61
62 .developer img {
63     margin-bottom: 12px;
64 }
65
66 img {
67     border: 1px solid #ddd;
68     border-radius: 4px;
69     padding: 5px;
70     width: 90px;
71     display: block;
72     margin-left: auto;
73     margin-right: auto
74 }
75
76 p {
77     font-size: 14px;
78     color: □ white
79     margin: auto;
80 }
81
82 .versions {
83     align-items: center;
84     background-color: rgba(0, 0, 0, 0.5);
85     border: 1px solid #000;
86     border-radius: 20px;
87     display: flex;
88     justify-content: space-between;
89     flex-direction: column;
90     padding: 20px;
91     flex-basis: 50%;
92 }
93
94 .versions label {
95     font-size: 24px;
96     color: □ white
97     margin-bottom: 20px;
98     text-align: center;
99 }
100
101 .images {
102     display: flex;
103     justify-content: center;
104     flex-direction: row;
105     width: 100%;
106     margin-bottom: 5px;
107 }
108
109 .images img {
110     border-radius: 4px;
111     padding: 5px;
112     width: 100px;
113 }
114
115 .editions {
116     display: flex;
117     justify-content: center;
```

```
118     flex-direction: row;
119     width: 100%;
120     margin-bottom: 10px;
121 }
122
123 .editions p {
124     color: white;
125 }
126
127 .box {
128     background-color: white;
129     margin: 5px;
130     text-align: center;
131     width: 100%;
132     padding: 20px 0;
133     border-radius: 10px;
134     color: black;
135     font-weight: bold;
136     font-size: 18px;
137     text-decoration: none;
138     transition: background-color 0.2s ease-in-out;
139 }
140
141 .box:hover {
142     background-color: #f1f1f1;
143 }
144
145 h1 {
146     font-size: 3em;
147 }
148
149
150 @media only screen and (max-width: 680px) {
151     h1 {
152         font-size: 2em;
153     }
154
155     .methods {
156         justify-self: unset;
157         min-width: unset;
158     }
159
160     .grid-container {
161         grid-row-gap: 20px;
162     }
163
164     .wrapper {
165         row-gap: 20px;
166         flex-direction: column;
167     }
168 }
169
170
```


APÊNDICE IV. FICHEIROS *PHP*

IV.1 Ficheiro “Export.php”

21/12/23, 21:08

Export.php

php\Export.php

```
1 <?php
2 error_reporting(E_ALL);
3 ini_set('display_errors', 1);
4
5 require __DIR__ . '/../vendor/autoload.php';
6
7 use PhpOffice\PhpSpreadsheet\Spreadsheet;
8 use PhpOffice\PhpSpreadsheet\Worksheet\Worksheet;
9 use PhpOffice\PhpSpreadsheet\Writer\Xlsx;
10
11 /**
12  * Class Export
13  *
14  *
15  * @author Gustavo Silva <gustavosjob@gmail.com>
16  * @license http://opensource.org/licenses/osl-3.0.php Open Software License OSL3.0
17  */
18 class Export
19 {
20
21     protected array $input;
22     protected array $output;
23     protected array $output2000;
24     protected array $output2022;
25     protected string $filePath;
26     protected string $fileName;
27
28     /**
29      * Main function
30      *
31      * @param $post
32      * @return void
33      * @throws \PhpOffice\PhpSpreadsheet\Writer\Exception
34      */
35     public function execute($post)
36     {
37         $this->uploadXlsx($post);
38         $this->downloadFile();
39     }
40
41     /**
42      * Upload File
43      *
44      * @param $post
45      * @return Worksheet
46      * @throws \PhpOffice\PhpSpreadsheet\Writer\Exception
47      */
48     protected function uploadXlsx($post): Worksheet
49     {
50         $spreadsheet = new Spreadsheet();
51         $writer = new Xlsx($spreadsheet);
52
53         if ($post['type'] == 'ae') {
54             // create the content
55             $this->input = array_chunk($post['input'], 2);
56             array_unshift($this->input, ['- ', 'Inputs']);
57         }
58     }
59 }
```

localhost64096/dc4c2007-d9a6-4ed1-ba88-52da0a9f5098/

1/3

```

58     $this->output = array_chunk($post['output'],3);
59     array_unshift($this->output, ['Outputs','HCM 2000','HCM 7ª edição']);
60
61     // File name and its directory
62     $this->fileName = "AExported_".date('d_m_Y H:i')." ".xlsx";
63     $this->filePath = "../docs/" . $this->fileName;
64
65     // create
66     $create = $writer->getSpreadsheet()->getActiveSheet()
67         ->fromArray($this->input, null, 'B2')
68         ->fromArray($this->output, null, 'E2');
69     }
70
71     if ($post['type'] == 'en') {
72         // create the content
73         $this->input = array_chunk($post['input'],2);
74         array_unshift($this->input, ['-','Inputs']);
75
76         $this->output2000 = array_chunk($post['output_2000'],2);
77         array_unshift($this->output2000, ['Outputs','HCM 2000']);
78
79         $this->output2022 = array_chunk($post['output_2022'],2);
80         array_unshift($this->output2022, ['Outputs','HCM 7ª edição']);
81
82         // File name and its directory
83         $this->fileName = "AExported_".date('d_m_Y H:i')." ".xlsx";
84         $this->filePath = "../docs/" . $this->fileName;
85
86         // create
87         $create = $writer->getSpreadsheet()->getActiveSheet()
88             ->fromArray($this->input, null, 'B2')
89             ->fromArray($this->output2000, null, 'E2')
90             ->fromArray($this->output2022, null, 'H2')
91             ->calculateColumnWidths();
92     }
93
94     // validate create
95     if (empty($create)) {
96         return $writer->getSpreadsheet()->getActiveSheet();
97     }
98
99     // format columns
100    foreach ($create->getColumnIterator() as $column) {
101        $writer->getSpreadsheet()->getActiveSheet()
102            ->getColumnDimension($column->getColumnIndex()->setAutoSize(true);
103    }
104
105    $writer->save($this->filePath);
106    return $create;
107 }
108
109 /**
110  * Download File
111  *
112  * @return void
113  */
114 protected function downloadFile(): void
115 {
116     header('Content-Type: application/octet-stream');
117     header('Content-Disposition: attachment; filename="" . $this->fileName . ""');

```

21/12/23, 21:08

Export.php

```
118 |         readfile($this->filePath);  
119 |     }  
120 |  
121 | }  
122 |
```

localhost64096/dc4c2007-d9a6-4ed1-ba88-52da0a9f5098/

3/3

IV.2 Ficheiro “validation.php”

```
21/12/23, 21:09 validation.php  
php\validation.php  
1 <?php  
2  
3  
4 require 'Export.php';  
5  
6 //validation of the form  
7 if ($_SERVER["REQUEST_METHOD"] == "POST") {  
8     //validation of the form  
9  
10    $myClass = new Export();  
11    $myClass->execute($_POST);  
12 }  
13
```

localhost64096/b9f1f449-c641-45ad-b839-dc00f518470f

1/1

