



**Bruno Filipe Gomes
Baptista de Oliveira**

**Análise do desempenho de um metro ligeiro na
região de Aveiro**



**Bruno Filipe Gomes
Baptista de Oliveira**

**Análise do desempenho de um metro ligeiro na
região de Aveiro**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Agradecimentos

Este espaço destina-se a todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão desta etapa. Para todos, uma palavra de agradecimento e amizade.

Quero agradecer, em primeiro lugar, à minha orientadora, a Professora Doutora Margarida Coelho pela forma como me guiou ao longo deste percurso e pelo apoio prestado. Também quero agradecer ao Paulo Fernandes por ter sido um quase co-orientador da minha dissertação, pela ajuda e disponibilidade incansável que sempre demonstrou comigo.

Não esqueço os meus amigos e colegas de curso que ao longo de 5 anos me ajudaram, apoiaram e estiveram comigo nos bons e maus momentos. Por fim uma palavra para a família. Quero agradecer aos meus pais pelo total apoio ao longo desta minha caminhada; ao meu irmão, que me aturou em todas as situações e esteve sempre presente nos bons e maus momentos; à minha avó Isabel e à minha avó Esmeralda, que orgulhosamente me viu entrar nesta etapa universitária, e que já não está aqui para me ver terminá-la.

Para não esquecer ninguém, aqui fica um agradecimento a quem fui conhecendo ao longo destes cinco anos e me ajudaram a crescer e ser uma melhor pessoa. Um muito obrigado.

Este trabalho foi financiado por Fundos FEDER através do Programa Operacional "Factores de Competitividade - COMPETE" e por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto PTDC/SEN-TRA/122114/2010.

Júri

Presidente

Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos
Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro

Coordenadora

Prof. Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho
Professora Auxiliar, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro

Arguente

Prof. Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo
Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro

Palavras-chave

Metro ligeiro, planeamento, emissões, tráfego, modelo microscópico, VISSIM.

Resumo

A mobilidade é uma das questões fulcrais nos dias de hoje. A necessidade de cada pessoa em querer estar num dado local num determinado espaço de tempo faz com que o uso do veículo particular se torne não só comum como quase obrigatório. O forte investimento feito na rede viária nos últimos 30 anos não encoraja as pessoas a utilizarem modos de transporte alternativo. Devido a isso, os principais centros urbanos têm enormes problemas de congestionamento de tráfego e consequências ao nível da poluição atmosférica.

O transporte público rodoviário, devido a estar diretamente dependente dos estrangulamentos do tráfego, torna-se uma opção pouco atrativa para quem tem de se deslocar dentro dos centros urbanos. No caso do metro ligeiro, a sua via dedicada tornam-no num transporte com maior potencial, ao nível da eficiência de serviço.

Esta Dissertação propõe a criação de uma linha de metro ligeiro na cidade de Aveiro com vista à melhoria da fluidez de tráfego e à redução de emissões por parte dos veículos. Propõe também uma solução articulada com outros modos de transporte público, nomeadamente o comboio e autocarro de forma a que se incremente a intermodalidade. Para tal, foi utilizado o modelo de tráfego VISSIM para o cálculo do volume de tráfego, o tempo de atraso devido aos congestionamentos, o número de paragens. Para a quantificação das emissões de CO₂, CO, HC e NO_x do tráfego motorizado (antes e após a implementação do metro ligeiro) recorreu-se a uma metodologia baseada no conceito de “Potência Específica do Veículo” (“Vehicle Specific Power” – VSP). Toda a rede de metro ligeiro foi criada tendo em conta o atual traçado rodoviário da cidade de Aveiro de modo a não interferir com a dinâmica da cidade e acima de tudo não aumentar a emissão de poluentes em alguns pontos mais sensíveis.

Os resultados retirados, face à procura em causa, permitem ter uma boa perspetiva quanto aos benefícios que a implementação de um metro ligeiro teria ao nível de circulação rodoviária para a cidade, incluindo o aspeto energético e ambiental. Uma redução de 10% no tráfego permitiria reduzir o tempo de atraso em 28%, o número de paragens em 35%, face ao cenário atual e as emissões dos poluentes decresceriam, em média, 11%.

Em qualquer dos cenários analisados, o metro representaria menos de 2% das emissões de CO₂e na cidade de Aveiro, numa hora de ponta matinal.

Keywords

Tram system, planning, emissions, traffic, microscopic model, VISSIM

Abstract

Mobility is one of the key issues faced nowadays by the society. The need of each person to be in a particular place, during a specific period of time makes the use of the private vehicle almost demanding. The strong investment into road network in the last 30 years does not encourage the use of alternative transportation modes. Main city centers have problems with traffic congestion and, as consequence, impacts on air pollution.

The efficiency of service of urban buses is directly dependent on traffic congestions and they became a non-attractive option. Since the tram as an exclusive infrastructure, it brings a higher potential to improve the efficiency of the service.

The main objective of this Dissertation is to analyse the creation of a tram system in Aveiro city which would potentially solve some of the traffic congestion problems and would help to reduce emissions. It also proposes an articulated solution with other transportation modes, namely with the train and the bus service system. This would result in an increment of intermodality. To achieve this objective, the traffic model software VISSIM was used. This software made the calculation of the traffic volume, delay time and number of stops. For quantifying CO₂, CO, HC and NO_x vehicles' emissions (before and after implementation of the tram system) the methodology based on concept of "Vehicle Specific Power" – VSP was applied. All tram network was based on the actual road network and not interfering with the city's dynamics.

The obtained results, with standard demands, allow a good perspective on the benefits that the implementation of the tram system network would bring to the road circulation in the city of Aveiro, including the energetic and environmental aspects. A reduction of 10% of the road traffic would allow a decrease of the delay time by 28% and the number of stops by 35%. The pollutant emissions would decrease, in average, 11%, indicating an advantage in the implementation of the tram system.

The tram, in any of the analyzed scenarios, would represent less than 2% of the CO₂e emissions in Aveiro's city in the morning peak hour.

ÍNDICE

1	Introdução	1
1.1	Consumos Energéticos e Poluição – Dados UE	1
1.2	Consumos Energéticos e Poluição – Dados Portugal	2
1.3	Sistemas de metros ligeiros.....	3
1.4	Enquadramento em Aveiro	4
1.5	Objetivos.....	5
1.6	Estrutura da Dissertação	5
2	Revisão Bibliográfica.....	7
3	Sistemas de Metro Ligeiro.....	13
3.1	Metrolink – Manchester, Reino Unido.....	13
3.2	Metro do Porto – Porto, Portugal	17
3.3	<i>Tranvía</i> de Parla – Parla, Espanha	19
3.4	Metro Transportes do Sul – Almada e Seixal, Portugal.....	21
4	Metodologia e Métodos.....	27
4.1	Caraterização da rede de metro ligeiro.....	29
4.2	Caraterização da rede viária de Aveiro	31
4.3	Calibração e Validação.....	32
4.4	Simulação	33
4.5	Casos de estudo/Cenários	35
4.5.1	Impacto Global	35
4.5.2	Impacto Local	36
4.5.3	Impacto das emissões globais do metro ligeiro	36
4.6	Alterações à via	38
4.7	Paragens	44
4.8	Sinais Luminosos.....	45
4.9	Horários	46
4.10	Procura	48
4.10.1	Procura TI.....	48
4.10.2	Procura do Autocarro	54
4.10.3	Procura do Comboio.....	57
4.10.4	Procura Total	58

4.11	Modelo de Emissões	58
5	Resultados e Discussão	65
5.1	Impacto Global.....	65
5.1.1	Cenário A.....	65
5.1.2	Cenários B e C	65
5.1.3	Cenários D e E	67
5.2	Impacto do metro ligeiro	69
5.3	Impacto Local.....	70
5.3.1	Zona 1.....	70
5.3.2	Zona 2.....	72
5.3.3	Zona 3.....	75
6	Conclusões e Trabalho Futuro	79
	Referências Bibliográficas	83

Índice de Figuras

Figura 1: Benefício da implementação de uma bateria de condensadores e picos de aceleração/desaceleração de um metro (Grenier & Page, 2012)	9
Figura 2: Atual esquema da linha do ML (Transport for Greater Manchester, 2014)	15
Figura 3: Firema T68-As de Manchester (Chadwick, 2000).....	16
Figura 4: Diagrama da linha atual do Metro do Porto (Gitbi, 2012)	17
Figura 5: Metro do Porto (Metro do Porto, 2012a)	18
Figura 6: Bilhete do Andante (Metro do Porto, 2012a)	19
Figura 7: Diagrama da linha de metro ligeiro de Parla (Tranvía de Parla S.A., 2012)	20
Figura 8: Diagrama da linha da Metro Transportes do Sul (MTS, 2014)	21
Figura 9: Interfaces existentes com a rede de autocarros, comboios e barcos nas estações de Corroios, Pragal e Cacilhas (MTS, 2014).....	22
Figura 10: Mapa da rede atual e projeção desta para oeste (Costa da Caparica) e para este (Seixal e Moita) (MTS, 2014).....	22
Figura 11: Exemplo de concorrência direta: carreira nº 166 entre Cacilhas e Pinhal do Vidal (linha vermelha) (Ribeiro, 2013).....	23
Figura 12: Exemplo de concorrência parcial: Carreira n.º 107 da TST entre Cacilhas - Quinta do Brasileiro (Ribeiro, 2013).....	23
Figura 13: Comparação entre os conjuntos de transporte metro e autocarro com apenas autocarro em termos de tempo e dinheiro (Ribeiro, 2013).....	25
Figura 14: Metodologia usada.....	27
Figura 15: Mapa de Aveiro com os pontos de interesse (Google, 2014)	30
Figura 16: Mapa da rede de LRT projetada para a cidade de Aveiro (Google, 2014)	30
Figura 17: Rua Sr. Dos Aflitos e Rua João de Moura (esq.) e Av. Padre Fernão Oliveira (dir.).....	31
Figura 18: Domínio de estudo e pontos de recolha de dados (Dias et al., 2014)	33
Figura 19: Parâmetros de Simulação	34
Figura 20: Modo de avaliação <i>Vehicle Record</i> e filtros aplicados	34
Figura 21: Criação e sincronização da base de dados com o VISSIM	35
Figura 22: Zonas avaliadas: ALP (verde), rotunda do Hospital (preto) e rotunda N109 (vermelho) (PTV, 2011)	36
Figura 23: Skoda 15T ForCity (Skoda Transportation, 2014).....	37
Figura 24: Av. Dr. Lourenço Peixinho, rotunda das Pontes, Rua Direita e Largo da Câmara Municipal (do canto sup. esq. para o inf. dir.) (Google, 2014).....	39
Figura 25: Rua Belém do Pará, Av. Araújo e Silva, Av. Artur Ravara e Rotunda do Hospital (do canto sup. esq. para o inf. dir.) (Google, 2014).....	40
Figura 26: Av. Padre Fernão Oliveira, Rua da Universidade, Cruzamento ISCAA e Rua da Associação Humanitária dos B.V. Aveiro (do canto sup. esq. para o inf. dir.) (Google, 2014).....	41
Figura 27: Rua Dr. Mário Sacramento, beco paralelo à N109, entrada N109 (via N235) Rua de Vilar (do canto sup. esq. para o inf. dir.) (Google, 2014)	42
Figura 28: Av. Rua Borges, rotunda da Forca, Av. Central e Rua Sr. dos Aflitos (do canto sup. esq. para o inf. dir.) (Google, 2014)	43
Figura 29: Mapa da rede VISSIM com rede do metro ligeiro (a vermelho) e vias acima mencionadas	43

Figura 30: Paragens previstas para metro ligeiro de Aveiro: a) estação CP, b) ALP, c) Centro, d) Tribunal, e) Hospital, f) Reitoria UA, g) ISCAA, h) Bombeiros Velhos, i) rotunda N109, j) rua de Vilar, k) Centro de Congressos, l) Forca (Google, 2014)	44
Figura 31: Definição da velocidade no VISSIM.....	45
Figura 32: Comando <i>Reduced Speed Areas</i> para redução de velocidade.....	46
Figura 33: Mapa de estradas analisadas (Google, 2014)	49
Figura 34: Localização dos pontos acima descritos (Google, 2014)	50
Figura 35: Representação dos pontos acima citados e ligações analisadas (Soltráfego, 2008), (Google, 2014).....	51
Figura 36: Percentagem de veículos que saem da N019 para a Rua de Vilar.....	52
Figura 37: <i>Vehicle Input e Route</i> para saber o número de veículos que seguem o percurso S. Bernardo – Rua de Vilar	53
Figura 38: Criação de um nó na Rua da Universidade para contagem de veículos	53
Figura 39: Análise exploratória das emissões de CO ₂ , NO _x , HC e CO médias <i>versus</i> o modelo VSP (NCSU, 2002)	60
Figura 40: Emissão modal média (g/s) para CO, HC, CO ₂ e NO _x para veículo a gasolina (NCSU, 2002)	62
Figura 41: Emissão Modal Média para um veículo a <i>diesel</i> (motor 1.9 TDI) (Coelho et al., 2009)	64
Figura 42: Comparação dos valores de número de veículos, paragens e atrasos dos cenários B e C com o cenário base	66
Figura 43: Comparação dos valores de CO ₂ , CO, HC e NO _x dos cenários B e C com o cenário base	67
Figura 44: Comparação dos valores de número de veículos, paragens e atrasos dos cenários D e E com o cenário base	68
Figura 45: Comparação dos valores de CO ₂ , CO, HC e NO _x dos cenários D e E com o cenário base	69
Figura 46: Comparação dos valores de número de veículos, paragens e atrasos para a Zona 1 dos cinco cenários	71
Figura 47: Comparação dos valores de CO ₂ , CO, HC e NO _x para a Zona 1 dos cinco cenários	72
Figura 48: Comparação dos valores de número de veículos, paragens e atrasos para a Zona 2 dos cinco cenários	73
Figura 49: Comparação dos valores de CO ₂ , CO, HC e NO _x para a Zona 2 dos cinco cenários	74
Figura 50: Diagrama estequiométrico (De Nevers,2002)	75
Figura 51: Comparação dos valores de número de veículos, paragens e atrasos para a Zona 2 dos cinco cenários	76
Figura 52: Comparação dos valores de CO ₂ , CO, HC e NO _x para a Zona 3 dos cinco cenários	77

Índice de Quadros

Quadro 1 – Caraterísticas do modelo da linha proposto para o LRT de Christchurch (Grenier & Page, 2012)	9
Quadro 2: Taxa anual estimada e real para viagens no ML (Knowles, 1996)	14
Quadro 3: Repartição modal das viagens em Manchester (Knowles, 1996)	14
Quadro 4: Milhões de passageiros viagem entre os anos fiscais de 1992 e 2013 (Beusen et al., 2013).....	16
Quadro 5: Caraterísticas da linha de metro ligeiro de Parla (Tranvía de Parla S.A., 2012).....	20
Quadro 6: Caraterísticas do material circulante na rede de tranvia de Parla (Tranvía de Parla S.A., 2012).....	21
Quadro 7: Caraterísticas do material circulante da MST (MTS, 2014)	26
Quadro 8: Calendarização das tarefas.....	28
Quadro 9: Especificações do 15T Forcity (Skoda Transportations, 2010)	37
Quadro 10: Evolução das emissões específicas (ago-13 a jul-14) (EDP, 2014)	38
Quadro 11: Distâncias entre estações.....	44
Quadro 12: Horários do metro de Aveiro.....	47
Quadro 13: Número de veículos nos troços analisados nas Contagens Classificadas de Tráfego e respetivas procuras de 10% e 20%.....	50
Quadro 14: Número de veículos nos troços analisados no Plano Municipal de Mobilidade de Aveiro e respetivas procuras de 10% e 20%.....	51
Quadro 15: Valores da procura nas estações da Rua de Vilar e do Centro de Congressos	54
Quadro 16: Linha 6 (Way2Go, 2012)	55
Quadro 17: Procura nas paragens de Autocarro.....	56
Quadro 18: Estações de LRT correspondentes às atuais de autocarro e valores de procura de passageiros	56
Quadro 19: Passageiros Grupo 1 (Way2Go, 2012).....	57
Quadro 20: Passageiros Grupo 2 (Way2Go, 2012).....	57
Quadro 21: Procura em cada estação do LRT	58
Quadro 22: Definições para os modos VSP (NCSU, 2002).....	61
Quadro 23: Resultados do cenário base (A).....	65
Quadro 24: Total de CO ₂ emitido pelos veículos e pelo metro e percentagem correspondente a este	70

NOMENCLATURAS

ALP – Avenida Doutor Lourenço Peixinho

AMP – Área Metropolitana do Porto

BR – British Rail

CH₄ - Metano

CO – Monóxido de carbono

CO₂ – Dióxido de carbono

CO_{2e} – Dióxido de carbono equivalente

EPA - Environmental Protection Agency

g/km – Grama por quilómetro

GIS - Sistemas de Informação Geográfica (*Geographical Information Systems*)

GPS – Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System*)

H₂O – Água

HC – Hidrocarbonetos

HP – Hora de ponta

ISCAA – Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Aveiro

ITS – Sistemas Inteligentes de Transportes (*Intelligent Transport Systems*)

LRT – Metro Ligeiro de Superfície (*Light Rail Transit*)

M - Milhões

ML - Metrolink

mM – Milhares de milhões

MTS – Metro transportes do Sul

NO_x – Óxidos de azoto

pass.km – Passageiro x quilómetro

PM₁₀ – Partículas de diâmetro inferior a 10µm

PPH – Passageiros por hora

PPP – Parceria Público-Privada

STCP - Sociedade de Transportes Coletivos do Porto

TC – Transporte Coletivo

tep – Tonelada equivalente de petróleo

TI – Transporte Individual

TMD – Tráfego Médio Diário

TNM – Transporte Não Motorizado

TOD – Desenvolvimento de Trânsito Orientado (*Transit Oriented Development*)

UA - Universidade de Aveiro

UE – União Europeia

UE-27 – União Europeia a 27

VOC – Compostos orgânicos voláteis (*Volatile Organic Compounds*)

vph – Veículos por hora

1 INTRODUÇÃO

O aumento da mobilidade humana é traduzido pelo número crescente de viagens realizadas e por isso, este assunto é fulcral nos dias de hoje (EEA, 2013)

Por todo o mundo, desde a década de 50 tem-se assistido a um aumento progressivo do parque automóvel (Sears, 2006). A melhoria das condições de vida, o crescimento populacional e a globalização explicam em muito o porquê das necessidades crescentes de mobilidade. Este aumento acarreta vários problemas que apenas recentemente têm vindo a ser alvo de discussão por parte das autoridades nacionais e internacionais. Entre os principais problemas associados destacam-se: consumo energético, poluição atmosférica, saúde pública, alterações climáticas, tempo despendido em viagens, entre outros.

Sendo uma escolha individual mas que influencia a mobilidade de toda a sociedade e, com a crescente preocupação com o meio ambiente, têm sido notórias as campanhas de sensibilização visando a utilização de meios de transporte coletivo e público, assim como feitos maiores investimentos nestes modos de transporte. A transferência modal do transporte individual para o público, em pelo menos parte do trajeto planeado, leva a que um menor número de veículos circule nas vias rodoviárias. Indubitavelmente, o menor número de automóveis nas estradas leva a que os níveis de poluição e consumos energéticos baixem. Adicionalmente, os tempos de viagem diminuem face a redução dos níveis de congestionamento, saindo a saúde pública e ambiente beneficiados.

Assim sendo, esta Dissertação tem como objetivo principal o estudo do impacto ao nível do desempenho do tráfego e das emissões respetivas, após a implementação de um sistema de metro ligeiro de superfície na cidade de Aveiro, Portugal. Para tal, diferentes cenários associados a diferentes níveis de procura deste modo de transporte são analisados e comparados face à situação atual existente (sem o metro ligeiro).

Neste capítulo é feita uma breve caracterização do estado atual em termos de energia e poluição na União Europeia (UE) e em Portugal, bem como uma descrição dos sistemas de metro ligeiro. Realiza-se igualmente, um enquadramento do sistema de metro de superfície na cidade de Aveiro. Finalmente são apresentados os principais objetivos desta Dissertação de Mestrado e apresentada a estrutura da mesma.

1.1 Consumos Energéticos e Poluição – Dados UE

Em 2010, o consumo energético na União Europeia a 27 (UE-27) foi cerca de 1153,3Mtep. O setor dos transportes correspondeu aproximadamente a 32% (365,2Mtep), sendo que 82% dizem respeito a veículos rodoviários (CE, 2012).

Na realidade, o transporte individual tem registado aumentos significativos. Na UE-27 a taxa de motorização (número de automóveis por cada 1000 habitantes), passou de 334 em 1991 para 473 em 2009, o que representa um aumento de 40% (Eurostat, 2012). Similarmente, o número

de passageiro.km (produto do número de quilómetros percorridos pelo número total de passageiros em mobilidade) aumentou de 3879,2 milhares de milhão (mM) em 1995, para 4737,6mM, em 2010 (CE, 2012). Isto deveu-se em muito a decisões políticas de investimentos que preferiram apostar no setor rodoviário em detrimento do setor ferroviário. Exemplo disso é o número de quilómetros de autoestradas construídas na EU-27, que passou de 41.885km, em 1990, para 68.242km, em 2009. Ao invés, o número de quilómetros de linhas ferroviárias passou de 235.242km em 1990 para 212.693km em 2010 (CE, 2012).

Um vetor que está diretamente ligado ao consumo de energia são as emissões de dióxido de carbono (CO₂). Ao nível da poluição global, o CO₂ é o principal causador do efeito de estufa. As suas emissões no setor dos transportes tiveram um incremento, entre os anos de 1990 a 2009, de 951,2Mton CO₂e, para 1224,6Mton CO₂e, o que representou um aumento de aproximadamente 29%. (CE, 2012). Apesar disso, as quantidades de CO₂ por quilómetro têm vindo a diminuir (de 186 para 145g/km no período entre 1995 e 2009 na UE-15) impulsionado pelas novas tecnologias e normas europeias restritivas, com o veículo pessoal a ter um crescimento consolidado.

Ao nível local o monóxido de carbono (CO), os óxidos de azoto (NO_x), os hidrocarbonetos (HC), as partículas com diâmetro inferior a 10µm (PM10) e os compostos orgânicos voláteis (VOC) são gases que provocam graves prejuízos para a saúde pública. Segundo Topalovic et al. (2012), os transportes são responsáveis por 35% das toxinas gerais emitidas. Estas toxinas são parcialmente responsáveis pelo aumento dos casos de doenças cardiovasculares e respiratórias e que têm altos custos sociais e económicos.

1.2 Consumos Energéticos e Poluição – Dados Portugal

Em Portugal, tal como na Europa, o peso dos transportes nos consumos energéticos têm aumentado constantemente. A crise económica fez estagnar este crescimento, a partir de 2009, mas, em 2010, o setor dos transportes foi o que mais contribuiu para o consumo energético em Portugal (40% face aos 30% da indústria e 30% do consumo doméstico, serviços e agricultura), correspondendo a 7,4Mtep. Deste valor, 84% correspondeu ao impacto dos transportes rodoviários (CE, 2012).

A taxa de motorização portuguesa fixou-se nos 443, em 2011 (INE, 2012), e registou um aumento de 118% face ao ano de 1991 em que era de apenas 203 (Caramalho, 2009). O número de pass.km registou um aumento de aproximadamente 110% entre 1990 e 2010, passando de 40 para 83,7mM pass.km (CE, 2012).

Em Portugal fez-se um grande investimento na construção de novas infraestruturas rodoviárias para fazer face à procura existente. O desmantelamento de algumas linhas de caminho-de-ferro foi acelerado pelo facto de, politicamente, a aposta ter sido claramente no transporte rodoviário. Especificamente, o número de quilómetros em autoestradas cresceu de 316 km para 2705 km, no período entre 1990 e 2010. Ao invés, a rede ferroviária em Portugal diminuiu em quase 3064 km para 2842 km, em igual período (CE, 2012).

Ao nível das emissões de gases com efeito de estufa, Portugal aumentou as suas emissões de 12,9Mton para 23,1Mton de CO₂e entre 1990 e 2010 (CE, 2012). De registar que no período de 2005 a 2009 os valores mantiveram-se estáveis.

O estudo da INRIX (2013) indicava que, o valor médio de horas perdidas anualmente devido aos congestionamentos rodoviários, se cifrava em 11h, por cada português.

Os sistemas públicos de transportes, quando bem planeados, conseguem combater estes problemas, ajudando na fluidez do tráfego e reduzindo as emissões de poluentes. A implementação de um metro ligeiro pela sua rapidez e fácil utilização seria um meio potencial de reduzir estes parâmetros negativos.

1.3 Sistemas de metros ligeiros

Conceptualmente, o metro ligeiro consiste numa forma híbrida de transporte público. Trata-se de um transporte ferroviário de passageiros em que a carruagem, no que respeita ao tamanho e ao peso, fica entre um elétrico urbano e um comboio convencional. Neste tipo de transporte a entrada e saída de passageiro dá-se ao nível do piso, ou em plataformas baixas, tendo por isso este tipo de transporte, carris baixos de forma a facilitar o embarque e desembarque. Devido ao peso leve das composições, a infraestrutura pode também ter um formato mais leve do que o exigido para os comboios convencionais (De Bruijn & Veeneman, 2009). Segundo estes autores, para percorrer os centros urbanos, não há necessidade de pesados investimentos em infraestruturas subterrâneas, como as necessárias para o metro. Isso dá aos centros urbanos de média dimensão a oportunidade de criar ligações diretas entre o centro da cidade, os bairros periféricos e as zonas de comércio e indústria. Através dos requisitos operacionais, o serviço de transporte pode ser feito com maior frequência e as paragens devidamente dimensionadas consoante os estudos de procura.

Desde o final do século XIX, que os sistemas de transporte sobre carris têm sido considerados como a melhor solução para o problema do congestionamento do tráfego em virtude de ter os seus próprios direitos de passagem, zero emissões locais, maior capacidade de transporte de passageiros e ainda por acelerar o crescimento económico das áreas situadas no perímetro deste. (Dupuy, 2013).

Em termos de custos, os sistemas ferroviários ligeiros são mais caros do que os autocarros, mas a sua imagem positiva, moderna e apelativa ajudam a assegurar a transferência modal dos automóveis sem alienar conforto e rapidez. Estes sistemas podem transportar mais passageiros a velocidades mais elevadas do que os autocarros. Além disso, não dependem dos congestionamentos das vias visto circularem numa infraestrutura própria e com prioridade aquando de cruzamentos com veículos rodoviários. Os elétricos e outros sistemas ferroviários ligeiros têm uma capacidade máxima entre 12.000-20.000 passageiros por hora (PPH), em cada direção, em comparação com os 4000-6000 PPH para vias exclusivas de autocarros e 2500-4000 PPH para autocarros padrão (Knowles, 2007). Os custos operacionais de um metro de superfície podem variar entre €0,02 a €0,04 por pass.km em comparação os €0,06 a €0,12 por pass.km do autocarro (Knowles, 2007).

Atualmente, existem mais de 300 sistemas de metro de superfície espalhados pelo mundo (Taplin, 2013). Alemanha, França, Estados Unidos e Japão são os países onde se registam maior número destes sistemas.

1.4 Enquadramento em Aveiro

Aveiro é uma cidade portuguesa de média dimensão com 60.058 habitantes (INE, 2013), pertencente à região do Baixo Vouga. Em 2012, a cidade e a região foram alvo de um estudo de mobilidade, Região de Aveiro (2012), no qual se chegaram às seguintes conclusões:

- Aveiro é a maior cidade da região do Baixo Vouga e um polo de atratividade em relação aos concelhos limítrofes;
- Aumento populacional em cerca de 5.115 habitantes (+7%), entre 2001 e 2011;
- Existência de uma Universidade (com um universo de mais de 14.000 alunos), Tribunal, Hospital e Serviços;
- Os potenciais utentes do transporte público, ou seja, menos de 14 anos e mais de 65, correspondem a mais de 32% da população;
- Há cerca de 41.000 veículos no concelho de Aveiro (taxa de motorização de cerca de 532, superior à média nacional);
- O consumo de combustível em Aveiro cresceu 126% para 98.000ton/ano entre 1999 e 2010;
- Partem de Aveiro 182.190 viagens diárias;
- Tem como destino Aveiro 182.755 viagens diárias;
- 75% das viagens demoram menos de 15 minutos;
- A distância média percorrida é de 6,31km;
- Mais de 39.000 veículos saem diariamente de Aveiro para outros concelhos da região;
- Perto de 40.000 veículos entram diariamente em Aveiro de outros concelhos da região.

O transporte público em Aveiro tem vindo a deteriorar-se ao longo dos anos. A MoveAveiro, empresa municipal de camionagem, transportou em 1996 aproximadamente 3.500.000 passageiros e em 2006 apenas 2.000.000, o que correspondeu a uma redução de mais de 40% (Região de Aveiro, 2012). Dados de 2013 indicam que este mesmo valor decresceu para 500.000 utentes (MoveAveiro,2013). Existem outros operadores rodoviários a prestar serviços dentro e fora do perímetro da cidade, mas a falta de integração (intermodalidade) entre os mesmos, ao nível de horários e de bilhética, faz com que atratividade em utilizar os transportes públicos em Aveiro seja muito baixa. É ainda de referir que o atual sistema de transportes coletivos está igualmente desajustado com os comboios suburbanos do Porto, que são a maior fonte de entrada de pessoas na cidade de Aveiro.

Como tal, a implementação de um metro ligeiro em Aveiro pretende colmatar essa falha. Para além de ser um transporte sob carris (tem uma infraestrutura visível), os horários são constantes e não dependentes de níveis de congestionamento. Um estudo realizado na cidade de St. Louis, no estado do Missouri, concluiu que as pessoas percorrem uma distância superior para chegar a uma estação de metro ligeiro do que a uma estação de autocarro. O estudo conclui que a

distância média que as pessoas andam até uma estação de metro é de 649m face aos 326m para paragens de autocarros. (Kim et al., 2007).

O metro ligeiro estaria então articulado com os diversos transportes públicos presentes no concelho de forma a maximizar a procura. Desta forma, os autocarros passariam a ter um papel de complementaridade a este sistema, chegando a locais que o metro não alcançasse, o que faria aumentar o número de utentes do transporte público.

O traçado da linha do metro teria que passar obrigatoriamente pelas principais artérias da cidade, onde se verificam as maiores concentrações de veículos. De salientar que a implementação do metro ligeiro pode fazer com que as emissões de poluentes sejam superiores em algumas zonas devido às restrições de tráfego inerentes à sua implementação (supressão de vias de circulação e instalação de sinais luminosos). No entanto, o objetivo é dissuadir o uso do transporte individual e estas alterações seriam corrigidas *à posteriori*.

1.5 Objetivos

O principal objetivo desta Dissertação de Mestrado consistiu em quantificar os impactos ao nível do desempenho do tráfego e das emissões de poluentes decorrentes da instalação de um metro ligeiro na cidade de Aveiro.

Para tal, foi usado o modelo de simulação microscópica de tráfego VISSIM, para a conceção da rede ferroviária e das suas paragens ao longo da rede viária de Aveiro. Foram implementados diferentes cenários de procura deste modo de transporte, onde se pressupôs uma diminuição substancial no uso do transporte individual (TI), passando os seus utilizadores a usar o metro ligeiro.

No que concerne ao cálculo das emissões de poluentes, recorreu-se à metodologia VSP (*Vehicle Specific Power*), que tem como base a aceleração e velocidade, segundo a segundo, e o declive do terreno para quantificar os gases emitidos pelos veículos a gasolina, a gasóleo e comerciais. Estes dados foram obtidos igualmente no modelo de simulação VISSIM.

Outros aspetos relevantes neste estudo foram as frequências de paragens e horários para que houvesse maior integração com os restantes modos de transporte existentes em Aveiro (comboios, autocarros e bicicletas).

1.6 Estrutura da Dissertação

Esta Dissertação de mestrado encontra-se dividida em seis capítulos: 1) Introdução; 2) Revisão Bibliográfica; 3) Sistemas de metro ligeiro; 4) Metodologia e Métodos; 5) Resultados e Discussão e 6) Conclusão e Trabalho Futuro.

Na Introdução é feita uma caracterização geral sobre as emissões e consumos energéticos, tanto na Europa, como em Portugal, com particular ênfase ao setor dos transportes. São também

descritas as vantagens do metro ligeiro face aos outros modos de transporte público e feito um enquadramento com a realidade da cidade de Aveiro.

A Revisão Bibliográfica foca-se na apresentação de estudos relativos à implementação de sistemas de metro ligeiro. São abordados casos de estudo deste modo de transporte e os benefícios que trouxeram aos locais onde foram instalados (tanto a nível de tráfego como de poluição). São igualmente descritas algumas áreas que não foram examinadas nesta Dissertação, como os custos de instalação e manutenção dos equipamentos ou as barreiras que dificultam uma melhor implementação dos sistemas públicos de transportes.

O capítulo Sistemas de Metro Ligeiro foi adicionado a esta Dissertação para dar ênfase a casos de sistemas de metro ligeiro já instalados em várias cidades europeias. Foram apresentados os estudos de caso de Manchester, Porto, Parla e Almada-Seixal.

Na Metodologia e Métodos foram delineadas as fases desta Dissertação de Mestrado bem como a calendarização das mesmas. Foram indicados quais os pontos de interesse da cidade e apresentada uma solução para uma linha que fosse próxima destes e, ao mesmo tempo, não afetasse em demasia a rede viária de Aveiro. Foram descritas todas as vias onde passariam as composições do metro ligeiro e quais as alterações propostas a estas. Foram explicados todos os passos efetuados no modelo de tráfego microscópico VISSIM e todas as opções que se tomaram ao nível de criação de vias, tipos de avaliação, entre outros. É também neste capítulo que são apresentados os cenários de estudo e com isso a procura e os horários que o metro iria ter em todas as paragens. O modelo de emissões VSP está retratado neste capítulo explicando a metodologia para o cálculo dos diferentes poluentes.

Nos Resultados e Discussão foram apresentados e discutidos os valores dos parâmetros obtidos no estudo. Analizaram-se os resultados relativamente às melhorias globais que a rede urbana de Aveiro teria com a implementação do metro ligeiro. Foi feita a mesma análise para as alterações em três zonas distintas da cidade que, devido à grande afluência de veículos que apresenta e com a introdução de novas limitações ao tráfego rodoviário, poderiam ver os seus níveis de tráfego e poluição aumentarem.

Na Conclusão e Trabalho Futuro é feita uma súmula daquilo que foi o trabalho realizado e as principais ilações retiradas, bem como sugeridos possíveis trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Sociedade Americana de Estudos sobre Transportes (TRB) define metro ligeiro como:

Um sistema metropolitano de carruagens elétricas caracterizado pela habilidade de operar carruagens únicas ou pequenos comboios numa “passagem exclusiva” ao nível do solo, em estruturas aéreas, subterrâneas ou, ocasionalmente, em estradas, e permitir a entrada e saída de passageiros ao nível dos carris ou ao nível das estradas (TRB, 1978).

Os sistemas de metro ligeiro de superfície têm mais de um século de existência. Contudo, a sua implementação e massificação tem sido alvo de progressos e recuos ao longo dos tempos. Começaram com os tradicionais elétricos, que em meados do século XIX, eram o principal meio de circulação no centro das cidades. A massificação dos veículos pessoais levou a que os transportes sob carris passassem a ter um papel secundário, sendo que muitos deles acabaram por ser desmantelados e inclusive desapareceram.

O congestionamento das cidades deve-se, em grande parte, à melhoria das condições de vida, das condições económicas, sociais e de saúde e pela posse de automóvel (Bhattacharjee & Goetz, 2012). Isto faz com que as pessoas se desloquem para os seus centros de referência de TI tornando assim a viagem mais cómoda. Para combater esse mesmo congestionamento e com um pensamento cada vez mais pró-ambiental, começaram a ser elaborados estudos nas universidades de forma a reativar o uso do transporte de passageiros sob carris de uma forma melhorada e mais atrativa (Shang & Zhang, 2013).

O trânsito ferroviário é geralmente considerado uma alternativa fundamental para reduzir o congestionamento do tráfego e, como tal, contribuir para a mobilidade sustentável. Estabelecer um sistema de mobilidade sustentável deve estar de acordo com os objetivos que são socialmente aceitáveis (garantindo a segurança do tráfego e proteção da saúde), ecologicamente justificado (diminuindo o consumo de combustível e as emissões de gases de efeito estufa e de poluentes locais) e economicamente viável (acessível e eficiente, a fim de atender às necessidades da sociedade). Os poluentes emitidos pelo trânsito ferroviário são, por pass.km, inferiores aos veículos motorizados. Em média, o tráfego ferroviário emite 60,2g de CO₂ por pass.km, enquanto os veículos de passageiros movidos a *diesel* e a gasolina, geram em termos médios, 130,9 e 124,2g de CO₂ por pass.km, respetivamente (Vermote et al., 2014).

Estudos sobre os possíveis benefícios dos sistemas *light rail transit* (LRT) realizados na cidade de Hamilton, Canadá (Topalovic et al., 2012), indicam um esmagador apoio nas vertentes saúde, ambiental, económica e potencial social para a cidade. Esta análise recomendou que o LRT seja considerado como:

- Opção de transporte viável e desejável;
- Um catalisador para o desenvolvimento de tráfego orientado (TOD - área residencial e comercial desenhada para maximizar o uso do acesso ao transporte público)
- Uma boa oportunidade de investimento, dando retorno de investimento a todos os agentes;
- Um catalisador de mudança social: melhoria da saúde pública, ambiente, sustentabilidade e conectividade da comunidade.

Quanto à questão da saúde, segundo estatísticas realizadas pela Canadian Medical Association (2008), iriam morrer cerca de 21.000 canadianos devido à poluição, nesse mesmo ano e, esse número iria elevar-se para 91.000, em 2031. Estas mortes teriam origem na contínua exposição a poluentes locais que, a longo prazo, levam a complicações cardiorrespiratórias e outras doenças como cancro ou diabetes. Estimaram também que o custo anual no tratamento destes pacientes iria rondar os 8 mil milhões de dólares canadianos, subindo esse valor para 250 mil milhões em 2031.

A alteração da infraestrutura construída é um importante parâmetro no diz respeito a reduzir a dependência do automóvel e aumentar a atividade física. A disponibilidade de um sistema integrado de transportes públicos é a chave para a redução do uso do automóvel e constitui uma oportunidade para o aumento do exercício físico, como caminhar ou ir de bicicleta para o trabalho (Stokes et al., 2008).

Inúmeros sistemas de LRT começam a aparecer um pouco por todo o mundo, nomeadamente, na América do Norte, Europa Central e Extremo Oriente, em cidades densamente povoadas e com graves problemas de mobilidade.

Apesar de as carruagens do LRT custarem entre €1M e €2,6M, a unidade, comparativamente aos €140mil a €240mil que custam os autocarros, estes podem transportar um número de passageiros três vezes superior e têm uma vida útil entre três a quatro vezes superiores aos autocarros. A velocidade comercial de um LRT situa-se entre 15-22km/h, ao passo que, nos autocarros convencionais este valor ronda os 10-14km/h, 18km/h, no caso de um autocarro com prioridade (Knowles, 2007).

O custo das carruagens não é apenas o custo intrínseco de um sistema de LRT. Toda a rede criada de raiz e todas as alterações feitas nas vias já existentes entram para o custo desta obra que pode ascender às centenas de milhões de euros. Este custo, nos sistemas de metro ligeiro da América do Norte, situa-se entre os €7,5M e os €50,3M por km de linha férrea (Light Rail Now, 2002).

Vários estudos sobre as características de sistemas de metro ligeiro têm vindo a ser apresentados. Foram revistos estudos que identificavam modelos de construção de linhas, controle dos custos inerentes à sua implementação, ou ainda, a reorientação do trânsito de maneira que os efeitos negativos provocados pela operação do metro fossem minimizados. No Quadro 1 é apresentado o modelo de operação proposto para um LRT em Christchurch, Nova Zelândia, tendo em consideração os níveis de procura diários (Grenier & Page, 2012).

Quadro 1 – Características do modelo da linha proposto para o LRT de Christchurch (Grenier & Page, 2012)

Parâmetro	Valor
Horas de operação	5h - 24h
Hora de ponta (HP)	7h - 19h
Frequência do metro em HP	A cada 9min
Média de tempo de viagem entre paragens	2min 30s
Nº de composições a operar em HP	10
Nº de composições a operar fora da HP	2 a 8
Tempo médio de paragem em cada estação	20s

Todos os valores acima descritos são de extrema importância no que diz respeito aos consumos energéticos. Um sistema de metro ligeiro tem um consumo energético médio diário, contando com as perdas por catenárias, de aproximadamente, 32MWh, a que corresponde 180Wh/pass.km.viagem (Grenier & Page, 2012). Basta estender o horário em mais meia hora ou fazer paragens mais longas, por exemplo, para que os níveis de consumo energético aumentem significativamente. As paragens a que o LRT está sujeito, são sem dúvida, as maiores causadoras de perdas energéticas. Estas levam o metro a abrandar, dissipando energia através dos travões e, no posterior arranque, há um pico de energia para fazer mover as carruagens até atingir a velocidade de cruzeiro. Existem mecanismos de recuperação de energia, como baterias de condensadores, que aproveitam a energia dissipada na travagem para as carregar e no posterior arranque, as composições necessitam de menos energia da rede para se moverem. Na Figura 1 estão explícitos os picos de consumo decorrente das travagens e acelerações de um metro e o efeito da bateria de condensadores.

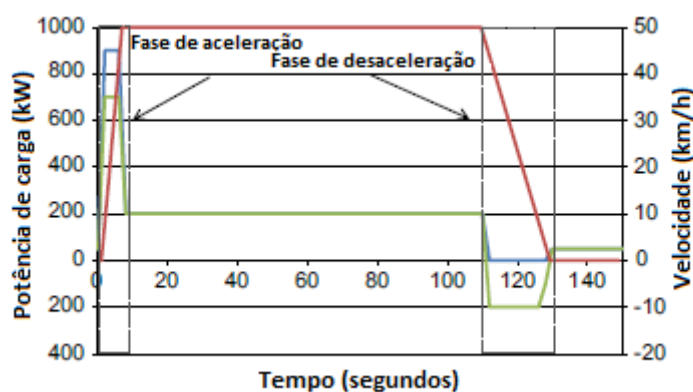


Figura 1: Benefício da implementação de uma bateria de condensadores e picos de aceleração/desaceleração de um metro (adaptado de Grenier & Page, 2012)

Bhattacharjee & Goetz (2012) analisaram os impactos de médio prazo relativos a um sistema de LRT na cidade de Denver (Colorado), relacionando o crescimento da rede ferroviária, rodoviária e aumento do número de veículos nas vias públicas. O estudo concluiu que apesar do aumento generalizado dos veículos rodoviários, as zonas que estavam sob influência das linhas de LRT contiveram o aumento do tráfego rodoviário face às zonas exteriores a este perímetro (crescimento de 31% nas zonas do LRT contra 41% nas zonas fora deste).

Kim et al. (2007) estudaram o perfil de utilização do metro ligeiro no Missouri, EUA, onde os utilizadores são descritos detalhadamente por género e faixa etária, dando ainda a conhecer os principais motivos que levavam à sua utilização. Concluíram que o perfil do utilizador está na faixa etária até aos 25 anos, com maior incidência para os menores de 19 anos. As mulheres têm maiores hábitos de uso deste meio de transporte coletivo face aos homens.

Um dos fatores que beneficia com a introdução de um metro ligeiro é o tempo despendido em viagens. De acordo com o Victoria Transportation Policy Institute, reduzindo os volumes de congestionamento rodoviário em pequenas percentagens, os atrasos podem ser diminuídos em maior escala. Isto é, uma redução de 5% no congestionamento do tráfego leva a uma redução entre 10% a 30% nos atrasos (Topalovic et al., 2012). Pesquisas relacionadas mostram que o aumento de mais eixos rodoviários ou alargamento das vias não resolve os problemas provocados pelo congestionamento porque existe normalmente uma procura proporcional à capacidade existente. Alternativamente, a implementação de um metro ligeiro de superfície ou um veículo prioritário, permite diminuir os problemas de congestionamento uma vez que potencia à menor utilização do TI (Topalovic et al., 2012).

Para aumentar os níveis de lotação do LRT é recomendado que haja uma boa localização das estações, *design* apelativo e interconectores para a intermodalidade em combinação com os estacionamento de rua e os seus preços para os utilizadores (Kim et al., 2007).

Há no entanto quem levante sérias dúvidas sobre os benefícios dos sistemas LRT. As melhorias energéticas ambientais não são consensuais. Os estudos referidos anteriormente concluíram que os transportes sobre carris reduzem significativamente o tráfego rodoviário enquanto outros, como (Mackett & Edwards, 1998), levantam questões acerca do verdadeiro impacto que este sistema tem, dizendo que as reduções existentes não são tão acentuadas como indicam alguns dos estudos. Eles mostram que muitos sistemas de LRT espalhados pelo mundo tiveram um impacto menor que o previsto, tendo sido isso mesmo comprovado por Dupuy (2013).

Para isto, em muito influenciam as barreiras. As barreiras são os obstáculos criados por todos os *stakeholders* ligados à mobilidade que fazem com que o transporte de massas seja mais complicado e menos otimizado. Entre as principais barreiras destacam-se (Motraghi, 2013):

1. Segmentação, fragmentação e uma geral falta de cooperação entre os vários transportadores intermodais;
2. Não-integração de sistemas ITS e ausência de serviços de informação intermodal;
3. Competição entre modos de transporte e incapacidade de se complementar entre os mesmos;
4. Condições para a integração operacional e técnica dos diferentes sistemas de ferrovia nacionais na UE e em países em adesão (requisitos de interoperacionalidade e segurança);
5. Barreiras infraestruturais;
6. Barreiras decorrentes dos conceitos logísticos e práticas de serviços;
7. Barreiras decorrentes das vertentes económica e financeira.

Qualquer um dos pontos supracitados é uma dificuldade extra na implementação de um sistema de transporte mais sustentável e duradouro na sociedade. Sem uma política integrada de

transportes e que envolva os *stakeholders*, os resultados práticos serão sempre á quem do esperado.

Dias et al. (2014) utilizaram a microsimulação através do *software* de medição de tráfego VISSIM integrado com o GIS (Geographical Information Systems) e o GPS (Global Positioning System) para calcular a qualidade do ar provenientes do tráfego automóvel na cidade de Aveiro. Chegaram à conclusão que ao integrar o GPS com o sistema GIS permite, não só saber para onde os veículos se deslocam, mas também saber as zonas de maior concentração de poluentes.

Knowles (2007) recomenda que a implementação deste tipo de sistemas em cidades com uma população superior a 300.000 habitantes. No caso de Aveiro, a sua dimensão populacional é menos de 1/3 do valor apresentados, mas mesmo assim, existem cidades de dimensão similar que possuem metro ligeiro, como a cidade de Ziwckau, no leste da Alemanha. Todos os benefícios apresentados para este sistema de transportes fazem com que um projeto deste calibre parta com alguma viabilidade inicial. O plano de mobilidade intermunicipal da região de Aveiro, Região de Aveiro (2012), evidencia características de centralidade da cidade e de inúmeros movimentos pendulares entre entradas e saídas. Como foi referido anteriormente, a perda de competitividade dos TC para o TI é notória não só na cidade mas em toda a região.

As partes da cidade mais densamente povoadas e os pontos de interesse são aqueles locais a que se deve dar mais atenção aquando do planeamento e desenvolvimento da linha de LRT. A implementação de um sistema de metro ligeiro leva ao desenvolvimento de investimentos como a criação de novas urbanizações, escritórios, serviços e lojas. As cidades que implementaram com sucesso sistemas de LRT, apresentaram um aumento do comércio gerado adjacientemente ao traçado dos carris, desenvolvendo também novas residências e áreas comerciais e aumentando desta forma a empregabilidade nesses pontos (Topalovic et al., 2012).

Um estudo referente à reestruturação da linha ferroviária do Vouga nomeadamente na ligação Aveiro-Águeda (Câmara Municipal de Aveiro, 2008) avaliou diferentes cenários para a ligação existente e os seus impactos na mobilidade no centro da cidade de Aveiro. Os três cenários foram:

- I. Manutenção das condições existentes;
- II. Obras de beneficiação e conseqüente aumento da velocidade do comboio;
- III. Diminuição do trajeto em causa e eletrificação da via.

Conclui-se que a pior escolha seria a manutenção das condições iniciais uma vez que levaria à diminuição da procura do serviço, a médio prazo. Ao invés, a eletrificação da linha seria a opção mais vantajosa uma vez que conduziria a um aumento da procura. O grande entrave desta solução seria o dinheiro dispendido na sua concretização e à qual, a procura mais otimista, não seria suficiente para compensar tais custos (Câmara Municipal de Aveiro, 2008).

Da análise bibliográfica realizada ficou aqui demonstrado que a mobilidade, é nos dias de hoje, crucial num mundo globalizado. Problemas relacionados com congestionamentos de tráfego e poluição atmosférica, advém da necessidade de mobilidade por parte das populações. Esta Dissertação vem aplicar o conhecimento já adquirido anteriormente por todas as entidades ligadas a esta área e enquadra-o à cidade de Aveiro, que pela sua dimensão e centralidade

regional a tornam num objeto potencial, onde um sistema de metro ligeiro poderia ser implementado. A utilização do software de modelação de tráfego VISSIM, aliado à metodologia VSP, permite a análise de vários cenários e consequências deste aos níveis de desempenho do tráfego e poluição.

3 SISTEMAS DE METRO LIGEIRO

Neste capítulo serão abordados casos de sistemas de metros ligeiros implementados em cidades europeias e nacionais. A base de estudo desta Dissertação é a implementação de um metro ligeiro em Aveiro baseada numa análise de vários sistemas em cidades de diferentes escalas, de forma a promover uma comparação entre Aveiro e estas cidades (antes e depois da instalação do LRT).

3.1 Metrolink – Manchester, Reino Unido

Manchester é uma cidade no norte de Inglaterra com uma população de 503.127 habitantes. É também a capital da metrópole de Great Manchester que tem uma população total de 2.682.528 habitantes, a segunda maior metrópole de Inglaterra, atrás de Londres (Office for National Statistics, 2011).

Em 1983, o Greater Manchester County Council decidiu desenvolver uma rede de metro ligeiro para promover um transporte público de rápido acesso, livre de congestionamentos e superficial, através do centro histórico de Manchester usando de seis corredores radiais (Knowles, 1996).

Em 1985, arranca a Fase 1 do esquema de LRT, com 31km, ligando Bury a Altrincham, superficialmente, atravessando o centro da cidade de Manchester e com uma ligação à estação de comboios de Piccadilly. Nesta fase, as linhas em causa eram linhas de comboio da *British Rail* (BR) que foram reconvertidas para metro ligeiro (Knowles, 1996).

A obra da Fase 1 teve um custo inicial de 149,4 milhões de libras. Arrancou em abril de 1990 de Bury, passando pelo centro da cidade de Manchester até Altrincham abrindo por fases entre Abril e Julho de 1992, (Knowles, 1996).

Em termos de distância viajada por passageiro, a Greater Manchester Passenger Transport Executive estimou que seriam cerca de 107M de pass.km, por ano, no serviço do Metrolink (ML), sendo que o total dos serviços de comboios da BR, em Manchester, teria uma redução de 240M pass.km para 197M pass.km com reduções de 11% nos autocarros no espaço de três anos (Knowles, 1996).

O sucesso do ML em atrair mais passageiros superou as previsões uma vez que abriu ao serviço numa altura de recessão económica com uma alta taxa de desemprego. A explicação do sucesso do ML ao nível da captação de mais passageiros, especialmente em alturas fora de pico deveu-se a (Knowles, 1996):

- I. O serviço entre comboios da ML ter 6 minutos de intervalo (excetuando inícios de manhã, noites e Domingos);
- II. Localização da rede no contexto urbano de Manchester;
- III. Bilhetes mais baratos nas horas fora de pico e aos fins-de-semana.

No Quadro 2 pode-se observar o impacto que o metro teve em Manchester e a captação de passageiros que utilizavam outros meios de transporte para se deslocar. Os dados referem-se ao número de passageiros estimado e o seu valor real para o ML e qual a variação caso o serviço continua-se na BR.

Quadro 2: Número de passageiros estimados e real para viagens no ML (Knowles, 1996)

	Previsão (M)	Número real (M)	Se as linhas continuassem na British Rail (M)	Impacto do Metrolink (M)
Novas viagens		2,5	2,3	0,2
Automóvel	1,3	3,3	0,7	2,6
Autocarro	3,0	2,6	1,0	1,6
Comboio	7,6	3,5	3,3	0,2
Outros	0,0	0,2	0,3	-0,1
Total	11,9	12,1	7,6	4,5

O impacto do ML nas viagens sobre carris entre Bury e Altrincham traduziu-se num aumento de 4,5 milhões de viagens por ano. Isto correspondeu a 2,6 milhões de antigas viagens de TI, 1,6 milhões em antigas viagens de autocarro, 0,2 milhões de novas viagens e a perda de 0,1 milhões de viagens para outros modos de transporte (como seja a bicicleta ou a pé) (Knowles, 1996). Consequentemente, as tarifas de estacionamento no centro da cidade foram aumentadas de modo a incentivar o uso do ML.

No entanto, sem que se notasse grande diminuição dos volumes de tráfego em Manchester, o sucesso do ML em atrair mais passageiros que as previsões, coincidiram e talvez tenham causado uma redução do volume de tráfego no corredor central de Manchester, mas apenas nos períodos fora de pico e no eixo Bury-Altrincham onde a Fase 1 foi implementada. Em contraste, o corredor oeste-este experienciou um aumento significativo no que ao tráfego automóvel diz respeito. (Knowles, 1996).

Para se analisar o impacto que o ML teve na cidade de Manchester e nos seus hábitos, o Quadro 3 ilustra as diferenças registadas entre o atual meio de transporte e o antigo da BR. Este inquérito retrata, através do número de respostas, a procura existente no atual serviço e no antigo serviço da BR. Embora houvesse um declínio na percentagem da população a pé junto às estações entre 1990 e 1993, a maior rapidez do ML face ao BR, fez aumentar o número de pessoas que andam a pé (Knowles, 1996). Verificou-se ainda uma diminuição geral dos outros meios de transporte coletivo com a implementação do ML. Isto porque houve falta de regulamentação e integração entre estes e o LRT. A competição foi o principal motivo para que isto acontecesse (Knowles, 1996).

Quadro 3: Repartição modal das viagens em Manchester (Knowles, 1996)

Fator	Trabalho		Educação		Compras		Social/recriação		Outro		Total	
	ML	BR	ML	BR	ML	BR	ML	BR	ML	BR	ML	BR
Nova viagem (%)	26,4	25,6	46,5	58,5	10,8	16,8	16,1	31	17,6	45,2	22,6	30,6
Condutor TI (%)	18,8	6,6	11,1	4,6	34,9	1,6	21,7	6,9	25,2	7,1	23,1	7,4
Passageiro TI (%)	2	2,2	2,5	-	6,9	1,1	6,8	-	3,6	2,4	3,9	1,5
Total TI (%)	20,8	8,8	13,6	4,6	41,8	12,7	28,5	6,9	28,28	9,5	27	8,9
Autocarro (%)	19,7	11,5	21,7	15,4	20,7	11,6	24,8	27,6	20,3	7,1	20,6	12,7
Comboio (%)	32,1	49,8	16,2	9,2	25,4	58,9	28	34,5	29,3	38,1	28,6	43,9
Outro (%)	0,9	4,4	2	12,3	1,3	-	2,5	-	4,1	-	1,5	3,9
Nº respostas	988	227	198	65	547	95	161	29	222	42	2116	458

O ML atingiu os objetivos para o qual foi construído e ajudou a reduzir o volume de tráfego e o tempo de viagem para o centro da cidade de Manchester. O impacto deste foi maior do que as previsões, mas numa perspetiva diferente: o uso nos períodos fora de pico foi bem acima do esperado, enquanto nas horas de pico o uso foi um pouco menor do que o estimado, mas mesmo assim superior ao anterior serviço da BR. A maior parte dos utilizadores do ML foram pessoas que faziam a sua deslocação em TI e de autocarro (Knowles, 1996).

Atualmente a rede ocupa uma área muito mais abrangente possuindo 6 linhas, 76 estações e uma extensão total de 77km, conforme mostra a Figura 2 (Transport for Greater Manchester, 2014). A expansão do ML foi uma estratégia chave para o desenvolvimento na área dos transportes da Great Manchester, que teve sucesso nas várias fases de ampliação: Fase 1, 2, 3a, 3b e 2CC, estas duas últimas a serem concluídas entre 2016/2017 e que vão fazer do ML a maior rede de LRT do Reino Unido com perto de 97km de linhas férreas e 93 paragens, com um número estimado de passageiros de 45 milhões (Kingsley, 2007).

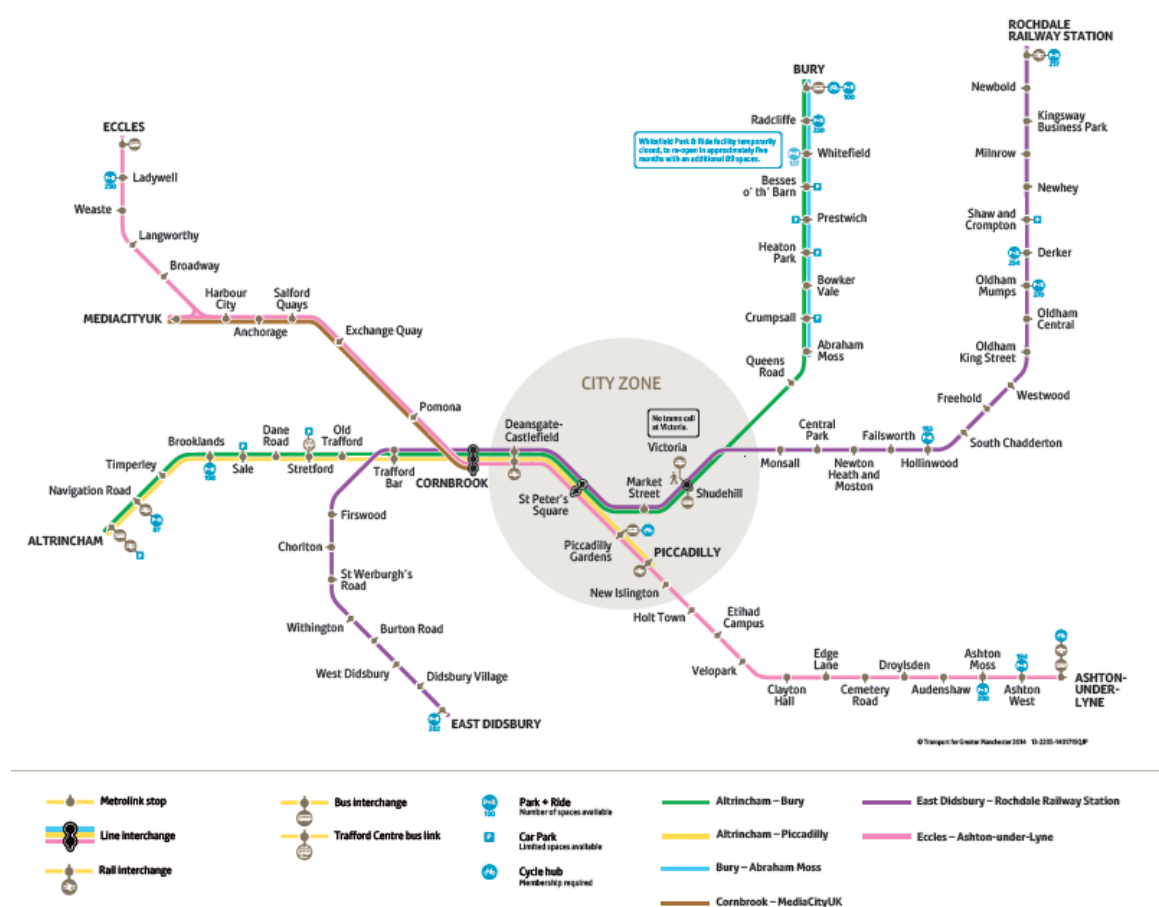


Figura 2: Atual esquema da linha do ML (Transport for Greater Manchester, 2014)

Os números de utilizadores do ML têm, em média, aumentado todos os anos (ver Quadro 4). Num espaço de 20 anos passaram de 8,1 milhões de pass.viag. em 1992/1993 para 25 milhões em 2012/2013 (Transport, 2013).

Quadro 4: Milhões de passageiros viagem entre os anos fiscais de 1992 e 2013 (Beusen et al., 2013)

Ano	Pass.viag (M)	Ano	Pass.viag (M)	Ano	Pass.viag (M)
1992/93	8.1	1999/00	14.2	2006/07	19.8
1993/94	11.3	2000/01	17.2	2007/08	20.0
1994/95	12.3	2001/02	18.2	2008/09	21.1
1995/96	12.6	2002/03	18.8	2009/10	19.6
1996/97	13.4	2003/04	18.9	2010/11	19.2
1997/98	13.8	2004/05	19.7	2011/12	21.8
1998/99	13.2	2005/06	19.9	2012/13	25.0

A frota de veículos da ML é constituída por dois tipos de composições: a Ansaldo Firema T-68As e a Bombardier Flexity Swift M5000s (Transport for Greater Manchester, 2014).

O modelo da Firema (ver Figura 3) tem capacidade para 82 lugares sentados e 122 lugares em pé. Tem 29m de comprimento, 3,7m de altura e 2,65m de largura. Pesa perto de 45 toneladas e o seu motor é um conjunto de quatro motores elétricos de 105kW cada (Gallagher, 2007). Estes serão substituídos pelos modelos Flexity Swift M5000s no final do ano de 2014 (Transport for Greater Manchester, 2014).

O modelo da Bombardier tem capacidade para 60 lugares sentados e 146 lugares de pé. Tem 28,4m de comprimento, 3,67m de altura e 2,65m de largura. Pesa perto de 39,7 toneladas e o seu motor é um conjunto de quatro motores elétricos de 120kW cada (Transport for Greater Manchester, 2014).



Figura 3: Firema T68-As de Manchester (Chadwick, 2000)

3.2 Metro do Porto – Porto, Portugal

O Porto é uma cidade no norte de Portugal com 237.591 habitantes no seu município. Tal como Manchester, é o centro de uma área metropolitana, a Área Metropolitana do Porto (AMP), que engloba 17 municípios periféricos à cidade com uma população total de 1.759.524 (INE, 2013).

A rede do metro do Porto foi criada em 2002 e está dividida em seis linhas espalhadas por sete concelhos da AMP: Porto, Maia, Matosinhos, Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Vila Nova de Gaia e Gondomar. Possui um total de 81 estações distribuídas por 67km de linhas comerciais duplicadas (ver Figura 4), maioritariamente à superfície, com 7,7km da rede enterrada (Metro do Porto, 2012a).



Figura 4: Diagrama da linha atual do Metro do Porto (Gitbi, 2012)

A primeira linha do Metro do Porto ligou Senhor de Matosinhos à Trindade (linha A) e foi inaugurada a 7 de Dezembro de 2002. Nesta primeira fase, a rede era constituída por 11,8 km e 18 estações, todas de superfície, sendo o antigo túnel ferroviário da Lapa reconvertido para a rede do metro. (Metro do Porto, 2012a).

Em 2004, a rede cresceu mais 3,8km, entre o Estádio do Dragão e a Trindade, o que correspondeu a cinco estações adicionais, todas elas subterrâneas.

Em 2005 foi criada a linha B ligando Pedras Rubras à estação da Senhora da Hora, o que significou a adição 7km e cinco estações aproveitando a antiga linha ferroviária da Póvoa. Num outro ponto da rede, a linha C cresceu entre a Senhora da Hora até ao centro da cidade da Maia, adicionando 6km de ferrovia e o mesmo número de estações. Esta última foi uma reconversão da antiga linha da Trofa.

Nesse mesmo ano foi ainda inaugurada a linha D que liga o centro de Vila Nova de Gaia ao Polo Universitário do Porto, num total de 5,7km e 10 novas estações. Para esta última via foi necessário a reconversão do tabuleiro superior da Ponte D. Luiz para metro (Metro do Porto, 2012a).

Em 2006, a linha vermelha, foi estendida até à Póvoa de Varzim, aumentando a rede em mais de 17,2km e 15 novas estações. Este troço foi uma reconversão de grande parte da antiga linha de comboio da Póvoa (Metro do Porto, 2012a).

Ainda em 2006, entraram em operação o segmento entre as Estações Fórum Maia e ISMAI da linha C (4,5km e quatro novas estações) e o segmento entre as Estações Polo Universitário e Hospital de São João (1,2km) da linha D (Metro do Porto, 2012a).

Nesse mesmo ano, dava-se por concluída a primeira fase da rede, com a finalização da linha Violeta (linha E), que liga o Aeroporto Francisco Sá Carneiro à zona histórica do Porto. Esta nova linha é a continuação do ramal da linha B, acrescentando apenas 1.480m e três novas estações entre Verdes e o Aeroporto (Metro do Porto, 2012a).

A linha D voltou a sofrer uma expansão no concelho de Gaia tendo sido criadas as estações de Santo Ovídio e de D. João II, em 2011, e nesse mesmo ano, foi inaugurada a linha F (laranja) que liga a estação Estádio do Dragão a Fânzeres (Metro do Porto, 2012a).

O metro (Figura 5) tem conseguido uma adesão significativa por partes dos utentes em especial no troço Estádio do Dragão-Senhora da Hora, que representa 52% das viagens realizadas pelos utentes, mas também na Linha Amarela, onde esse valor é de 31% (Coelho & Costa, 2012). Em horas de ponta o tempo de espera é de quatro minutos ou até de menor periodicidade e, existe uma boa articulação com a rede de autocarros da Sociedade de Transportes Coletivos do Porto (STCP) (Coelho & Costa, 2012).



Figura 5: Metro do Porto (Metro do Porto, 2012a)

O Metro do Porto já transportou cerca de 440 milhões de passageiros nos seus 11 anos de funcionamento (Metro do Porto, 2013), o que traduz a importância deste investimento feito na cidade Invicta.

Para saber quais os impactos que o metro trouxe a nível ambiental para a área metropolitana do Porto, a empresa que gere toda a rede, a Metro do Porto, tem vindo a realizar vários Planos de Sustentabilidade (Metro do Porto, 2012b). No relatório de 2008 concluiu que, dos atuais utilizadores do metro, 23,6% foram captados do TI, 65,4% do TC e 11% de transporte não motorizado (TNM) (Metro do Porto, 2008).

No ano de 2012, para a avaliação do impacto do metro foram consideradas as mesmas percentagens de 2008, aos números de 2012. Isto traduziu-se num número de pass.km 66.665.356 provenientes do TI, de 184.742.132 oriundos do TC e 31.072.836 dos TNM. Tendo estes números e com base nesta metodologia, chegaram ao valor de 59.512 toneladas CO₂e de emissões evitadas. Destas, 79% equivalem à transferência do TI para o metro e os restantes 21%, em consequência da transferência do TC (Metro do Porto, 2012b).

O utente tipo do Metro do Porto é mulher (58,0%), de classe média, com 36 anos, solteira e com habilitações médias ou superiores. De assinalar ainda que mais de metade dos clientes (53,5%) tem entre 15 e 35 anos. Estes valores explicam-se com a quantidade significativa de estudantes que utilizam o serviço do metro do Porto (Metro do Porto, 2012b).

No Metro do Porto é utilizado o sistema integrado de transportes, o Andante. O Andante é um cartão eletrónico (ver Figura 6) que pode ser utilizado no metro, na frota de autocarros da STCP e de alguns operadores privados que têm carreiras a operar no Grande Porto e ainda em algumas estações da rede de suburbanos do Porto. Este sistema funciona por zonas a que correspondem diferentes tarifários, sendo que a duração do bilhete, após a sua validação é de uma hora, para a maior parte da rede, o que permite utilizar vários serviços sem incremento de custo.



Figura 6: Bilhete do Andante (Metro do Porto, 2012a)

A bitola da via é de 1435mm, bitola europeia, sendo o carril de ranhura, embutido no pavimento estando ao nível da estrada e facilitando deste modo as entradas e saídas de passageiros.

Sobre estes carris circulam dois tipos de composições: o Eurotram da Bombardier e o Flexity Swift também da mesma empresa. O Eurotram foi o primeiro modelo a entrar em circulação no metro do Porto. A rede possui 72 composições, que atingem uma velocidade máxima de 80km/h e tem o comprimento de 35 metros, com a capacidade de transportar 80 passageiros sentados. Já o Flexity Swift entrou em uso em 2009 com 30 novas composições. Atingem os 100km/h e a capacidade de transporte de passageiros sentados é de 100 pessoas (Metro do Porto, 2012a). Estes são utilizados, sobretudo, na linha da Póvoa.

3.3 *Tranvía de Parla – Parla, Espanha*

Parla é uma cidade subúrbio de Madrid, situada a 17km a sul da mesma. É uma cidade com cerca de 122.000 habitantes, uma das 50 maiores de Espanha

A criação de um LRT em Parla foi impulsionada pela administração local. Foi inaugurado no dia 6 de maio de 2007, tendo sido dada por concluída a fase I e, em setembro do mesmo ano, a fase II. Este sistema tem a particularidade de ser uma rede circular (ver Figura 7), que passa pelos pontos mais importantes de Parla, incluindo a ligação à estação de caminhos-de-ferro local (Madrid, 2006).

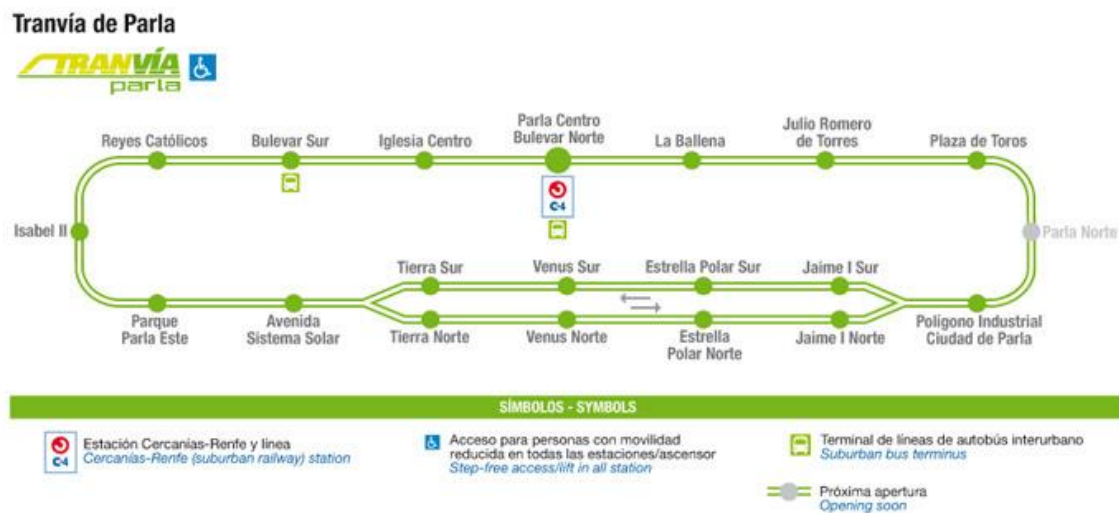


Figura 7: Diagrama da linha de metro ligeiro de Parla (Tranvía de Parla S.A., 2012)

No Quadro 5 apresentam-se as características da linha do metro de superfície.

Quadro 5: Características da linha de metro ligeiro de Parla (Tranvía de Parla S.A., 2012)

Comprimento da linha (km)	8,3
Paragens	15
Distância média entre paragens (m)	50
Velocidade Média (km/h)	19
Frequência em hora de ponta (min.)	7
Tempo de uma volta (min.)	27
Bitola (mm)	1,435
Cumprimento das paragens (m)	40
Subestações elétricas	3

Desde que foi inaugurado em 2007, o metro tem desempenhado um papel importante na mobilidade dos seus cidadãos. Durante o primeiro ano de funcionamento, o metro registrou 2.350.000 passageiros, no segundo 3.800.000 e chegou, em 2011, aos 5.000.000 registos, com uma utilização média, nos dias de trabalho, de quase 20.000 utentes. Tem um índice de satisfação de 86,4% (Tranvía de Parla S.A., 2012).

A introdução do metro de superfície permitiu a criação de mais espaços pedonais no centro da cidade, que outrora eram dominados por automóveis, resultando assim na melhoria da qualidade de vida dos seus habitantes (Ayuntamiento de Parla, 2014).

O material circulante na rede ferroviária de Parla é o modelo CITADIS da Alstom. Tem três carruagens por veículo e dois motores com um motor de 480kW de potência (S.A., 2012). O Quadro 6 mostra as características das composições que circulam em Parla.

Quadro 6: Características do material circulante na rede de tranvia de Parla (Tranvia de Parla S.A., 2012)

Modelo	Citadis 302 ALSTOM
Comprimento (m)	32,3
Largura (m)	2,4
Altura (m)	3,6
Peso (Ton)	39,9
Passageiros sentados	54
Passageiros de pé	132 (3,5 passageiros/m ²)
Tensão de alimentação catenária (Vcc)	750

3.4 Metro Transportes do Sul – Almada e Seixal, Portugal

O Metro Transportes do Sul (MTS) é um metro ligeiro de superfície que circula nos concelhos de Almada e Seixal. Estes dois concelhos pertencem à Área Metropolitana de Lisboa e estão localizados na margem sul do rio Tejo. O aglomerado populacional destes concelhos perfaz um total de 332.299 habitantes (Almada - 174.030 e Seixal - 158.269) (INE, 2013). A falta de continuidade territorial com a capital, a fraca integração dos atuais modos de transporte (comboio, autocarro e barco) e a elevada densidade populacional da zona, levou a que se construísse de raiz um sistema de LRT, de modo a facilitar a mobilidade da população.





O primeiro troço da linha entrou em funcionamento no ano de 2007 e o restante em 2008. Este sistema é composto por três linhas:







- Linha 1: Cacilhas – Corroios;
- Linha 2: Corroios – Pragal;
- Linha 3: Cacilhas – Universidade.

Como pode ser observado na Figura 8, existem três nós de interface (estações de Corroios, Pragal e Cacilhas) com outros meios de transporte. Estas interfaces garantem que outros concelhos da Margem Sul, onde este transporte não opera, tenham conexão com esta rede e também garantem a ligação a Lisboa, via barco (na estação de Cacilhas). Na Figura 9 estão descritas em tabelas as interfaces existentes nesses 3 pontos.



Figura 8: Diagrama da linha da Metro Transportes do Sul (MTS, 2014)

Corroios		
		Sentido Roma-Areeiro e Setúbal
		121 166 191 192 193

Pragal		
		Sentido Roma-Areeiro e Setúbal
		106 111 124 125 126 127 194 197
		Intercidades





Cacilhas		
		101 104 106 124 125 126 127 135 107 108 109 110 112 113 114 115 120 121 123 133 136 144 149 166 191 192 196;
		Ligação Cacilhas - Cais do Sodré

Figura 9: Interfaces existentes com a rede de autocarros, comboios e barcos nas estações de Corroios, Pragal e Cacilhas (MTS, 2014)

Apesar da atual rede em funcionamento, a MTS tem planos para expandir o seu sistema para os concelhos vizinhos do Barreiro e da Moita (ver Figura 9). Esta segunda fase ainda não tem data definida. Na Figura 10 está ilustrado o traçado planeado para os restantes concelhos.



Figura 10: Mapa da rede atual e projeção desta para oeste (Costa da Caparica) e para este (Seixal e Moita) (MTS, 2014)

Apesar do metro passar em zonas estratégicas da Margem Sul e com grandes índices de tráfego rodoviário, a sua capacidade está muito subaproveitada. O tráfego no MTS é de cerca de 30% do tráfego inicialmente estimado. Anualmente, a contribuição do estado é de cerca de 7 milhões de euros, para que a concessionária possa continuar com a exploração deste tipo de transporte (Ribeiro, 2013). A explicação para estes fracos níveis de procura deve-se à enorme desarticulação e concorrência existente entre este e os transportes coletivos rodoviários. No caso do MTS, os autocarros estão em concorrência direta com este, em grande parte dos seus trajetos e não funcionam em complementaridade com o sistema de LRT. Por exemplo, existem autocarros que fazem o trajeto Cacilhas – Corroios ou Cacilhas – Pragal, praticamente paralelos à linha em quase toda a sua extensão (ver Figura 11 e Figura 12) (Ribeiro, 2013).

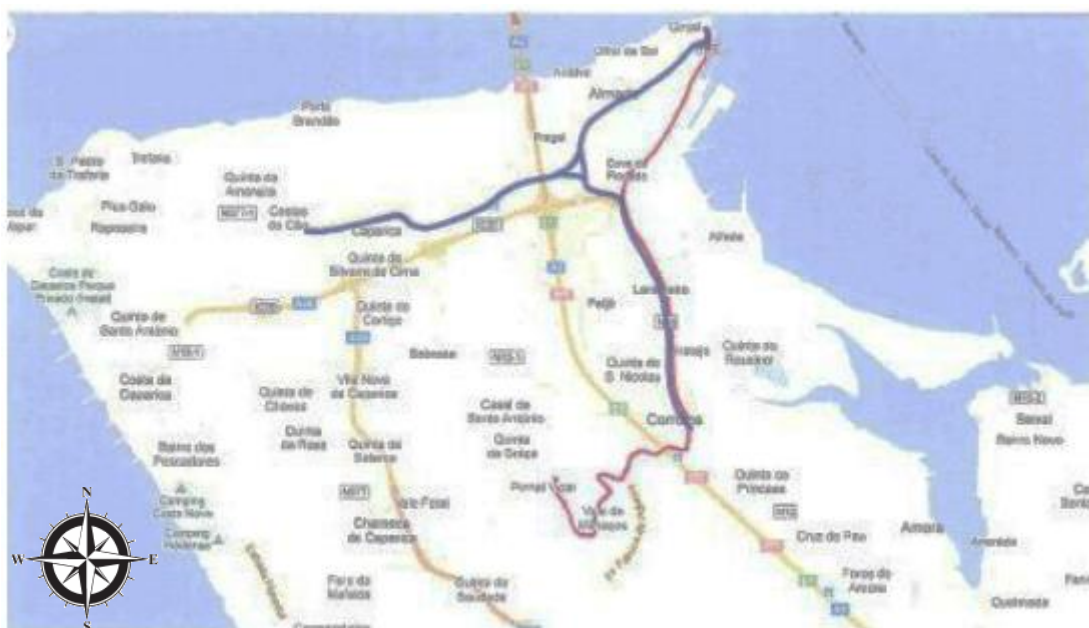


Figura 11: Exemplo de concorrência direta: carreira n.º 166 entre Cacilhas e Pinhal do Vidal (linha vermelha) (Ribeiro, 2013)

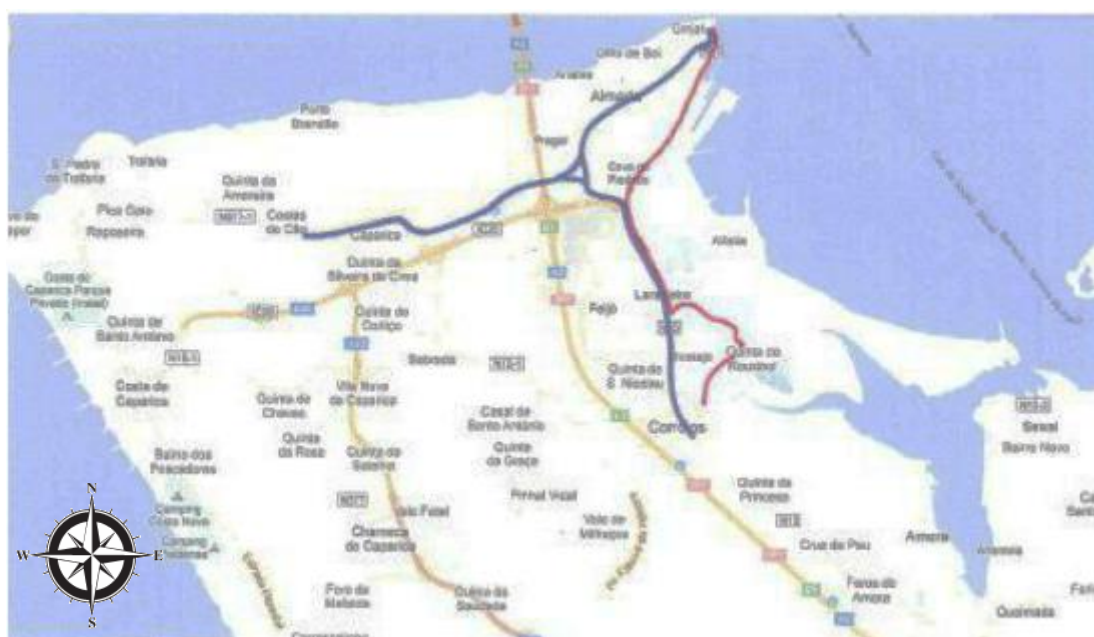


Figura 12: Exemplo de concorrência parcial: Carreira n.º 107 da TST entre Cacilhas - Quinta do Brasileiro (Ribeiro, 2013)

Foi feita também uma análise de custo/tempo, comparando os dois meios de transporte e concluiu-se que a solução metro mais autocarro é mais rápida e mais cara, para as zonas suburbanas à linha do metro. Ao tomar como exemplo, o percurso Cacilhas/Setúbal (ver Figura 13), ao utilizar o metro até Corroios e o autocarro de Corroios até Setúbal, o preço final será de €4,55; se utilizar um autocarro direto, o preço é de €4,00. Em termos de duração da viagem, ao utilizar o autocarro direto, sem necessidade de qualquer transbordo, a duração mínima é de 50 minutos; ao fazer o mesmo trajeto, mas utilizando o metro e autocarro, a poupança seria de apenas nove minutos, que é precisamente o tempo que o metro leva de vantagem sobre o autocarro entre Cacilhas e Corroios, não contando obviamente com o tempo de espera no transbordo (Ribeiro, 2013).

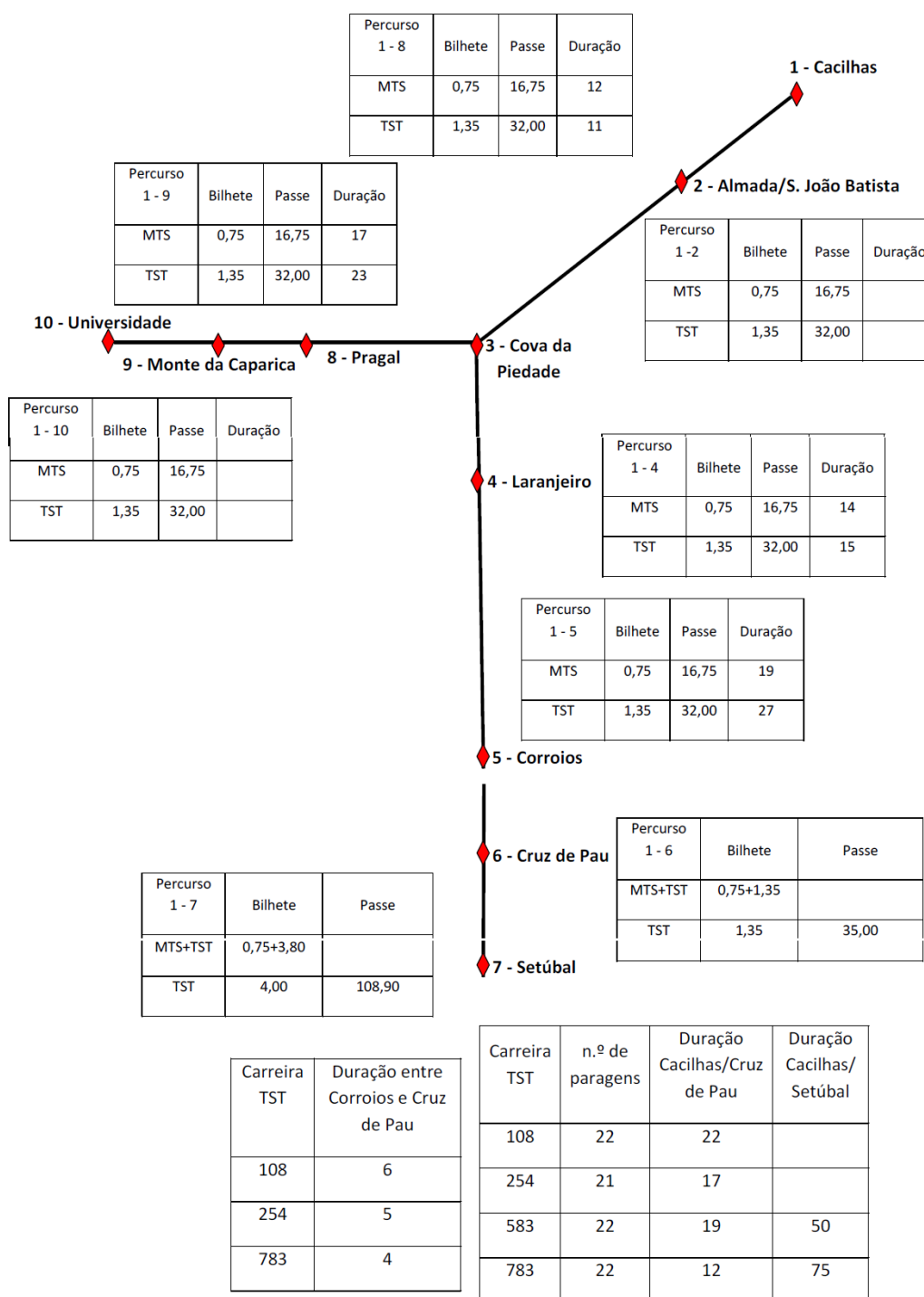


Figura 13: Comparação entre os conjuntos de transporte metro e autocarro com apenas autocarro em termos de tempo e dinheiro (Ribeiro, 2013)

A bitola da via é de 1435mm, sendo o perfil embutido na estrada. A diferença entre a via e a ranhura de entrada dos passageiros é de 30cm, permitindo o uso do mesmo por parte de pessoas com mobilidade reduzida. O metro circula em quase todo o seu percurso numa via de uso próprio, havendo poucos cruzamentos com o tráfego rodoviário (MTS, 2014).

As composições que circulam sob os carris de Almada e Barreiro são a Combino Plus, da Siemens. Este modelo foi dos primeiros a ser construídos de forma modular, podendo ser adaptados às necessidades de transporte de diferentes cidades. O Quadro 7 mostra as características do veículo que circula na Margem Sul.

Quadro 7: Características do material circulante da MST (MTS, 2014)

Modelo	Siemens Combino Plus
Comprimento (m)	36,36
Largura (m)	2,65
Altura (m)	3,6
Peso (Ton)	40
Passageiros sentados	74
Passageiros de pé	163
Velocidade Máxima (km/h)	70

4 METODOLOGIA E MÉTODOS

Neste capítulo apresenta-se a metodologia desenvolvida para avaliação do impacto no tráfego e nas de emissões com a implementação de um sistema de metro ligeiro, na cidade de Aveiro. Para uma melhor compreensão da metodologia desta Dissertação, o fluxograma da Figura 14 apresenta todas as fases mais relevantes do desenvolvimento deste trabalho.

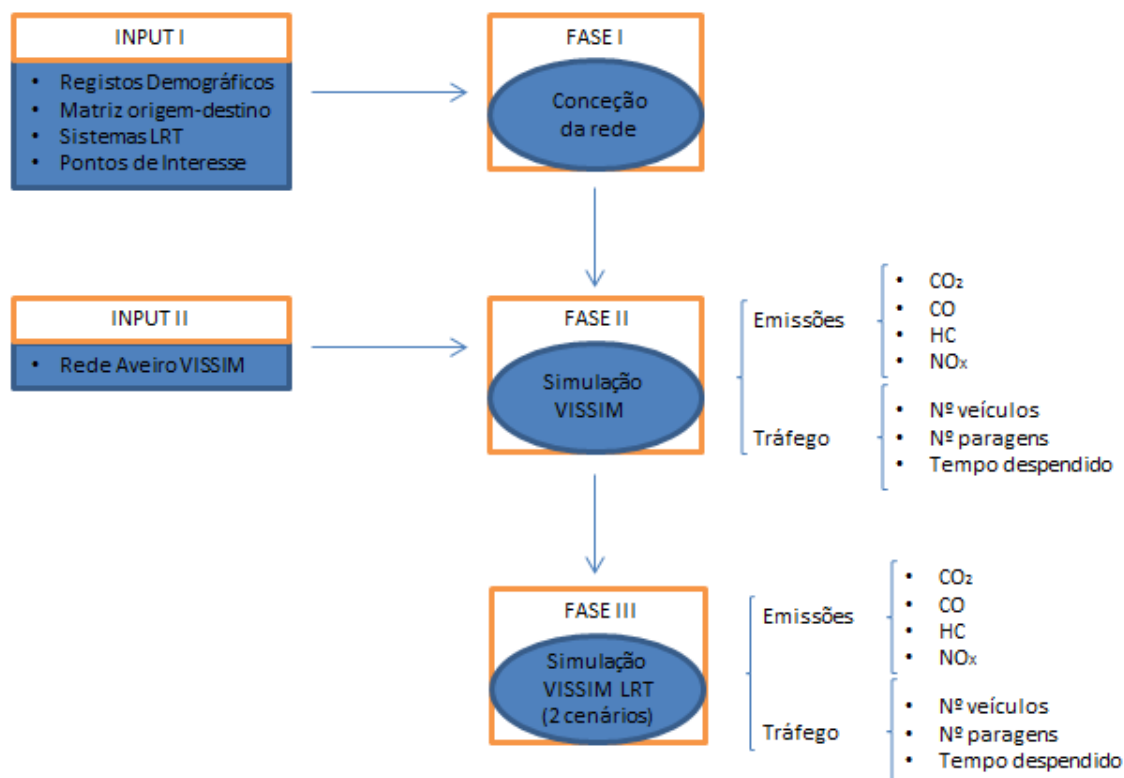


Figura 14: Metodologia usada

A Fase 0, INPUTS, foi dividida em duas categorias, Input I e Input II. O Input I foi a fase onde se procedeu ao estudo e análise da mobilidade em Aveiro. Este estudo contemplou os fluxos rodoviários (veículos ligeiros e pesados) e ferroviários. A mobilidade pedonal não foi considerada para o caso porque os dados que existem são apenas para uma parte da rede (Margarido, 2013). Foram também estudados e localizados os pontos de maior interesse na cidade de Aveiro, qual a melhor solução ao nível da implementação da rede (dentro daquilo que é a infraestrutura da cidade), os horários (dando ênfase à intermodalidade) e quais os reparos a fazer à rede rodoviária de forma ao metro coexistir com o tráfego automóvel, com o mínimo de perturbação possível. Já o Input II diz respeito à recolha de dados das simulações da rede viária feita no programa VISSIM, complementando vários cenários de procura e tendo como base uma rede desenvolvida anteriormente.

Na Fase 1, foi efetuada a conceção da rede de metro ligeiro. Esta rede foi planeada de forma a abranger o maior número de pontos de interesse no centro da cidade de Aveiro. As paragens foram também estabelecidas obedecendo a critérios de distâncias e tempos.

Na Fase 2, foi tirado partido uma rede rodoviária de Aveiro, devidamente calibrada e validada, no programa VISSIM, com dados sobre os volumes de tráfego existentes em todas as vias contempladas nesse *software*. Esta rede serviu como base para a simulação e criação de um cenário base para posterior comparação com cenários em que existe um metro ligeiro, nessa mesma rede. Nestas simulações foram quantificadas as emissões de CO₂, CO, HC e NO_x bem como o tempo médio de atraso e o número médio de paragens efetuado por cada veículo.

Na Fase 3, e última, foram analisados diferentes casos de procura do metro ligeiro para que os resultados obtidos fossem o mais fieis possível. Tal como na Fase II, fez-se a modelação dos poluentes emitidos e dos dados do tráfego rodoviário. Comparou-se os resultados obtidos com o cenário base, tendo-se registado quais as melhorias existentes em cada um dos parâmetros. Foi feita também uma análise a três locais considerados críticos, para se saber se a implementação do metro ligeiro agravaria alguns dos tópicos supracitados.

Para alcançar os objetivos propostos, o trabalho foi organizado em cinco tarefas que se distribuíram de acordo com o apresentado no Quadro 8, ao longo do tempo.

Quadro 8: Calendarização das tarefas

Tarefa	2014									
	fev.	mar.	abr.	mai.	jun.	jul.	ago.	set.	out.	
1 – Revisão Bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2 – Definição da Solução		■	■	■	■	■	■	■	■	■
3 – Modelação de emissões			■	■	■	■	■	■	■	■
4 – Análise e Discussão de resultados				■	■	■	■	■	■	■
5 – Escrita da Dissertação			■	■	■	■	■	■	■	■

As tarefas apresentadas no Quadro 8 consistiram em:

- **Tarefa 1 – Revisão Bibliográfica**: revisão de literatura técnica sobre metro ligeiro e todas as etapas fundamentais até à sua implementação, nomeadamente, o planeamento, desenho, construção e manutenção. Apresentação de alguns casos de estudo onde sistemas deste tipo foram implementados e consequentes benefícios;
- **Tarefa 2 – Definição de Solução**: tendo como base a rede viária de Aveiro, os seus pontos de interesse público, turístico e habitacional, foi desenhada uma linha ferroviária ligeira com ajuda do *Google Earth*. Nesta etapa foram criadas paragens, tendo em conta o espaçamento entre as mesmas e o tempo que o veículo a demora a percorrer. Foram também definidas as novas restrições à atual rede viária e os horários a implementar de modo a articular com os restantes TP;

- **Tarefa 3** – Modelação de Emissões: estimaram-se as emissões dos veículos após implementação das soluções propostas considerando quatro cenários diferentes: um otimista e um pessimista, desdobrados em procura na zona e procura geral. As emissões foram calculadas através da metodologia de emissões VSP.
- **Tarefa 4** - Análise e Discussão dos Resultados: comparação dos vários resultados, ao nível de volumes de tráfego, atrasos, paragens e emissões obtidos nas diferentes fases da modelação para os diferentes cenários.
- **Tarefa 5** – Escrita da Dissertação

4.1 Caracterização da rede de metro ligeiro

Para o planeamento e criação da rede de metro ligeiro foi necessário saber quais os pontos onde existem maiores volumes de tráfego, bem como os pontos de interesse da cidade de Aveiro, aos quais estão associados os fluxos de maior movimento. Os pontos de maior interesse considerados neste estudo foram:

- Centro Cultural e de Congressos.
- Estação de caminhos-de-ferro;
- Avenida Doutor Lourenço Peixinho (ALP);
- Centro Comercial Fórum Aveiro;
- Praça do Peixe;
- Tribunal de Aveiro;
- Hospital D. Pedro V;
- Universidade de Aveiro (UA);
- Instituto de Superior de Contabilidade e Administração de Aveiro (ISCAA);
- Rua Doutor Mário Sacramento;
- Centro Comercial Glicínias Plaza;
- Parque de Feiras e Exposições;
- Urbanização Forca Vouga/Loja do Cidadão.



Figura 15: Mapa de Aveiro com os pontos de interesse (Google, 2014)

A Figura 16 mostra o traçado proposto para o LRT de Aveiro tendo em consideração os pontos de interesse supracitados. Conforme se pode visualizar, a linha seria circular e iria ter apenas carruagens a circular numa direção, sentido anti-horário. Esta consideração foi a tida em conta para a realização da Dissertação, sendo posteriormente analisado se seria ou não viável esta condição. Foi assim considerado pelo tamanho da linha (perímetro 6,3km) (Google, 2014).



Figura 16: Mapa da rede de LRT projetada para a cidade de Aveiro (Google, 2014)

4.2 Caracterização da rede viária de Aveiro

Para a elaboração desta Dissertação e com o intuito de não se repetir trabalho realizado, foi facultado acesso a um ficheiro do modelo VISSIM (PTV, 2011) com uma rede viária detalhada da cidade de Aveiro. Esta rede foi criada por alunos e investigadores do Departamento de Engenharia Mecânica / Centro de Tecnologia Mecânica e Automação. Este documento foi utilizado na elaboração dos artigos (Fontes et al., 2014) e Dias et al. (2014), também enquadrados com a mobilidade e redução de emissões.

Devido à sua existência anterior à Dissertação, todos os dados de entrada introduzidos, a calibração e validação dos resultados obtidos no *software*, tem a responsabilidade dos antecessores que trabalharam com o programa. De notar que, todos os dados introduzidos neste sistema foram decorrentes de medições realizadas ao longo de vários anos (entre 2008 e 2013). Considerou-se que estes dados estariam atuais, não havendo alteração dos dados de entrada por via de novas medições no terreno.

Foram feitas apenas ligeiras alterações (incremento de vias) à rede existente, de modo a que esta, se adequasse à linha de LRT. Como tal, foram criadas duas vias a unir outras já existentes (ver Figura 17):

- Avenida Padre Fernão Oliveira (liga a rotunda do Hospital à entrada Norte da UA);
- Rua Senhor dos Aflitos + Rua João de Moura (ligação da rotunda de acesso ao Centro de Congressos à estação de caminhos-de-ferro).

Como o LRT vai circular nestas vias, estas têm de estar contempladas no ficheiro VISSIM de modo a que posteriormente sejam procedidas as alterações necessárias no tráfego.



Figura 17: Rua Sr. Dos Aflitos e Rua João de Moura (esq.) e Av. Padre Fernão Oliveira (dir.)

Quando estas vias foram criadas, a rede de tráfego estava já nas condições normais de equilíbrio. Foi necessário definir as percentagens de viragens nas interseções respetivas de forma a atingir um novo equilíbrio. As percentagens consideradas para este efeito tiveram em linha de conta medições efetuadas anteriormente, ou seja:

- 5% do tráfego total da rua Universidade de Aveiro tem como destino a rua Padre Fernão de Oliveira;
- 10% do tráfego total da Rua Comandante Rocha e Cunha vira na Rua Senhor dos Aflitos.

No entanto, o baixo volume de tráfego nestas vias (menos de 300 veículos por hora (vph)) não teve grande impacto ao nível da restante rede.

Relativamente ao ficheiro VISSIM, refira-se que todos os dados existentes no programa foram relativos à hora de ponta da manhã (entre as 8h e as 9h) sendo que todos os resultados recolhidos foram validados para esse período.

4.3 Calibração e Validação

Para garantir que a representação da rede é fielmente efetuada pelo modelo e garantir um bom desempenho do mesmo, é necessário calibrar e validar (Spiegelman, et al., 2010). Como referido anteriormente, estes dois processos foram efetuados antes da realização desta Dissertação para outros artigos científicos e caracterizam-se por:

- Calibração: processo comparativo entre duas entidades para assegurar que uma é igual à outra, dentro dos limites de tolerância aceitáveis. A entidade usada como referência na comparação é conhecida como padrão (Saad, 2012). Para calibrar esta rede foram efetuadas um número de simulações significativas e, em vários pontos do mapa, comparado os resultados obtidos entre ambos e verificado se não havia discrepância os valores.
- Validação: processo que visa garantir que o sistema de um serviço ou um produto cumpre os seus requisitos e especificações (Saad, 2012). Este processo consistiu em comparar os valores obtidos com os observados no terreno, de modo a confirmar os valores do *software*. A validação dos resultados incluiu: a) volumes de tráfego; b) tempo de viagem e c) velocidade média (Dias et al., 2014).

Neste documento para calibrar e validar os resultados foram utilizados diferentes conjuntos de dados. Para calibrar foram usados 47 pontos espalhados pela rede virtual, enquanto que para validar foram utilizados os restantes, tal como mostra a Figura 18.

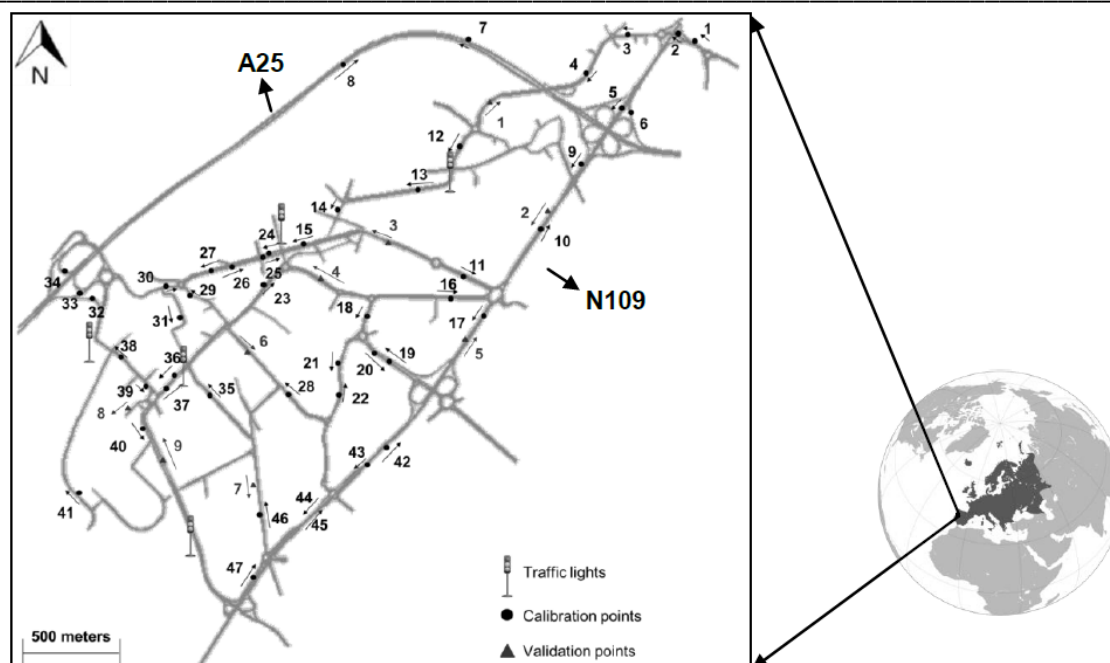


Figura 18: Domínio de estudo e pontos de recolha de dados (Dias et al., 2014)

4.4 Simulação

A simulação da rede viária foi realizada para um período de uma hora, no qual a primeira meia hora foi utilizada para aquecimento da rede e os dados de saída do modelo foram retirados na segunda meia hora. Estes primeiros 30 minutos de aquecimento são importantes porque quando se executa a simulação, é necessário um período de tempo para que se estabilize o tráfego na rede. Para que os resultados fossem apresentados à hora e, sendo o período de avaliação considerado das 8h - 9h, multiplicou-se o resultado obtido por dois.

Para a análise dos resultados foram realizadas 10 simulações aleatórias de forma a obter resultados precisos, como recomenda Hale (1997). Os parâmetros de simulação indicados foram (ver Figura 19):

- Período: 3600 segundos;
- Resolução da Simulação: 10 passos de tempo / simulação segundo.

Os pressupostos da resolução da simulação são os supracitados porque o modelo de emissões funciona segundo a segundo e estes passos de tempo garantem que os dados de saída do modelo são registados com esse intervalo.

Análise do desempenho de um metro ligeiro na região de Aveiro

Bruno Filipe Gomes Baptista de Oliveira

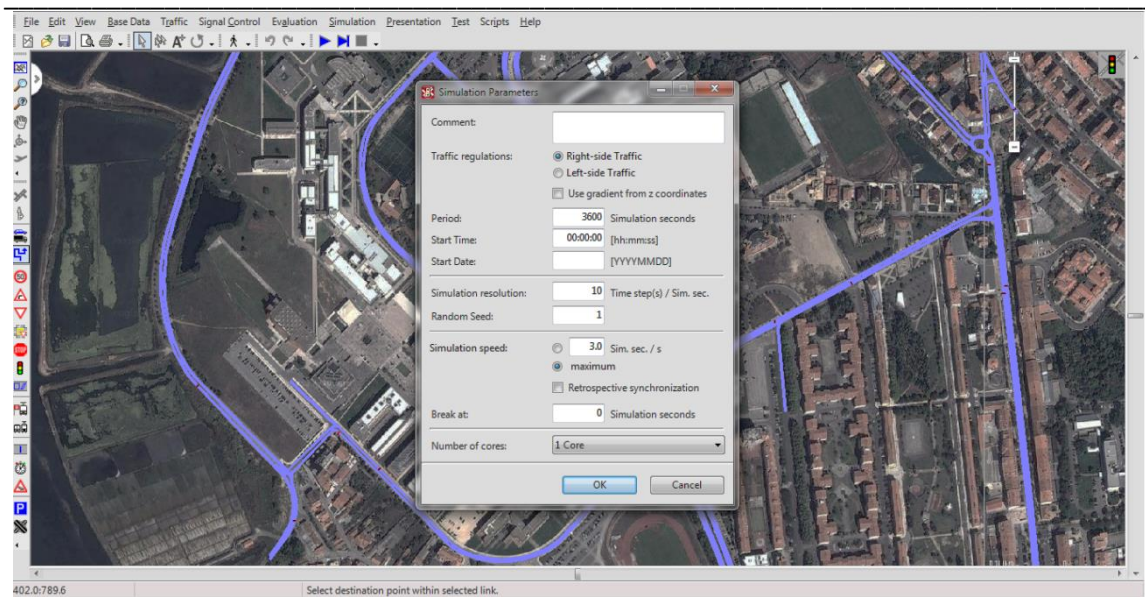


Figura 19: Parâmetros de Simulação

A recolha de dados da simulação foi feita individualmente para cada veículo no *Vehicle Record* do VISSIM. Para além do período de simulação e de resolução, foi ainda aplicado um filtro para que a recolha de dados apenas começasse a ser feita a partir dos 1800s (30 minutos) até aos 3600s (uma hora), conforme é visualizado na Figura 20.

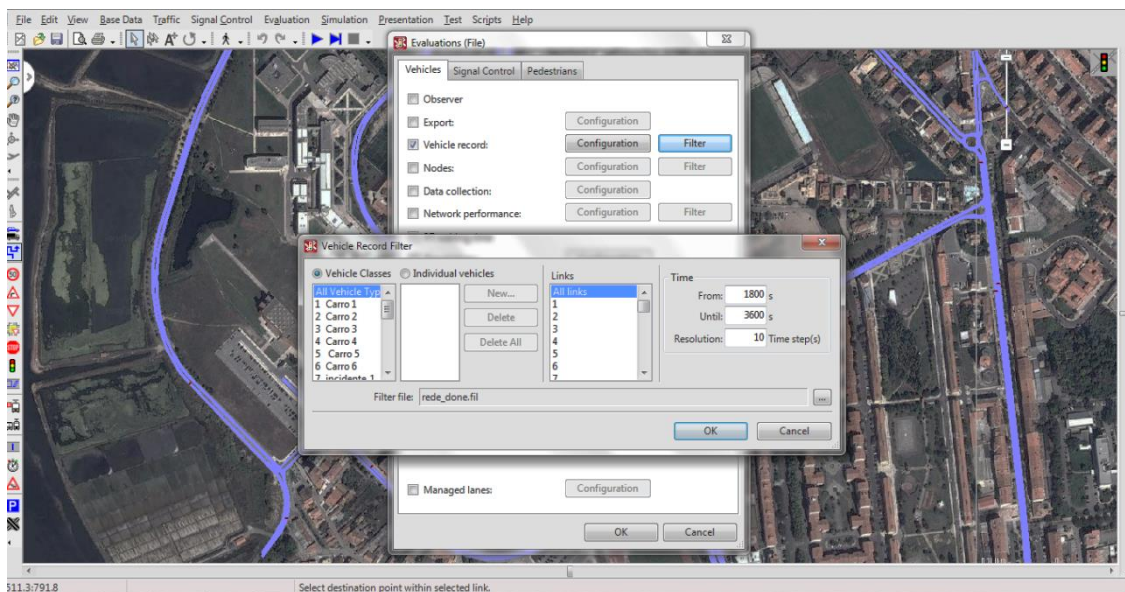


Figura 20: Modo de avaliação *Vehicle Record* e filtros aplicados

Para a recolha de informação do *software* foi criada uma base de dados e feita a ligação entre o VISSIM e esta última. Os dados são depois tratados num ficheiro Excel. Este passo é feito no *Analysar Database*, inserido no *Evaluations Files* e no *Evaluation Database*. O processo realiza-se nos dois comandos de forma a ficar totalmente sincronizado. Na Figura 21 pode-se visualizar como é feita a sincronização.

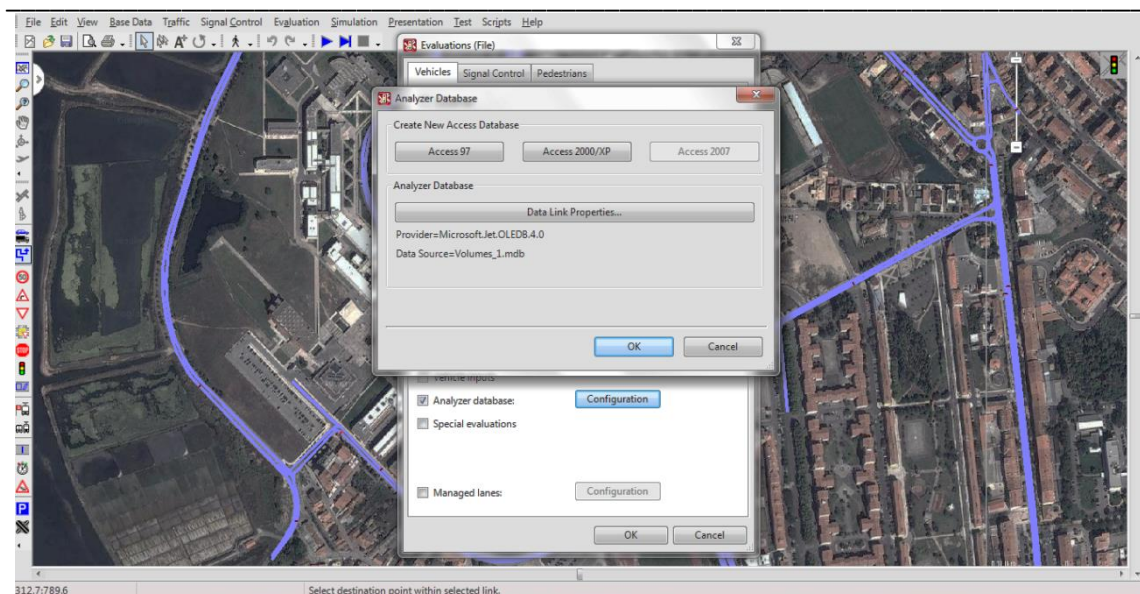


Figura 21: Criação e sincronização da base de dados com o VISSIM

Depois de realizadas as 10 simulações, os resultados foram exportados para o Excel de modo a efetuar o tratamento dos resultados.

4.5 Casos de estudo/Cenários

4.5.1 Impacto Global

Para esta Dissertação e tendo como objetivo obter resultados com algum grau de precisão, foram testados quatro cenários correspondentes a diferentes níveis de utilização do sistema de LRT, comparando-os ao cenário atual de mobilidade. Os cenários são:

- Caso A: cenário base;
- Caso B: redução de 10% do tráfego motorizado;
- Caso C: redução de 20% do tráfego motorizado;
- Caso D: redução de 10%, correspondente às zonas onde circula o LRT;
- Caso E: redução de 20%, correspondente às zonas onde circula o LRT.

No cenário base foi utilizado a rede do VISSIM com os dados de entrada existentes. Apesar de acrescentadas algumas vias, a sua dinâmica não sofreu alterações significativas e foi assim criado o cenário de referência para comparação com todos os outros casos.

Nos casos B e C foi acrescentada a linha de metro de superfície e introduzidos mecanismos que permitissem a fluidez do tráfego, dando sempre prioridade às composições ferroviárias, em detrimento dos veículos rodoviários. Nestes dois casos de estudo, não houve um estudo de procura de passageiros para o LRT. Considerou-se uma redução de 10% no tráfego global (B, cenário realista) e uma redução de 20% (C, cenário otimista).

Os casos D e E representam também uma redução de 10% e 20%, do tráfego da rede viária, respetivamente, mas apenas nas vias que estão no raio de influência do perímetro da linha do metro ligeiro (ver Figura 33). No VISSIM não é possível retirar veículos de uma determinada via, visto não se poder eliminar *vehicles ID* do sistema. Pode-se sim, gerir apenas as percentagens de desvios nas interseções. Para se contornar essa limitação, foi calculado o número de veículos que deixariam de circular, devido à transferência do TI para o metro ligeiro, e retirou-se esse número ao total de veículos do sistema. Neste passo foi considerado uma Taxa de Ocupação Média (T.O.M.) de 1.37 pass/veic (Fontes et al., 2014).

4.5.2 Impacto Local

Nesta secção, ao contrário da anterior, na qual a análise foi feita em termos da totalidade da rede, foram escolhidas três zonas que, sendo das principais vias rodoviárias da cidade, mereceram um olhar mais particular e incisivo de forma a verificar se existe ou não um aumento das emissões com a introdução do LRT. Estas zonas são:

- ALP e rotunda das Pontes;
- Rotunda do Hospital (e todos os acessos a esta);
- Rotunda da N109 (junto ao Glicínias Plaza).

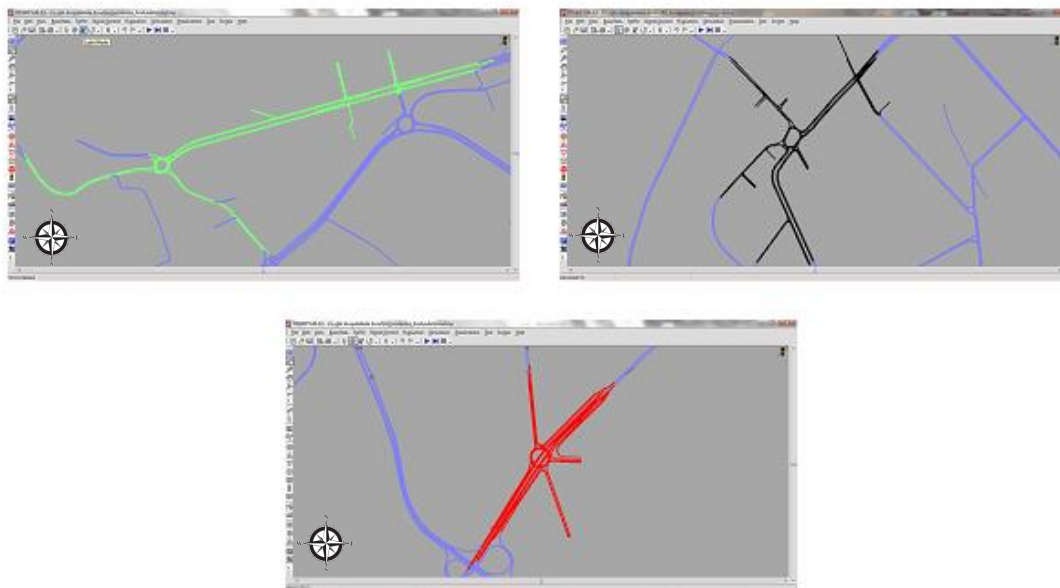


Figura 22: Zonas avaliadas: ALP (verde), rotunda do Hospital (preto) e rotunda N109 (vermelho) (PTV, 2011)

4.5.3 Impacto das emissões globais do metro ligeiro

Para calcular as emissões inerentes à introdução do metro ligeiro na cidade de Aveiro, procedeu-se inicialmente à escolha do tipo de composição circulante para se descobrir qual a energia despendida pelo funcionamento desta. Foi escolhido o modelo 15T ForCity da Skoda pelas suas características, já que o seu modelo mais simples tem a capacidade de transportar cerca de 61

pessoas sentadas e 239 de pé (com três carruagens) o que é um número bastante razoável para a cidade de Aveiro (Skoda Transportation, 2010). O Quadro 9 tem as especificações do modelo sugerido e a Figura 23 mostra o veículo.

Quadro 9: Especificações do 15T Forcity (Skoda Transportations, 2010)

Modelo	Skoda 15T ForCity
Comprimento (m)	31,4
Largura (m)	2,46
Altura (m)	3,6
Peso (Ton)	40
Passageiros sentados	61
Passageiros de pé	239
Velocidade Máxima (km/h)	60
Potência Motor (kWh)	720



Figura 23: Skoda 15T ForCity (Skoda Transportation, 2014)

Para esta Dissertação foi considerado o funcionamento da composição durante uma hora para estimar a energia consumida, equivalente ao tempo de simulação tido em conta. Teve-se em consideração a potência máxima do motor para os cálculos.

O segundo passo é converter essa mesma energia consumida em emissões de CO₂. O retrocesso no ciclo é possível sabendo qual a quantidade de gás libertada durante o processo de queima de combustíveis fósseis nas centrais termoelétricas. Para este parâmetro foram utilizados valores disponibilizados pela EDP, que mostram a variação do número de g/kWh de CO₂, durante o período de agosto de 2013 a julho de 2014.

Quadro 10: Evolução das emissões específicas (ago-13 a jul-14) (EDP, 2014)

Resumo	ago.	set.	out.	nov.	dez.	jan.	fev.	mar.	abr.	mai.	jun.	jul.
CO ₂ (g/kWh)	256	269	176	54,6	173	48,1	46	70,7	71,7	91,2	284	197

4.6 Alterações à via

Com a introdução do LRT na cidade de Aveiro, o tráfego automóvel sofreria alterações inerentes à sua instalação. Essas alterações iriam passar por reduzir a capacidade ao tráfego automóvel em algumas das vias. Noutras o tráfego seria suprimido e ainda haveria vias onde seriam implementados sinais luminosos de modo a dar prioridade ao metro ligeiro. Seguidamente são descritas todas as alterações efetuadas nesta rede:

- I. Av. Dr. Lourenço Peixinho: O metro ligeiro, começando o seu percurso na estação de caminhos-de-ferro, iria virar na direção da ALP. Esse acesso que hoje em dia é rodoviário, deixaria de o ser e seria de passagem exclusiva do metro. Os veículos teriam neste pequeno itinerário, de seguir marcha pelas ruas Almirante Cândido dos Reis e Luís G. Carvalho para entrarem na ALP. Este último acesso seria semaforizado de forma a evitar conflitos entre os diferentes tipos de trânsito e priorizar o metro. Entrando na Avenida, o metro ligeiro iria passar para o eixo central não afetando o tráfego automóvel. Esta passagem eliminaria os modos suaves, que atualmente podem circular aí. Como a procura é baixa e poderia haver uma articulação entre a bicicleta e o metro (deixando a bicicleta entrar no metro, tal como acontece nos comboios suburbanos), foi considerada como a melhor opção, face à estrutura da rede viária. Teria apenas de haver um semáforo para parar os veículos que vêm da zona de Esgueira para o centro, sempre que o metro aí passasse. Todas as interseções com peões, tráfego automóvel em toda a ALP seriam semaforizadas com prioridade dada a este último. Ao chegar à rotunda das Pontes, deixa de haver separador central, o que levaria a que o passeio do lado da ria desaparecesse, tendo os peões que fazer esse pequeno trajeto pelo lado contrário da via (ver Figura 24).
- II. Rotunda das Pontes: Este local é um ponto-chave da cidade devido à confluência de vias principais (rotunda com quatro ramos de entrada e saída) que permite chegar ao centro ou então sair da cidade para zonas mais periféricas. Neste ponto, o metro iria seguir pelo meio da rotunda e seriam introduzidos semáforos para controlo do tráfego aquando da passagem do metro à sua esquerda e à sua direita (ver Figura 24).
- III. Rua de Coimbra: Esta rua é o principal acesso pedonal ao centro da cidade. Como tal, a passagem do metro iria retirar um pouco da capacidade desta via para os peões. À medida que se sobe nesta via, a rua estreita e, para manter uma mobilidade com qualidade aos peões, assim que chega ao largo em frente ao Teatro Aveirense, o metro seguiria a sua rota em direção à rua Belém do Pará. Deste modo, a circulação automóvel na Rua Olho de Água não seria afetada e o trânsito de peões não sofreria um impacto significativo (ver Figura 24).



Figura 24: Av. Dr. Lourenço Peixinho, rotunda das Pontes, Rua Direita e Largo da Câmara Municipal (do canto sup. esq. para o inf. dir.) (Google, 2014)

- IV. Rua Belém do Pará: Esta rua de sentido único seria condicionada ao tráfego automóvel. Introduzir-se-iam semáforos que dariam prioridade ao metro ligeiro. Deste modo os veículos poderiam aceder às traseiras do tribunal, como acontece atualmente. Ao chegar perto do tribunal, o metro passaria entre a entrada do parque de estacionamento e a parede do edifício, não sendo por isso necessário qualquer reformulação da entrada do parque de estacionamento subterrâneo (Figura 25).
- V. Cruzamento Av. Artur Ravara com Av. Araújo e Silva: A confluência destas duas vias é atualmente semaforizada. O LRT aproveitaria esse facto para seguir caminho, em direção à Avenida Artur Ravara, virando à sua direita mesmo depois dos sinais luminosos. Desta forma não interferiria, em quase nada com o trânsito já existente (Figura 25).
- VI. Avenida Artur Ravara: O metro seguiria do lado direito (em direção ao hospital) interferindo com o tráfego rodoviário e pedonal. Esta zona seria intervencionada de modo a alargar a via rodoviária para que a capacidade da via se mantivesse a mesma. Já o passeio seria totalmente suprimido, tendo os peões que transitar pelo lado contrário da via rodoviária (Figura 25).
- VII. Rotunda do Hospital: Uma vez mais, o metro atravessaria pelo meio desta rotunda. Seriam, de novo, colocados semáforos para dar prioridade ao metro ligeiro (Figura 25).

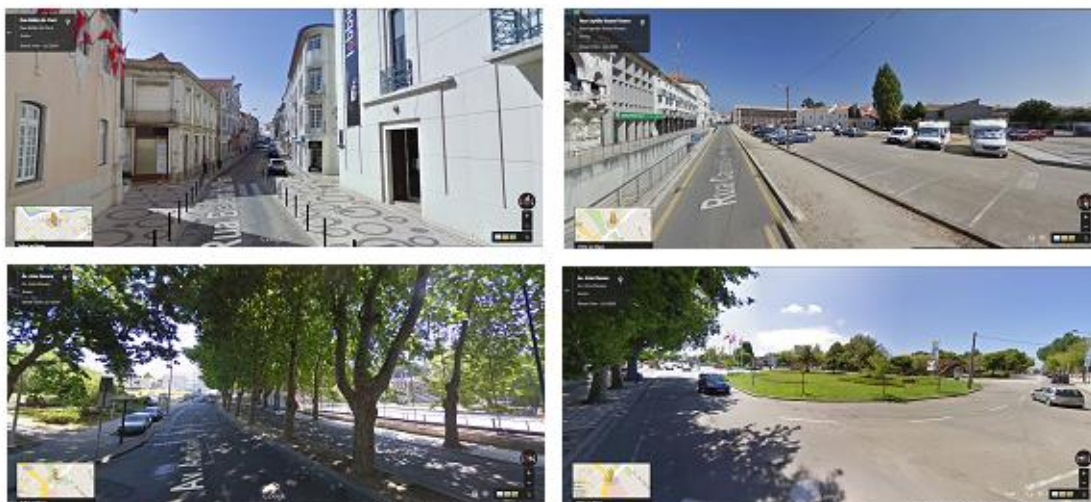


Figura 25: Rua Belém do Pará, Av. Araújo e Silva, Av. Artur Ravara e Rotunda do Hospital (do canto sup. esq. para o inf. dir.) (Google, 2014)

- VIII. Avenida Padre Fernão Oliveira: Esta via de duplo sentido teria, num destes, uso exclusivo do metro. O sentido escolhido para esse efeito foi o itinerário rotunda Hospital-Reitoria UA, pois causaria menos transtorno ao tráfego automóvel, visto que, quem quiser aceder àquela zona, poderia optar pela saída existente nas residências universitárias de Santiago, contornando desta forma o *campus*. O contrário não seria possível já que, na saída das residências de Santiago é obrigatório virar à direita em direção ao ISCAA (Figura 26).
- IX. Rua da Universidade: A linha férrea, ao invés de retirar capacidade à via, passaria pelo espaço por detrás dos departamentos que atualmente é ajardinado. Chegando ao Departamento de Química, contornaria em direção ao parque de estacionamento seguindo por onde é atualmente a entrada de veículos. Seria necessário uma ligeira alteração do espaço, de modo a que o parque de estacionamento pudesse funcionar normalmente. Seria necessária a colocação de semáforos nos dois sentidos da rua da Universidade (Figura 26).
- X. Cruzamento ISCAA: Tal como no cruzamento da Av. Artur Ravara com a Av. Araújo e Silva, o metro ligeiro iria aproveitar o facto de ser um cruzamento semaforizado para o atravessar, sem interferir muito com o tráfego. O tráfego iria fluir de maneira similar, sendo a única alteração, a paragem de todos os veículos aquando da passagem do metro (Figura 26).
- XI. Rua Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários de Aveiro: Como é uma via larga, e que com ligeiras intervenções nos dois lados da via, retirando um pouco de espaço, tanto aos veículos, como aos peões, seria possível manter a mesma capacidade daa vias rodoviária e pedonal e, fazer circular o sistema de LRT (Figura 26).



Figura 26: Av. Padre Fernão Oliveira, Rua da Universidade, Cruzamento ISCAA e Rua da Associação Humanitária dos B.V. Aveiro (do canto sup. esq. para o inf. dir.) (Google, 2014)

- XII. Rua Doutor Mário Sacramento: Devido ao facto de ser uma via larga e com espaço para peões e para estacionamento automóvel, deveria sofrer uma remodelação de modo a que todos estes fatores continuassem a coexistir, sofrendo impactos mínimos com a implementação do metro de superfície. O metro iria circular no sentido oposto ao tráfego automóvel para que os problemas causados na circulação fossem mínimos. Iria, portanto, aproveitar os semáforos existentes no entroncamento entre a Rua Associação Humanitária dos B.V. Aveiro e a Av. Mário Sacramento para atravessar para o lado contrário da faixa. A circulação de peões em alguns pontos teria de sofrer alterações, podendo inclusive serem obrigados a circular apenas num dos lados da via (Figura 27).
- XIII. N109: O metro, devido ao facto de circular pela esquerda na Av. Mário Sacramento, iria virar à esquerda na direção da N109, onde atualmente fica situado o edifício Colombo. Mais à frente, onde existe o vão sobre a linha férrea do Norte, devido ao pouco espaço disponível, teria que ser construído um vão paralelo à N109, de modo a não perturbar o trânsito existente nesta via, que é um dos principais acessos rodoviários de Aveiro (Figura 27).
- XIV. Estrada de Vilar: Nesta fase, como o LRT está a um nível superior em relação a esta via, a sua fase de descida seria feita de maneira a que não houvesse perturbação do tráfego existente. Sendo assim, a descida gradual iria apenas terminar no local onde atualmente é o parque de estacionamento da loja Fábio Lucci (Figura 27).

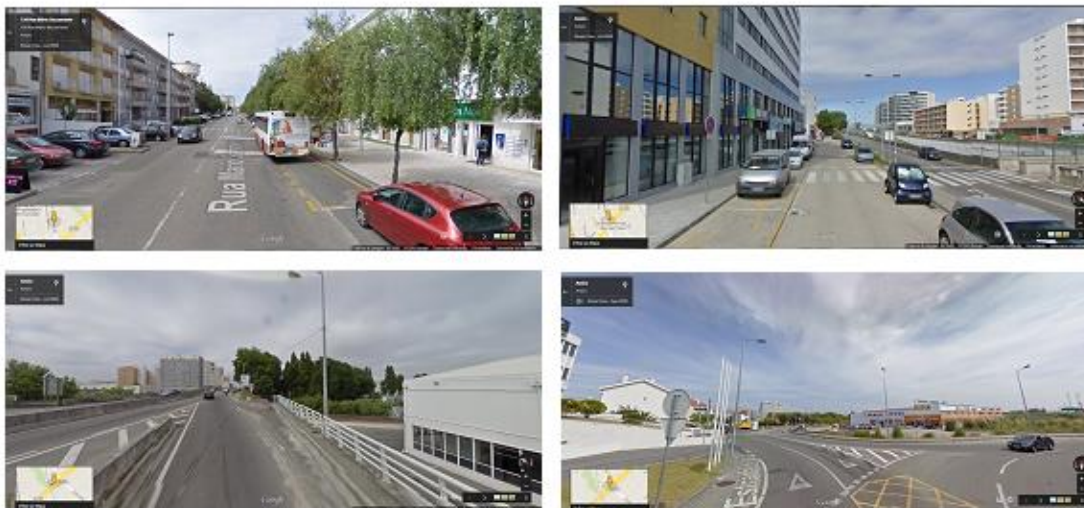


Figura 27: Rua Dr. Mário Sacramento, beco paralelo à N109, entrada N109 (via N235) Rua de Vilar (do canto sup. esq. para o inf. dir.) (Google, 2014)

- XV. Rua Borges e Av. Dr. Sá Carneiro: Nesta via, onde existe uma densidade populacional baixa, o metro ligeiro seguiria pelo lado direito dessa via, não interferindo com as infraestruturas já existentes. No final da Avenida Dr. Sá Carneiro, antes de chegar à rotunda, o metro atravessá-la-ia, não perturbando o tráfego na rotunda da Forca. Seriam implementados semáforos de modo a controlar o tráfego rodoviário aquando da passagem do metro ligeiro (Figura 28).
- XVI. Rua Eng.º Amaro da Costa: A linha seria construída onde atualmente existe um parque de estacionamento. Desta forma, peões e rede rodoviária não sairiam prejudicados com a implementação desta linha, neste troço (Figura 28).
- XVII. Rotunda Av. Central: O metro iria cruzar a rotunda para prosseguir marcha em direção à estação de caminhos-de-ferro. Tal como em todos os cruzamentos e rotundas anteriormente descritos, este seria semaforizado para dar prioridade ao LRT (Figura 28).
- XVIII. Rotunda Av. Congresso Oposição Democrática: Nesta rotunda haveria interferência com o trânsito existente, já que o metro ligeiro viraria à sua direita, prosseguindo aí a sua marcha. As faixas de rodagem nos dois sentidos seriam diminuídas ligeiramente (Figura 28).
- XIX. Rua Senhor dos Aflitos e Rua João de Moura: O trânsito ferroviário nestas vias seria feito pelo lado direito. Desta forma o trânsito automóvel não seria afetado mas os parques de estacionamento seriam eliminados e o passeio pedonal reduzido significativamente. A paragem de táxis que aí existe atualmente passaria a funcionar dentro do parque de estacionamento da estação. A sua utilização para estacionamento seria eliminada, passando os condutores a estacionar as suas viaturas nas traseiras da estação. A linha prosseguiria de encontro ao ponto inicial fechando-se assim o circuito (Figura 28).



Figura 28: Av. Rua Borges, rotunda da Forca, Av. Central e Rua Sr. dos Aflitos (do canto sup. esq. para o inf. dir.)
(Google, 2014)

Na Figura 29 estão identificados os pontos acima citados na rede VISSIM.

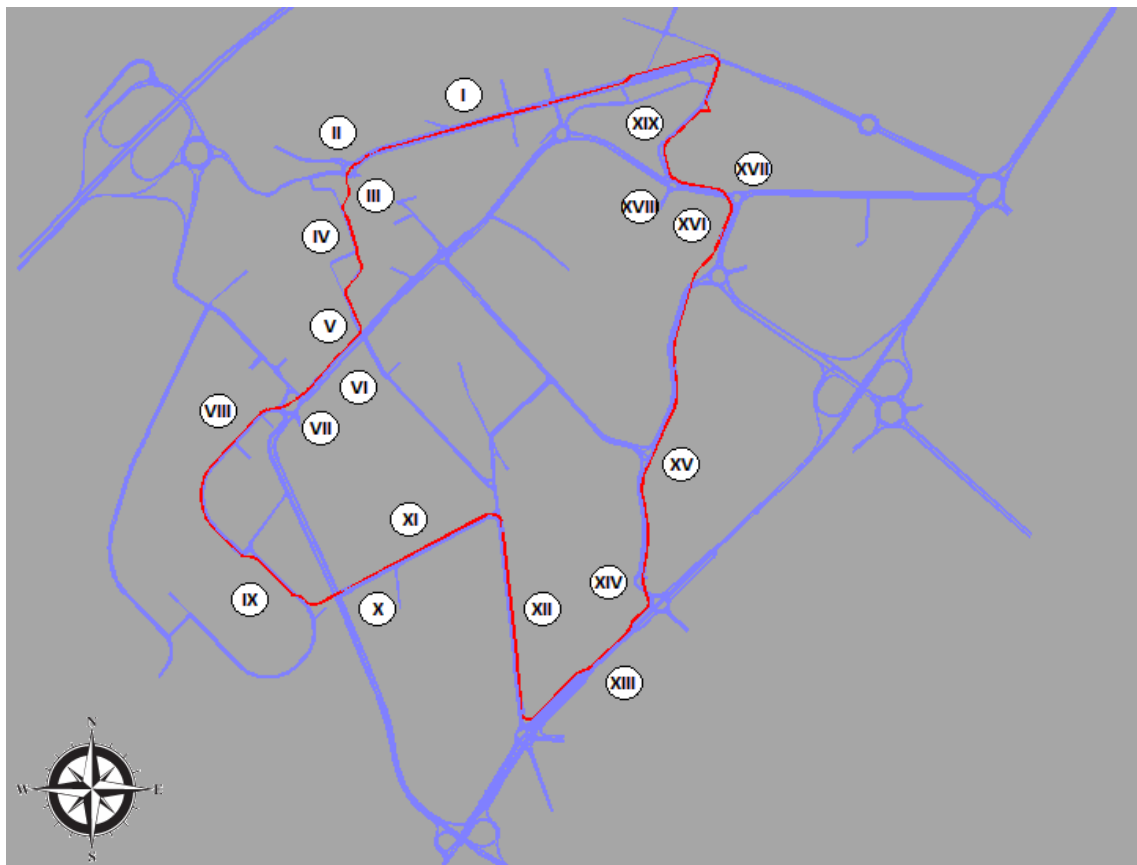


Figura 29: Mapa da rede VISSIM com rede do metro ligeiro (a vermelho) e vias acima mencionadas

4.7 Paragens

Ao longo dos 6,3km de linhas férreas a serem instaladas, foram planeadas 12 estações. Estas tiveram em atenção a distância aos pontos de interesse da cidade referidos na Figura 15 e às distâncias médias entre estações adjacentes, que nunca poderiam ser inferiores a 400m. A Figura 30 apresenta as estações planeadas e a sua distribuição e o Quadro 11, as distâncias entre todas as estações.



Figura 30: Paragens previstas para metro ligeiro de Aveiro: a) estação CP, b) ALP, c) Centro, d) Tribunal, e) Hospital, f) Reitoria UA, g) ISCAA, h) Bombeiros Velhos, i) rotunda N109, j) rua de Vilar, k) Centro de Congressos, l) Forca (Google, 2014)

Quadro 11: Distâncias entre estações

Paragem	Distância (m)	Σ Distância (m)
CP	-	0
Lourenço Peixinho	670	670
Centro	450	1120
Tribunal	400	1520
Hospital	450	1970
Reitoria UA	690	2660
ISCAA	430	3090
Bombeiros Velhos	530	3620
Rotunda N109	510	4130
Rua de Vilar	630	4760
Centro de Congressos	610	5370
Forca	400	5770
CP	550	6320

4.8 Sinais Luminosos

Tendo como base a atual rede viária da cidade de Aveiro e tentando interferir o mínimo possível com esta, foram necessárias alterações pontuais de modo a que o metro ligeiro pudesse circular com prioridade ao longo do seu percurso. Como tal, alguns trajetos para os veículos foram remodelados e procedeu-se à instalação de semáforos de modo a que, de cada vez que passasse uma composição do metro, os veículos parassem dando prioridade a este. A versão do VISSIM usada nesta Dissertação não permitiu definir semáforos atuados. Optou-se então pela introdução de semáforos com um ciclo de tempo coordenado com o ciclo de uma volta do metro, de modo a garantir a passagem deste sem a interferência de nenhum veículo. Nos locais onde existiam semáforos foram introduzidos uns segundos, já que, como não existe a função de semáforos activados e devido à incompatibilidade de ciclos entre os existentes e os ciclos do metro, optou-se por esta via.

Para a instalação de semáforos nas interseções foram necessários os seguintes passos:

- Definir a velocidade média do LRT em todos os pontos da via;
- Definir os tempos de paragem em cada estação;
- Introduzir zonas de redução de velocidade;
- Cronometrar zonas de interseção.

Para a velocidade do LRT, foi tido em conta os números disponibilizados pelos fabricantes dos veículos utilizados no metro do Porto, (Metro do Porto, 2012a), e tomado como base a velocidade média praticada também pelas composições do metro do Porto (28km/h) (Metro do Porto, 2012a). Optou-se assim por uma velocidade máxima de 50km/h em toda a linha. A esta velocidade foi acrescido o tempo de paragem e o abrandamento em zonas mais inclinadas/curvas, o que baixou este valor (ver Figura 31).

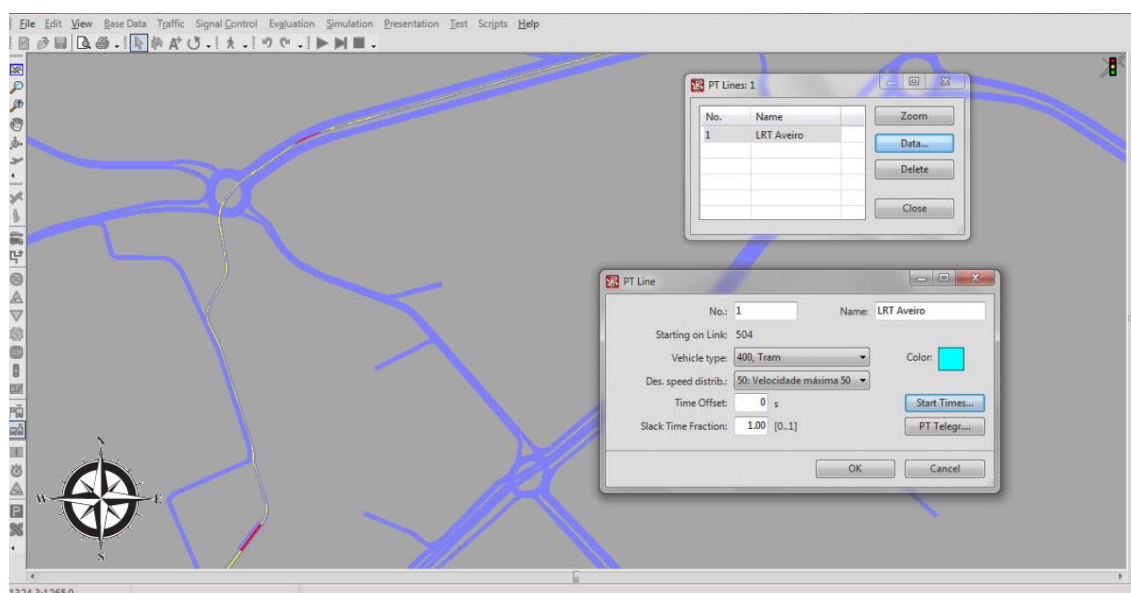


Figura 31: Definição da velocidade no VISSIM

Para os tempos de paragem nas estações, foi definido que o metro pararia 30 segundos na estação de caminhos-de-ferro e 20 segundos nas restantes estações. Os 20 segundos de tempo

médio de paragem em cada estação tiveram como base os praticados no caso de estudo do metro de Christchurch (Grenier & Page, 2012) e os 30 segundos de espera na estação de caminhos-de ferro dizem respeito à maior procura do metro nesta paragem.

Criaram-se zonas de redução de velocidade em curvas de raio reduzido e em todos os pontos em que a variação de altitude era significativa. A finalidade destas é tornar a viagem mais confortável, evitando movimentos bruscos da composição, zelando pela segurança de todos. Como mostra a Figura 32, foram aplicadas reduções de aceleração ao longo do percurso, o que fez o tempo de uma volta completa aumentar significativamente.

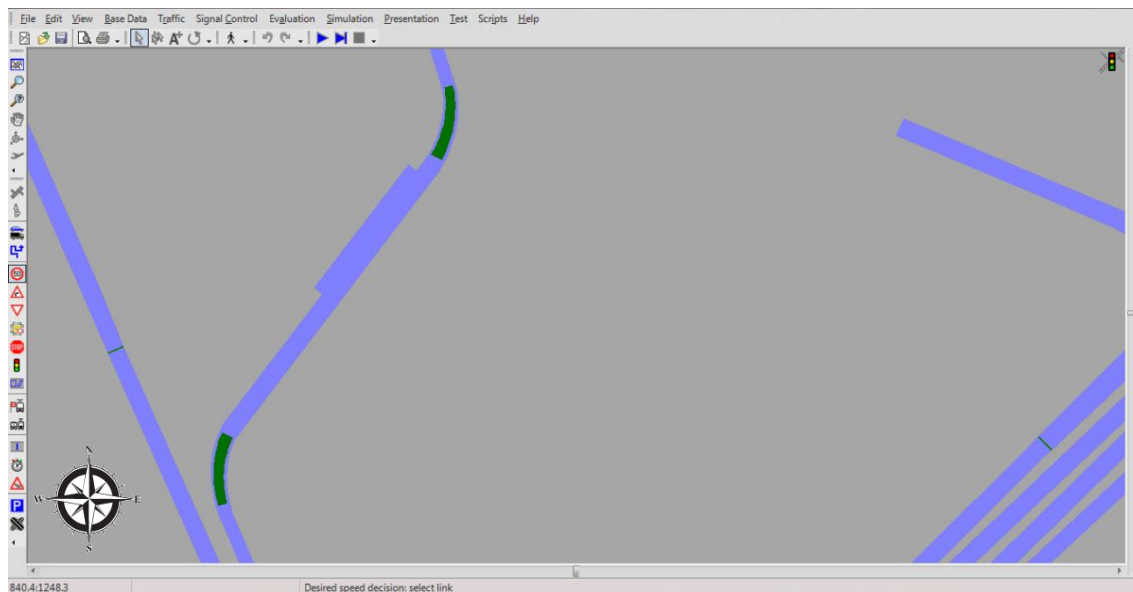


Figura 32: Comando *Reduced Speed Areas* para redução de velocidade

Depois de feitas todas estas alterações tornou-se necessário estimar quando e onde o metro se intersectava com veículos rodoviários. Para esse efeito, efetuou-se uma simulação, sem registo de dados, para contabilizar os tempos e locais de interseção.

De referir que com a introdução dos semáforos e de todas as limitações à velocidade do LRT, o tempo de uma volta do metro foi calculado em 1080 segundos (18 minutos), o que perfaz uma velocidade média de 5.85m/s (21.1km/h). Este tempo é insuficiente para captar utilizadores, pelo que se recomenda a introdução de um outro veículo a circular no sentido contrário a este.

4.9 Horários

Foram considerados os 18 minutos de frequência, calculados no capítulo anterior, como tempo razoável para percorrer os 6320m da linha, no horário de ponta. Este horário situa-se entre os períodos das 8h-10h e das 17h - 19h. Para um período vazio, o metro circularia em intervalos de 30 minutos. O Quadro 12 apresenta uma solução para um possível horário.

Análise do desempenho de um metro ligeiro na região de Aveiro
Bruno Filipe Gomes Baptista de Oliveira

Quadro 12: Horários do metro de Aveiro

Estação	L. Peixinho	Rotunda Pontes	Tribunal	Hospital	UA	ISCAA	Bombeiros Velhos	Rotunda N109	Pingo Doce	Centro Congressos	Forca
7h00	7h02	7h03	7h04	7h06	7h08	7h09	7h10	7h11	7h13	7h15	7h16
7h30	7h32	7h33	7h34	7h36	7h38	7h39	7h40	7h41	7h43	7h45	7h46
8h00	8h02	8h03	8h04	8h06	8h08	8h09	8h10	8h11	8h13	8h15	8h16
8h18	8h20	8h21	8h22	8h24	8h26	0h26	8h27	8h28	8h30	8h32	8h33
8h36	8h38	8h39	8h40	8h42	8h44	8h44	8h45	8h46	8h48	8h50	8h51
8h54	8h56	8h57	8h58	9h00	8h59	8h59	9h00	9h01	09h03	9h02	9h03
9h12	9h14	9h15	9h15	9h17	9h19	9h20	9h21	9h22	09h24	9h23	9h24
9h30	9h32	9h33	9h34	9h36	9h38	9h38	9h39	9h40	09h42	9h41	9h42
9h48	9h50	9h51	9h52	9h54	9h56	9h57	9h58	9h59	10h01	10h03	10h04
10h30	10h32	10h33	10h34	10h36	10h38	10h39	10h40	10h41	10h43	10h45	10h46
11h00	11h02	11h03	11h04	11h06	11h08	11h09	11h10	11h11	11h13	11h15	11h16
11h30	11h32	11h33	11h34	11h36	11h38	11h39	11h40	11h41	11h43	11h45	11h46
12h00	12h02	12h03	12h04	12h06	12h08	12h09	12h10	12h11	12h13	12h15	12h16
12h30	12h32	12h33	12h34	12h36	12h38	12h39	12h40	12h41	12h43	12h45	12h46
13h00	13h02	13h03	13h04	13h06	13h08	13h09	13h10	13h11	13h13	13h15	13h16
13h30	13h32	13h33	13h34	13h36	13h38	13h39	13h40	13h41	13h43	13h45	13h46
14h00	14h02	14h03	14h04	14h06	14h08	14h09	14h10	14h11	14h13	14h15	14h16
14h30	14h32	14h33	14h34	14h36	14h38	14h39	14h40	14h41	14h43	14h45	14h46
15h00	15h02	15h03	15h04	15h06	15h08	15h09	15h10	15h11	15h13	15h15	15h16
15h30	15h32	15h33	15h34	15h36	15h38	15h39	15h40	15h41	15h43	15h45	15h46
16h00	16h02	16h03	16h04	16h06	16h08	16h09	16h10	16h11	16h13	16h15	16h16
16h30	16h32	16h33	16h34	16h36	16h38	16h39	16h40	16h41	16h43	16h45	16h46
17h00	17h02	17h03	17h04	17h06	17h08	17h09	17h10	17h11	17h13	17h15	17h16
17h18	17h20	17h21	17h22	17h24	17h26	17h27	17h28	17h29	17h31	17h33	17h34
17h36	17h38	17h39	17h40	17h42	17h44	17h45	17h46	17h47	17h49	17h51	17h52
17h54	17h56	17h57	17h58	18h00	17h59	18h00	18h01	18h02	18h04	18h06	18h07
18h12	18h14	18h15	18h16	18h18	18h20	18h21	18h22	18h23	18h24	18h25	18h26
18h30	18h32	18h33	18h34	18h36	18h38	18h39	18h40	18h41	18h43	18h45	18h46
18h48	18h50	18h51	18h52	18h54	18h56	18h57	18h58	18h59	19h01	19h03	19h04
19h30	19h32	19h33	19h34	19h36	19h38	19h39	19h40	19h41	19h43	19h45	19h46
20h00	20h02	20h03	20h04	20h06	20h08	20h09	20h10	20h11	20h13	20h15	20h16
20h30	20h32	20h33	20h34	20h36	20h38	20h39	20h40	20h41	20h43	20h45	20h46
21h00	21h02	21h03	21h04	21h06	21h08	21h09	21h10	21h11	21h13	21h15	21h16
21h30	21h32	21h33	21h34	21h36	21h38	21h39	21h40	21h41	21h43	21h45	21h46
22h00	22h02	22h03	22h04	22h06	22h08	22h09	22h10	22h11	22h13	22h15	22h16

Como se pode notar no Quadro 12, o metro ligeiro teria um horário de funcionamento das 7h às 22h, todos os dias. Durante os fins-de-semana a proposta seria de viagens espaçadas de 30 minutos, durante o período de funcionamento. Estes horários estariam sincronizados, dentro do possível, com os horários dos comboios.

4.10 Procura

A procura nas estações de metro ligeiro é uma das questões mais importantes no que concerne à viabilidade de um projeto desta dimensão. Para calcular o número de pessoas que seriam potenciais utilizadores deste modo, face à realidade atual e com os dados disponíveis, consideraram-se três vetores de procura:

- Procura TI - Utilizadores que deixariam o TI para utilizar o metro;
- Procura Autocarro – Linhas intracitadinas que seriam suprimidas levando à passagem dos seus atuais utilizadores para o metro;
- Procura Comboio - Utilizadores que chegam de comboio a Aveiro e que utilizariam o metro para o seu destino final.

Devido ao facto de não haver matrizes O/D para toda a cidade, a procura calculada teve apenas em conta as vias que estão no perímetro da linha do metro ligeiro (apenas procuras de 10% e de 20%, cenários D e E). Para a procura em B e C, foram tidas em conta as procuras anteriores, e distribuiu-se proporcionalmente os passageiros pelas estações. Nos parágrafos seguintes cada um destes vetores será descrito de forma detalhada.

4.10.1 Procura TI

Nesta situação teve-se em conta apenas as vias que estão dentro do parâmetro da linha férrea. Como tal, foram consideradas todas as vias por onde o metro foi projetado, mais as seguintes vias que dão acesso ou são concorrentes à linha férrea:

- Av. Congresso Oposição Democrática;
- Rua Engenheiro Oudinot;
- Av. 5 de Outubro e Av. Santa Joana;
- Av. Vasco Branco;
- Av. Universidade;
- Rua do Batalhão de Caçadores;
- Estrada de S. Bernardo (ver Figura 33).



Figura 33: Mapa de estradas analisadas (Google, 2014)

Na Figura 33, a verde, estão representadas as vias por onde circula o metro; a vermelho estão as vias, que não passando por aí o metro ligeiro, sofreriam uma redução de tráfego devido à proximidade a esta. Estas vias foram sujeitas a análise porque o tráfego segue rotas paralelas ao traçado do metro e considerou-se que parte desses utilizadores de TI deixariam de o utilizar e passariam deste para o transporte público ferroviário.

Para a análise dos dados de tráfego recorreu-se a três bases de dados: 1) Contagens Classificadas de Tráfego (Soltráfego, 2008); 2) Plano Municipal de Mobilidade de Aveiro (Way2Go, 2012); e 3) dados de entrada introduzidos no VISSIM previamente validados (Dias, D. et al., 2014) (Fontes et al., 2014).

Contagens Classificadas de Tráfego

O relatório da Soltráfego, dados de 2008, serviu como base para obter o tráfego médio diário (TMD) nos seguintes pontos:

- Estação – Centro Comercial Oita;
- Centro Comercial Oita – Centro;
- Av. Central – Oita;
- Oita – Sé;
- Centro Comercial Oita – Oita;
- Centro – Sé;
- Av. Artur Ravara – Hospital de Aveiro (Figura 34).



Figura 34: Localização dos pontos acima descritos (Google, 2014)

Nesta base de dados foi feita a medição do tráfego para uma semana inteira, de Domingo a Sábado. Para a análise destes dados, foram considerados apenas os dias úteis de terça-feira a quinta-feira para se evitar feriados ou pontes e outros fatores que fizessem variar os valores de típicos de tráfego. No Quadro 13 apresentam-se os valores médios obtidos o período considerado (hora de ponta matinal, entre as 8h e as 9h) para os troços referidos anteriormente e a sua procura respetiva. Esta procura é o produto do volume de tráfego pela taxa de ocupação média por veículo (TOM), valor de 1,37 pass./veíc. (Fontes et al., 2014).

Quadro 13: Número de veículos nos troços analisados nas Contagens Classificadas de Tráfego e respetivas procuras de 10% e 20% para os dias uteis de 3ª a 5ª-feira, entre as 8h e as 9h

Vias	Veículos	Procura 10%	Procura 20%
Estação - C.C. Oita	1182	162	324
C.C. Oita – Centro (ALP)	656	90	180
Av. Central - Oita	335	46	92
Oita - Fórum/Sé	520	71	142
Av. L. Peixinho - Rotunda Oita	397	54	109
Centro - Sé	567	78	155
Av. Artur Ravara - Hospital	765	105	210

Nos troços Estação de caminhos-de-ferro – Centro Comercial Oita e Centro Comercial Oita – Centro, os valores considerados têm em conta que quando fosse implementado este sistema de LRT, seriam introduzidas medidas de *park and ride*¹ e medidas de restrição de tráfego na via.

¹ *Park and Ride*: é um sistema que permite a redução do congestionamento tráfego urbano, no qual, os condutores deixam os seus veículos estacionados num parque de estacionamento nos subúrbios da cidade e viajam para o centro da cidade de TP (Oxford University Press, 2014).

Plano Municipal de Mobilidade de Aveiro

O Plano Municipal de Mobilidade de Aveiro (dados de 2012) foi o meio de conhecer o volume de tráfego das vias seguintes:

- Hospital – UA;
- ISCAA – Rua Dr. Mário Sacramento;
- Rua Dr. Mário Sacramento – Rotunda N109;
- N109 – Estrada de Vilar/São Bernardo (Figura 35).



Figura 35: Representação dos pontos acima citados e ligações analisadas (Soltráfego, 2008), (Google, 2014)

Neste estudo, os dados recolhidos corresponderam a um dia de medição, não havendo forma de aprimorar os resultados através de uma média ponderada de diversos dias. No Quadro 14 apresentam-se os valores referentes aos veículos que passam nas vias acima descritas e qual a procura equivalente que representaria.

Quadro 14: Número de veículos nos troços analisados no Plano Municipal de Mobilidade de Aveiro e respetivas procuras de 10% e 20%

Vias	Veículos	Procura 10%	Procura 20%
Hospital - UA	643	88	176
ISCAA - Mário Sacramento	98	13	27
Mário Sacramento - N109	596	82	163
N109 – Estrada de Vilar/ Estrada de São Bernardo	342	47	94

No troço N109 – Estrada de Vilar/Estrada de São Bernardo o valor obtido teve a ajuda do VISSIM. No Plano Municipal de Mobilidade de Aveiro retirou-se o valor total de veículos que segue na N109, em direção a Cacia e através do VISSIM, extraiu-se as percentagens de viragem dos veículos. Como estes valores foram calibrados e validados anteriormente, teve-se em

consideração que podiam ser usados neste cálculo. Multiplicando o número total de veículos na direção Aveiro – Cacia pelos fatores de rota de 0,4 e 0,25 (saída da N109 e viragem para a estrada de Vilar) obteve-se o valor de 342 veículos. Este método será explicado no próximo parágrafo, na obtenção de valores do VISSIM.

Dados de entrada do modelo VISSIM

Como visto anteriormente, foi utilizado o VISSIM para o cálculo do número de veículos que escolhem a rota N109 – Estrada de Vilar. Mas este foi útil em mais duas situações: 1) número de veículos provenientes da rua de S. Bernardo, em direção à rua de Vilar e 2) o número de veículos que circulam Rua da Universidade.

A percentagem de veículos provenientes da N109 foi calculada através do comando *Route*, que permite definir o início e os fins de trajetórias e quais as percentagens de viragem. A Figura 36 mostra como se efetuaram esses passos no *software*.

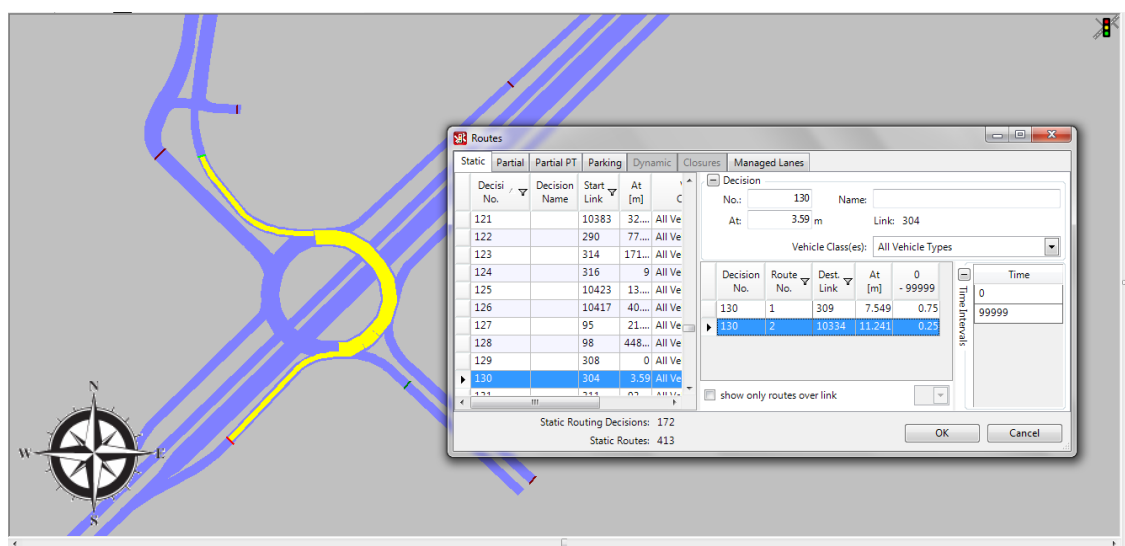


Figura 36: Percentagem de veículos que saem da N019 para a Rua de Vilar

No caso do volume de tráfego proveniente da rua de S. Bernardo, foi necessário visualizar no *Vehicle Input* a quantidade de veículos que partiam daquela via (já que esta via, no programa, funciona como entrada de veículos do sistema) e retirou-se a percentagem desta através do comando *Routes*. A Figura 36 mostra o volume de tráfego total que parte da rua de S. Bernardo e a percentagem de viragem para a rua de Vilar.

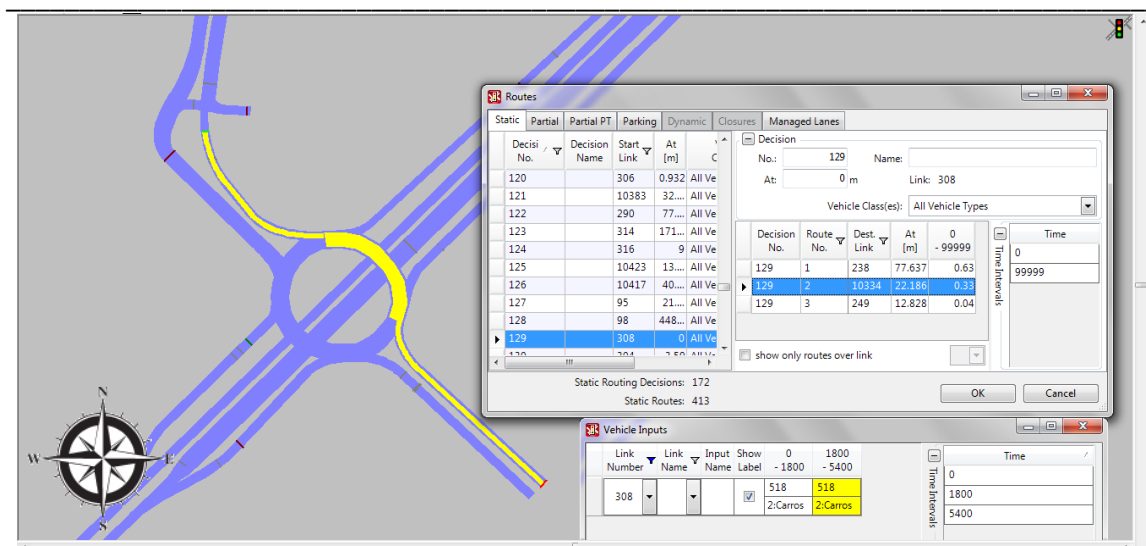


Figura 37: *Vehicle Input e Route* para saber o número de veículos que seguem o percurso S. Bernardo – Rua de Vilar

Na Rua da Universidade e pela inexistência de dados nos outros documentos, recorreu-se à avaliação *Node*, inserindo um nó na via e fazendo a contagem do número de veículos que passariam nesse ponto. Foram registados 20 veículos, o que equivale a uma procura na estação de três pessoas, numa procura de 10% e a cinco indivíduos, numa procura de 20%.

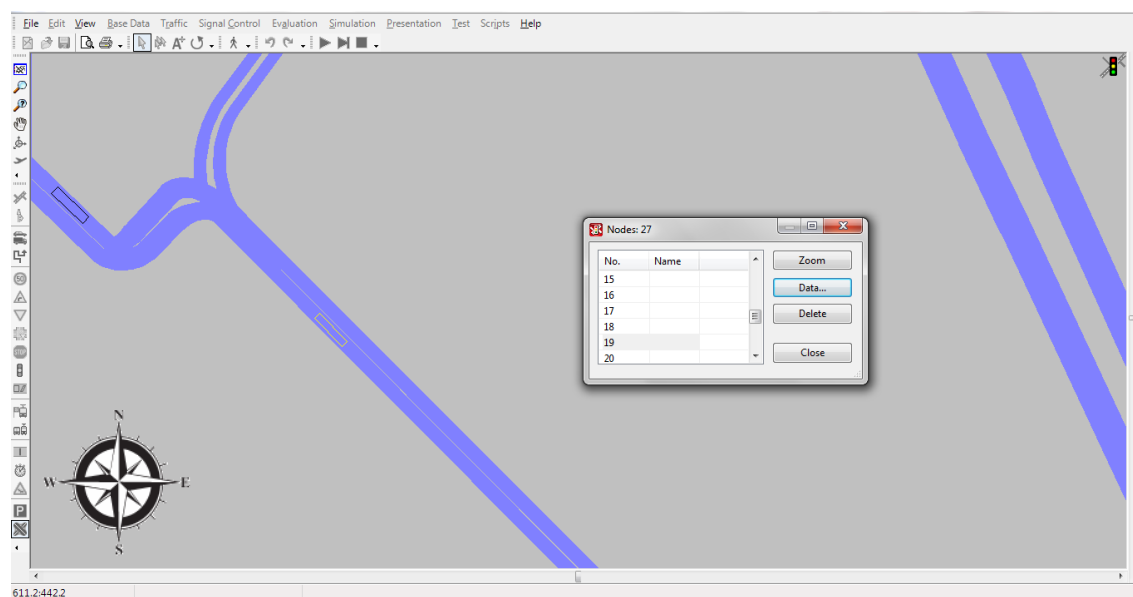


Figura 38: Criação de um nó na Rua da Universidade para contagem de veículos

As procuras na Rua de Vilar e na Av. Dr. Sá Carneiro (ligação N109 – Forca) não foram contempladas neste estudo. Como se trata de uma zona de baixa densidade populacional, a procura seria reduzida. Apenas pessoas que vivem no Bairro do Liceu, que trabalhem perto ou necessitem de se deslocar ao Centro Cultural e de Congressos poderiam, no caso tudo se manter assim, utilizar as paragens na Av. Central e a situada atrás do Centro de Congressos. Acontece que o planeamento desta linha a passar nesta zona de baixa densidade populacional não foi acidental. O desenvolvimento de investimentos influenciados pela implementação de um sistema de LRT pode e deve incluir a criação de novas infraestruturas de habitação, escritórios,

serviços e lojas (Topalovic et al., 2012). Assim, esta área assistiria a um aumento significativo de investimento por parte de privados, o que poderia conduzir a uma nova dinâmica e aproveitamento da área, assim como mais receitas para o erário público, no que diz respeito a impostos e vendas de terrenos, para além de ser uma compensação para o investimento feito. Cresceria aí uma área altamente povoada, com muito comércio, serviços e escritórios, tornando a cidade mais atrativa a nível de emprego e qualidade de vida. Como se trataria de um investimento a longo prazo, a procura considerada para as duas estações acima numeradas, seria intermédia aos valores que as antecedem e procedem. No Quadro 15 estão os valores atribuídos às estações sem dados (Rua de Vilar e Centro Cultural e de Congressos) e das estações que são anteriores e posteriores a esta.

Quadro 15: Valores da procura nas estações da Rua de Vilar e do Centro de Congressos

Vias	Procura 10%	Procura 20%
N109	47	94
Rua de Vilar	46	94
Centro Cultural e de Congressos	46	93
Forca	46	92

4.10.2 Procura do Autocarro

O autocarro é o meio de TP mais utilizado nas viagens fora dos centros urbanos. É também o meio mais utilizado por pessoas que vivem nos concelhos limítrofes a Aveiro e não têm acesso ao comboio ou TI. Ao ser implementado um sistema da LRT, no centro da cidade, as linhas urbanas de autocarro deixam de fazer sentido porque entrariam em concorrência com este.

No Plano Municipal de Mobilidade de Aveiro estão retratadas todas as linhas existentes em 2012, e operadas pela MoveAveiro (à data possuía a exclusividade de todo o transporte municipal de Aveiro). De todas essas linhas existentes, apenas a Linha 6 foi tida em conta neste estudo, visto que, todas as outras são operadas fora do perímetro urbano da cidade e apenas garantem o transporte de munícipes da periferia para o centro e vice-versa. Como esta carreira entra em conflito com o traçado do metro, seria suprimida. Considerou-se que todos os seus utilizadores passariam a usar o metro para a sua deslocação. No Quadro 16 pode-se observar o horário da Linha 6, no período das entre as 7h45 e as 9h35 e as entradas e saídas de passageiros nesse intervalo, em cada paragem.

Quadro 16: Linha 6 (Way2Go, 2012)

Hora	Entradas	Permanências (após paragens)	Saídas (Controlo)
07:45:27		0	0
07:48:56	10	10	0
07:54:44	0	8	2
07:55:38	0	7	1
07:57:33	0	0	7
08:21:57	49	49	0
08:23:38	1	50	0
08:24:31	1	51	0
08:26:33	1	52	0
08:27:59	2	54	0
08:29:02	1	55	0
08:31:08	0	47	8
08:32:02	0	45	2
08:33:19	0	34	11
08:34:27	0	3	31
08:38:04	0	1	2
08:38:34	0	0	1
08:39:23	1	1	0
08:43:35	0	0	1
08:44:44	80	80	0
08:53:17	2	82	0
08:54:12	1	83	0
08:56:10	0	83	0
08:57:34	0	80	3
09:02:44	0	69	11
09:04:08	0	6	63
09:07:11	0	0	6
09:13:52	44	44	0
09:23:20	3	47	0
09:24:04	1	48	0
09:26:16	0	47	1
09:27:23	0	46	1
09:29:38	0	32	14
09:30:55	0	8	24
09:33:24	0	0	8

O período de estudo considerado para a procura na Linha 6 da carreira da MoveAveiro ficou no intervalo entre as 8:21:57 até às 9:33:24. Isto porque, atendendo ao facto de a volta começar na estação de caminhos-de-ferro, a anterior ao período considerado começa antes das 8h (07:45:27) estando por isso fora do período de avaliação. O facto de se estender o período de avaliação até às 09:33:24 prende-se com o número de voltas completas, já que é nesta hora que o autocarro cessa a sua função.

O intervalo de tempo de uma volta no autocarro é superior ao valor calculado anteriormente para o metro. O autocarro demora 30 minutos a fazer o seu percurso e esta situação leva a que, por exemplo, quem chega de comboio e pretenda deslocar-se à universidade de autocarro, ganhe apenas cinco minutos face a quem se desloca a pé para o mesmo local. A agravar ainda mais esta situação, está o facto de não haver sincronização de horários entre estes dois meios de transporte, o que dá aso a muitos passageiros optarem por fazer o seu itinerário a pé.

No Quadro 17 é possível identificar-se as paragens do autocarro através do número de entradas e saídas de passageiros. A correspondente ao maior número de entradas efetuadas é a estação de caminhos-de-ferro e as de maior saída são Hospital/ESSUA, UA e ISCAA. No Quadro 17 está exposto em que paragens entram os utilizadores do autocarro. Estes valores foram obtidos depois de uma análise aos números apresentados no Quadro 17 e tendo em conta que, é na estação de caminhos-de-ferro, o local onde entram mais passageiros. As paragens da Linha 6 foram registadas presencialmente.

Quadro 17: Procura nas paragens de Autocarro

Paragens	Volta 1	Volta 2	Volta 3
Estação de caminhos-de-ferro	49	80	44
ALP I	1	2	3
ALP II	1	1	1
Rotunda das Pontes	1	0	0
Sé	2	0	0
Tribunal	1	0	0
Rua Dr. Mário Sacramento	1	0	0
Total de passageiros por volta	56	83	48
Total de passageiros		187	

Como a linha seria potencialmente suprimida, todos estes passageiros teriam de ser redistribuídos pelas paragens mais próximas do metro de superfície. No Quadro 18 encontram-se as paragens por onde os passageiros seriam redistribuídos e o número da procura em cada estação de LRT.

Quadro 18: Estações de LRT correspondentes às atuais de autocarro e valores de procura de passageiros

Paragens Autocarro	Paragens LRT	Passageiros
Estação de caminhos-de-ferro	Estação	173
ALP I	ALP	9
ALP II		
Rotunda das Pontes	Centro	1
Sé		
Tribunal	Tribunal	3
Mário Sacramento	Mário Sacramento	1

4.10.3 Procura do Comboio

Diariamente chegam a Aveiro, por via ferroviária, milhares de pessoas, seja para estudar, para trabalhar ou somente por lazer. Por isso a paragem de metro na estação de caminhos-de-ferro seria das mais importantes e a que regista maior afluência de utentes.

Neste tópico foram considerados todos os comboios que chegam e que partem entre as 8h07 e as 9h19. Considerou-se a percentagem da procura de utentes do LRT em 10% (procura média) e em 20% (procura otimista), à semelhança do que aconteceu com os passageiros de TI. Foram considerados dois grupos de comboios:

- Alfa e Vouga (Grupo 1);
- Suburbano e Regional (Grupo 2).

De registar que neste período de tempo não param em Aveiro comboios Intercidades. Os Quadro 19 e Quadro 20 apresentam o número de passageiros que utilizam os comboios do Grupo I e Grupo II, respetivamente, no período de tempo supracitado.

Quadro 19: Passageiros Grupo 1 (Way2Go, 2012)

Horário	Tipo	Entradas	Saídas	Total
8h07	Vouga	0	27	27
8h11	Alfa	0	0	0
8h21	Alfa	29	6	35
8h33	Vouga	0	0	0
9h00	Vouga	0	0	0
9h11	Alfa	14	5	19
Total		43	38	81

Quadro 20: Passageiros Grupo 2 (Way2Go, 2012)

Horário	Tipo	Entradas	Saídas	Total
8h11	UP	0	304	304
8h19	UP	193	0	193
8h42	RC	0	190	190
8h44	UP	0	456	456
8h47	UP	97	0	97
8h49	RC	47	0	47
9h11	UP	0	234	234
9h19	UP	66	0	66
Total		403	1184	1587

Somando os totais das duas tabelas, o número de passageiros ascende aos 1668. De referir-se que, deste valor, 173 pessoas utilizam o autocarro na paragem de LRT da estação de caminhos-de-ferro. Esse número representa 10% do total de passageiros que utiliza o comboio para este período de tempo. Como tal, a este valor seria acrescido o impacto de 10% e 20% de utilizadores que até agora não utilizavam outro TP e que o fariam. O número de utentes que utilizaria o

metro ligeiro para a sua mobilidade seria de 169, no caso de uma procura de 10%, e de 338, para uma procura de 20%.

4.10.4 Procura Total

Este tópico resume todos os valores descortinados anteriormente. No Quadro 21 encontram-se discriminadas as procuras em todas as paragens do metro ligeiro, para todos os cenários, de utilizadores vindos do TI, autocarro e comboio.

Quadro 21: Procura em cada estação do LRT

Paragem	B	C	D	E
Estação de caminhos-de-ferro	1066	2169	504	835
ALP	515	1048	224	440
Rotunda das Pontes	182	371	79	156
Tribunal	249	506	108	213
Hospital	204	416	88	176
UA	23	46	10	19
ISCAA	31	63	13	27
Bombeiros Velhos	191	390	83	164
Rotunda N109	109	222	47	94
Rua de Vilar	108	220	46	94
Centro Cultural e de Congressos	107	218	46	93
Forca	107	217	46	92

Como referido no início do subcapítulo, as procuras de B e C (redução global de 10% e de 20%), tiveram em conta a média das percentagens de procura nas paragens dos casos de D e E (procura de 10% e 20% no perímetro da linha). Os valores acima expostos, em B e C, foram retirados do VISSIM, através da diferença média do número de veículos entre A e os casos de procura.

Com os dados da procura acima calculados é notório que a opção por apenas uma composição de metro ligeiro não é viável visto que a procura excede largamente a oferta que existiria.

4.11 Modelo de Emissões

Para estimar as emissões de poluentes teve-se em conta as velocidades e acelerações / desacelerações registadas no modelo de tráfego VISSIM (registos segundo a segundo) e recorreu-se à metodologia VSP da Environmental Protection Agency. Esta metodologia tem como base os procedimentos propostos no documento em NCSU (2002).

A metodologia VSP pode ser dividida em três passos:

- Cálculo do VSP (potência específica do veículo (kW/ton));
- Enquadrar os valores VSP registados (-50 a +50) em modos;
- Estimar taxa de emissão média modal para cada um dos poluentes.

O primeiro passo desta metodologia foca-se no cálculo de um valor de potência específica do veículo (VSP), a qual é calculada como função da velocidade, aceleração e inclinação do terreno (NCSU, 2002). A relação matemática que estabelece a relação entre estas variáveis é:

$$VSP = v[1.1a + 9.81 \times \sin \times (\arctan(\text{grade})) + 0.132] + 0.000302v^3$$

- v - Velocidade instantânea (m/s);
- a – Aceleração/desaceleração instantânea (m/s^2);
- $grade$ - Inclinação instantânea da estrada ($\pm\%$);

Os termos englobados na equação representam as necessidades de potência do motor em termos de energia cinética, inclinação da estrada, atrito ao movimento e aerodinâmica (Coelho et al, 2009). Em relação à velocidade e aceleração/desaceleração, estes valores são obtidos diretamente do VISSIM. Quanto ao gradiente de inclinação da via, o seu valor será considerado de zero, já que, o relevo da cidade de Aveiro não é considerável.

O documento da NCSU (2002) faz a ligação entre o VSP e as emissões dos poluentes HC, NO_x , CO e CO_2 . A relação estabelecida entre a emissão de cada poluente (g/s) para um veículo a gasolina e o valor do VSP podem ser observadas nos gráficos da Figura 39:

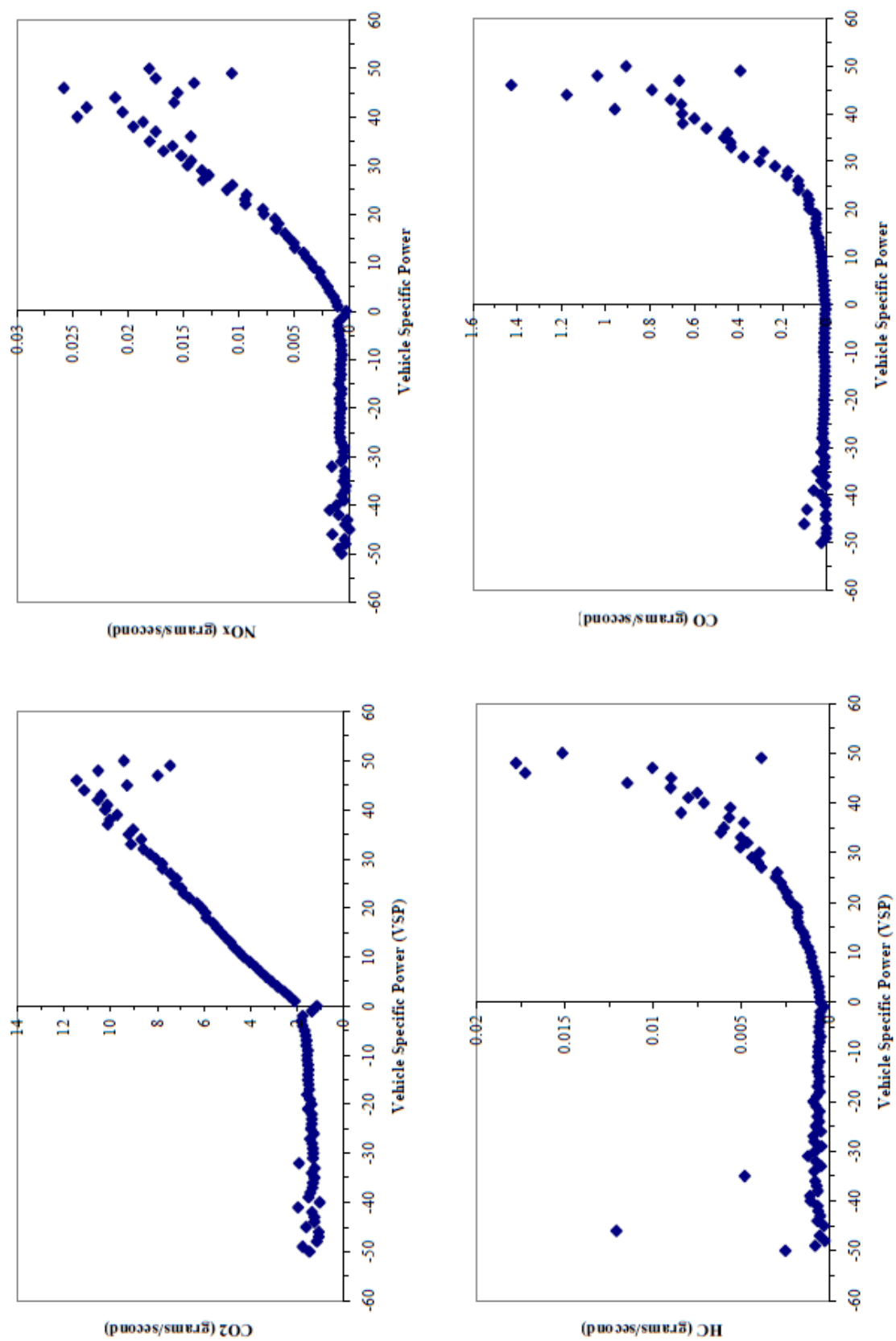


Figura 39: Análise exploratória das emissões de CO₂, NO_x, HC e CO médias versus o modelo VSP (NCSU, 2002)

Como é possível verificar nos gráficos anteriores, os valores VSP são tipicamente agrupados em combinações 1 kW/ton, desde -50 a +50. Segundo Almeida (2010) a distribuição dos pontos ao longo do gráfico mostra as seguintes propensões:

- As emissões de qualquer um dos quatro poluentes aumentam para valores VSP positivos;
- As emissões dos poluentes tendem a ser baixas para valores VSP negativos e tendem a aumentar com VSP positivo.

No segundo passo da metodologia, os valores VSP registados, -50 a +50, são agrupados em modos. Estes modos são agrupados através de um critério que define que cada um destes tem uma taxa de emissão média diferente em termos estatísticos, face aos outros modos.

Os modos foram divididos em 14 grupos, de forma semelhante para todos os poluentes, e tem como base os valores de aceleração, velocidade e inclinação, segundo a segundo. No Quadro 22 estão definidos os modos VSP (NCSU, 2002).

Quadro 22: Definições para os modos VSP (NCSU, 2002)

Modos VSP	Definição
1	$VSP < -2$
2	$-2 \leq VSP < 0$
3	$0 \leq VSP < 1$
4	$1 \leq VSP < 4$
5	$4 \leq VSP < 7$
6	$7 \leq VSP < 10$
7	$10 \leq VSP < 13$
8	$13 \leq VSP < 16$
9	$16 \leq VSP < 19$
10	$19 \leq VSP < 23$
11	$23 \leq VSP < 28$
12	$28 \leq VSP < 33$
13	$33 \leq VSP < 39$
14	$39 \leq VSP$

De salientar que os valores de VSP negativos são típicos de desacelerações ou de percursos em descida, o modo 3 inclui as emissões aquando de situações de paragem e/ou velocidade constante, ao passo que os modos de 4 a 14 indicam valores linearmente crescentes de VSP.

Em terceiro e último lugar, é necessário estimar a taxa de emissão modal média para todos os poluentes e agrupá-los nos modos anteriores. A Figura 40 mostra as estimativas para um veículo a gasolina (Frey HC, Zhang K, 2008) e (NCSU, 2002).

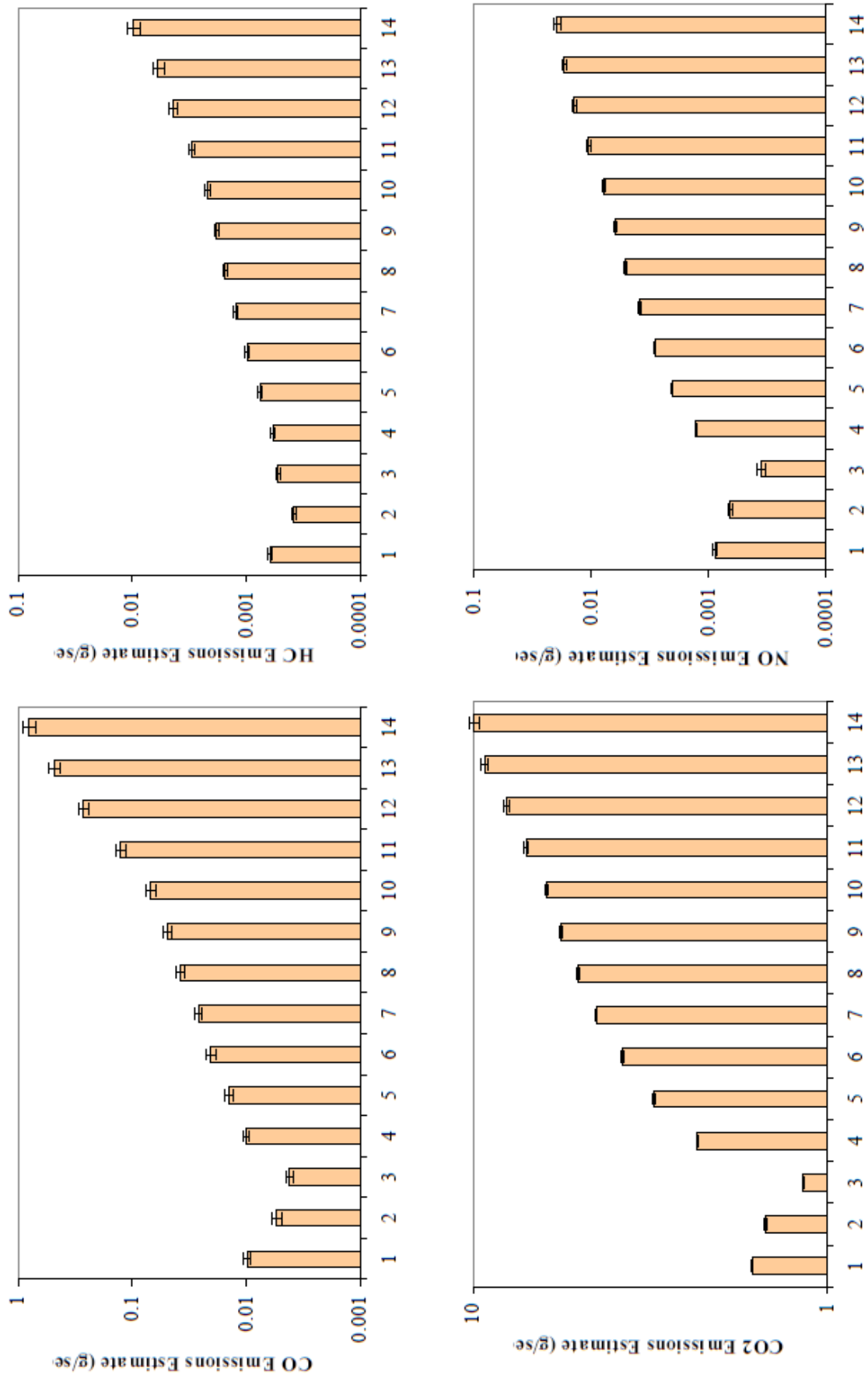


Figura 40: Emissão modal média (g/s) para CO, HC, CO₂ e NO_x para veículo a gasolina (NCSU, 2002)

Como se pode observar, as taxas de emissão médias modais são ligeiramente diferentes nos quatro poluentes. Em todos os casos é de notar que os valores dos modos 1 e 2 são superiores às taxas do modo 3. Os valores de VSP do modo 4 ao 14 aumentam as emissões para todos os poluentes.

Para o total de emissões dos veículos de passageiros, foi tido em conta a composição do parque automóvel português. A esse respeito foi considerado que 57,5% dos veículos eram a gasolina e 42,5% veículos a *diesel* (ACAP, 2012). A Figura 41 mostra as emissões modais médias para um veículo a *diesel* (Coelho et al., 2009).

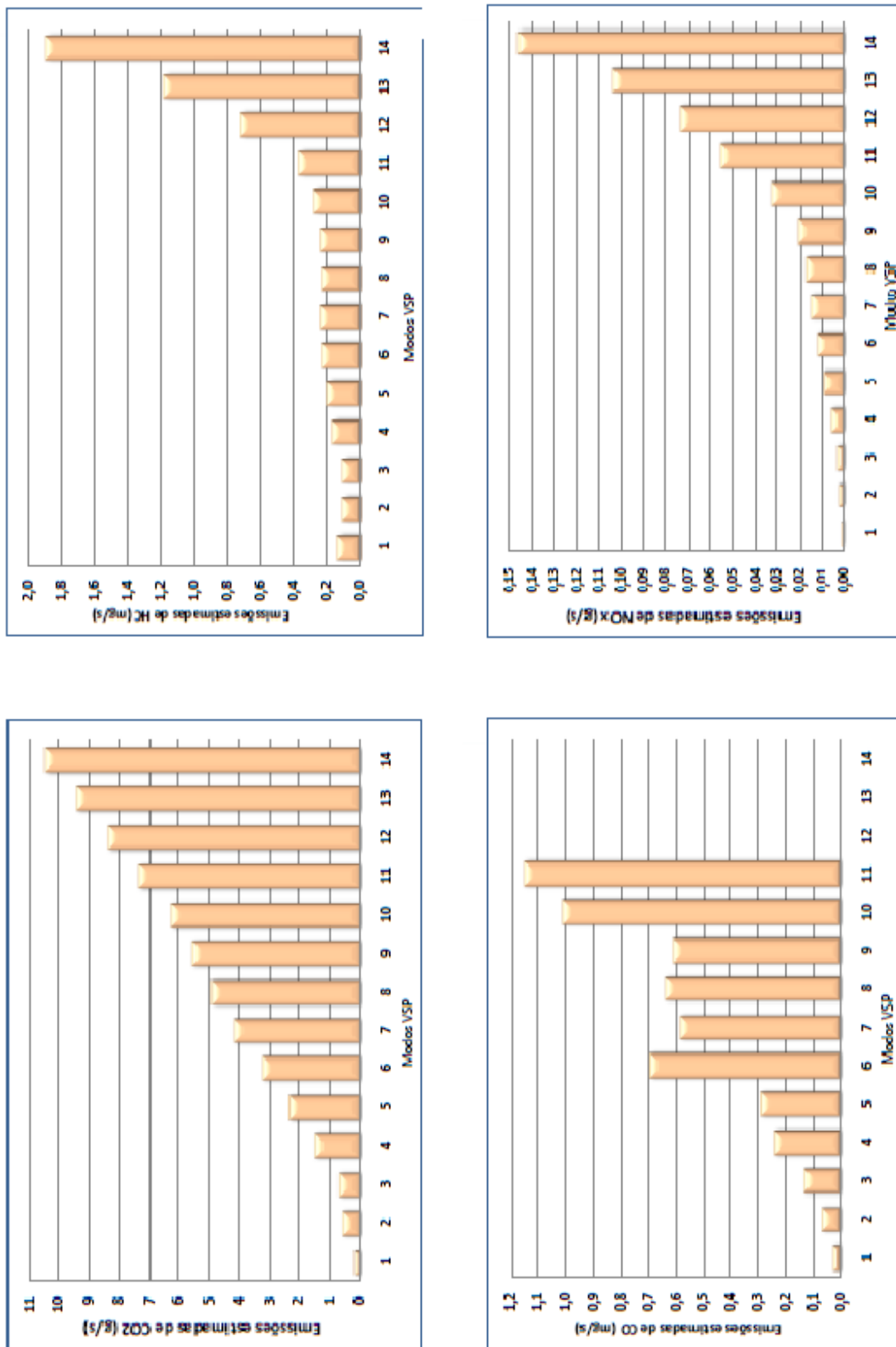


Figura 41: Emissão Modal Média para um veículo a *diesel*/ (motor 1.9 TDI) (Coelho et al., 2009)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentar-se-ão os resultados obtidos e será feita uma comparação entre o cenário base, A, e todos os outros cenários estudados, ao nível dos seguintes parâmetros:

- Volume de Tráfego;
- Atrasos;
- Paragens;
- Emissões CO₂;
- Emissões CO;
- Emissões HC;
- Emissões NO_x.

Foram realizados dois tipos de avaliações: uma global e outra mais microscópica a três zonas. A análise global retrata e quantifica a totalidade de emissões e volumes de tráfego de toda a rede no VISSIM, enquanto na avaliação à zona, apenas é contabilizada os mesmos resultados para as áreas em questão.

5.1 Impacto Global

5.1.1 Cenário A

Como referido anteriormente, este cenário representa o volume de tráfego existente em Aveiro e sem quaisquer medidas implementadas para diminuição deste. Apresenta também o total de emissões referentes a esse mesmo tráfego. No Quadro 23 apresentam-se os resultados para os fatores em estudo, no espaço da hora de ponta considerada:

Quadro 23: Resultados do cenário base (A)

	Veículos	Atraso (s)	Paragens	CO₂ (kg)	CO (g)	HC (g)	NO_x (g)
Média	18.964	182	26.743	7.906	50.244	1.531	23.994
Desvio médio Padrão (%)	1,6	13,2	12,3	3	3,3	3,2	3,1

Nos resultados obtidos, nas 10 simulações do cenário A, verificamos que os valores dos desvios médios padrão dos poluentes se situam dentro da casa dos 3%, que o número de veículos tem uma variação de apenas 2% e o número de atrasos e paragens têm uma variação de 12% e 13%, respetivamente. Pode-se aqui estabelecer um paralelo entre o número de paragens e o tempo de atraso já que quanto maior o número de paragens, maior será o tempo de atraso.

5.1.2 Cenários B e C

Os cenários B e C, tal como explicado anteriormente, representam reduções globais de tráfego de 10% e de 20%, respetivamente, face aos valores acima apresentados para o cenário A. Compararam-se então os valores obtidos nestes dois casos, Figura 41, de forma a ter-se uma melhor perspetiva de quais seriam os impactos da introdução do LRT segundo estes critérios.

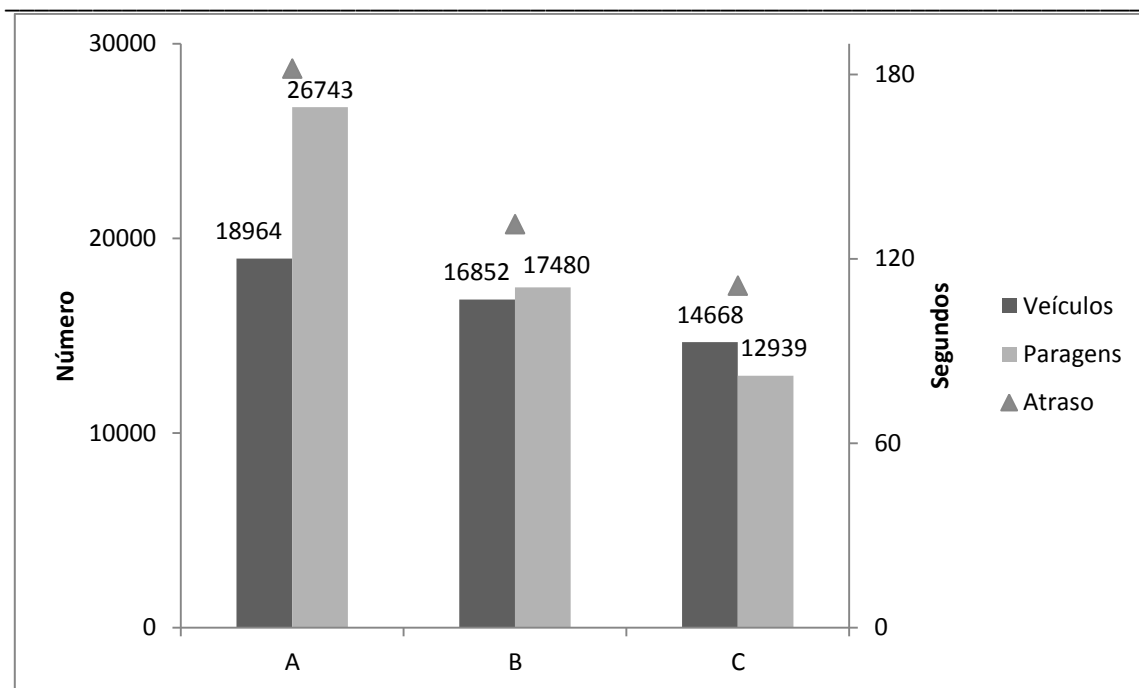


Figura 42: Comparação dos valores de número de veículos, paragens e atrasos dos cenários B e C com o cenário base

Os resultados mostram que a redução do número de veículos em 10% permitiu uma diminuição no número de paragens em 35% e 52%, nos cenários B e C, respetivamente. O número de paragens decresce acentuadamente em 9.263, do cenário A para o cenário B e, em 13.804 de A para C. Ainda sobre este parâmetro pode-se afirmar que o número de paragens era superior em 41% face ao número de veículos em A, e passam a estar apenas 3% assim deste em B, e no caso C, chega mesmo a baixar do número de veículos, fazendo com que cada um destes faça, em média, menos de uma paragem por trajeto. Analisando os números mais detalhadamente, ao comparar as reduções de A para B e de B para C, verifica-se que o número de paragens, no primeiro caso, sofre uma redução de 35% enquanto no segundo baixa apenas 26%. Este último valor é metade do verificado na diferença de A e B, pelo que se pode concluir que os primeiros 10% de veículos retirados à via têm um impacto superior aos segundos 10%.

Quanto ao tempo de atraso, os valores decrescem de 182 segundos no cenário A para 131 segundos no cenário B e 111 segundos no cenário C (decréscimo de 28% e 39%, respetivamente). A queda no tempo de atraso é substancialmente mais acentuada do que o número de paragens, ficando a percentagem do atraso abaixo em 10%, face ao equivalente no número de paragens. Tal como nas paragens, quando se analisa os números pela redução em camadas (de A para B e de B para C) verifica-se que a diferença é mais acentuada no primeiro caso do que no segundo (decréscimo de 28% contra 15%).

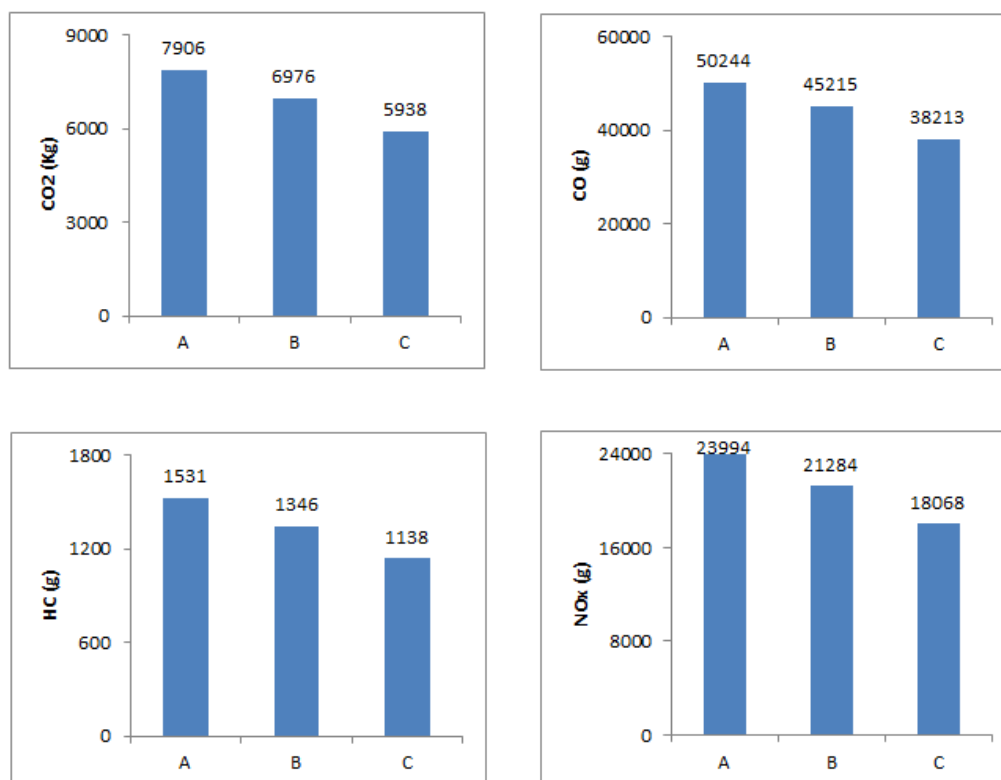


Figura 43: Comparação dos valores de CO₂, CO, HC e NO_x dos cenários B e C com o cenário base

Na Figura 43 pode-se observar que as diminuições, decorrentes do decréscimo do volume de tráfego do cenário A para o cenário B, foram de 12%, 10%, 12% e 11% para o CO₂, CO, HC e NO_x, respetivamente. Quanto ao decréscimo dos poluentes no cenário C, a melhoria registada foi de uma redução de 25%, 24%, 26% e 25% para os mesmos poluentes anunciados em cima. Pode-se então concluir que, todas as emissões decrescem na mesma ordem percentual. Estabelecendo um paralelo com a redução do número de veículos verifica-se que, para o cenário B, a variação das emissões é proporcional a este. No cenário C, essa proporcionalidade existe mas todas as percentagens de poluentes apresentam uma redução superior em 5% face ao valor da redução média de veículos. Isto pode ser explicado pela maior fluidez do tráfego. Como existe menos veículos a circular nas vias, há menos paragens devido a congestionamentos e, conseqüentemente, menos emissões.

5.1.3 Cenários D e E

Nos cenários D e E, ao invés do que foi feito em B e C onde se retiraram 10% e 20% do tráfego global, retiraram-se apenas à rede o equivalente a 10% e de 20% do tráfego que passa pelas vias que estão dentro do perímetro da linha de metro, como mostra a Figura 32. Como não é possível retirar dessas vias o número de veículos equivalente, retirou-se ao total da rede, aleatoriamente, sendo o seu efeito, ao nível global, exatamente o mesmo.

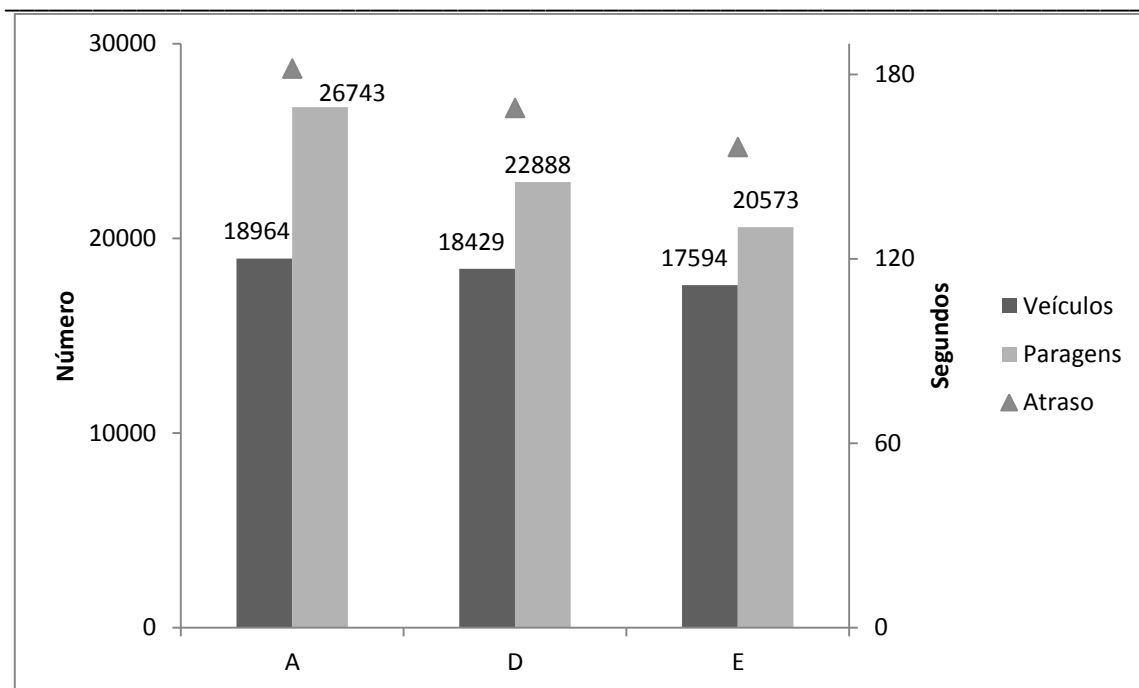


Figura 44: Comparação dos valores de número de veículos, paragens e atrasos dos cenários D e E com o cenário base

Constata-se a partir da Figura 43 que, as reduções de veículos nos cenários D e E, equivalem no global, a uma redução de 3% e de 7%, respetivamente. A redução em C é cerca de 2,5 vezes superior à redução em B e pode ser explicado através das variações existentes entre as diferentes *random seeds*.

O número de paragens decresce em quase 4.000 de A para D e em mais de 6.000 entre A e E. Isto representa uma redução de 14%, em D e 23%, em E. A principal conclusão que se retira destes dados é que retirando apenas 3% dos veículos, a redução do número de paragens decresce numa proporção quase cinco vezes superior, visto que, a relação dos atrasos com o volume de tráfego é exponencial. Tal como no caso anterior, se se comparar o cenário A com o D e, o D com o E, conclui-se que a redução é mais significativa em D do que em E, mesmo que o número de veículos tenha decrescido em 2,5 vezes entre D e E (redução de 14% contra 9%).

A curva relativa ao tempo de atraso tem um declive similar entre os pontos A - D e D - E. A redução é proporcional em ambos os casos registando-se uma variação negativa de 7%, entre A e D e, decréscimo 14% entre D e E. O tempo de atraso passa de 182 segundos em A para 169 segundos em D e 156 segundos em E. Apesar de haver uma maior redução do número de paragens, do cenário D para A do que de E para D, não se nota esse efeito em relação ao tempo de atraso. Uma possível explicação pode ser o facto de a redução de veículos em E ser superior percentualmente a D (diminuição de 7,2% contra 2,8%), anulando assim o efeito de proporcionalidade quase direta entre os tempos de atraso e as paragens.

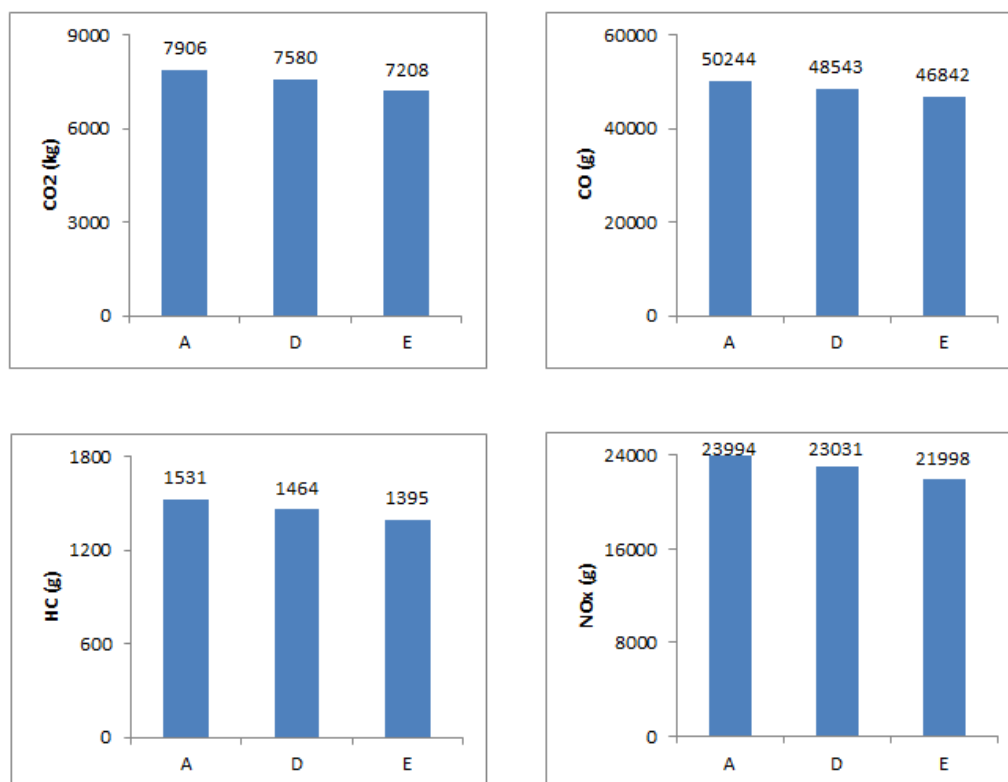


Figura 45: Comparação dos valores de CO₂, CO, HC e NO_x dos cenários D e E com o cenário base

Na Figura 45 podemos verificar o decréscimo do número de emissões do cenário D para CO₂, CO, HC e NO_x em 4%, 3%, 4% e 4%, respetivamente. Quanto ao cenário D e, para os mesmos parâmetros, a evolução negativa foi de 9%, 7%, 9% e 8%. Tal com na análise feita anteriormente, para os cenários B e C, podemos verificar que as reduções das emissões são proporcionais à redução de número de veículos.

5.2 Impacto do metro ligeiro

Como referido anteriormente, a instalação de um veículo elétrico traz consigo a vantagem de não existir emissões de poluentes localmente mas, nas centrais termoelétricas, a eletricidade produzida para o fazer mover, tem associados consigo custos ambientais.

Para o cálculo das emissões de CO₂, originadas pelo uso do metro ligeiro, teve-se em consideração três fatores: a potência do motor (kWh), o tempo de trabalho (horas) e os gramas de CO₂e emitidos por cada kWh de energia elétrica produzido (g/kWh). Sendo a potência do motor do Skoda 15T ForCity de 720kW (considerada constante) e sendo o tempo de uma hora, a energia consumida foi de 720 kWh. Se a este valor multiplicarmos o fator de emissão de CO₂e (144,63g/kWh), concluímos que o funcionamento do metro ligeiro durante uma hora representa a emissão de 104,14kg de CO₂e.

Este valor de CO₂ que é consumido no metro é incomensuravelmente mais baixo quando comparado com as reduções de CO₂ decorrentes da diminuição do tráfego rodoviário. Prova

disso é o Quadro 24 que mostra os valores das emissões de CO₂ (veículos e metro) e o peso do metro ligeiro na percentagem total de emissões globais.

Quadro 24: Total de CO₂ emitido pelos veículos e pelo metro e percentagem correspondente a este

Cenários	CO ₂ veículos (kg)	CO ₂ metro ligeiro (kg)	Metro Ligeiro (%)
A	7.906		
B	6.976	104,14	1,48
C	5.938	104,14	1,74
D	7.491	104,14	1,39
E	7.208	104,14	1,44

Como é possível observar, o impacto ao nível de emissões de CO₂, que o metro ligeiro teria na cidade, em hora de ponta seria o equivalente a menos de 2% do total de emissões de CO₂ produzido por todos veículos. No caso C, quando o metro apresenta um maior peso relativo nas contribuições para as emissões globais, ocorre o maior decréscimo de veículos, o que por si representa um sinal muito positivo. Para estes cálculos, não entraram os gastos energéticos das infraestruturas do LRT.

5.3 Impacto Local

Neste subcapítulo é feita a análise do desempenho do tráfego e das emissões dos cenários estudados e do cenários estudados anteriormente e do cenário base, em três diferentes zonas da cidade de Aveiro. Estas zonas foram escolhidas tendo em conta o elevado tráfego apresentado.

5.3.1 Zona 1 - ALP

A Figura 46 representa a zona verde demarcada na Figura 22 e é possível verificar que o comportamento das variáveis segue a linha da análise global que foi realizada.

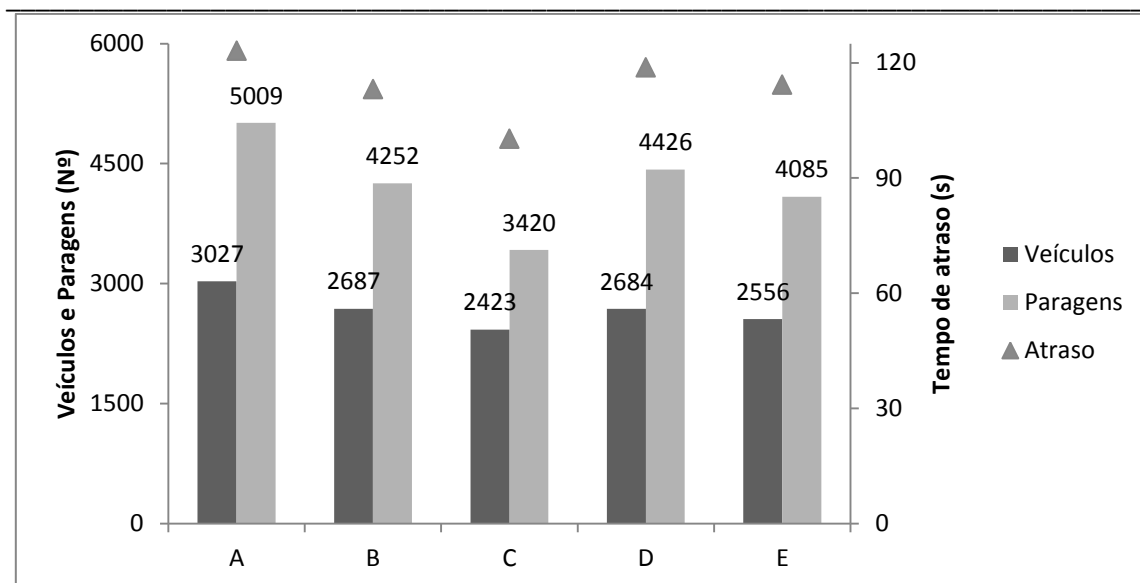


Figura 46: Comparação dos valores de número de veículos, paragens e atrasos para a Zona 1 dos cinco cenários

Na evolução do número de veículos, destacam-se os cenários D e E que têm uma redução superior à média, verificada no impacto global, sendo a diminuição percentual de 11% e 16%, respetivamente. No impacto global a redução foi de apenas 3% e 7%. Uma possível explicação para este facto prende-se com o elevado tráfego que esta zona apresenta e como há maior concentração de veículos, o potencial de redução é muito superior quando comparado com zonas de menor tráfego. Nos casos B e C as reduções no número de veículos são de 11% e 20%, o que está de acordo com número de veículos reduzidos globalmente.

Em relação ao número de paragens, regista-se, face à análise global, uma diminuição das percentagens de redução para todos os cenários. Ou seja, nesta zona a redução do número de paragens é inferior à restante rede. A explicação para este fenómeno pode estar ligada ao facto de, devido à enorme procura que estas vias têm, mesmo que haja uma redução significativa do número de veículos, estes continuam a ser em tão grande número que redução existente não se reflete tanto, como acontece noutros pontos da rede. As reduções para este parâmetro são de 15%, 32%, 12% e 18%, para os cenários B, C, D e E, respetivamente.

É nos tempos de atraso que os resultados se tornam mais ambíguos. Em B, para uma redução de veículos de 11%, o valor da redução do tempo de atraso cifra-se em 8%. No caso D, com uma redução de também 11%, no número de veículos, o tempo de atraso reduz apenas 4%. Já em E, com menos 16% de veículos a circular nesta zona, a redução é inferior à de B, cifrando-se em 7%. Isto pode ser justificado pelo facto de terem sido apenas consideradas três simulações, ao contrário das 10 consideradas para a avaliação global, o que torna a amostra pequena e a margem de erro maior (limitação temporal).

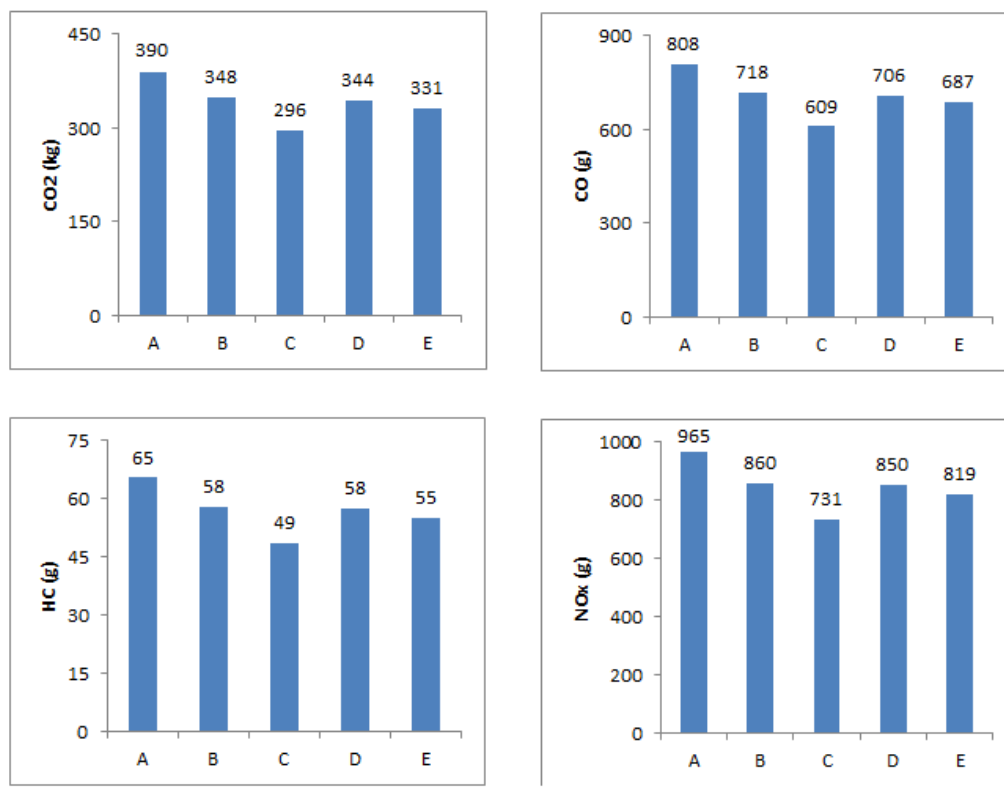


Figura 47: Comparação dos valores de CO₂, CO, HC e NO_x para a Zona 1 dos cinco cenários

Na Figura 47, comparando os valores dos poluentes com as reduções de veículos verificadas em cada cenário, podemos concluir que existe uma correlação entre ambos. Para um decréscimo de veículos de 11%, 20%, 11% e 16%, nos cenários B, C, D e E, existe uma redução de poluentes em média de 11%, 24%, 12% e 15%, respetivamente. Apenas no caso C, a redução de poluentes não segue o padrão das anteriores, sendo superior ao número de veículos retirados de circulação em cerca de 5%. Isto é explicado, mais uma vez, pela maior fluidez de tráfego.

5.3.2 Zona 2 – Rotunda do Hospital

Na Zona 2 é estudado o impacto da implementação do metro ligeiro na rotunda do Hospital. As Figura 48 e Figura 49 mostram, respetivamente, o número de veículos, tempo de atraso, número de paragens e as variações dos poluentes.

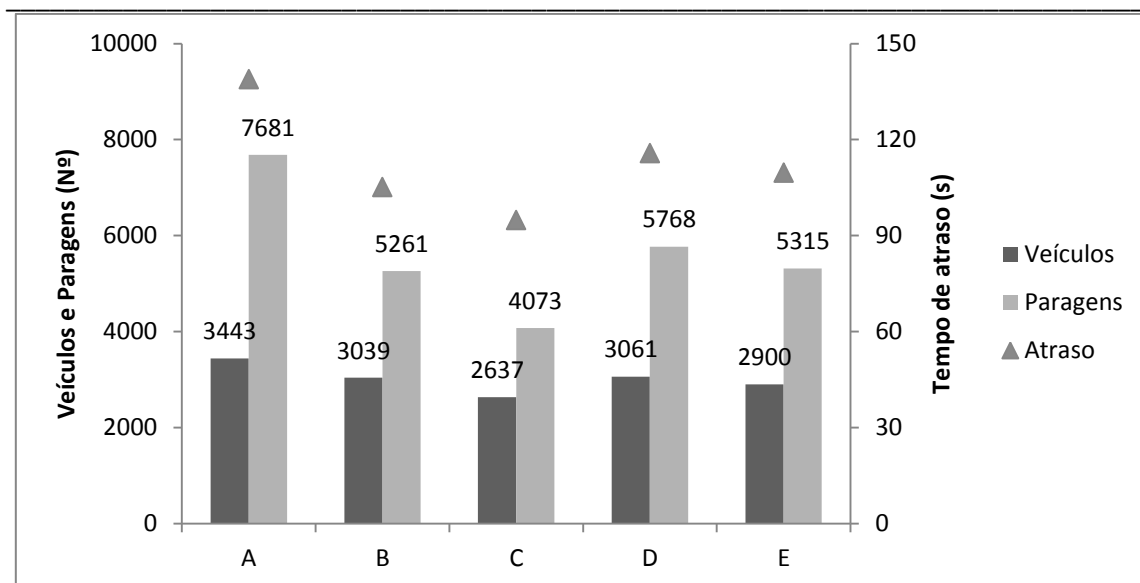


Figura 48: Comparação dos valores de número de veículos, paragens e atrasos para a Zona 2 dos cinco cenários

Na Figura 48, confrontando a redução de veículos face à diminuição destes na zona anterior pode-se afirmar que a variação é menos acentuada maioria dos cenários. Apenas de notar que o cenário C sofre uma diminuição de 23% (contra os 20% da anterior). As restantes diminuições cifram-se em 12%, 11% e 17% para B, D e E, respetivamente.

No que concerne ao número de paragens pode-se verificar que apesar do cenário B e D terem um número similar de veículos retirados da via, o número de paragens em D é significativamente maior do que em B (mais de 500 paragens). Já comparando B com E, o número de paragens é similar (<1%), embora o volume de tráfego seja maior em B. Estes valores podem ser justificados pelo facto de a rotunda ter um volume de tráfego de entrada desequilibrado a partir dos seus ramos e ainda porque está a operar abaixo da sua capacidade máxima (muitas entradas tem duas vias). O cenário C registou o menor número de paragens (4073), a que correspondeu uma redução de 47% em relação ao cenário A.

Em relação ao tempo de atraso, verificou-se uma tendência semelhante. O valor obtido no cenário B foi menor do que o obtido nos cenários D e E. Especificamente, o atraso médio dos veículos foi superior a 8% e a 3% em D e E face ao obtido em B. À semelhança do parâmetro anterior, o valor do cenário C volta a ser o que mais decresceu face ao cenário de referência (-32%).

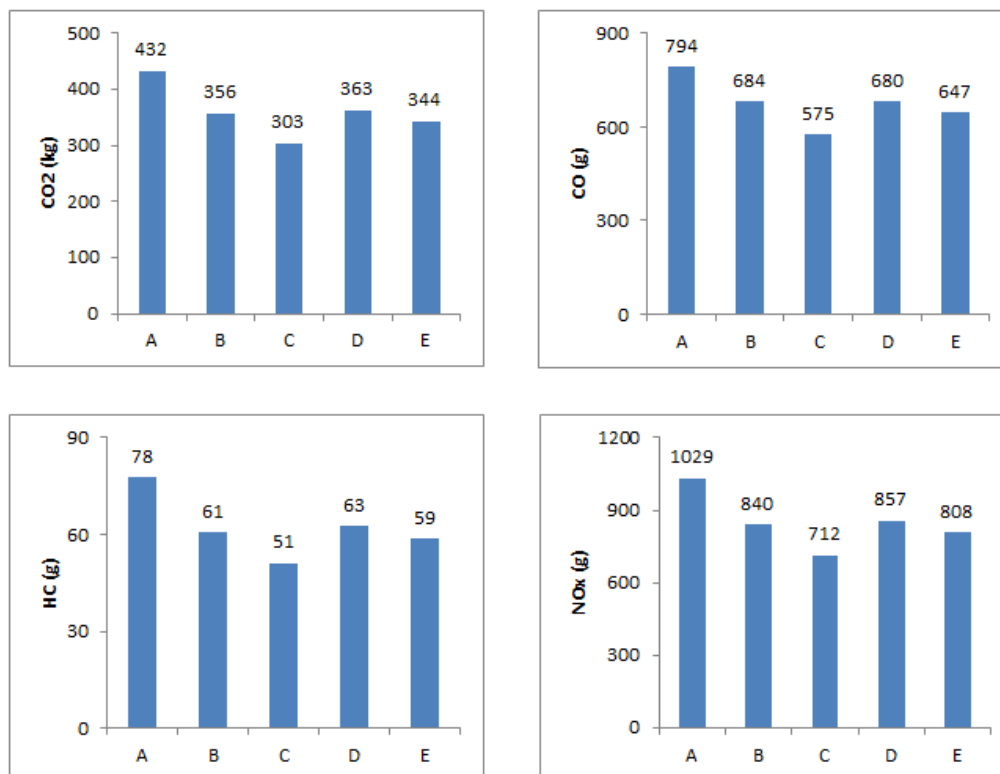


Figura 49: Comparação dos valores de CO₂, CO, HC e NO_x para a Zona 2 dos cinco cenários

Na Figura 49, observando a diminuição registada em todos os cenários e para todos os poluentes, nota-se que o HC é o composto que mais decresce percentualmente. Fazendo uma média da redução efetiva dos poluentes para a Zona 2, o HC apresenta todos os seus valores inferiores à média. Já o contrário acontece com o CO, que vê as suas emissões diminuir em uma percentagem mais baixa face aos outros poluentes e em todos os casos analisados. Uma possível explicação para este efeito pode ser observada no diagrama estequiométrico de relação Ar-Combustível. Se se considerar que os veículos que fazem parte desta simulação, se encontram na proporção Ar/Combustível igual a 14,9, o que significa que estão no ponto estequiométrico e que, havendo uma diminuição de veículos na rede, a fluidez do tráfego aumenta, o que leva os veículos não necessitarem de fazer tantas paragens, e mantendo a mesma velocidade com o motor a consumir menos combustível. Como o motor consome menos, deixamos de estar no ponto estequiométrico da mistura e passamos a ter uma mistura mais pobre, ou seja, a quantidade de combustível diminuiu para a mesma massa de ar. Neste ponto, tanto o HC como o CO baixam as suas emissões, sendo o declive da reta de HC superior à de CO para valores entre 0,95 e 0,9. A Figura 50 ilustra essa mesma situação.

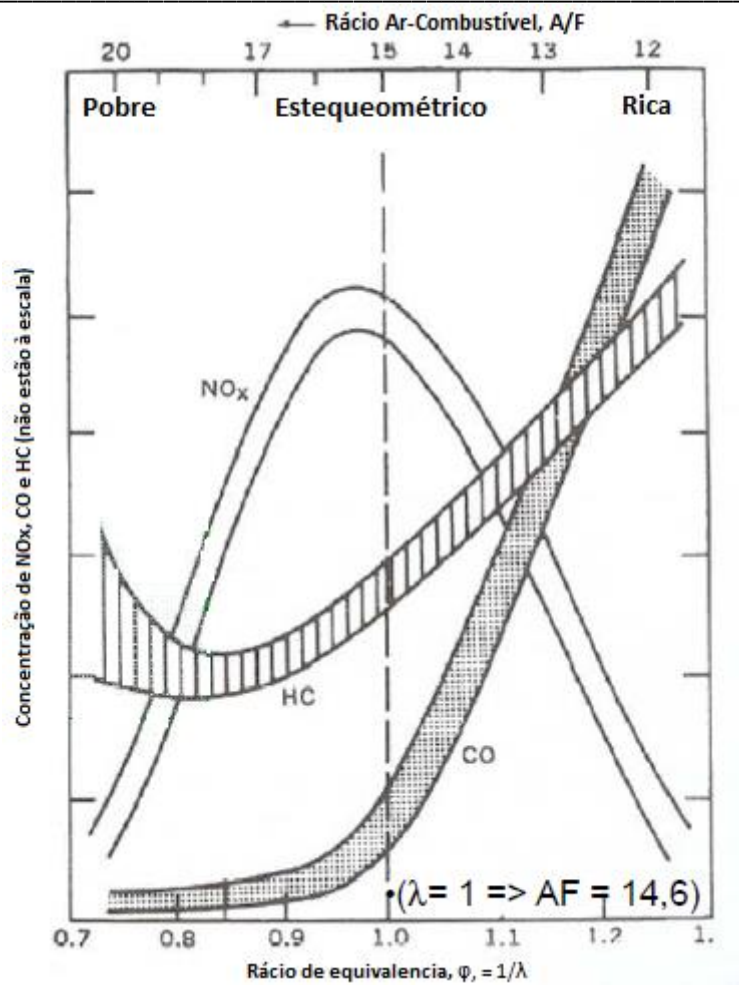


Figura 50: Diagrama estequiométrico (adaptado de De Nevers, 2002)

5.3.3 Zona 3 – Rotunda N109 (Glicínias Plaza)

Nesta zona foi feita a mesma análise que foi realizada para as restantes zonas. Os resultados estão apresentados nas Figuras 50 e 51.

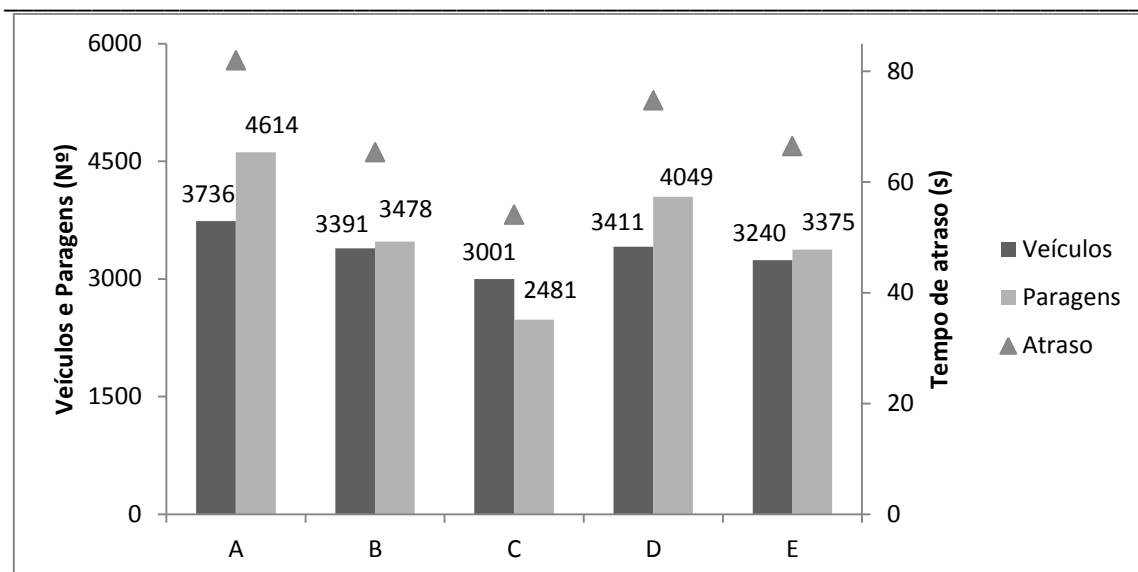


Figura 51: Comparação dos valores de número de veículos, paragens e atrasos para a Zona 2 dos cinco cenários

Na Figura 51 é possível reparar que o número de veículos decresce, em todos os cenários, sendo os valores de diminuição de 12%, 23%, 11%, 16% para B, C, D e E, respetivamente.

Verifica-se que o cenário C apresenta os melhores resultados ao nível do desempenho de tráfego. Registou uma redução do número de paragens e do atraso médio, em 46% e 25%, respetivamente, em relação ao cenário referência. Isto explica-se devido ao subaproveitamento das vias, já que em quase todas as entradas e saídas existem vias de tráfego em cada sentido. Para além disso, a rotunda encontra-se desnivelada face à N109, o que leva a que os veículos que seguem em direção para Ílhavo ou para Cacia, não necessitem de passar por esta rotunda.

No cenário D, apesar da redução do número de veículos ser idêntica à registada em B, o tempo de atraso e o número de paragens são superiores a este. Isto pode ser justificado, tal como em 5.3.1, pelo facto de terem sido apenas consideradas três simulações, ao contrário das 10 consideradas para a avaliação global, o que torna a amostra pequena e a margem de erro maior (limitação temporal).

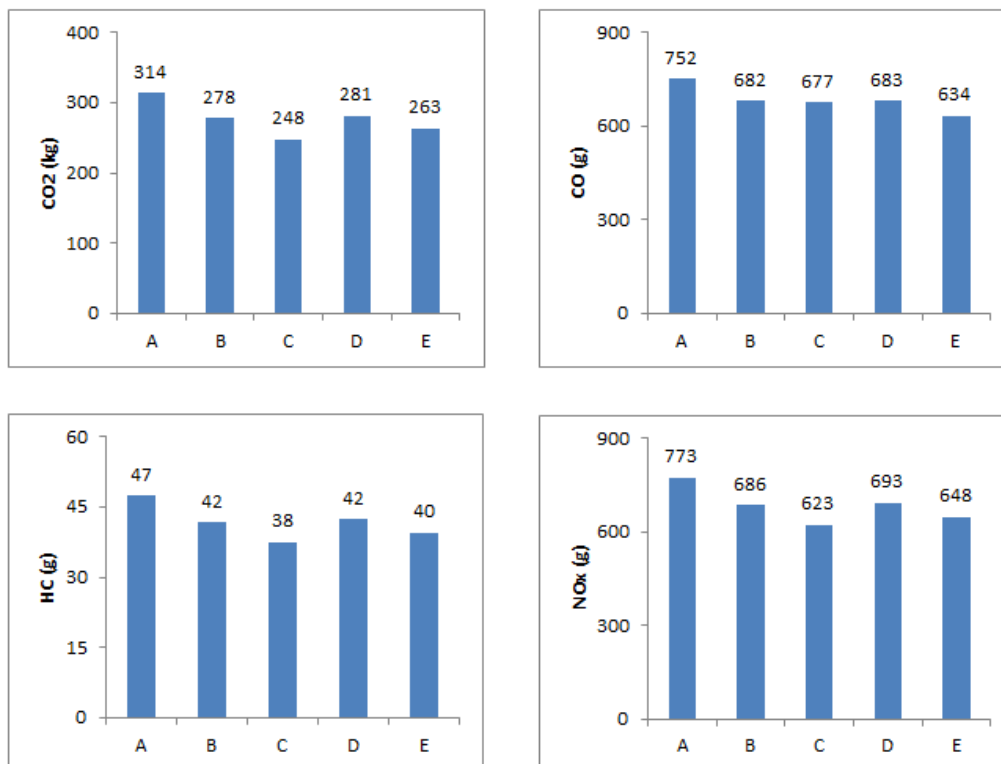


Figura 52: Comparação dos valores de CO₂, CO, HC e NO_x para a Zona 3 dos cinco cenários

Tendo em consideração os valores das emissões apresentados na Figura 51, verificou-se que, todos os poluentes foram reduzidos numa percentagem similar comparativamente ao número de veículos retirados da rede. A única exceção foram as emissões de CO que, para o cenário C, diminuíram aproximadamente 9%, face ao cenário A. De referir também que, em média, o CO foi o poluente que menos sofreu impacto face ao cenário base em todos os casos analisados.

6 CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

O tema desta Dissertação focou-se no estudo da implementação de uma rede de metro ligeiro de superfície na cidade de Aveiro, medindo o seu impacto nas emissões de poluentes mas também, o potencial efeito na fluidez do tráfego. A análise foi feita ao nível global mas também em zonas que são consideradas *hotspots* já que são os maiores pontos de entrada e saída da cidade de Aveiro e, durante as horas de maior afluência, é normal haver problemas de congestionamento. Para tal, foram analisados os pontos de interesse da cidade, onde existem os maiores focos de concentração populacional e projetou-se uma linha ferroviária que estivesse na área de atuação desses pontos. Devido às especificidades do seu perímetro urbano, nomeadamente, dispersão de atividade no território, optou-se por um desenho circular da linha. A modelação da rede viária de Aveiro e o cálculo das emissões dos veículos rodoviários foram feitas recorrendo ao modelo de tráfego VISSIM e a metodologia VSP, respetivamente. Para tal, foi criado um cenário base (sem metro ligeiro) que serviu de comparação aos outros cenários avaliados. Este cenário é um espelho dos níveis de tráfego presentes atualmente em Aveiro. Todos os cenários comparados a este último corresponderam à implementação da linha férrea de passageiros. Os parâmetros avaliados foram: número de veículos, paragens e tempo de atraso médio (desempenho do tráfego); os poluentes CO, HC e NO_x (emissões locais) e ainda, as emissões de CO₂ (poluente global).

Relativamente à necessidade deste projeto na cidade de Aveiro conclui-se que:

- A cidade é relativamente pequena para albergar um sistema de metro ligeiro devido à sua população urbana (aproximadamente 65.000 habitantes);
- Tem um bom potencial em algumas zonas que agora são sensíveis, à hora de ponta, e poderia permitir uma mobilidade rápida e sustentada para quem utiliza os TP. Seria também um bom incentivo para quem de momento utiliza o veículo próprio para as suas tarefas do dia-a-dia na cidade, passar a usar este meio de transporte;
- A existência de uma universidade, o aumento do turismo e a centralidade no contexto da região do Baixo Vouga, poderão constituir razões para compensar e viabilizar o projeto;
- Ao ser introduzido este sistema terão obrigatoriamente que existir medidas adicionais que restrinjam a circulação automóvel na cidade tais como: *park and ride*, eliminação de parques de estacionamento (ou gestão de tarifários) no centro da cidade, proibição da utilização de veículos em alguns pontos da cidade, permissão do transporte da bicicleta dentro do metro ligeiro (como acontece nos suburbanos), entre outras.

A intermodalidade pode ser o fator chave para que este sistema tenha sucesso em Aveiro. A integração com os comboios que chegam do Porto e Coimbra (suburbano e regional) e adaptando o atual sistema de autoviação ao LRT, podem fazer com que este sistema se torne numa mais-valia para todos os cidadãos.

Quanto aos resultados globais, obtidos de toda a rede da cidade, verifica-se que:

- Existe redução de todos os parâmetros face ao cenário base e a tendência é que quanto maior for a redução de veículos, maior será a redução nos parâmetros de desempenho e emissões;

- No caso de uma redução de 10% no tráfego atual, o tempo de atraso pode baixar em cerca de 25% e as paragens em 35%;
- O decréscimo de 20% no volume de tráfego pode fazer com que um veículo pare apenas uma vez no seu trajeto, devido à maior fluidez do tráfego verificada;
- Decorrente da transferência modal prevê-se que, durante a hora de ponta em Aveiro, entre 1300 a 5880 pessoas utilizariam o metro para fazerem o seu trajeto. Estes valores justificam por si só a introdução de mais composições na linha e a funcionarem nos dois sentidos de forma a complementarem o horário e oferecer um serviço com maior frequência;
- O cenário mais pessimista mostra que se pode evitar a emissão de cerca de 311kg de CO₂e (já contando com as emissões globais relativas ao metro ligeiro), na hora de ponta analisada, enquanto o mais otimista aponta uma redução de 1864kg, o que representa uma poupança equivalente a 540 litros de gasolina ou 490 litros de gasóleo;
- A introdução do metro na cidade representa menos de 2% das emissões globais de CO₂e causada pela mobilidade e ocorre no cenário mais otimista no que toca a redução de veículos.

Na avaliação por zonas, é de destacar o seguinte:

- Segue o padrão da análise feita globalmente para todos os parâmetros;
- Em quase todos os cenários das zonas analisadas, as percentagens de diminuição de paragens e atrasos é superior à redução do número de veículos;
- No cenário C da Zona 3 cada veículo para, em média, menos de uma vez em cada passagem por essa zona. Isto deve-se à especificidade da via que, neste caso, tem uma capacidade superior para o trânsito que passaria a albergar.

Existiram várias limitações neste trabalho que levou a que o resultado final não fosse mais apurado. De realçar a existência de matrizes O/D para apenas alguns pontos da cidade, fazendo com que a análise efetuada para os outros pontos da rede tivesse em consideração outros fatores, como os parâmetros de entrada do VISSIM. Outra das limitações foi o facto de não existir anteriormente um estudo em concreto para este tipo de transporte. Foi realizado um estudo de expansão da linha do Vouga para o centro da cidade mas a procura deste modo de transporte não foi realizada por consumir demasiado tempo e recursos (Câmara Municipal de Aveiro, 2008). Desta forma as percentagens apresentadas nesta Dissertação foram arbitradas.

O facto do programa de simulação VISSIM não permitir a retirada de uma percentagem de veículos que deixariam de circular no perímetro onde o metro iria circular, levou a que se retirasse esse valor em bruto a toda a rede, dispersando assim o seu efeito ao nível de emissões de poluentes e melhoria de tráfego nessas áreas.

Ainda no VISSIM, os dados introduzidos no programa foram feitos com alguma distância cronológica o que impossibilitou ter dados mais precisos sobre o estado da mobilidade em Aveiro hoje em dia. A recolha de dados, validação e calibração foram feitos entre 2008 e 2013.

Nos consumos considerados para o metro, foi apenas considerado a energia despendida pelo veículo, não se tendo tomado em consideração o consumo total da infraestrutura. As catenárias, as estações e toda a iluminação envolvendo a infraestrutura deveria ter sido tomado em conta

para os cálculos. O peso relativo do metro ligeiro nas emissões de CO₂e subiria face ao valor apresentado.

Nas novas vias criadas na rede, por questões de tempo, não foi possível medir o volume de tráfego que aí passava. Arbitrou-se mais uma vez um valor de viragem que não foi mais de 5% do total de tráfego que passava pela via adjacente. Isto porque as vias criadas são vias secundárias, em média, menos de 300 vph, não influenciando o que se passa na restante rede.

Muito trabalho pode ainda ser desenvolvido em áreas que esta Dissertação não referiu. Ficam aqui alguns temas que podem ser abordados tendo como base este documento:

- Análise do custo-Benefício da obra a implementar: a obra em causa tem um impacto económico relevante e apenas compensaria se existir viabilidade económica. Desta forma um estudo que quantifique os gastos ao nível do desenvolvimento, construção, operação e manutenção de todo o sistema poderia ser realizado.
- Medidas adicionais de desincentivo ao uso do automóvel no centro da cidade: análise e implementação de locais de *park and ride*, eliminação de estacionamento no centro da cidade, restrição de tráfego em algumas vias, entre outras.
- Possibilidade de extensão da linha de metro a outros pontos importantes de Aveiro e da região: existem pontos periféricos à cidade que beneficiariam muito com a extensão do metro, nomeadamente as cidades da Gafanha da Nazaré e Ílhavo, as zonas industriais de Cacia e Tabueira, o porto de Aveiro, a freguesia de Esgueira (a maior do município de Aveiro), entre outros.
- Integração da bicicleta: uma vez que existe em Aveiro e na sua região uma considerável quantidade de utilizadores da bicicleta, seria de interesse aumentar esta mesma dinâmica, com um metro ligeiro integrado na malha urbana e avaliar até que ponto o uso combinado destes dois meios de transporte não traria um decréscimo da utilização do veículo automóvel ainda mais significativo do que apenas a implementação do metro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACAP. (2012). *Automobile Industry Statistics 2011 Edition*.
- Almeida, T. (2010). *Monitorização Experimental de Rotas Alternativas para Veículos*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro.
- Ayuntamiento de Parla. (2014). *Travía. Tranvía de Parla*. Acedido a 24 de março de 2014, de http://www.ayuntamientoparla.es/Plantillas_Texto/texto2/_t6YrmIZfS5zN2ef00B57MPmlQx7KiZPKip0GLGVqf2KcHXQ8xOe_Fgz3eX4IAwivOUqm4R5c0zltThEXfREJBg
- Beusen, B., Degraeuwe, B., & Debeuf, P. (2013). Energy savings in light rail through the optimization of heating and ventilation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 23, 50–54. doi:10.1016/j.trd.2013.03.005
- Bhattacharjee, S., & Goetz, A. R. (2012). Impact of light rail on traffic congestion in Denver. *Journal of Transport Geography*, 22, 262–270. doi:10.1016/j.jtrangeo.2012.01.008
- Câmara Municipal de Aveiro. (2008). *Aveiro: Metro Ligeiro de Superfície. Estudo de viabilidade*. Aveiro, Portugal.
- Canadian Medical Association. (2008). No Breathing Room: National Illness Costs of Air Pollution.
- Caramalho, E. (2009). Na cauda da Europa. *Transportes em Revista*. Acedido a 18 de Outubro 2014, de <http://www.transportesemrevista.com/Default.aspx?tabid=210&language=pt-PT&id=711>
- Chadwick, P. L. (2000). *geograph. geograph.org.uk*. Acedido a 23 de março de 2014, de <http://www.geograph.org.uk/photo/1574744>
- Coelho, M. C., Frey, H. C., Roupail, N. M., Zhai, H., & Pelkmans, L. (2009). Assessing methods for comparing emissions from gasoline and diesel light-duty vehicles based on microscale measurements. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 14(2), 91–99. doi:10.1016/j.trd.2008.11.005
- Coelho, T., & Costa, I. (2012). 10 anos de Metro do Porto. *Jornal de Notícias*, (Transportes).
- De Bruijn, H., & Veeneman, W. (2009). Decision-making for light rail. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43(4), 349–359. doi:10.1016/j.tra.2008.11.003
- Dias, D., Amorim, J.H., Sá, E., Borrego, C., Fontes, T., Fernandes, P., Pereira, S.R., Bandeira, J.M., Coelho, M.C., Tchepel, O. (2014). Impact Of Road Transport On Urban Air Quality : Gis And Gps As A Support For A Modelling Framework. Ostrava, Czech Republic.
- Dupuy, G. (2013). Network geometry and the urban railway system: the potential benefits to geographers of harnessing inputs from “naive” outsiders. *Journal of Transport Geography*, 33, 85–94. doi:10.1016/j.jtrangeo.2013.09.012

- EDP. (2014). Origens da Eletricidade. *EDP Serviço Universal*. Acedido a 15 de julho de 2014, de <http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/Pages/OrigensdaEnergia.aspx>
- EEA. (2013). *TERM 2013: Transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe*. Associação Europeia do Ambiente, Copenhaga, Dinamarca.
- CE. (2012). *EU transport in figures - Statical Pocketbook*. Comissão Europeia, Bruxelas, Bélgica. doi:10.2832/52252
- Eurostat. (2012). *Números para o futuro 20 anos de desenvolvimento sustentável na Europa?*. Bruxelas, Bélgica.
- Fontes, T., Fernandes, P., Rodrigues, H., Bandeira, J. M., Pereira, S. R., Khattak, A. J., & Coelho, M. C. (2014). Are HOV/eco-lanes a sustainable option to reducing emissions in a medium-sized European city? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 63, 93–106. doi:10.1016/j.tra.2014.03.002
- Frey HC, Zhang K, R. N. (2008). *Fuel Use and Emissions Comparisons for Alternative Routes, Time of Day, Road Grade, and Vehicles Based on In-Use Measurements* (pp. 2483–2489).
- Gallagher, C. (2007). Metrolink: Trams. *TheTrams.co.uk*.
- Gitbi. (2012). Esquema Metro do Porto. *Wikipedia*. Acedido a 23 de março de 2014, de http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4c/Metro_do_Porto.svg
- Google. (2014). Google Earth. Mountain View, California, EUA.
- Grenier, A., & Page, S. (2012). The impact of electrified transport on local grid infrastructure: A comparison between electric cars and light rail. *Energy Policy*, 49, 355–364. doi:10.1016/j.enpol.2012.06.033
- Hale, D. (1997). *How many Netsim runs are enough?* (Vol. 11, pp. 1–9). Florida, EUA.
- INE. (2012). *Estatísticas dos Transportes 2011* (INE.). Lisboa, Portugal. Acedido a 25 de março de 2014, de www.ine.pt
- INE. (2013). Censos 2011. *INE*. Acedido a 10 de março de 2014, de <http://www.ine.pt/>
- INRIX. (2013). Key Findings: 2012-2013 INRIX Traffic Scorecard Annual Report. *INRIX*. Acedido a 21 de março de 2014, de <http://www.inrix.com/scorecard/summary.asp>
- Kim, S., Ulfarsson, G. F., & Todd Hennessy, J. (2007). Analysis of light rail rider travel behavior: Impacts of individual, built environment, and crime characteristics on transit access. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(6), 511–522. doi:10.1016/j.tra.2006.11.001
- Kingsley, N. (2007). Manchester plays catch-up with Metrolink expansion. *Railway Gazette*. Acedido a 23 de março de 2014, de <http://www.railwaygazette.com/news/urban/single-view/view/manchester-plays-catch-up-with-metrolink-expansion.html>

- Knowles, R. D. (1996). Transport impacts of Greater Manchester 's Metrolink light rail system, 6923(95).
- Knowles, R. D. (2007). What future for light rail in the UK after Ten Year Transport Plan targets are scrapped? *Transport Policy*, 14(1), 81–93. doi:10.1016/j.tranpol.2006.10.001
- Light Rail Now. (2002). Status of North American Light Rail Projects. Acedido a 9 de dezembro de 2014, de <http://www.lightrail.com/projects.htm>
- Mackett, R. L., & Edwards, M. (1998). The impact of new urban public transport systems: will the expectations be met? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(4), 231–245. doi:10.1016/S0965-8564(97)00041-4
- Madrid, C. de. (2006). Sistema de Información de Transportes. *Consortio Transportes Madrid*. Acedido a 23 de Abril de 2014, de http://www.ctm-madrid.es/servlet/CambiarIdioma?xh_TIPO=11
- Margarido, R. G. R. (2013). *O papel da mobilidade pedonal na eficiência energética*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- Metro do Porto. (2008). *AVALIAÇÃO DO IMPACTO GLOBAL DA 1ª FASE DO PROJECTO DO METRO DO PORTO*. Porto, Portugal.
- Metro do Porto. (2012a). Metro do Porto. *A vida em Movimento*. Acedido a 23 de março de 2014, de <http://www.metrodoporto.pt/>
- Metro do Porto. (2012b). *Relatório de Sustentabilidade 11'-12'*. Porto, Portugal.
- Metro do Porto. (2013). *Relatório de Sustentabilidade 2013*. Porto, Portugal.
- Motraghi, A. (2013). Rail research projects: Case studies. *Research in Transportation Economics*, 41(1), 76–83. doi:10.1016/j.retrec.2012.10.001
- MTS. (2014). MTS Metro Transportes do Sul. *Metro Transportes do Sul*. Acedido a 23 de março de 2014, de <http://www.mts.pt/>
- NCSU. (2002). *Methodology for Developing Modal Emission Rates for EPA 's Multi-Scale Motor Vehicle and Equipment*. Raleigh, Carolina do Norte, EUA.
- Office for National Statistics. (2011). *2011 Census: Usual resident population by five year age group* (p. 2011). Acedido a 15 de outubro de 2014, de <http://www.ons.gov.uk/ons/rel/census/2011-census/out-of-term-population-statistics-for-output-areas-in-england-and-wales/index.html>
- Oxford University Press. (2014). park-and-ride. Oxford, UK. Acedido a 15 de outubro de 2014, de <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/park-and-ride>
- PTV. (2011). *VISSIM 5.30-05 User Manual*. Karlsruhe, Germany.
- Região de Aveiro. (2012). *Plano Intermunicipal de Mobilidade e Transportes da região de Aveiro: Relatório de Caracterização e Diagnóstico*. Aveiro, Portugal.

- Ribeiro, A. V. V. (2013). *O “caso” Metro Sul do Tejo*. Artigo. Almada, Portugal.
- Saad, F. (2012). Manutenção & Suprimentos. Acedido a 17 de junho de 2014, de <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/7461-diferenca-entre-calibracao-e-validacao/>
- Sears, R. (2006). *Energy Choices, Energy Futures*. Artigo. Shell.
- Shang, B., & Zhang, X. (2013). Study of Emission Reduction: Benefits of Urban Rail Transit. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96(Cictp), 557–564. doi:10.1016/j.sbspro.2013.08.065
- Skoda Transportation. (2014). Skoda Transportation. Acedido a 9 de dezembro de 2014, de <http://www.skoda.cz/en/press-room/photogallery/>
- Skoda Transportations. (2010). Tramvaj ForCity Alfa - Technické Informace. *Forcitytram*. Acedido a 20 de outubro de 2014, de <http://www.forcitytram.cz/technicke-informace/>
- Soltráfego. (2008). *CONTAGENS CLASSIFICADAS DE TRÁFEGO OUTUBRO / NOVEMBRO 2008* (pp. 1–28). Relatório. Aveiro, Portugal.
- Spiegelman, C., Park, E. S., & Rilett, L. R. (2010). *Transportation Statistics and Microsimulation* (p. 383). CRC Press. Acedido a 30 de junho de 2014, de <http://books.google.com/books?id=zMI-nsbU6AAC&pgis=1>
- Stokes, R. J., MacDonald, J., & Ridgeway, G. (2008). Estimating the effects of light rail transit on health care costs. *Health & Place*, 14(1), 45–58. doi:10.1016/j.healthplace.2007.04.002
- Taplin, M. (2013). A complete listing of Light Rail, Light Railway, Tramway & Metro systems throughout the World. *Light Rail Transit Association*. Acedido a 18 de outubro de 2014, de <http://www.lrta.org/world/worldind.html#index>
- Topalovic, P., Carter, J., Topalovic, M., & Krantzberg, G. (2012). Light Rail Transit in Hamilton: Health, Environmental and Economic Impact Analysis. *Social Indicators Research*, 108(2), 329–350. doi:10.1007/s11205-012-0069-x
- Transport for Greater Manchester. (2014). Metrolink. *Metrolink*. Acedido a 3 de abril de 2014, de <http://www.metrolink.co.uk/>
- Tranvía de Parla S.A. (2012). Tranvía de Parla. *Via Parla*. Acedido a 24 de março de 2014, de <http://www.viaparla.com/>
- TRB. (1978). *Glossary of Urban Public Transportation Terms*. Washington DC, EUA.
- Vermote, L., Macharis, C., Hollevoet, J., & Putman, K. (2014). Participatory evaluation of regional light rail scenarios: A Flemish case on sustainable mobility and land-use. *Environmental Science & Policy*, 37, 101–120. doi:10.1016/j.envsci.2013.08.013
- Way2Go. (2012). *Plano Municipal de Mobilidade de Aveiro*. Relatório. Aveiro, Portugal.