



Universidade de Aveiro
2022

**Pedro Henrique Breda
Caeiro**

**Impacto de um Sistema de Partilha de Bicicletas nas
emissões de tráfego**



**Pedro Henrique Breda
Caeiro**

**Impacto de um Sistema de Partilha de Bicicletas nas
emissões de tráfego**

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 com agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e do Doutor Sérgio Filipe Assunção Batista, investigador da New York University Abu Dhabi

Esta dissertação teve apoio financeiro

UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020 FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia; e CENTRO-01-0145-FEDER-022083 - Programa Operacional da Região Centro (Centro2020), financiado no âmbito do Portugal 2020, através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER); DICA-VE (POCI-01-0145-FEDER-029463) financiado pelo FEDER através do programa COMPETE2020, e fundos nacionais (OE), através de FCT/MCTES;

PAC Portugal AutoCluster for the future (POCI-01-0247-FEDER-046095), projeto financiado por FEDER através do COMPETE2020, e Portugal 2020; e Interreg Europe Project CISMOB PGI01611. Center for Interacting Urban Networks (CITIES) da NYUAD e pelo NYUAD Arabian Center for Climate and Environmental Sciences (ACCESS), financiado por Tamkeen através do NYUAD Research Institute Awards CG001 e CG009

O júri

Presidente

Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Prof. Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho

Professora Auxiliar com agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Quero agradecer à minha orientadora, Professora Doutora Margarida Coelho, por todo o apoio e por toda a ajuda que me deu ao longo do período de desenvolvimento desta dissertação. Gostaria de agradecer também ao meu coorientador, Doutor Sérgio Filipe Assunção Batista, que esteve sempre disponível para me auxiliar durante todo este processo.

Agradeço à Doutora Eloisa Macedo pela sua disponibilidade e ajuda no cálculo das emissões de gases de escape, e por todos os esclarecimentos relativos ao modelo de emissões.

À equipa do Aveiro Open Labs, em particular à professora Susana Sargento, por todos os dados acerca de volumes de tráfego que me forneceu.

À reitoria da Universidade de Aveiro e aos bolseiros de ação social, um especial agradecimento por toda a colaboração nas campanhas experimentais.

Ao Ricardo Tomás, pela ajuda que me deu na construção de toda a rede no software VISSIM e na definição dos cenários alternativos no software.

Por último, à Câmara Municipal de Aveiro pelo fornecimento do mapa do sistema de partilha de bicicletas “BUGA 2”, para que fosse possível efetuar todos os estudos.

Quero agradecer de uma forma especial, a toda a minha família, em particular à minha mãe e à minha irmã, que sempre confiaram nas minhas capacidades e sempre me apoiaram desde o primeiro dia.

Por último, um obrigado a todos os meus amigos por toda a amizade, e por toda a motivação que sempre me deram ao longo destes anos.

palavras-chave

Sistemas de partilha de bicicletas; Emissões de escape; Reposicionamento de bicicletas; VISSIM.

resumo

Os sistemas de partilha de bicicletas fornecem um modo de transporte mais amigo do ambiente. Normalmente, este sistema necessita do uso de carrinhas para garantir a reposição de bicicletas ao longo das várias estações, assegurando assim que oferta corresponde a procura esperada. Apesar da implementação deste modo de transporte ser visto como amigo do ambiente, o uso destes veículos para reposição pode ter um impacto negativo no ambiente, nomeadamente na emissão de gases de escape. Até à data, este efeito é pouco estudado na literatura.

O principal objetivo desta dissertação é avaliar as emissões de escape resultantes da implementação de um sistema de partilha de bicicletas na cidade de Aveiro, Portugal. Foi utilizado o simulador de tráfego microscópico VISSIM para recriar a dinâmica do tráfego ao longo da cidade, dados diferentes cenários de congestionamento a afetar a rede. As simulações foram calibradas utilizando contagens de tráfego recolhidas manualmente em diferentes períodos do dia (6 de abril de 2022), como da base de dados AveiroOpenLabs. De seguida, foi utilizado o modelo de emissões VSP (baseado no conceito de potência específica do veículo) para determinar as emissões de gases de escape de cada uma das carrinhas de reposicionamento, para cada um dos diferentes cenários. Nesta dissertação, demonstra-se que o aumento/diminuição do número de estações tem influência direta nas taxas de emissões globais da rede. Por outro lado, a mudança de localização de certas estações poderá não influenciar significativamente as emissões globais da rede, quando é realizada tendo por base a não criação de fila no momento da reposição.

keywords

Bike-sharing systems; exhaust emissions; repositioning of bikes; VISSIM.

abstract

Bike-sharing systems provide a more environmentally friendly mode of transport. Usually, these systems require carrier vehicles to relocate bikes between stations, ensuring that the supply meets the expected demand. Although the implementation of this system is usually seen as environmentally friendly, the use of these motorized vehicles may have some considerable impacts on the environment, notably on exhaust emissions. To date, this effect is few studied in the literature.

The main purpose of this dissertation is to assess the exhaust emissions arising from the use of those vehicles on a planned (but not yet operational) dock-based bike-sharing system in the city of Aveiro, Portugal. We use the microscopic traffic simulator VISSIM to model the traffic dynamics given different network loading scenarios. We calibrate the VISSIM simulations using traffic counts collected both manually in different periods of the day (6th April 2022), and from the AveiroOpenLabs database. We then use the Vehicle Speed Power (VSP) emission model to determine the exhaust emissions of the repositioning vehicles for each of the scenarios. In this dissertation, we show that the increase/decrease of the number of stations has a direct influence on the global emission rates of the network. Besides, the change of location of certain stations, may not significantly influence the overall emissions of the network when it is carried out based on the non-creation of queue at the time of replacement.

Índice

Índice de Tabelas	II
Índice de Figuras	III
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Estrutura da dissertação.....	3
2. Revisão do Estado da Arte	5
3. Metodologia	9
Tarefa 1 - Análise do Estado da arte:.....	10
Tarefa 2 – Análise do mapa das estações de bicicletas:.....	10
Tarefa 3 - Construção de um cenário de simulação:	11
Tarefa 4 – Análise dos resultados obtidos:	11
Tarefa 5 – Escrita da dissertação:	11
3.1. Caso de estudo	12
3.2. Monitorização experimental.....	14
3.3. Modelo VISSIM	18
3.3.1. Introdução ao Software	18
3.3.2. Conceção da rede e modelação de tráfego	19
3.4. Calibração e Validação	23
3.5. Estabelecimento de cenários alternativos e obtenção de dados	27
3.6. Estimção de emissões usando o modelo VSP.....	33
4. Apresentação e discussão de resultados	35
4.1. Emissão de gases de escape por classe de veículo	36
4.2. Criação de filas de trânsito	40
5. Conclusões e trabalhos futuros	45
6. Referências bibliográficas	49

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Descrição tarefas a executar durante toda a dissertação;	10
Tabela 2 – Descrição das características relevantes acerca da localização de cada estação do sistema;	14
<i>Tabela 3. Sensores a utilizar</i>	16
Tabela 4. Resultados calibração tempos de viagem.....	27
<i>Tabela 5 – Modos VSP. Fonte: [24]</i>	34
Tabela 6. Classes de veículos existentes no VISSIM	35
Tabela 7. Diferenças relativas nas emissões de GEE face ao cenário base, para o período da manhã, para a classe de veículos ligeiros.....	37
Tabela 8. Diferenças relativas nas emissões face ao cenário base, para o período da tarde, para a classe de veículos ligeiros	37
Tabela 9. Diferenças relativas nas emissões de GEE face ao cenário base, para o período da manhã, para a classe de veículos da carrinha	37
Tabela 10. Diferenças relativas nas emissões de GEE face ao cenário base, para o período da tarde, para a classe de veículos da carrinha.....	39
Tabela 13. Diferenças relativas (%) de comprimentos de fila nos pontos críticos, face ao cenário base para o período da manhã	41
Tabela 14. Diferenças absolutas (m) de comprimento de fila nos pontos críticos, face ao cenário base no período da manhã.....	41
Tabela 15. Diferenças relativas (%) de comprimento de fila nos pontos críticos, face ao cenário base no período da tarde	42
Tabela 16. Diferenças absolutas (m) de comprimento de fila nos pontos críticos, face ao cenário base no período da tarde	42

Índice de Figuras

Figura 1 – Fluxograma da dissertação;.....	9
Figura 2 – Exemplo de uma bicicleta do sistema, estacionada numa estação do sistema. Fonte: [32]	12
Figura 3 – Mapa sistema BUGA2; Fonte:[31].....	13
Figura 4 – Mapa do sistema com distinção entre recolha de dados manual ou remota;. 16	
Figura 5 – Exemplo de folha de contagem; Fonte: Google Maps;	17
Figura 6 – Exemplo folha de contagem;.....	17
Figura 7- Criação de um link;.....	19
Figura 8 – Rede final VISSIM;.....	20
Figura 9 – Criação de uma decisão de velocidade;.....	21
Figura 10 – Definição de prioridades em zonas de conflito;	21
Figura 11 – Criação de um sinal luminoso;	22
Figura 12 – Criação de rotas;.....	22
Figura 13 – Criação de um node;.....	23
Figura 14 – Configuração tempo de recolha de dados;	24
Figura 15 – Consulta dos resultados dos vários nodes;	25
Figura 16 – Gráfico de dispersão da calibração dos volumes do modelo de tráfego;.....	26
Figura 17 – Mapa do sistema com a localização das novas estações assinaladas a vermelho. Fonte:[31]	28
Figura 18 – Ferramenta para criação de paragens de transportes públicos;.....	29
Figura 19 – Utilização da ferramenta para criação da rota da carrinha de reposição; ...	30
Figura 20 – Configuração da ferramenta “Evaluation Configuration” com os parâmetros desejados.....	31
Figura 21 – Escolha da classe de veículos a obter dados.....	31
Figura 22 – Atributos escolhidos para saída de dados do modelo	32
Figura 23 – Rota percorrida pela carrinha de reposição	32
Figura 24 – Valor médio de taxa de emissões de CO ₂ , NO _x , CO e HC para os 14 modos VSP; Fonte: [25]	34

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Os sistemas de partilha de bicicletas (*Bike sharing*) atravessaram vários anos de desenvolvimento até serem apresentados como hoje os conhecemos. Começaram no ano de 1965, em Amesterdão, onde a ideia base era tentar reduzir a poluição e o consumismo [1]. O sistema consistia em deixar várias bicicletas espalhadas pelas ruas da cidade para que qualquer cidadão as pudesse usar livremente, mas, a maioria das bicicletas acabaram por ser confiscadas pela polícia levando assim ao fim desta iniciativa. No início de 1990, de forma a encontrar alternativas para o uso de automóveis individuais e com o intuito de melhorar a qualidade de vida dos seus cidadãos, a cidade de Copenhaga desenvolveu um sistema em que era necessário efetuar um depósito de uma certa quantia monetária, de forma a conseguir desbloquear uma bicicleta [2]. Como já tinha acontecido na cidade de Amesterdão, esta ideia acabou por não ter o sucesso esperado uma vez que se confirmou que seria bastante fácil para o utilizador roubar a bicicleta que estava a alugar. Com o avanço da tecnologia, os sistemas de partilha de bicicletas acompanharam essa inovação e começaram a instalar novos cadeados eletrónicos, a desenvolver novas formas de localizar e identificar as várias bicicletas, de forma a eliminar alguns problemas que haviam sido fulcrais para o mau funcionamento dos sistemas anteriores [3].

Apesar de os transportes contribuírem com cerca de 5% para o PIB da União Europeia e empregarem mais de 10 milhões de pessoas por toda a Europa [4], estes não estão isentos de desvantagens para a nossa sociedade, tais como: emissões poluentes, ruído, acidentes rodoviários e elevados níveis de congestionamento. As emissões de gases de efeito de estufa (GEE) provenientes de transportes representam, atualmente, cerca de 25% das emissões totais destes gases [4], e estas emissões só têm vindo a aumentar com o passar dos anos. Com o objetivo de ser o primeiro continente neutro em termos climáticos até 2050, a Comissão Europeia estabeleceu um conjunto de propostas relacionadas com o clima, a energia e os transportes de forma que sejam reduzidas as emissões líquidas de GEE. Pretende-se que estas emissões sejam reduzidas em pelo menos 55% até 2030, quando comparadas com os níveis de 1990 [4].

As Nações Unidas, com um objetivo semelhante ao da União Europeia, também definiram um plano que tem por base o desenvolvimento sustentável de todo o mundo. Até 2030, pretendem garantir acesso a um sistema de transportes seguro, acessível, a preços acessíveis e principalmente sustentável, melhorando assim a segurança rodoviária, nomeadamente através da expansão do público que usa transportes públicos. Com especial atenção para passageiros de mobilidade reduzida, pessoas em situações vulneráveis e idosos [5].

Os sistemas de *bike sharing* são vulgarmente considerados ferramentas para a redução dos níveis de emissões de gases com efeito de estufa, uma vez que promovem a mobilidade sustentável. Contudo, estes sistemas também servem para ajudar os utilizadores a efetuarem a conexão entre os vários transportes públicos e/ou fornecem uma alternativa sustentável à viagem que seria feita utilizando outro meio de transporte. Podem então existir dois tipos de sistemas. O primeiro tipo de sistema, intitulado de “*Free floating bike sharing system*”, não necessita da existência de várias estações espalhadas pela cidade, uma vez que o utilizador

pode terminar a viagem em qualquer sítio da cidade que seja devidamente conveniente estacionar uma bicicleta. Podemos também observar que, em ambos os tipos de sistemas de partilha de bicicletas, o utilizador desbloqueia e efetua o pagamento relativo à sua viagem através do seu telemóvel.

Os sistemas de *bike sharing* com estações espalhadas pela cidade permitem ao utilizador alugar uma das várias bicicletas disponíveis numa determinada estação e devolvê-la numa outra, sempre dentro da área de funcionamento do sistema. A procura de bicicletas evolui e muda ao longo do dia, fazendo com que haja necessidade de reposicionamento constante de em algumas estações. Este serviço de reposicionamento aumenta, em muito, as emissões de gases com efeito de estufa, daí ser necessário torná-lo o mais sustentável possível.

Devido aos movimentos efetuados pelos vários clientes, decorrentes das suas necessidades de mobilidade, existe, falta de oferta em algumas das estações que resulta numa perda significativa da procura do cliente. De forma a solucionar este problema, os sistemas de partilha de bicicletas empregam um sistema de reposicionamento de bicicletas com a ajuda de veículos, que são usados unicamente para esse efeito [6]. Este reposicionamento pode ser efetuado durante a noite, quando a intensidade de tráfego é menor, levando assim a que o reposicionamento seja efetuado de uma maneira bastante eficiente. Contudo, será necessário determinar a ordem de visita aos vários postos de bicicletas, e ainda determinar o número exato de bicicletas a ser repostas/retiradas em cada uma das estações. Existe ainda outro tipo de serviço de alocação dinâmico que consiste na redistribuição de bicicletas durante o dia, tendo em conta não só dados previamente obtidos sobre a procura em cada uma das estações, mas também informações sobre o tráfego em tempo real, tornado assim possível estimar o trajeto mais sustentável a ser percorrido por cada um dos veículos.

Esta dissertação foca-se principalmente na quantificação das emissões provenientes do reposicionamento associado ao sistema de partilha de bicicletas na cidade de Aveiro, Portugal. Este sistema está previsto para a cidade de Aveiro, e já estão a ser construídas as estações espalhadas pela cidade. Este processo de reposicionamento possui uma elevada importância para o sistema em questão, visto que, se não for tomado em conta as emissões provenientes da realocação de cada uma das bicicletas, esta contabilização de emissões não será realizada da melhor maneira. Muitas vezes os veículos utilizados e as rotas escolhidas não são, de todo, as mais adequadas o que faz com que muitas vezes o sistema não funcione da melhor maneira. De forma a tornar este sistema de partilha de bicicletas sustentável, este requer uma supervisão eficaz e inteligente para que seja possível torná-lo o mais eficiente possível e sempre com a intenção de o tornar cada vez mais sustentável.

1.2. Objetivos

O principal objetivo desta dissertação consiste em quantificar o balanço de emissões decorrentes do sistema de reposicionamento de um sistema de partilha de bicicletas na cidade de Aveiro, Portugal. Foi efetuada uma quantificação destas emissões em função de diferentes volumes de tráfego observados por toda a cidade. Foi utilizado o simulador de tráfego microscópico VISSIM para recriar uma dinâmica de tráfego ao longo das várias estações, dado diferentes volumes de tráfego a afetar toda a rede. De forma a obter uma simulação calibrada com a realidade, foram efetuadas contagens manuais de carros em vários pontos de interesse espalhados pela cidade. Cada cenário representará um nível diferente de congestionamento, o que terá um certo peso no número total de emissões provenientes do veículo de reposicionamento. Por fim, foi utilizado o modelo de emissões *Vehicle Specific Power* (VSP)[7], que se baseia no conceito de potência específica de cada veículo, de forma a determinar as emissões de gases de escape de cada uma das carrinhas de reposicionamento, para cada um dos diferentes cenários. Serão tomadas em conta as emissões provenientes da manutenção necessária para o bom funcionamento do sistema, ou seja, de forma a garantir que cada utilização terá uma bicicleta disponível para utilização em qualquer estação do sistema.

Os objetivos específicos do trabalho são seguintes: primeiramente, será importante avaliar a influência que o uso de carrinhas de reposição terá na implementação de um sistema de partilha de bicicletas, visto que é algo indispensável para o bom funcionamento do mesmo; em segundo lugar, perceber qual a influência do aumento/diminuição do número de estações nas emissões do sistema; em terceiro lugar, avaliar de que forma o planeamento da localização das docas influencia as emissões globais (e, caso essas emissões sejam muito elevadas, efetuar um estudo sobre localizações alternativas);

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação apresenta cinco capítulos. No primeiro capítulo é feito o enquadramento para esta dissertação, onde se pode perceber um pouco da história dos sistemas de partilha de bicicletas e ainda as principais diferenças entre os dois tipos de sistemas existentes. É neste capítulo que também são apresentados os objetivos desta dissertação bem como será a sua organização interna.

No segundo capítulo é realizada uma revisão bibliográfica da investigação efetuada no âmbito do tema desta dissertação. São apresentados vários princípios de análise a sistemas de partilha de bicicletas, que serviram de base para o princípio utilizado neste estudo.

No terceiro capítulo é descrita a metodologia seguida durante toda a dissertação, nomeadamente na obtenção inicial de dados, no desenvolvimento da simulação microscópica e no cálculo dos valores a obter.

No quarto capítulo é efetuada uma análise aos resultados obtidos no capítulo anterior. Primeiramente é efetuada uma avaliação do método de trabalho escolhido, referindo quais foram as vantagens e desvantagens na utilização do mesmo. São também apresentados vários indicadores que permitem avaliar, tirar conclusões e dar bases para que seja possível responder à questão proposta inicialmente.

No último capítulo desta dissertação, é efetuada uma conclusão acerca de todo o trabalho desenvolvido. O seu principal objetivo é dar resposta aos objetivos estabelecidos

inicialmente e avaliar as possíveis falhas no uso deste método de análise, identificando as hipóteses de estudos futuros que este trabalho poderá originar.

2. Revisão do Estado da Arte

Este capítulo tem como principal objetivo a revisão de artigos realizados na área em questão, tentando assim perceber qual a influência que um sistema de partilha de bicicletas terá no balanço de emissões de uma cidade, com especial foco para o sistema de reposição associado ao mesmo.

Embora o uso de bicicleta esteja associado a boas práticas ambientais, nem sempre isso se verifica. Em alguns dos estudos descritos de seguida, pode-se perceber não só quais os melhores métodos para efetuar a reposição de bicicletas, mas também compreender quais os fatores que afetam a viabilidade ambiental de um sistema destes. Na pesquisa efetuada, consegue-se também observar várias maneiras que visam a atingir o objetivo descrito em cima.

Num estudo publicado em 2022, estima-se o impacto ambiental por de trás da implementação de um sistema de *bike sharing* na cidade de Pequim, China [8]. Os autores começaram por analisar os vários fatores que contribuem para a emissão de gases com efeito de estufa utilizando uma avaliação do ciclo de vida, foi possível calcular as emissões anuais associadas ao sistema de transportes urbanos da cidade. Foram então estabelecidos seis cenários diferentes, variando apenas três fatores: o tempo médio de vida de uma bicicleta; o número médio diário que um utilizador utiliza uma bicicleta; a taxa de reciclagem de bicicletas. Após a análise dos resultados, concluiu-se que o tempo médio de vida e o número médio diário em que uma bicicleta é alugada são dois fatores-chave para o bom desempenho ambiental do sistema de partilhas de bicicletas na cidade de Pequim. Constatou-se que, embora o este sistema mostre bastante potencial na redução das emissões prejudiciais, este necessita de uma supervisão ponderada e eficaz para que a eficiência operacional seja atingida. Este sistema aumentou a percentagem de viagens de bicicleta e de transportes públicos, o que fez com que as viagens de automóvel e conseqüentemente as emissões de GEE (Gases de efeito de estufa) diminuíssem.

Em seguimento do estudo acima descrito, [3] tem como principal objetivo desenvolver uma aproximação, para que seja possível avaliar os impactos da instalação de um sistema de partilha de bicicletas na cidade de Edimburgo, Reino Unido. A partir de uma avaliação de ciclo de vida relativa ao impacto das emissões no sistema, e para que fosse possível obter uma resposta mais concreta foram consideradas algumas mudanças nos dados de entrada. A partir do uso deste método, foi possível concluir que este sistema reduziu em 0,5% as emissões de gases com efeito de estufa na cidade em questão, levando a uma redução no congestionamento do tráfego e a uma melhoria no estilo de vida das pessoas. Constatou-se também, que com a criação deste novo sistema, ocorreu uma elevada criação de postos de trabalho associados a manutenção do mesmo. Contudo, os autores concluíram que estes sistemas podem não obter a redução de emissões esperada, visto que são efetuadas poucas viagens por dia e, quase sempre de curtas distâncias, não substituindo assim o uso de carro pessoal.

Num estudo realizado na cidade de Coimbra, Portugal, [9] analisou a implementação de um sistema de partilha de bicicletas e as implicações esperadas na redução das emissões provenientes do tráfego rodoviário. Começou por ser estimada a procura de bicicletas, tendo por base um modelo que divide a zona em pequenas áreas considerando padrões de viagens e características da cidade. De seguida, com base num inquérito, conseguiram dividir Coimbra em 64 zonas de tráfego, onde apenas serão consideradas as zonas mais centrais da cidade onde a procura será mais elevada. Com a ajuda do software VISSIM, foram definidos

diferentes volumes de tráfego, que permitiram estabelecer uma velocidade média para cada veículo numa determinada rua da cidade. Com estes dados de velocidade média, e usando um modelo intitulado de *QTraffic*, foi então possível estimar as emissões e o consumo de energia para um determinado segmento. Por último, foi realizado um balanço de emissões entre a situação atual e uma situação hipotética em que ocorreu a instalação de um sistema de partilhas de bicicletas nessa mesma localização. Concluiu-se algo bastante semelhante ao que havia sido concluído no artigo anterior. Apesar de o sistema de *bike sharing* ter ajudado a reduzir o número de emissões de gases poluentes na cidade de Coimbra, este necessita de ser bem gerido e de se basear em princípios desenvolvidos por estudos anteriores para que essa redução se possa manter a longo prazo.

Num estudo desenvolvido em 2020 [10], em que o objetivo era perceber a influência que o avanço da tecnologia pode ter num sistema de partilha de bicicletas, foi feita uma avaliação de ciclo de vida de todos os componentes necessários para o bom funcionamento de um sistema de partilha de bicicletas. Começaram por perceber quais são os que têm maior impacto ambiental, aferindo assim, qual terá de ser o aumento no nº de bicicletas utilizadas, para que este impacto seja compensado. Os resultados mostram que, para os sistemas sem estações de bicicletas, a fase de produção tem um grande impacto ambiental comparativamente ao sistema com uso de docas. Isto deve-se ao elevado número de componentes eletrónicos que têm de ser inseridos numa bicicleta a ser utilizada por este sistema. Perceberam também que só se deve construir um sistema com docas quando o número de bicicletas por estação é superior a 5. Em casos em que isso não se verifica, deveremos sempre optar por um sistema sem utilização de docas. Em relação ao reposicionamento de bicicletas nas variadas estações, os autores consideram que devem ser adotadas medidas que tenham por base a redução de emissões de gases de escape. Abordam políticas como uso de veículos elétricos para esta tarefa e ainda a redução de distância percorrida em cada viagem de reposicionamento.

Ao desenvolver um sistema de reservas, inserido no próprio sistema de partilha de bicicletas,[11] tenta mostrar outra vertente que poderá a ser bastante viável nestes sistemas. Visto que os utilizadores poderiam reservar lugares de estacionamento em docas, ou ainda reservar bicicletas para utilizar num futuro próximo, rapidamente se percebeu que os tempos de espera para aluguer sofreram uma elevada diminuição. Ao diminuir estes tempos, o sistema poderá tornar-se mais aliciante para quem o utiliza.

Através dum estudo publicado em 2021, é analisado o impacto ambiental que um sistema de reposicionamento tem num sistema de partilha de bicicletas [12]. O principal objetivo dos autores deste artigo passa por explorar a reposição de bicicletas, de forma a tornar o sistema o mais eficiente possível e, conseqüentemente, reduzir a esperada perda de procura. Foi desenvolvida uma função objetiva de lucro, de maneira a compreender o valor associado a cada rota percorrida pelos vários veículos de reposicionamento. Foram consideradas diferentes variáveis associadas ao processo de reposicionamento, como por exemplo o número de veículos usados, o número de estações que existem no sistema, o número de bicicletas que cada veículo consegue transportar de cada vez, entre outros. Perceberam que, usando devidamente esta função, será possível otimizar o reposicionamento de bicicletas num sistema de partilha de bicicletas. Contudo, seria necessário possuir conhecimentos mais desenvolvidos de maneira a conseguir obter uma resposta mais concreta sobre a viabilidade deste método.

Partindo de um princípio semelhante ao descrito em cima, em 2018 foi desenvolvido um estudo que propõe uma metodologia de reposição de bicicletas, de forma a atingir um balanço perfeito entre a procura e a oferta em cada uma das estações do sistema [13].

O objetivo desta reposição passa por reduzir na totalidade a emissão de gases com efeito de estufa provenientes desta reposição. É então apresentado um modelo de programação linear misto, de forma a atingir o objetivo descrito em cima. Ao usar vários cenários de aplicação, são discutidas as características do problema e quais os fatores que vão afetar a emissão de gases com efeito de estufa. Após a análise dos resultados, é possível concluir que permitir múltiplas visitas a uma estação pode reduzir as emissões dos veículos de reposicionamento. Além disso, quando a distância de ligação numa rota considerada ótima aumenta as emissões resultantes podem permanecer inalteradas, dependendo também de outros fatores. Percebeu-se também que quando a capacidade do veículo de reposição aumenta, as emissões tendem a diminuir.

Em resumo, alguns estudos apresentados revelam que sempre que um sistema de partilha de bicicletas é gerido e instalado tendo por base certos pressupostos, estes acabam por ser uma mais-valia no combate à emissão de gases com efeito de estufa. Foi ainda possível perceber quais os fatores que influenciam mais estes sistemas, e quais as medidas a adotar para que seja possível tornar um sistema de partilha de bicicletas o mais sustentável possível. No entanto, apesar de toda a investigação efetuada, constatou-se que, apesar de já terem sido realizados muitos estudos acerca de sistemas de partilha de bicicletas por todo o mundo, ainda existe uma grande ausência de trabalhos e artigos sobre reposicionamento de bicicletas dentro destes sistemas o que demonstra a importância e a relevância da dissertação em questão.

3. Metodologia

Como referido no primeiro capítulo desta dissertação, o principal objetivo é quantificar as emissões de uma carrinha de reposição de um sistema de partilha de bicicletas a ser implementado na cidade de Aveiro, Portugal. Para que seja possível atingir este objetivo, estabeleceu-se um fluxo de trabalho que terá início com uma revisão bibliográfica de estudos e artigos realizados acerca de temas semelhantes ao desta dissertação. De seguida, de forma a construir cenário de simulação que retrate a realidade da forma mais precisa possível, foi necessário efetuar um estudo acerca dos vários pontos onde será importante recolher dados de tráfego. Seguidamente, e com base em todos os dados recolhidos, foi efetuada uma modelação de tráfego com o software VISSIM, que constituiu a ferramenta-base para efetuar o cálculo das emissões da carrinha de reposição. Ao estabelecer vários cenários de congestionamento de rede, foi possível perceber a influência desta carrinha de reposição face a certas alterações na rede inicial. Após todos os cálculos terem sido efetuados e analisados, foi possível retirar conclusões acerca do objetivo estabelecido inicialmente. Na Figura 1 estão enumerados os vários passos explicados anteriormente.

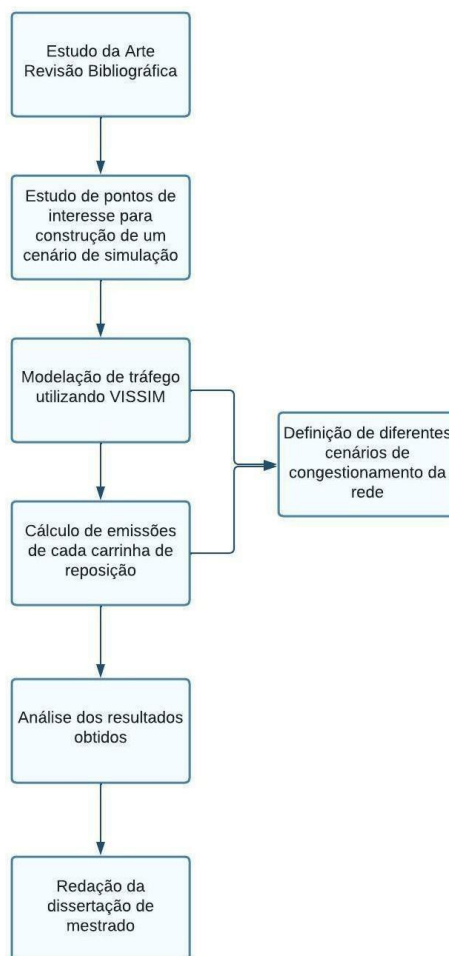


Figura 1 – Fluxograma da dissertação;

De maneira a alcançar os objetivos descritos em cima, foi efetuada uma calendarização das várias tarefas a realizar durante o período pré-definido de março a outubro, onde foram agendadas todas as tarefas necessárias para a realização desta dissertação.

Tabela 1 – Descrição tarefas a executar durante toda a dissertação;

Calendarização	Março				Abril				Maio				Junho			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
A1. Análise estado da arte;	■	■	■	■												
A2. Análise do mapa das estações de bicicletas;	■	■	■	■												
A3. Construção de um cenário de simulação;			■	■	■	■	■	■								
A4. Análise dos resultados obtidos;									■	■	■	■	■	■	■	■
A5. Escrita da dissertação.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Metas																
M1 – Definição do cenário de simulação;								■								
M2 – Definição de cenários alternativos;								■								
M3 – Cálculo de emissões de cada carrinha de reposição;												■				
Entregáveis																
E1 – Diferentes cenários de simulação								■								
E2 - Documento Dissertação	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

As tarefas apresentadas na Tabela 1 foram divididas e serão descritas de seguida:

Tarefa 1 - Análise do Estado da arte:

Para um melhor entendimento do tema, será de elevada importância compreender e analisar alguns dos estudos e/ou artigos semelhantes já realizados na área desta dissertação. É de elevada importância ter bases não só sobre o funcionamento de um sistema de partilha de bicicletas, mas também sobre como qual será o melhor método para obter dados relativos a quantificação de emissões.

Tarefa 2 – Análise do mapa das estações de bicicletas:

A segunda tarefa foi uma das mais importantes de todo o plano de trabalhos, uma vez que constitui o ponto de partida para a criação do cenário de simulação. A partir da análise do mapa de todas as estações espalhadas pela cidade de Aveiro conseguimos perceber quais as que se encontram junto a pontos de interesse, fazendo com que a sua procura seja mais elevada do que nas restantes. Foi também possível perceber quais as estações que podem ser consideradas como pontos de partida e/ou pontos de chegada, visto que poderá ajudar a escolher qual o melhor trajeto a ser desempenhado pelas carrinhas de reposição.

Tarefa 3 - Construção de um cenário de simulação:

O software VISSIM é um programa de simulação desenvolvido pela PTV AG em Karlsruhe, Alemanha. Através do uso deste modelo é possível construir um cenário de simulação com elevado nível de detalhe e precisão ao nível do tráfego urbano, tornando-o bastante próximo da realidade. Este cenário de simulação foi a base para todo o estudo.

Tarefa 4 – Análise dos resultados obtidos:

Após o cálculo das emissões de cada carrinha de reposição será necessário analisar esses resultados, visto que será a partir destes dados que surgirá uma sugestão de resposta para o problema descrito inicialmente. Será efetuada uma comparação dos indicadores escolhidos para os vários cenários desenvolvido.

Tarefa 5 – Escrita da dissertação:

Apesar de ser a última tarefa do plano de trabalhos, a escrita da dissertação foi desenvolvida em simultâneo com todas as tarefas descritas em cima.

3.1. Caso de estudo

A cidade de Aveiro, localizada na região centro de Portugal, e com cerca de 80000 habitantes, sempre teve uma cultura de utilização da bicicleta no dia-a-dia talvez relacionada com o facto de o território onde se encontra possuir uma reduzida orografia. Estas mesmas condições proporcionaram um crescimento significativo do ramo industrial dedicado à produção tanto de bicicletas, como de acessórios usados na prática da mesma. Nos dias de hoje, a cultura de utilização de bicicleta não está tão presente como antigamente, embora quando se olha para outras áreas urbanas de Aveiro verifica-se que essa cultura prevaleceu [14].

Por iniciativa do município de Aveiro, e com objetivo de reacender a cultura de utilização de bicicleta, foi então criado o primeiro sistema de partilha de bicicletas em Portugal intitulado de sistema BUGA – Bicicletas de Utilização Gratuita de Aveiro. Devido ao facto de ser um sistema inovador e nunca visto em Portugal, rapidamente ganhou um elevado reconhecimento a nível nacional, impulsionando o nome da cidade de Aveiro como uma cidade “amiga” da bicicleta [15].

Atualmente, e integrado no plano estratégico de desenvolvimento urbano da cidade de Aveiro, foi desenvolvido um novo sistema de partilha de bicicletas intitulado BUGA 2, que visa a complementar a versão criada anteriormente. Este sistema tem como principal objetivo promover a utilização dos transportes públicos em detrimento do automóvel privado [16]. Na Figura 2 encontra-se um exemplo de uma das várias bicicletas, estacionada numa das futuras estações que constituirá o novo sistema.



Figura 2 – Exemplo de uma bicicleta do sistema, estacionada numa estação do sistema. Fonte: [32].

Considerando os vários motivos apresentados em cima, fez todo o sentido escolher este sistema de partilha de bicicletas como ponto de partida para os estudos a desenvolver. Contudo, todo este estudo será efetuado antes do sistema se encontrar em funcionamento. O principal objetivo será compreender a influência da reposição de bicicletas nas várias docas espalhadas pela cidade.

Para tal, foi fornecido um mapa pela Câmara municipal de Aveiro onde se pode observar a localização de cada uma das docas de bicicletas. Este mapa, que se pode observar na Figura 3, será o ponto de partida para realização desta dissertação, visto que o estudo será efetuado para estas localizações específicas de docas.

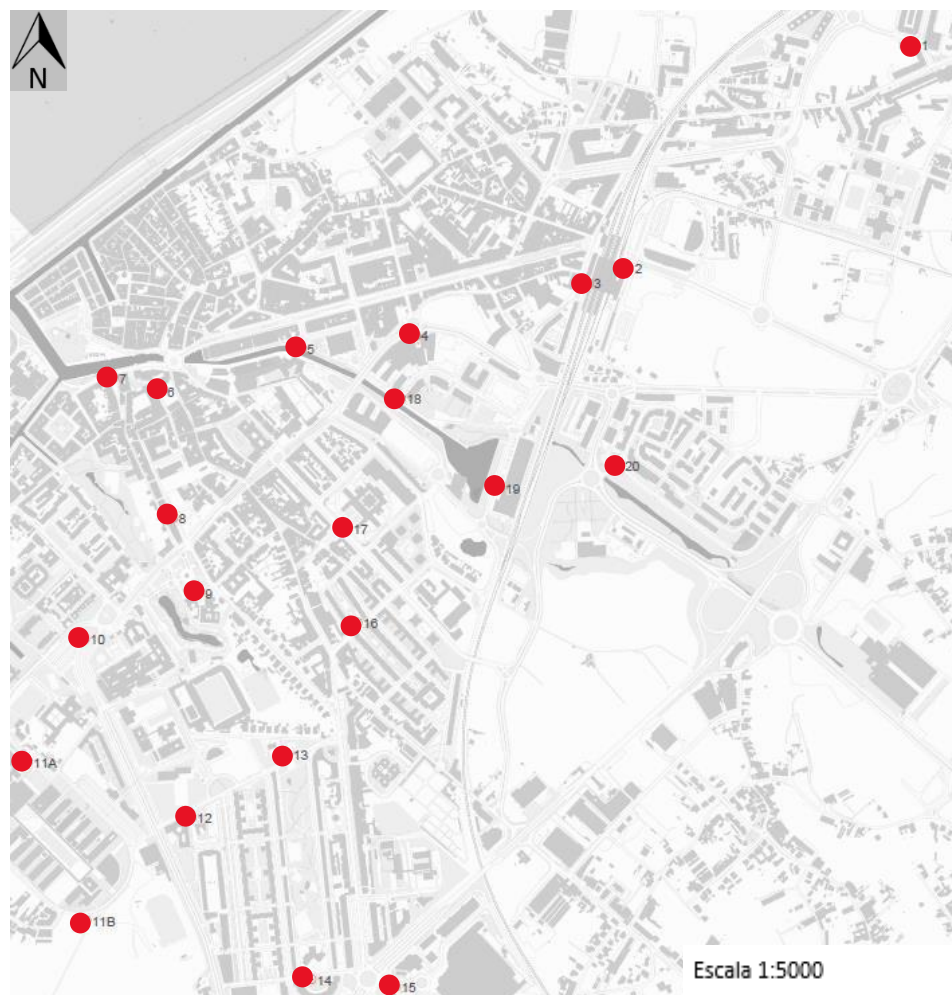


Figura 3 – Mapa sistema BUGA2; Fonte:[31]

3.2. Monitorização experimental

Primeiramente, e de forma a obter uma simulação mais aproximada da realidade da rede de Aveiro, foi necessário efetuar um estudo prévio acerca da localização das várias estações de bicicletas para que fosse possível perceber quais é que se encontram localizados perto de pontos de interesse para a cidade, pois esses serão os pontos que terão os níveis mais elevados de procura quando o sistema se encontrar em funcionamento.

Sendo as estações os pontos mais importantes para todo o estudo, os pontos de interesse que foram considerados para o estudo foram as várias localizações de cada uma das estações. Na Tabela 2 podemos perceber, com maior detalhe, qual a localização exata de cada ponto de interesse e quais as suas características mais relevantes para que assim o seja considerado.

Por exemplo, o ponto 11A, 11B e o 12 encontram-se próximos da Universidade de Aveiro, ou seja, é de elevada importância perceber a quantidade de tráfego que viaja perto destes locais durante as horas de ponta diárias. O mesmo princípio de análise foi seguido para o ponto 17, visto que também se encontra bastante perto de uma das várias escolas secundárias de Aveiro. Em todos os vários pontos escolhidos conseguimos encontrar uma característica relevante para a sua análise.

Para proceder à extração de dados em cada um dos pontos de interesse foi necessário a realização de trabalho de campo, ou seja, contagem de carros, bicicletas e autocarros/camiões que atravessassem cada um dos vários pontos de interesse. Estas medições foram efetuadas durante três períodos distintos de forma a obter 3 níveis de congestionamento diferentes. Primeiro foi considerado o período inicial da manhã, das 8h até as 9h30, o período pré-almoço, das 11h até as 12h30 e ainda durante a parte final da tarde das 17h45 até às 19h. Todas as medições foram efetuadas no mesmo dia (6 de abril, quarta-feira), de forma que todos os dados estejam de acordo. Foi ainda tomado em conta o facto de o tráfego poder sofrer alterações em certos dias da semana, como às segundas-feiras e às sextas-feiras, o que fez com que esses dois dias fossem logo excluídos antes de ser definida a data da contagem.

Com o auxílio da plataforma AveiroOpenLabs [17], que possui uma grande variedade de sensores, tais como sensores ambientais, Lidars, Radares, sensores de mobilidade e unidades remotas de recolha de informação que se estendem por toda a área urbana da cidade de Aveiro [17], foi possível efetuar uma contagem remota em alguns dos pontos de interesse, tendo por base o mesmo período de recolha de dados.

Tabela 2 – Descrição das características relevantes acerca da localização de cada estação do sistema;

Ponto	Local	Localização	Características Relevantes
1	Rua Luís de Camões, Esgueira	40°38'56.4"N 8°37'54.1"W	Inserido numa zona residencial fora do centro da cidade
2	Rua Artur Almeida Eça	40°38'37.7"N 8°38'22.7"W	Próximo da Estação rodoviária de Aveiro
3	Rua Dr. João de Moura	40°38'36.8"N 8°38'28.2"W	Próximo da Estação de comboios de Aveiro
4	Avenida 5 de Outubro	40°38'30.9"N 8°38'48.2"W	Próximo do centro comercial Oita
5	Cais do Cojo, Loja da Buga	40°38'30.8"N 8°38'57.7"W	Próximo do mercado Manuel Firmino
6	Praça da República	40°38'26.2"N 8°39'14.7"W	Próximo da Camara Municipal de Aveiro e de uma escola secundária
7	Rua Clube dos Galitos	40°38'27.9"N 8°39'19.0"W	Próximo da Ponte Dobradora
8	Praça Marquês de Pombal	40°38'18.3"N 8°39'14.4"W	Próximo do Tribunal de Aveiro
9	Rua Castro Matoso	40°38'09.8"N 8°39'09.0"W	Próximo da Polícia Judiciária
10	Rotunda do Hospital	40°38'05.4"N 8°39'22.1"W	Próximo do Hospital de Aveiro
11A	Reitoria da Universidade de Aveiro	40°37'54.9"N 8°39'28.0"W	Na Universidade de Aveiro
11B	Ponte pedonal da Universidade de Aveiro	40°37'42.8"N 8°39'23.7"W	Na Universidade de Aveiro
12	ISCA	40°37'51.1"N 8°39'11.2"W	No Instituto Superior de Contabilidade e Administração da Universidade de Aveiro
13	Rua Associação humanitária dos Bombeiros Voluntários de Aveiro	40°37'55.6"N 8°39'00.3"W	Próximo dos Bombeiros Voluntários
14	Rua de Ovar	40°37'37.4"N 8°38'57.3"W	Próximo do mercado de Santiago
15	Av. D. Frei Miguel de Bulhões e Sousa II	40°37'36.7"N 8°38'47.4"W	Próximo do centro comercial Glicínias
16	Avenida do Oita	40°38'06.9"N 8°38'52.7"W	Próximo de uma escola secundária
17	Avenida 25 de Abril	40°38'14.9"N 8°38'54.3"W	Próximo de uma escola secundária
18	Rua Carlos Silva Melo Magalhães	40°38'26.2"N 8°38'49.2"W	Próximo de uma zona residencial
19	Cais da Fonte Nova	40°38'19.1"N 8°38'37.4"W	Próximo do Centro de congressos de Aveiro
20	Rua Dr. Orlando de Oliveira	40°38'20.2"N 8°38'24.0"W	Próximo de uma zona residencial

Na Figura 4 podemos perceber como é que a recolha de dados foi efetuada em cada um dos vários pontos. Podemos observar que será efetuada uma contagem manual em 14 pontos, enquanto para os restantes serão utilizados dados provenientes da plataforma AveiroOpenLabs.



Figura 4 – Mapa do sistema com distinção entre recolha de dados manual ou remota; Fonte:[31]

Visto que, alguns sensores escolhidos inicialmente para as contagens remotas de tráfego ainda se encontram numa fase final de desenvolvimento, e tendo em conta que a contagem manual apenas foi efetuada em pontos de maior interesse para o estudo, apenas foram considerados dados provenientes dos sensores da *Tabela 3* pois também se encontram perto de locais de interesse.

Tabela 3. Sensores a utilizar.

Doca	Sensor utilizado
3	Uso do Smart Lamp Post P3 (Ponte Dobadoura)
7	Uso do Smart Lamp Post P33 (Esquina dos Bombeiros Velhos)

Nos pontos em que foi necessário efetuar contagem manual, a aquisição de dados foi efetuada em intervalos de 15 minutos e dividida em dois sentidos. Foi desenvolvida uma folha de contagem para cada ponto, a entregar a cada bolseiro, em que constava as várias tabelas para contagem e ainda uma pequena imagem com a localização exata onde a contagem deveria ser efetuada bem como que sentido seria para considerar como 1-2 ou como 2-1. Na Figura 5 e Figura 6, podemos observar um exemplo de uma destas folhas de contagem descritas em cima, em que primeiro podemos observar a localização exata seguida da tabela de contagem.

Bolseiro 11 – Doca nº14 (Rua de Ovar, Bairro de Santiago)



40°37'37.4"N 8°38'57.3"W

Figura 5 – Exemplo de folha de contagem; Fonte: Google Maps;

Hora de Inicio 8h Hora de fim: 8h15

	Sentido 1-2	Sentido 2-1
Bicicletas		
Carros		
Autocarros/ Camiões		

Figura 6 – Exemplo folha de contagem;

3.3. Modelo VISSIM

3.3.1. Introdução ao Software

Atualmente, os modelos microscópicos de simulação de tráfego são bastante utilizados em inúmeras fases do projeto e muitas vezes com diferentes objetivos. Estes modelos permitem modelar dinâmicas de tráfego próximas das observadas na realidade, com foco na trajetória individual de cada veículo e na interação entre eles [18]. Associado a estas características temos o facto de a sua utilização ser bastante intuitiva e simplificada, fazendo com que os custos associados ao uso do mesmo baixem. Estes modelos utilizam uma vasta gama de informações reais, dependem de vários parâmetros de calibração, e, uma vez que poderão estar sujeitos a vários erros de estimativa, podem afetar a capacidade de previsão de resultados do mesmo [18].

Na maioria dos softwares e modelos desenvolvidos atualmente, existem limitações e vantagens/desvantagens quando é efetuada uma modelação. Um dos pontos onde surgem dificuldades, é na tentativa de prever o comportamento dos diversos condutores em situações reais. Por vezes verificam-se alterações súbitas de via e/ou incumprimento das inúmeras regras rodoviárias, que são impossíveis de prever num modelo como este.

O VISSIM começou a ser desenvolvido durante a década de 70 na universidade de Karlsruhe, na Alemanha. Atualmente, é distribuído pelo grupo PTV – *Planung Transport Verkehr* que atua na área do planeamento e da otimização de transportes, e permite então simular padrões complexos de dinâmicas de tráfego [19]. Tornou-se numa plataforma bastante útil no desenvolvimento de ferramentas que têm como objetivo a resolução dos inúmeros problemas rodoviários que existem no presente.

O programa escolhido para desenvolvimento desta dissertação de mestrado foi o VISSIM, pois permite:

- A modelação do comportamento dos diferentes condutores em diferentes tipos de vias (autoestrada, urbana e rural);
- A incorporação de parâmetros que ajudam a interação entre a simulação da mobilidade autónoma com a mobilidade convencional;
- Ter em conta parâmetros relativos ao comportamento do condutor tanto na via como em interseções, rotundas e acessos a autoestradas;
- A compatibilidade com metodologias externas ao programa para cálculo de emissões, uma vez que permite a exportação de dados de trajetória para diferentes tipos de veículos com a resolução temporal pretendida [19].

3.3.2. Conceção da rede e modelação de tráfego

No subcapítulo seguinte pretende-se demonstrar todos os parâmetros inseridos e assumidos durante a fase de conceção da rede no modelo de tráfego utilizado. Estes parâmetros são de elevada importância, uma vez que se pretende que o comportamento dos diversos veículos na rede seja o mais próximo da realidade possível.

Primeiramente, foi necessário criar as várias vias (*Links*) que compõem a rede e onde circulam os veículos. Foi então usada a ferramenta “*Links*” [19], demonstrado na Figura 7. Sempre que se cria um *link*, é definido o tipo de comportamento esperado nessa via. Como todas as vias são do tipo “Estrada”, o comportamento selecionado é o “*Behavior Type*” – “1: *Urban Motorized*” [19]. A rede na sua totalidade é constituída por 2015 “*Links*”.

Count	Index	Width	LinkBeha...	BlockedV...	DisplayT...	NoLnCh...	NoLnChR...	NoLnChL...	NoLnChR...
1	1	3,50				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 7- Criação de um link;

Após a criação de todos os *Links*, a rede final obtida foi a obtida na Figura 8.

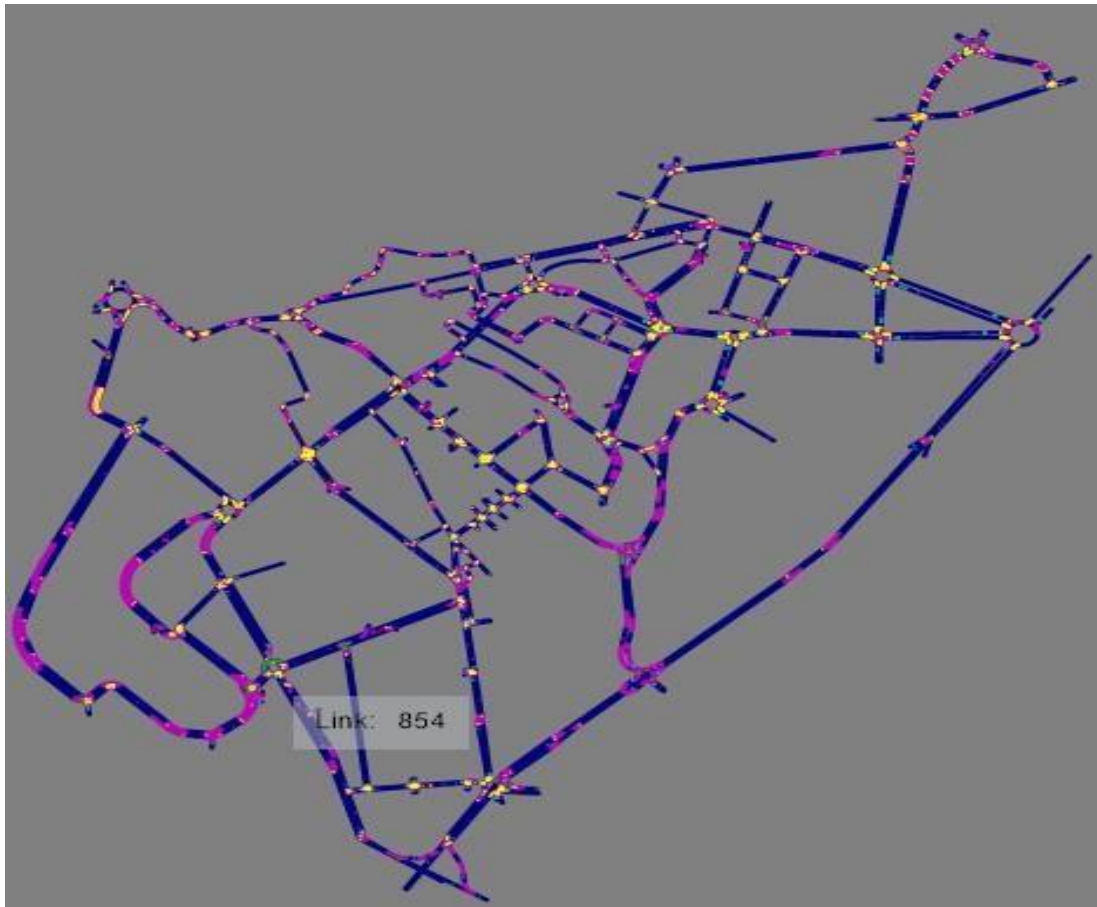


Figura 8 – Rede final VISSIM;

De seguida, será necessário definir que tipos de veículos circularão nas vias e quais os perfis de velocidade que terão de adotar. Os veículos que irão afetar a rede serão os veículos ligeiros de passageiros. O próximo objetivo passa pela definição de perfis de velocidade para cada veículo que circulará nas várias vias. Começou-se por impor velocidade máximas por via, sempre de acordo com o Código da Estrada Português e com as circunstâncias reais da via. Foram então aplicados 383 decisores de velocidade, utilizando a função “*Desired Speed Decisions*” [19].

Além disso, foram implementadas zonas de redução de velocidade através do uso da ferramenta “*Reduced Speed Areas*” [19]. Este tipo de ferramenta é principalmente utilizada para modelar a entrada e saída de rotundas, curvas e qualquer tipo de zona onde seja necessário ao condutor efetuar uma redução de velocidade. Foram então implementadas, no total, 466 áreas de redução de velocidade, exemplificadas na Figura 9.

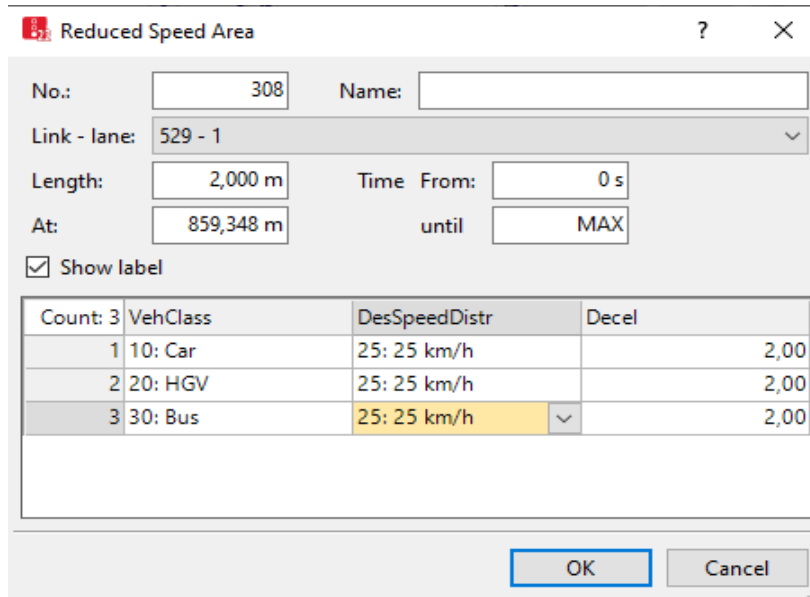


Figura 9 – Criação de uma decisão de velocidade;

Após a devida definição de todos os perfis de velocidade, foram criadas regras de prioridade nos vários sítios em que se verificam zonas de conflito, tais como cedências de passagem, entradas/saídas de rotundas, cruzamentos e interseções, utilizando a ferramenta "Conflict Areas" [19]. A caracterização de zonas de conflito é bastante importante para qualquer trabalho de simulação, pois pretende-se que o modelo se aproxime o máximo possível da realidade Figura 10.

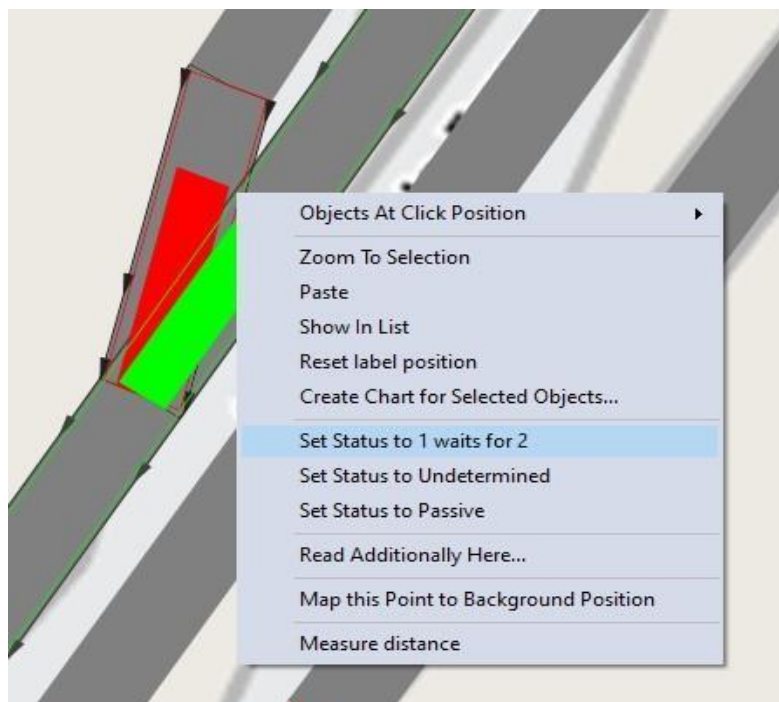


Figura 10 – Definição de prioridades em zonas de conflito;

No caso das interseções com recurso ao uso de sinais luminosos, utilizou-se a ferramenta “*Signal Heads*” [19], em que é possível definir os tempos referentes a cada sinal (verde, amarelo e vermelho) e ainda o tempo total do ciclo. Neste caso foi definida uma temporização fixa do sinal durante todo o período de simulação, visto que em apenas um dos semáforos existem dados acerca dos tempos de ciclo. Na Figura 11 pode-se observar como proceder à criação de sinais luminosos no software.

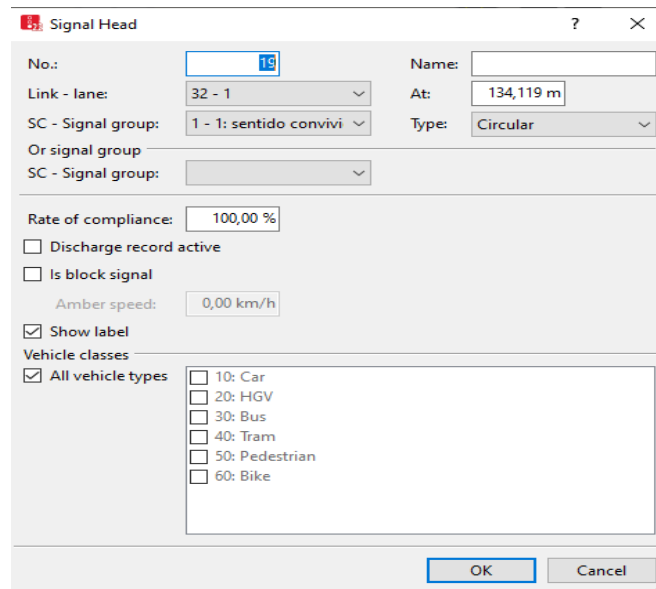


Figura 11 – Criação de um sinal luminoso;

Por fim, procedeu-se à definição de todas as possibilidades de rotas dentro do modelo. Para isso, recorreu-se a ferramenta “*Static Vehicles Routes*” [19], que se encontra exemplificada na Figura 12.



Figura 12 – Criação de rotas;

Finalmente, é altura de testar o modelo criado inserindo valores de volume de tráfego provenientes das várias recolhas de dados. No seguinte subcapítulo será explicado como será efetuada esta alimentação bem como a sua calibração e validação do modelo coma realidade.

3.4. Calibração e Validação

Na construção de qualquer tipo de modelo de simulação, a fase de calibração é bastante importante de forma a garantir que o modelo representa a realidade de uma forma precisa. O processo de calibração é, por norma, demorado e depende sempre da quantidade de informações a utilizar pelo programa. A calibração deste tipo de modelos de microssimulação não é realizada através de um método linear, contudo é essencial garantir que a mesma permita obter resultados aceitáveis de acordo com os critérios definidos para a aceitação do modelo. Apenas no final de todo o processo de calibração é que o modelo estará pronto para realizar as simulações pretendidas.

Primeiramente foram comparados tanto os volumes de tráfego provenientes das campanhas experimentais como os valores provenientes dos sensores da plataforma AveiroOpenLabs [17], com os valores retirados de simulações do modelo VISSIM.

Para que seja possível efetuar a comparação entre os volumes de tráfego reais com os volumes de tráfego do modelo, foram criados nós na rede na localização dos vários pontos de interesse. Logo, foi utilizada a ferramenta “nodes” [19] para a criação dos 39 nós, de forma que seja possível obter o número de veículos que atravessou esse mesmo ponto durante todo o período da simulação. Apesar de terem sido criados 39 nós, alguns desses pontos não possuem dados associados, uma vez que, devido à falta de recursos humanos, não foi possível efetuar contagens manuais em todos os pontos pretendidos. Para além disso, alguns dos sensores disponibilizados pela plataforma AveiroOpenLabs encontram-se em fase final de desenvolvimento, não estando por isso operacionais de momento. Existem dados acerca de 15 dos vários pontos de interesse. Na Figura 13 podemos observar a criação de um *node* na rede.

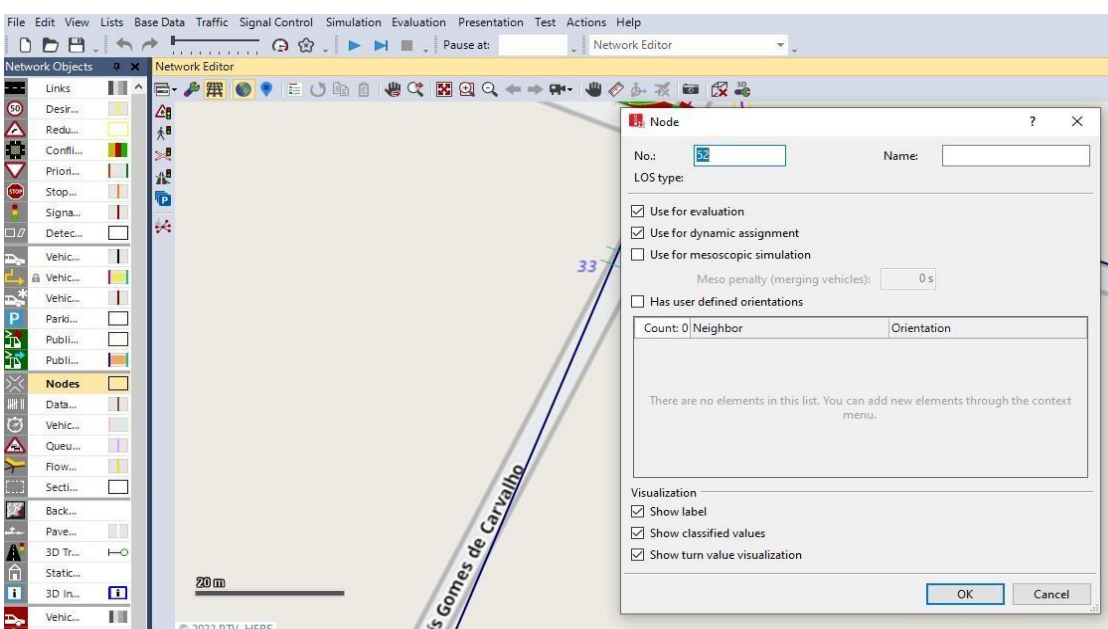


Figura 13 – Criação de um node;

Qualquer simulação de modelos de microssimulação carece de certos cuidados e condições prévios à sua realização. Logo, primeiramente configurou-se qual o período em que será efetuada a recolha de dados em cada um dos vários nós. Para tal, acedeu-se ao menu “*Evaluation*”, localizado na barra superior do programa, e selecionando a opção “*Configuration*” foi possível efetuar as devidas configurações como demonstrado na Figura 14.

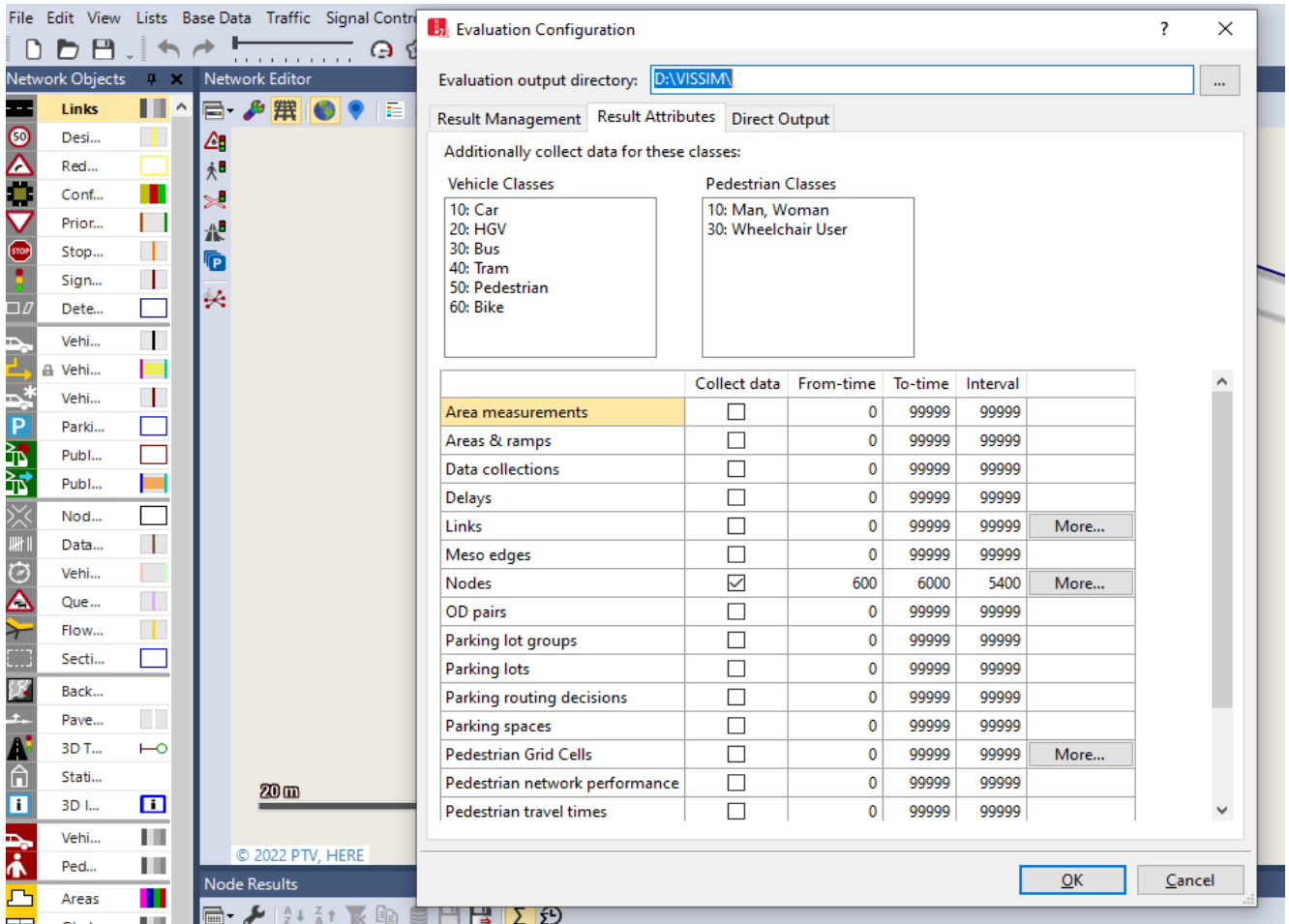


Figura 14 – Configuração tempo de recolha de dados;

No final de cada simulação ou durante a mesma, é também possível consultar os volumes de tráfego que estão a ser medidos em cada um dos vários nós. Estes resultados, como demonstrado na Figura 15, podem ser consultados no menu “*Evaluation*”, e de seguida selecionando a opção “*Result Lists*” seguida de “*Node Results*”.

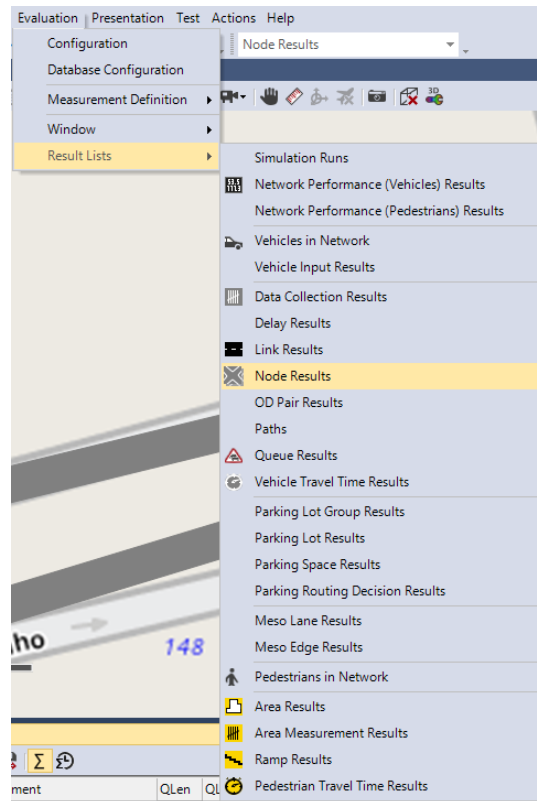


Figura 15 – Consulta dos resultados dos vários nodes;

O critério de calibração consiste no cálculo do índice de Geoffrey E. Havers (GEH) que permite classificar a amplitude entre os valores observados e os valores provenientes da simulação [20].

A expressão do GEH é dada por:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(m - c)^2}{m + c}} \quad (3.1)$$

Onde:

GEH: Índice de Geoffrey E. Havers;

m: Volume de tráfego proveniente da simulação;

c: Volume de tráfego observado.

Os valores de GEH indicam como se pode caracterizar cada volume de tráfego:

- Se o valor de GEH < 4, considera-se que o fluxo de tráfego observado é bom;
- Se o valor de GEH está compreendido entre 4 e 10, considera-se que o fluxo de tráfego necessita de ajuste;

Se o valor de GEH > 10, considera-se que o fluxo de tráfego não pode ser considerado.

Apresenta-se na Figura 16 os resultados obtidos do índice do GEH, nos vários nós analisados. Verificou-se que dos 15 nós analisados, 14 deles registaram valores de GEH abaixo de 4, o que foi de encontro ao critério de calibração sugerido na literatura [20]. O gráfico de dispersão na Figura 16 mostra que os valores de volume de tráfego estimado e observado estão altamente correlacionados, visto que o coeficiente de correlação apresenta valores superiores a 95%, o que nos permite confirmar que a simulação se encontra bem calibrada [20].

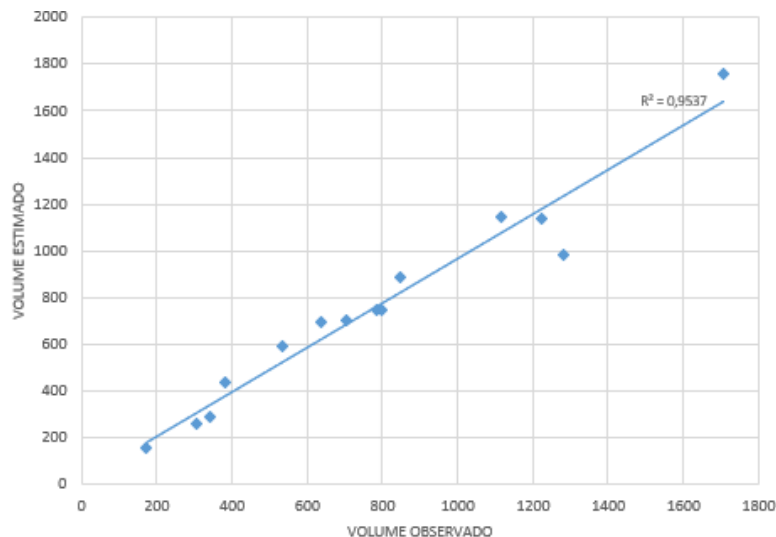


Figura 16 – Gráfico de dispersão da calibração dos volumes do modelo de tráfego;

De seguida, foi realizada a devida calibração dos tempos de viagem dos vários veículos do modelo. Foram efetuadas duas rotas na rede de forma a obter dados reais acerca do tempo de viagem. Para tal, foram escolhidas duas rotas entre dois pontos de interesse da cidade, sendo eles a estação sempre como ponto de origem e o hospital e a universidade como pontos de chegada. Depois, a média destes tempos foram comparados com as médias dos tempos de viagem estimados no modelo em cada uma dessas rotas.

Assim, a comparação foi efetuada com 30 carros flutuantes (veículos a realizarem cada uma das rotas no modelo VISSIM). Este número tem por base o número de repetições efetuadas, média e desvio padrão da amostra de cada rota de maneira que seja possível garantir a variabilidade da mesma.

Foram então definidas duas rotas, e depois simulados os 30 veículos a realizarem uma dessas rotas no modelo definido. Usando ficheiros de trajetória, foram medidos os tempos de viagem de cada um desses veículos na rota respetiva.

Na Tabela 4 observam-se os resultados da calibração dos tempos de viagem. Os valores de diferenças relativas entre os tempos de viagem observados e os tempos de viagem estimados, para cada uma das rotas, variam entre 1% e 2%. Podemos observar que existe uma pequena diferença entre as duas diferenças relativas, sendo maior na primeira rota.

O facto deste valor ser superior, e associado a um desvio padrão também superior quando comparado com a segunda rota, deve-se ao facto de durante as medições ter havido situações que fizeram com que os tempos de viagem observados não fossem tão próximos como seria de esperar.

Os resultados mostram que os dois valores de *P-value* apresentados foram superiores ao nível de significância do teste (5%), o que permite concluir que as médias das amostras não são estatisticamente relevantes [21].

Tabela 4. Resultados calibração tempos de viagem

Rota	Tempo de viagem observado (s)	Tempo de viagem estimado (s)	Diferença relativa (%)	P-value
1	284 ± 29	286 ± 106	2	0.82
2	261 ± 22	263 ± 68	1	0.895

3.5. Estabelecimento de cenários alternativos e obtenção de dados

O cenário base considerado para esta dissertação pode ser dividido em três partes diferentes, sendo o primeiro no período da manhã (8h – 9h30), o segundo no período pré-almoço (11h – 12h30) e por último o período de final de tarde (17h45 – 19h). Em cada um destes cenários, o modelo foi calibrado e validado de acordo com as condições atuais da rede. A rede viária de cada um deles é constituída por veículos convencionais (passageiros e comerciais).

De forma a perceber o impacto do uso de uma carrinha de reposição no sistema de partilha de bicicletas em questão, foram desenvolvidos 2 cenários alternativos dentro em cada um dos cenários base descritos no parágrafo anterior. Assim, será então possível perceber qual a influência que está carrinha terá não só no funcionamento da rede inicial, como também no sistema de bicicletas a ser desenvolvido futuramente.

Assim, foram então criados 3 cenários alternativos, com duas áreas de estudo diferentes. O primeiro e segundo cenário pretendem estudar a influência do aumento e diminuição do número de estações do sistema, enquanto no terceiro cenário será estudada a influência da mudança da localização de certas estações para locais em que a procura de bicicletas poderá ser maior.

Começando pelo primeiro cenário, foi estudada a hipótese de o sistema funcionar com menos duas estações, devido à proximidade espacial de cada uma delas com outra doca de bicicletas do sistema. Por isso, as estações a retirar seriam as seguintes:

- Estação 9: Devido à sua proximidade com a estação nº8, pois estão separadas por cerca de 180 metros;
- Estação 13: Devido à sua proximidade com a estação nº12, pois estão localizadas na mesma rua.

Em relação ao segundo cenário alternativo, foi estudada a hipótese de adicionar duas estações para um melhor funcionamento do sistema. Na Figura 17 encontramos, assinalado a vermelho, a localização das novas estações consideradas para este estudo, sendo a Rua Batalhão de Caçadores o ponto mais a norte, e a Rua Mário Sacramento o ponto mais a sul na Figura.

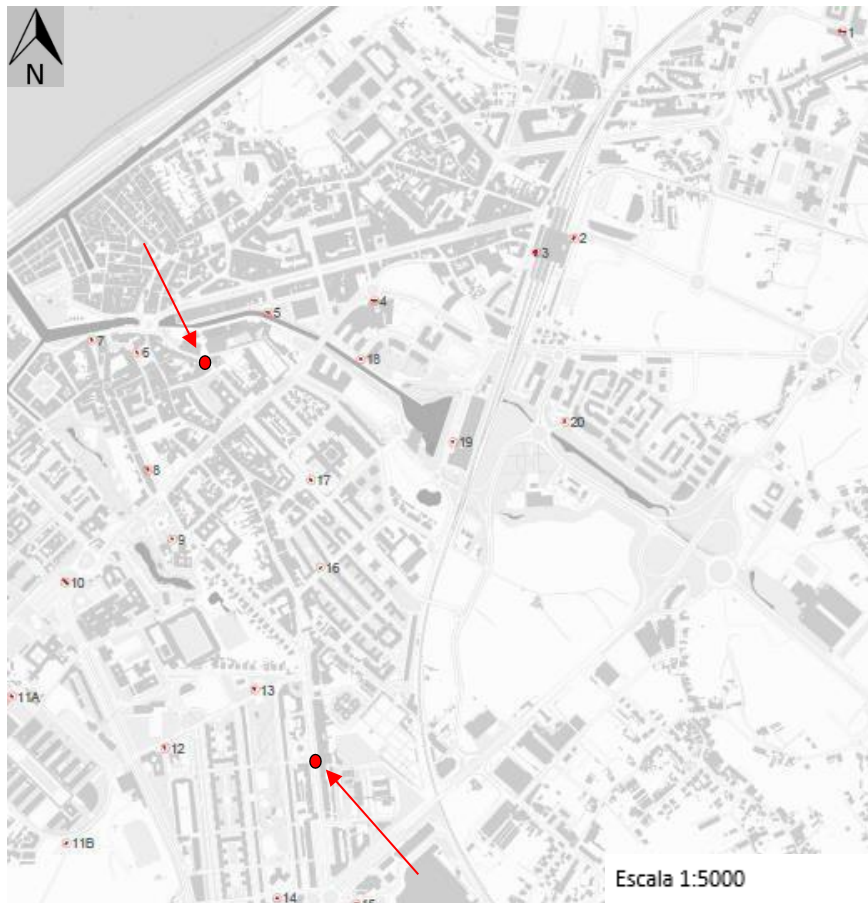


Figura 17 – Mapa do sistema com a localização das novas estações assinaladas a vermelho. Fonte:[31]

Para finalizar, no terceiro cenário foi estudada a hipótese de alterar a localização de duas estações, localizadas em sítios da cidade em que a procura de bicicletas poderá não ser a mais elevada, para locais onde se poderá responder a índices de procura mais elevados. As estações a alterar foram as seguintes:

- Estação nº6 para a Rua do Batalhão de Caçadores, de forma a aumentar a proximidade a locais como a Sé de Aveiro e o Fórum de Aveiro;
- Estação nº13 para a Rua Mário Sacramento, pois é uma rua que vários estudantes percorrem diariamente no seu caminho para a universidade e garantia também a proximidade ao Centro de Saúde de Aveiro.

No que diz respeito à obtenção dos dados relacionados com cada um dos cenários, foi essencial estabelecer um procedimento que permitisse ter uma carrinha a efetuar as várias paragens nas várias estações. Uma vez que não existe um método específico para este fim, foi necessário proceder de uma maneira diferente, mas igualmente eficaz.

Para tal, e de maneira a simular as várias estações existentes ao longo de toda a rede, foi utilizada a ferramenta “*Public Transport Stops*” [19]. No total, foram inseridas as 21 estações que fazem parte do sistema previsto inicialmente. Na figura 18 podemos observar a criação de uma das estações do sistema.

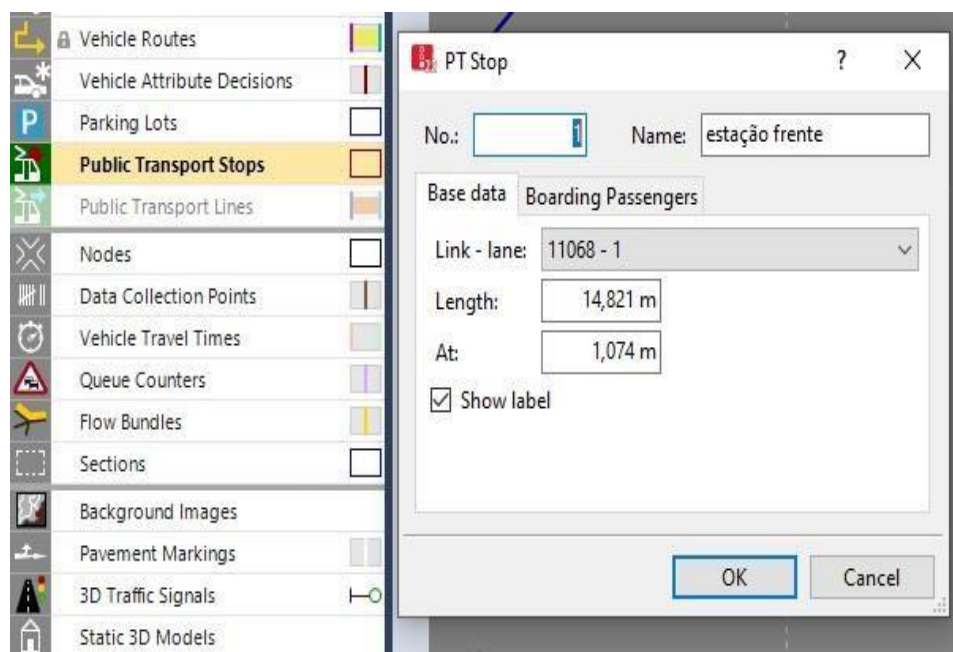


Figura 18- Ferramenta para criação de paragens de transportes públicos;

Após a criação de todas as estações, foi necessário utilizar outra ferramenta intitulada de “*Public transport lines*” [19], que serviu para descrever qual a rota a ser percorrido pela carrinha de reposição.

Count: 15	No	Name	EntryLink	DestLink	DestPos	EntTmOffset	VehType	DesSpeedDistr	Color
1	1		329	604	47,923	0,0	650: Carrinha	50: 50 km/h	(255, 255, 0, 2...
2	2		394	883	4,929	0,0	650: Carrinha	50: 50 km/h	(255, 255, 0, 2...
3	3		884	885	1,960	0,0	650: Carrinha	50: 50 km/h	(255, 255, 0, 2...
4	4		864	886	14,596	0,0	650: Carrinha	50: 50 km/h	(255, 255, 0, 2...
5	5		887	889	3,546	0,0	650: Carrinha	50: 50 km/h	(255, 255, 0, 2...
6	6		892	893	7,231	0,0	650: Carrinha	50: 50 km/h	(255, 255, 0, 2...
7	7		894	872	5,991	0,0	650: Carrinha	50: 50 km/h	(255, 255, 0, 2...
8	8		881	783	8,564	0,0	650: Carrinha	50: 50 km/h	(255, 255, 0, 2...
9	9		880	776	6,837	0,0	650: Carrinha	50: 50 km/h	(255, 255, 0, 2...
10	10		867	866	92,043	0,0	650: Carrinha	50: 50 km/h	(255, 255, 0, 2...
11	11		328	895	4,950	0,0	650: Carrinha	50: 50 km/h	(255, 255, 0, 2...
12	12		896	897	6,388	0,0	650: Carrinha	50: 50 km/h	(255, 255, 0, 2...
13	13		900	898	12,589	0,0	650: Carrinha	50: 50 km/h	(255, 255, 0, 2...
14	14		899	865	5,700	0,0	650: Carrinha	50: 50 km/h	(255, 255, 0, 2...
15	15		890	891	2,132	0,0	650: Carrinha	50: 50 km/h	(255, 255, 0, 2...

Figura 19 – Utilização da ferramenta para criação da rota da carrinha de reposição;

Foram então criadas 15 rotas de transportes públicos, sendo que todas começavam e terminavam numa das estações do sistema. Mas, contrariando o modelo pré-definido pelo software para esta ferramenta, foi necessário fazer uma pequena alteração na definição de todas estas rotas para que passassem a ser percorridas por uma carrinha e não por um autocarro para transporte de passageiros. Sendo que o VISSIM não possuía uma classe de veículos que simulasse uma carrinha, foi necessário fornecer ao sistema um exemplo dessa classe de veículos, que foi unicamente usada para este efeito. Foi ainda definida uma velocidade máxima, para este veículo em específico, de 50 km/h.

Após a configuração dos parâmetros de simulação, foi necessário configurar quais os dados a recolher do VISSIM e de que forma seria efetuada. Para tal, recorreu-se à ferramenta “*Evaluation Configuration*” [19], para que na secção “*Direct Output*” seja possível escolher as opções que permitem retirar os dados pertinentes para o estudo em questão. Na Figura 20 podemos observar que a recolha de dados será efetuada dos 600s aos 6000s, excluindo assim recolha de dados durante o período de aquecimento da rede.

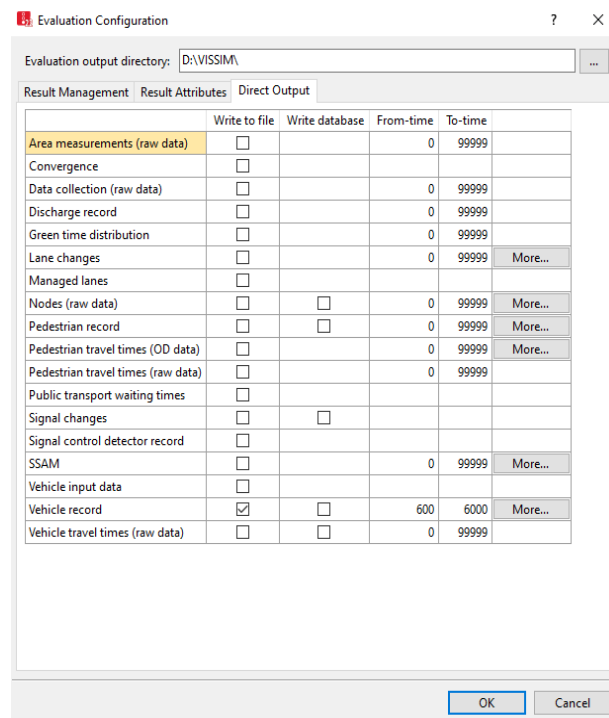


Figura 20 – Configuração da ferramenta “*Evaluation Configuration*” com os parâmetros desejados;

De seguida, foi necessário configurar os parâmetros de recolha de dados nos ficheiros de trajetória. Para isso, na figura 21, foram escolhidos quais os veículos em que seria pretendido retirar dados da simulação.

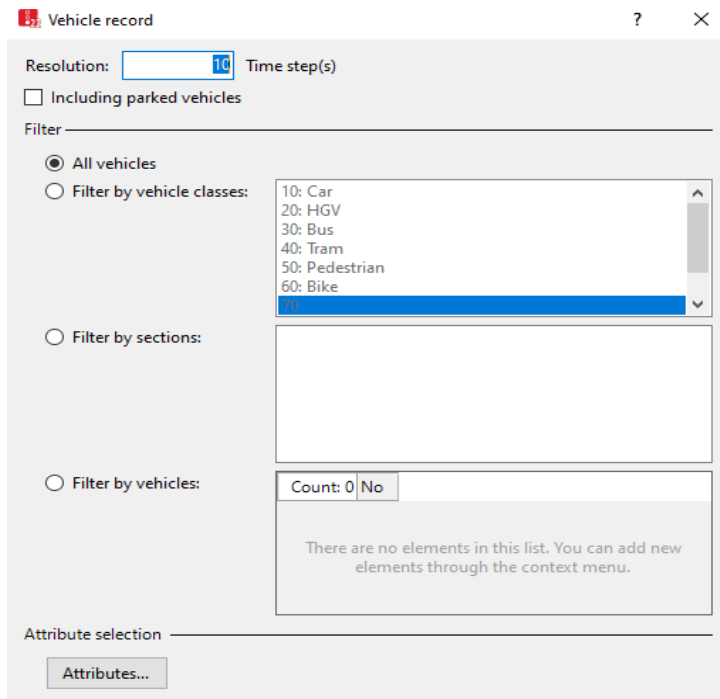


Figura 21 – Escolha da classe de veículos a obter dados;

A Figura 22 apresenta os atributos escolhidos para a saída de dados do modelo: o tempo de simulação (para verificar quanto tempo é que cada veículo permaneceu na rede), o número de cada veículo, o tipo de cada veículo, o número de cada link e ainda a velocidade instantânea de cada veículo.

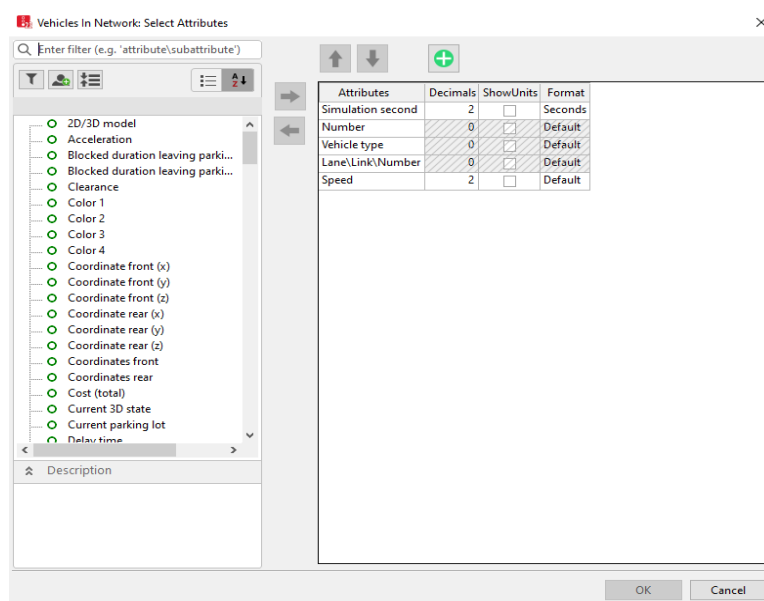


Figura 22 – Atributos escolhidos para saída de dados do modelo;

Na Figura 23 encontra-se descrito a preto a rota percorrida pela carrinha de reposição no cenário base. Esta rota foi estabelecida tendo por base a proximidade de cada estação, e sempre evitando ao máximo passagens pelos mesmos locais.

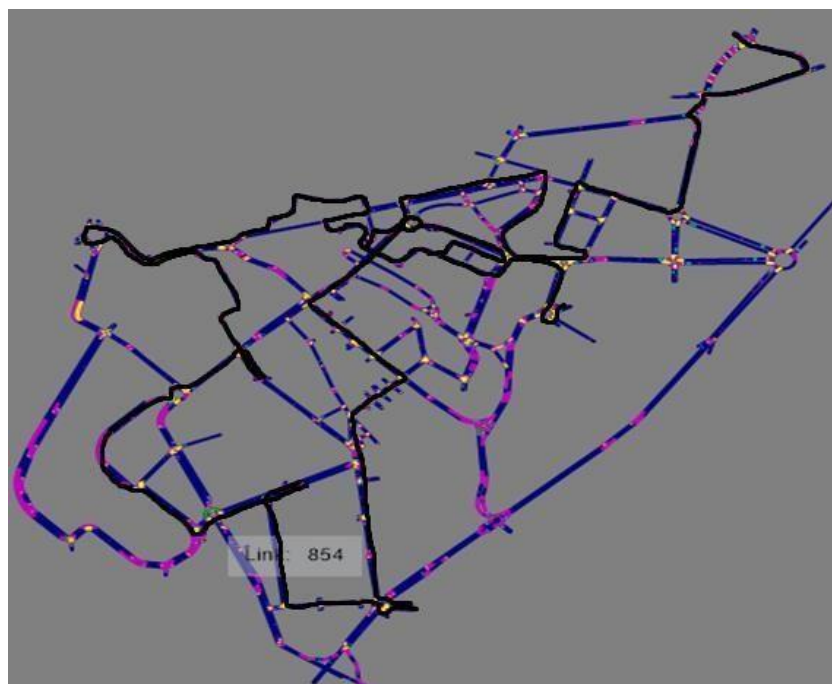


Figura 23 – Rota percorrida pela carrinha de reposição;

3.6. Estimação de emissões usando o modelo VSP

A potência específica do veículo (VSP) foi o método utilizado para estimar as emissões de escape de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de azoto (NO_x) e hidrocarbonetos (HC) de todos os carros que circulam na rede.

Este modelo foi proposto inicialmente por José Luis Jiménez-Palacios, em 1999, no Instituto de tecnologia de Massachusetts [7]. A potência específica do veículo, é definida como a potência instantânea por unidade de massa de um determinado veículo. A energia que é gerada pelo motor instantaneamente, é usada para superar a resistência ao movimento, a resistência aerodinâmica e para subir os valores de energia cinética e potencial do veículo. Calcula-se a partir do produto da velocidade instantânea pela sua aceleração, que inclui efeitos da inclinação do terreno e da resistência ao movimento, somado com um termo de coeficiente de arrasto que é proporcional ao cubo da velocidade [7]. Foram consideradas as emissões de segundo a segundo de veículos de passageiros a gasolina e gasóleo [22].

Este método apresenta várias vantagens quando é utilizado, tais como;

- 1) A potência específica é diretamente dimensionável, pois efetua uma estimativa de emissões com base em parâmetros do funcionamento do motor (velocidade e aceleração);
- 2) Incorpora efeitos de topografia da via na sua estimativa de emissões;
- 3) A potência específica ter-se mostrado como um parâmetro mais eficaz na estimativa de emissões de GEE [23].

A fórmula do VSP que será utilizada para estimar as emissões da carrinha de reposição é dada por:

$$VSP = v \cdot [1,1 \cdot a + 9,81 \cdot \sin(\arctan(\theta)) + 0,132] + 0,000302 \cdot v^3 \quad (3.2)$$

Onde v é a velocidade instantânea do veículo (m/s), a é a aceleração ou desaceleração instantânea do veículo (m/s²) e θ é a inclinação do terreno (fração decimal).

Os valores do VSP são categorizados em 14 modos, em que cada um está associado a um fator de emissão, em gramas por segundo, de CO₂, CO, NO_x e HC [24]. Para os veículos ligeiros, os respetivos 14 modos estão apresentados na *Tabela 5*. Encontram-se divididos em dois modos de desaceleração (1 e 2), um que representa situações em que o veículo se encontra imóvel ou circula a uma velocidade muito reduzida (3), enquanto os restantes (4 a 14) dizem respeito a combinações de acelerações positivas e velocidades [24][25].

Tabela 5 – Modos VSP. Fonte: [24].

Modo VSP	Valor VSP [kW/ton]
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	$VSP \geq 39$

Este modelo permite calcular as emissões segundo a segundo de cada veículo. Para calcular o valor de VSP, e de seguida obter o modo VSP respetivo, são necessários dados acerca da identificação de cada veículo, da sua velocidade instantânea e da inclinação a que está sujeito em todos os momentos em que está a circular na rede. Através do software usado nesta dissertação, é possível retirar todos os dados necessário para estimar as emissões de GEE acerca de todos os veículos. Estes ficheiros são extraídos em formato csv para que, de seguida, seja possível utilizar a equação (3.2) que associa cada valor de VSP a um modo usando a relação da Tabela 5. Uma vez tendo o modo VSP, faz depois corresponder a um valor de emissões para o CO₂, o NO_x e HC, usando os valores da Figura 24. Todo o código usado para esta estimação foi desenvolvido pela equipa de investigação de mobilidade inteligente do Departamento de Engenharia Mecânica.

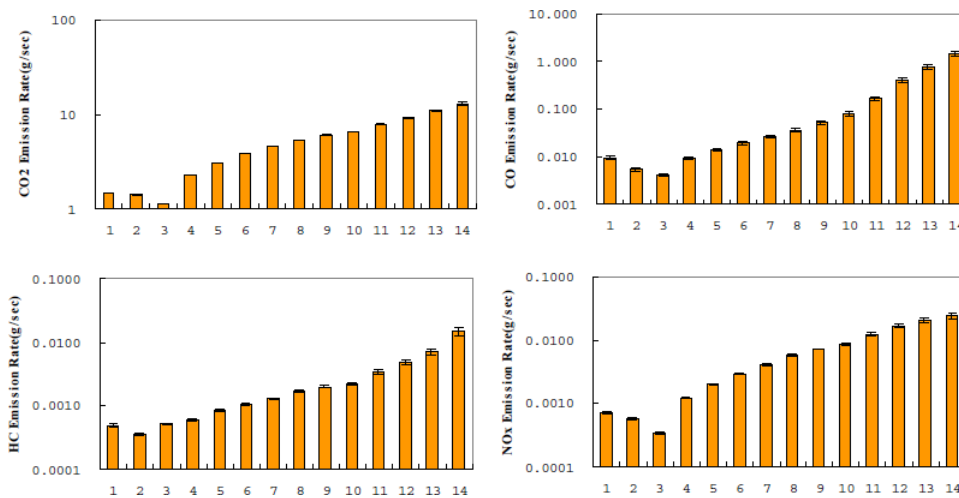


Figura 24 – Valor médio de taxa de emissões de CO₂, NO_x, CO e HC para os 14 modos VSP; Fonte: [25]

4. Apresentação e discussão de resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para a quantificação de emissões através do método apresentado anteriormente. Primeiramente, são apresentados valores relativos à criação de congestionamento, em cada uma das várias estações que constituem o sistema. Para realizar esta análise foi tido em conta o comprimento de fila que surge do reposicionamento de bicicletas. Seguidamente, são apresentados os valores de emissões estimadas pelo VSP, bem como as várias comparações e respetivas diferenças entre os vários cenários alternativos. São apresentados valores das emissões para as duas classes de veículos a circular na rede. Na Tabela 6, extraída do VISSIM, estão descritas as várias classes de veículos existentes no software. Para esta análise foram consideradas a classe 100, que diz respeito aos veículos ligeiros e ainda a classe 650, que não existia inicialmente, e foi adicionada ao software para que fosse possível simular uma carrinha a circular na rede.

Tabela 6. Classes de veículos existentes no VISSIM.

VEHICLE TYPE	NAME	CATEGORY
100	Car	Car
200	HGV	HGV
300	Bus	Bus
400	Tram	Tram
510	Man	Pedestrian
520	Woman	Pedestrian
610	Bike Man	Bike
620	Bike Woman	Bike
630	tempo_de_viagem	Car
650	Carrinha	Car

4.1. Emissão de gases de escape por classe de veículo

Neste primeiro subcapítulo, serão analisados dados sobre as emissões de gases de escape para as várias classes de veículos, ou seja, serão demonstrados não só valores para a carrinha de reposição, como para todos os veículos ligeiros. A carrinha, ao efetuar paragens em todas as docas do sistema, leva a que os veículos que circulem atrás dela também tenham de parar causando congestionamento na rede e, por vezes, levando à criação de filas de trânsito nesses locais. Para as várias análises foram calculadas as diferenças relativas, entre os valores de emissões obtidos para os cenários alternativos face ao cenário base. Estes valores foram obtidos através da seguinte formula:

$$e (\%) = \frac{A - B}{B} \times 100 \quad (4.1)$$

Onde e é a diferença relativa (%), A o valor obtido que está a ser comparado ao valor B , de referência.

Como referido nos capítulos anteriores, o *Vehicle Specific Power* (VSP) foi o método escolhido para cálculo das emissões de cada veículo a circular na simulação em questão. Para realizar o cálculo em questão, o VSP utiliza a velocidade instantânea de cada veículo, assim como a aceleração e o declive da estrada em que ele circula. Após o cálculo do valor de VSP (kW/ton), este é associado a um modo VSP, que, dependendo das características do veículo, é associado a uma determinada quantidade de emissões. Para esta análise serão consideradas as emissões de escape de dióxido de carbono (CO_2), monóxido de azoto (NO_x) e hidrocarbonetos (HC) por veículo e km percorrido. Quando a carga do motor aumenta, a formação de dióxido de carbono (CO_2) tende a aumentar, devido a um maior consumo de combustível. O monóxido de azoto (NO_x) é geralmente formado em momentos em que nos deslocamos com menor velocidade ou com mais acelerações/desacelerações, enquanto os Hidrocarbonetos (HC) proveem da evaporação do combustível e também de reações químicas de gases não queimados no escape [26].

Começando pela classe de veículos ligeiros, e para uma distância média percorrida de 2,5 km para todos os cenários, os valores de referência (cenário base) são apresentados na Tabela 7. Observando o valor base para as emissões de CO_2 , este encontra-se acima da média europeia (143 g/km) [27] estabelecida desde 2014 até 2018, e ainda mais distante do objetivo (95 g/km) [28] estabelecido para novos carros no ano de 2020.

Como seria de esperar, os valores de emissões para os veículos ligeiros não diferem muito entre os vários cenários pois o que difere entre eles é o número de paragens da carrinha de reposição. Contudo, a maior diferença relativa (0,12%) ocorre para as emissões de NO_x , no segundo cenário, sugerindo que os vários veículos foram sujeitos a várias acelerações/desacelerações uma vez que o monóxido de azoto é geralmente proveniente destas situações [26].

Tabela 7. Diferenças relativas nas emissões de GEE face ao cenário base, para o período da manhã, para a classe de veículos ligeiros.

Cenário	CO ₂ (g/km)	NO _x (mg/km)	HC (mg/km)
Base	183,86	443,53	34,93
Alternativo 1	-0,02%	-0,01%	-0,01%
Alternativo 2	0,04%	0,12%	0,04%
Alternativo 3	0,02%	0,01%	0,03%

Em relação ao período da tarde, encontra-se descrito na Tabela 8 os valores de emissões considerados para o cenário base e as respetivas diferenças relativas para os vários cenários alternativos face ao inicial. Todos estes cálculos foram efetuados considerando uma distância média percorrida por cada veículo ligeiro de 2,1 km. O valor de base para as emissões de CO₂ é bastante similar ao do período da manhã, logo também se encontra acima da média europeia (143 g/km) [27] desde 2014 até 2018. Embora seja um pouco inferior ao valor para o período descrito anteriormente, também se encontra bastante longe do objetivo (95 g/km) estabelecido para o ano de 2020.

Os valores de emissões respetivos a cada cenário alternativo não diferem muito do cenário base, uma vez que o objetivo com o estabelecimento destes cenários era perceber qual a influência que a carrinha de reposição terá quando se alteram parâmetros como o número de estações e/ou a sua localização. Posto isto, a diferença mais acentuada acontece no primeiro cenário alternativo, para as emissões de Hidrocarbonetos (HC) em que difere 0,09% do cenário base.

Tabela 8. Diferenças relativas nas emissões face ao cenário base, para o período da tarde, para a classe de veículos ligeiros.

Cenário	CO ₂ (g/km)	NO _x (mg/km)	HC (mg/km)
Base	183,61	446,53	34,84
Alternativo 1	-0,06%	0,02%	-0,09%
Alternativo 2	0,08%	0,05%	0,06%
Alternativo 3	0,04%	-0,05%	-0,02%

Iniciando a análise para a classe de veículos 650, da carrinha de reposição, e começando pelo período da manhã, na Tabela 9 encontramos os valores base para as emissões dos GEE escolhidos e ainda as respetivas diferenças relativas face ao cenário base.

Tabela 9. Diferenças relativas nas emissões de GEE face ao cenário base, para o período da manhã, para a classe de veículos da carrinha.

Cenário	CO ₂ (g/km)	NO _x (mg/km)	HC (mg/km)
Base	251,9	1237,9	11,5
Alternativo 1	-7,5%	-7,3%	-9,4%
Alternativo 2	3,9%	4,3%	2,5%
Alternativo 3	0,5%	1,2%	0,8%

Observa-se que os valores de referência para esta classe de veículos são superiores aos valores obtidos para a classe anterior. Contudo, percebe-se que existiu uma alteração de certos parâmetros uma vez que as diferenças relativas são maioritariamente superiores a 1%, contrariamente ao que tinha sido observado anteriormente.

Estes cálculos foram efetuados para uma distância média percorrida pela carrinha de reposição de 13,2 km. Este valor de emissões de CO₂ encontra-se acima do objetivo (147 g/km) para novas “Vans” [28]. Mas, olhando para um sistema de bicicletas como um meio de transporte, e comparando com os valores médios de emissões europeus desde 2014 até 2018 [28], para os vários modos de transporte, as emissões de CO₂ da carrinha de reposição aproximam-se mais do valor para comboios de passageiros (33 g/km). Mostrando assim a possibilidade de equiparar a utilização deste sistema de partilha de bicicletas à utilização de um meio de transporte convencional. Porém, num estudo conduzido no ano de 2014, que analisa a média de emissões de CO₂ por ocupante [29] entre os vários meios de transporte, a média para as bicicletas é de 0 gramas de CO₂ por passageiro-quilómetro. Este valor não inclui as emissões provenientes do reposicionamento, que terá de existir em qualquer sistema de partilha de bicicletas com estações fixas, provando mais uma vez a relevância deste estudo para obtenção de um valor global de emissões para estes sistemas.

No primeiro cenário alternativo, ou seja, quando se removem duas estações do sistema, observa-se uma diminuição em todos os GEE, mais acentuada nos Hidrocarbonetos (9,4%). Estes resultados vão de encontro ao que seria de esperar pois, diminuindo as paragens que esta carrinha teve de efetuar ao longo da simulação, vamos estar a diminuir situações de desaceleração/aceleração que levam a taxas de emissões superiores.

Em relação ao segundo cenário alternativo, onde o sistema tem mais duas estações, os valores de emissões para a carrinha de reposição aumentam comparativamente ao cenário base. Algo que seria de esperar pois, olhando para o que foi constatado no parágrafo anterior, mas de um ponto de vista oposto, será de esperar que a taxa de emissões seja superior quando aumentamos as situações de desaceleração/aceleração de um veículo.

Por último, foi no terceiro cenário alternativo onde ocorreram as alterações menos significativas, sendo no NO_x onde aconteceu a maior diferença face ao cenário de referência. Percebe-se então que, ao alterar a localização de duas estações do sistema para locais em que a distância percorrida pela carrinha de reposição quase não sofre alterações, mas onde as estações poderão estar mais afetadas pela procura, não vamos estar a aumentar a influência do sistema para a taxa de emissões globais da cidade. Num destes locais, o reposicionamento será efetuado com paragem fora da via de trânsito, algo que não se verificava nas duas localizações anteriores. Posto isto, estaremos não só a melhorar os níveis de satisfação de procura, mas também a diminuir o congestionamento na rede ao eliminar um ponto onde a reposição causaria uma fila atrás da carrinha.

Na Tabela 10 encontram-se os valores considerados de referência para o período da tarde, assim como as respetivas diferenças relativas face a esse mesmo período. A partir de um estudo efetuado para 5 cidades portuguesas concluiu-se que o hora de ponta da manhã é consideravelmente mais suportável em termos de congestionamento de rede, quando comparado com a hora de ponta da tarde (43% em comparação com 52%) [30]. Por isso, será de esperar que as diferenças relativas para os vários cenários sejam mais acentuadas para o período da tarde.

Tabela 10. Diferenças relativas nas emissões de GEE face ao cenário base, para o período da tarde, para a classe de veículos da carrinha.

Cenário	CO ₂ (g/km)	NO _x (mg/km)	HC (mg/km)
Base	252,1	1240,2	11,6
Alternativo 1	-10,0%	-9,8%	-16,7%
Alternativo 2	3,4%	3,7%	0,8%
Alternativo 3	-2,9%	-2,8%	-7,7%

Olhando para as diferenças relativas consegue-se perceber que, neste período de observação, a remoção de duas estações tem uma influência superior face às diferenças obtidas para o período da manhã. Neste primeiro cenário alternativo, ocorreu uma diminuição acentuada (-16,7%) nas emissões de Hidrocarbonetos (HC).

Para o segundo cenário alternativo, é mais perceptível que o aumento das emissões de NO_x esteja diretamente relacionado com o aumento de situações de desaceleração/aceleração [26] pois é onde ocorre o aumento mais significativo (3,7%). Este aumento está diretamente associado ao facto de ser neste cenário que a carrinha efetua mais paragens para reposições, levando a um aumento do nível de congestionamento da cidade causado por este elevado número de paragens face aos restantes cenários.

Contrariamente ao que havia sido observado para o período da manhã no terceiro cenário alternativo, para o período da tarde este será o melhor cenário alternativo em termos de influência global para o bom funcionamento da cidade de Aveiro. Algo que é sustentado pelo facto de ocorrerem diminuições das taxas de emissões de todos os GEE, enquanto estamos a melhorar a localização de algumas estações do sistema para que seja possível responder a toda a procura esperada.

Após a análise dos vários cenários alternativos, percebeu-se a influência que o aumento/diminuição do número de estações tem nos valores de emissões da carrinha de reposição. Ao remover docas do sistema, vamos conseguir diminuir as emissões globais de GEE pois estaremos a diminuir as situações de desacelerações/acelerações que ocorrem quando é efetuada a reposição numa estação. Logo, aumentando o número de estações a conclusão retirada é contrária à descrita anteriormente. Pois, ao aumentar este número estaremos a aumentar possíveis situações de paragens e arranques dos vários veículos causando um aumento não desejável das emissões globais da rede.

Analisando o impacto da alteração da localização de certas estações, percebeu-se que a sua influência não é tão relevante quando comparada ao aumento/diminuição do número de estações. Se a alteração de localização não for muito drástica em termos de distância, for efetuada com o intuito de aumentar o área de influência do sistema ou para aumentar os níveis de satisfação de procura, não ocorrerá grande influência no nível de emissões globais.

4.2. Criação de filas de trânsito

Um indicador que será bastante interessante para o trabalho em questão é a criação de filas de trânsito, em locais onde a carrinha tem de efetuar a reposição parando na via de trânsito. Para que a carrinha de reposição consiga efetuar a reposição em cada doca, necessita sempre de parar junto à estação em que o pretende fazer. Foi então efetuada uma análise tendo em conta estacionamentos ou pequenas zonas de paragem que se situem perto das docas do sistema. Quando foi definida a rota a ser efetuada pela carrinha, foi tido em conta que, por vezes, esta terá de efetuar a reposição na via de trânsito principal, dando origem a filas de trânsito. Estas causam um aumento dos momentos em que nos deslocamos a velocidades mais reduzidas e ainda das situações de pára-arranca quando estamos numa fila, dando origem a uma maior taxa de emissões de GEE, principalmente de NO_x que está diretamente relacionado com estes momentos [28]. Na maioria das estações do sistema é possível efetuar esta paragem fora da via de trânsito, contudo é importante perceber em quais destes pontos é que isso não acontece pois esses serão pontos críticos.

Será efetuada uma comparação entre cada cenário, dentro de cada período de observação. Observando os resultados obtidos ao nível da criação de filas de trânsito para o período da manhã, na Tabela 11 percebe-se quais as docas onde a reposição de bicicletas tem de ser efetuada na via de trânsito, pois não se localizam perto de nenhum parque de estacionamento ou de nenhuma zona de paragem.

Na primeira linha da Tabela 11, são apresentados os valores que serão considerados como referência no cálculo das diferenças relativas para os cenários alternativos.

Para o cenário alternativo 1, onde duas das estações iniciais foram removidas, facilmente se percebe que, com base nas diferenças relativas para as várias docas, os comprimentos de fila diminuem face ao cenário base. Em relação à estação nº9 e nº13, como foram as duas escolhidas para serem removidas do sistema neste cenário, foram considerados valores absolutos de comprimento de fila de 0,1m para evitar indeterminações nos cálculos. Note-se que este valor é inferior ao comprimento de um carro, pelo que é um valor razoável para se assumir artificialmente nos cálculos das diferenças relativas e absolutas. Logo, a partir da Tabela 12, conseguimos perceber que ao remover essas duas estações do sistema, estamos a eliminar quase por completo a fila que estava a ser criada ao efetuar a reposição nessas docas. Uma diminuição no comprimento de fila está diretamente associada a uma diminuição no valor de emissões, pois os veículos encontram-se em menos situações em que se deslocam a velocidades muito reduzidas e em momentos de constante “pára-arranca” causados pela fila.

Em relação ao segundo cenário alternativo, foram adicionadas duas estações, mas apenas na 1ª nova estação (localizada na Rua Mário Sacramento) é que a paragem terá de ser efetuada na via de trânsito. Verifica-se um aumento geral no comprimento de fila, que é sustentado pelas diferenças relativas apresentadas na terceira linha da Tabela 11. Em relação à nova localização, e considerando para o cenário base um comprimento de fila nesse ponto de 0,1m, conseguimos perceber que o comprimento de fila aumentou 33,5m nesse ponto face ao cenário inicial. Contrariamente ao que foi observado para o primeiro cenário alternativo, este possui mais um ponto crítico, logo será um cenário em que os valores de emissões estarão mais altos quando comparados com o primeiro.

Para o terceiro cenário alternativo, ocorreu um aumento no comprimento de fila de trânsito em cada doca, embora não tão significativo como no cenário alternativo anterior. Ao alterar a localização de duas estações, estamos a remover um ponto onde seria impossível efetuar a reposição de bicicletas sem ser na via de trânsito. Considerando um valor de 0,1m de comprimento de fila para a nova estação no cenário base, observou-se um aumento absoluto de 27,1m neste ponto. Ou seja, com este cenário alternativo, conseguimos remover um ponto onde a reposição era crítica, originando também uma diminuição no valor de emissões associada à reposição de bicicletas nesse ponto.

Tabela 11. Diferenças relativas (%) de comprimentos de fila nos pontos críticos, face ao cenário base para o período da manhã.

Cenário	Estação n°6 (m)	Estação n°9 (m)	Estação n°13 (m)	Estação n°16 (m)	Estação n°18 (m)	1ª Estação nova (m)
Base	94,4	142,1	13,1	45,2	50,4	0,1
Alternativo 1	-15,9%	-99,9%	-99,2%	-2,6%	-15,5%	n/a
Alternativo 2	18,6%	6,3%	33,6%	25,0%	17,5%	n/a
Alternativo 3	5,9%	-99,9%	-99,2%	7,6%	9,6%	n/a

Tabela 12. Diferenças absolutas (m) de comprimento de fila nos pontos críticos, face ao cenário base no período da manhã.

Cenário	Estação n°6 (m)	Estação n°9 (m)	Estação n°13 (m)	Estação n°16 (m)	Estação n°18 (m)	1ª Estação nova (m)
Base	94,4	142,1	13,1	45,2	50,4	0,1
Alternativo 1	-14,9	-142	-13	-1,2	-7,8	0
Alternativo 2	17,6	8,9	4,4	11,3	8,8	33,5
Alternativo 3	5,5	-142	-13	3,4	4,8	27,1

De uma forma geral, e com base nos valores analisados no subcapítulo anterior, confirma-se que, quanto menor for o comprimento de fila, menor será a taxa de emissão de GEE.

Para o período da tarde foram obtidos os seguintes valores de comprimento de fila para o cenário base e respetivas diferenças relativas face a esse cenário (Tabela 13).

Começando por analisar as diferenças de comprimento de fila para o primeiro cenário alternativo, percebe-se que ocorreu uma diminuição para todos os pontos críticos de reposição. Mais uma vez, como as estações a serem removidas são as mesmas para os vários períodos de análise, neste caso também foi considerado que o comprimento de fila nesses pontos seria de 0,1m para evitar indeterminações nos cálculos. Recorrendo à Tabela 13, confirma-se que ao remover estas duas estações do sistema (estação nº9 e nº13) estamos a eliminar dois pontos críticos de criação de fila e por consequência a reduzir 10,9% o valor de emissões de CO₂, 10,7% o de NO_x e ainda 15,8% no valor de emissões de HC.

Em relação ao segundo cenário alternativo, e analisando tanto a Tabela 13 como a Tabela 14, conseguimos perceber que existe um aumento no comprimento de fila em cada uma das estações. Neste cenário são implementadas duas novas estações, mas apenas uma delas é crítica com um comprimento de fila de 21,3 metros. Contudo, nota-se um aumento de 4,9% no valor de emissões de CO₂, 5,2% no de NO_x e ainda 2,4% no valor de emissões de HC

Em relação ao terceiro cenário alternativo, onde a localização de dois pontos críticos é alterada, estamos perante um aumento não tão crítico como no segundo cenário. Ao alterar a localização de duas docas, conseguimos ficar com menos uma fila de trânsito neste cenário.

Tabela 13. Diferenças relativas (%) de comprimento de fila nos pontos críticos, face ao cenário base no período da tarde.

Cenário	Estação nº6 (m)	Estação nº9 (m)	Estação nº13 (m)	Estação nº16 (m)	Estação nº18 (m)	1º estação nova (m)
Base	90,9	61,5	11,7	29,9	34,8	0,1
Alternativo 1	-6,0%	-99,8%	-99,1%	-23,1%	-15,0%	n/a
Alternativo 2	10,6%	11,3%	59,4%	55,5%	45,7%	n/a
Alternativo 3	1,8%	8,0%	7,9%	3,0%	12,7%	n/a

Tabela 14. Diferenças absolutas (m) de comprimento de fila nos pontos críticos, face ao cenário base no período da tarde.

Cenário	Estação nº6 (m)	Estação nº9 (m)	Estação nº13 (m)	Estação nº16 (m)	Estação nº18 (m)	1º estação nova (m)
Base	90,9	61,5	11,7	29,9	34,8	0,1
Alternativo 1	-5,4	-61,4	-11,6	-6,9	-5,2	0,0
Alternativo 2	9,6	7,0	7,0	16,6	15,9	21,3
Alternativo 3	1,7	-61,4	-11,6	0,9	4,4	25,7

Após a análise de todos os comprimentos de fila para os dois períodos de análise de dados, facilmente se percebe que, efetuando uma análise tendo por base os valores de emissões obtidos no subcapítulo anterior, que uma diminuição do comprimento de fila está diretamente relacionada com uma diminuição das taxas de emissão de GEE. Nota-se também que, apesar de o nível de congestionamento da rede tender a ser inferior no período da manhã, foi nesse período que foram obtidos os maiores valores absolutos de comprimento de fila. Sugerindo que, para a análise do indicador em questão, este pressuposto não se verificou.

5. Conclusões e trabalhos futuros

Ao longo de toda esta dissertação, o objetivo definido foi de tentar perceber qual será a influência que um sistema de partilha de bicicletas terá nas emissões de uma cidade, com especial foco no sistema de reposicionamento a ser efetuado por uma carrinha. Para que este objetivo fosse cumprido, começou-se a recolher dados sobre volumes de tráfego a afetar certos pontos estratégicos da cidade em questão. Nos pontos onde não foi possível efetuar esse estudo, através da plataforma AveiroOpenLabs foi fornecido os restantes valores para que fosse possível ter uma simulação bastante próxima da realidade. Esta simulação foi efetuada utilizando o software de simulação de tráfego VISSIM. De forma a avaliar as emissões da carrinha de reposição e do sistema num todo, foram então retirados do software dados, de segundo a segundo, sobre os valores de velocidade, link em que circula nesse segundo e ainda qual a sua classe de veículos, para que fosse possível estimar as emissões da rede global utilizando o modelo VSP.

Neste último capítulo, pretende-se avaliar e comparar os objetivos estabelecidos inicialmente com os resultados obtidos em todos os capítulos anteriores. Para estas comparações foram estabelecidos cenários alternativos para obtenção de dados, em que valores como o número de estações ou a sua localização na cidade foram modificados para que se percebesse a sua influência nos valores de emissões de GEE.

Posto isto, os resultados obtidos após a realização deste trabalho permitem retirar certas conclusões acerca da utilização de uma carrinha para efetuar a reposição de bicicletas. São elas:

- O aumento ou diminuição do número de estações do sistema tem influência direta no aumento ou diminuição das taxas de emissões globais da rede. Verificou-se que ao remover certas estações, em localizações em que a procura poderá ser reduzida, estamos a diminuir a taxa de emissões associada à carrinha de reposição em 8,91% para CO₂, em 8,69% para o NO_x e em 10,32% para o HC para o período da manhã. Para o período da tarde, a redução foi de 10,89% para CO₂, 10,72% para o NO_x e de 15,83% para o HC. Ao aumentar o número de estações do sistema, tentando aumentar a sua área de utilização e tentando também responder melhor à procura esperada, surgiram aumentos de 5,40% para o CO₂, 5,93% para o NO_x e 4,08% para o HC para o período da manhã. Para o período da tarde notou-se um aumento de 4,90% para CO₂, em 5,22% para o NO_x e de 2,38% para o HC;
- A alteração da localização de certas estações para locais onde a procura poderá ser mais elevada, mas mantendo o número de estações do sistema, não levou a uma grande diferença no valor das emissões da carrinha pois, nessas novas localizações, não ocorre a criação de filas de trânsito significativas comparativamente às que eram criadas ao efetuar reposição de bicicletas nas localizações anteriores;
- Quando comparadas as alterações efetuadas nos dois períodos percebeu-se que estas têm maior influência no período da tarde, concluindo que é neste período que a rede se poderá encontrar mais congestionada. Com a carrinha a efetuar as devidas paragens para reposição neste período mais congestionado, levará a um aumento do

congestionamento da rede e por conseguinte a um aumento nos valores de emissões associadas a este período;

- As variadas paragens da carrinha de reposição, em certas estações, originam filas de trânsito pois essa paragem poderá ter de ser realizada na via de trânsito principal. Ao criar estes hotspots de congestionamento, ocorrerá um aumento das situações em que os veículos se deslocam a baixas velocidades, e ainda dos momentos de desaceleração/aceleração. Ao aumentar o número de vezes que estas duas situações acontecem, vamos estar a aumentar diretamente as emissões dos poluentes em geral. Mais concretamente, vamos estar a aumentar as emissões de NO_x que se encontram diretamente relacionadas com estas situações descritas anteriormente;
- Deverá ser conduzido um estudo acerca da localização das várias estações, de forma que seja possível escolher locais onde o reposicionamento de bicicletas pode ser efetuado sem a criação de filas de trânsito, pois esta criação é uma das razões que leva ao aumento das taxas de emissões de GEE.

Este trabalho permitiu analisar a influência que, um sistema que é normalmente relacionado com boas práticas ambientais, poderá ter nas taxas de emissões globais de uma cidade com um sistema de partilha de bicicletas em funcionamento. Nesta dissertação, foi possível perceber que o aumento/diminuição do número de estações e a sua alteração de localização são os parâmetros que acarretam maior peso e influência no funcionamento de um sistema deste género. Assim, é possível afirmar que ao aumentarmos o número de estações, podemos estar a aumentar a área de utilização do sistema, mas estaremos sempre a aumentar a taxa de emissões associada ao sistema de reposicionamento. Antes de aumentar ou diminuir o número de docas, deverá ser feita uma análise acerca dos possíveis pontos onde poderá haver maior procura de bicicletas. Em paralelo com a análise anterior, deve se efetuar um estudo sobre se esses mesmos pontos onde existirá uma maior procura são também indicados para efetuar a reposição, pois como concluído anteriormente a criação de filas de trânsito é uma das razões para as taxas de emissões de GEE aumentarem.

Tendo em conta os vários desafios que existem no setor dos transportes, a criação e desenvolvimento de boas práticas com objetivo de redução de emissões tem sempre uma importância elevadíssima. Apesar de os resultados obtidos permitirem retirar algumas conclusões demonstrativas do potencial destes sistemas, este foi realizado com algumas limitações, tais como: apenas foram analisados veículos ligeiros a circular na rede, descartando o impacto de transporte públicos, veículos de duas rodas e outros veículos de transporte de passageiros; o método utilizado para simular as paragens efetuadas pela carrinha na simulação não foi o mais acertado, uma vez que o software não permite estabelecer uma rota fixa apenas para uma classe de veículos em que este poderá efetuar paragens em qualquer ponto definido inicialmente; conhecimentos mais maduros acerca do software utilizado poderiam ter potencializado a rede no geral.

Existem possíveis estudos futuros que ajudarão numa melhor compreensão acerca da influência deste tipo de sistemas numa cidade, tais como:

- Efetuar um estudo prévio da procura em cada uma das estações definidas inicialmente;
- Incluir na rede desenvolvida no VISSIM não só peões, mas também bicicletas, transportes públicos e ainda veículos de transporte ocasional;
- Efetuar um estudo para outro período temporal, e alargar o horizonte temporal definido para que os dados dos volumes de tráfego sejam mais robustos;
- Efetuar um estudo semelhante para outro período do ano, conseguindo perceber se a sazonalidade poderá ter influência no congestionamento da rede;
- Estudar a hipótese de a reposição ser efetuada por mais que uma carrinha, e/ou em períodos diferentes do dia;
- Estudar a hipótese de criação de um algoritmo de reposição, que permita perceber qual será a melhor rota a percorrer, qual o melhor horário para a efetuar e que englobe fatores em tempo real de congestionamento e de procura nas várias docas do sistema.

6. Referências bibliográficas

- 1 R. van der Zee, “Story of cities #30: how this Amsterdam inventor gave bike-sharing to the world | Cities | The Guardian,” Apr. 26, 2016. <https://www.theguardian.com/cities/2016/apr/26/story-cities-amsterdam-bike-share-scheme> (accessed Feb. 08, 2022).
- 2 J. Ploeger and R. Oldenziel, “The sociotechnical roots of smart mobility: Bike sharing since 1965,” *The Journal of Transport History*, vol. 41, pp. 134–159, 2020, doi: 10.1177/0022526620908264.
- 3 L. D’Almeida, T. Rye, and F. Pomponi, “Emissions assessment of bike sharing schemes: The case of Just Eat Cycles in Edinburgh, UK,” *Sustain Cities Soc*, vol. 71, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.scs.2021.103012.
- 4 U. von der Leyen, “A Union that strives for more My agenda for Europe,” *European Commission*, Jul. 2019.
- 5 “Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development,” Oct. 2015.
- 6 A. Pal and Y. Zhang, “Free-floating bike sharing: Solving real-life large-scale static rebalancing problems,” *Transp Res Part C Emerg Technol*, vol. 80, pp. 92–116, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.trc.2017.03.016.
- 7 J. Luis Jiménez-Palacios, “Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing,” 1999.
- 8 Y. Wang and S. Sun, “Does large scale free-floating bike sharing really improve the sustainability of urban transportation? Empirical evidence from Beijing,” *Sustain Cities Soc*, vol. 76, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.scs.2021.103533.
- 9 I. Frade, A. Ribeiro, D. Dias, and O. Tchepel, “Bike sharing systems implementation impact on emissions, for cyclist preferred routes in urban areas,” *Int J Sustain Transp*, 2021, doi: 10.1080/15568318.2021.1949076.
- 10 R. J. Bonilla-Alicea, B. C. Watson, Z. Shen, L. Tamayo, and C. Telenko, “Life cycle assessment to quantify the impact of technology improvements in bike-sharing systems,” *J Ind Ecol*, vol. 24, no. 1, pp. 138–148, Feb. 2020, doi: 10.1111/jiec.12860.
- 11 M. Kaspi, T. Raviv, M. Tzur, and H. Galili, “Regulating vehicle sharing systems through parking reservation policies: Analysis and performance bounds,” *Eur J Oper Res*, vol. 251, no. 3, pp. 969–987, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.ejor.2015.12.015.
- 12 X. Zheng, M. Tang, Y. Liu, Z. Xian, and H. H. Zhuo, “Repositioning bikes with carrier vehicles and bike trailers in bike sharing systems,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 16, Aug. 2021, doi: 10.3390/app11167227.
- 13 Y. Wang and W. Y. Szeto, “Static green repositioning in bike sharing systems with broken bikes,” *Transp Res D Transp Environ*, vol. 65, pp. 438–457, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.trd.2018.09.016.
- 14 “Manual de boas práticas para uma mobilidade sustentável,” 2010.
- 15 “A BUGA vai regressar a Aveiro com 200 bicicletas partilhadas,” 2019. <https://www.motor24.pt/pt-mobi-summit/a-buga-vai-regressar-a-aveiro-com-200-bicicletas-partilhadas/661231/> (accessed Apr. 19, 2022).
- 16 “CM AVEIRO AVANÇA COM A ‘BUGA 2’ | Câmara Municipal de Aveiro,” 2019. <https://www.cm-aveiro.pt/municipio/comunicacao/noticias/noticia/cm-aveiro-avanca-com-a-buga-2> (accessed Apr. 19, 2022).
- 17 “AveiroOpenLab,” 2021. <https://www.ubiwhere.com/pt/noticias/universidade-de-aveiro-acolhe-novo-espaco-tecnologico-e-inovador-concebido-pela-ubiwhere> (accessed Jul. 13, 2022).
- 18 M. Figueiredo, Á. Seco, and A. B. Silva, “Calibration of microsimulation models - The effect of calibration parameters errors in the models’ performance,” in *Transportation Research Procedia*, 2014, vol. 3, pp. 962–971. doi: 10.1016/j.trpro.2014.10.076.
- 19 *PTV VISSIM 9 - Guia Prático*. 2016.
- 20 Dowling R, Skabardonis A, and Alexiadis V, “Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software,” 2004.
- 21 Winnie D, Christine B, and S. P., *Traffic Simulation and Data: Validation Methods and Applications*. 2014.
- 22 M. C. Coelho, H. C. Frey, N. M. Roupail, H. Zhai, and L. Pelkmans, “Assessing methods for comparing emissions from gasoline and diesel light-duty vehicles based on microscale measurements,” *Transp Res D Transp Environ*, vol. 14, no. 2, pp. 91–99, 2009, doi: 10.1016/j.trd.2008.11.005.

- 23 I. Kolak, O. Feyzioğlu, S. İlker Birbil, N. Noyan, and S. Yalçındağ, “USING EMISSION FUNCTIONS IN MODELING ENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE TRAFFIC ASSIGNMENT POLICIES.”
- 24 A. and R. Computational Laboratory for Energy, “Methodology for Developing Modal Emission Rates for EPA’s Multi-Scale Motor Vehicle and Equipment Emission System,” Raleigh, Oct. 2002.
- 25 H. C. Frey, A. Unal, J. Chen, and S. Li, “Evaluation and Recommendation of a Modal Method for Modeling Vehicle Emissions,” 2002.
- 26 H. S. Chong, S. Kwon, Y. Lim, and J. Lee, “Real-world fuel consumption, gaseous pollutants, and CO2 emission of light-duty diesel vehicles,” *Sustain Cities Soc*, vol. 53, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.scs.2019.101925.
- 27 C. Brauer and P. Scholten, “Methodology for GHG Efficiency of Transport Modes Final Report,” 2020. [Online]. Available: <http://www.isi.fraunhofer.de>
- 28 Margarida Coelho, “Slides referentes à Unidade Curricular: Energia, Mobilidade e Transportes,” 2021.
- 29 M. Tomescu, “Transitions towards a more sustainable mobility system TERM 2016: Transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe,” 2016.
- 30 Circula seguro, “Congestionamentos: as horas perdidas,” Sep. 24, 2021. <https://www.circulaseguro.pt/evitar-congestionamentos/> (accessed Oct. 30, 2022).
- 31 “Municipality of Aveiro.” 2021.
- 32 B. Matos, “Novo Modelo BUGAS 2,” <https://www.aveiromag.pt/2021/06/03/mobilidade-ja-e-conhecido-o-modelo-das-novas-ugas/>, Jun. 03, 2021.