



**DIOGO RIBEIRO
MARQUES**

**Desempenho do tráfego nos campi da UA:
avaliação de cenários de penetração de
veículos autónomos**



**DIOGO RIBEIRO
MARQUES**

**Desempenho do tráfego nos campi da
UA: avaliação de cenários de
penetração de veículos autónomos**

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 Jorge Filipe Marto Bandeira, Doutorando Equiparado a Investigador Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Este trabalho teve apoio financeiros dos projetos:

UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020 - Fundação para a
Ciência e a Tecnologia;

CENTRO-01-0145-FEDER-022083 – Programa Operacional
da Região Centro de Portugal (Centro2020), através do
Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento
Regional;

MobiWise (POCI-01-0145-FEDER-016426); DICA-VE
(POCI-01-0145-FEDER-029463), Driving2Driverless (POCI-
01-0145-FEDER-031923) e inFLOWence (POCI-01-0145-
FEDER-029679), financiados pelo FEDER através do
COMPETE2020, e por fundos nacionais (OE), através da
FCT/MCTES.

O júri

Presidente

Prof. Doutor Miguel Armando Riem de Oliveira
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade de Aveiro

Orientador

Prof. Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho
Professora Auxiliar com Agregação do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de Aveiro

Arguente

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

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a todas as pessoas que estiveram presentes no meu percurso académico e, de uma forma ou outra, contribuíram para o meu sucesso.

Quero agradecer todo o apoio da parte dos meus orientadores, a Professora Doutora Margarida Coelho e Doutor Jorge Bandeira e também gostaria de expressar o meu agradecimento sincero ao Ricardo Tomás por todo o apoio e disponibilidade que teve comigo, e por facultar bases de dados de relativas a volumes de tráfego e tempos de viagem, pelos seus tutoriais e scripts que se provaram essenciais para a elaboração desta dissertação.

Agradeço também à empresa PTV AG pela cedência da licença do *software* VISSIM.

Por fim, gostaria de agradecer à minha família por todo o apoio dado ao longo da minha vida, com um agradecimento especial aos meus pais que, com os seus esforços, me permitiram alcançar os meus objetivos, e à minha namorada Ângela, pela paciência que teve comigo e apoio durante esta etapa da minha vida.

A todos vós, um agradecimento sincero.

Este trabalho teve apoio financeiros dos projetos:

UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020 - Fundação para a Ciência e a Tecnologia;

CENTRO-01-0145-FEDER-022083 – Programa Operacional da Região Centro de Portugal (Centro2020), através do Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional;

MobiWise (POCI-01-0145-FEDER-016426); DICA-VE (POCI-01-0145-FEDER-029463), Driving2Driverless (POCI-01-0145-FEDER-031923) e inFLOWence (POCI-01-0145-FEDER-029679), financiados pelo FEDER através do COMPETE2020, e por fundos nacionais (OE), através da FCT/MCTES.

Palavras-chave

Veículos autónomos, emissões, conflitos rodoviários, modelação de redes, VSP, SSAM, tráfego, VISSIM

Resumo

Os campi universitários têm uma população variada e daí uma mobilidade muito diversa, em que alguns o veículo particular é o mais prevalente. A implementação de veículos autónomos poderá ter potencial de aplicação nesses pólos de atração e geração de viagens, mas os seus impactos deverão ser avaliados. Assim, o objetivo principal da presente dissertação consiste em avaliar o impacto da penetração de veículos autónomos no desempenho do tráfego, conflitos rodoviários e emissões entre o campus de Santiago da UA - Universidade de Aveiro e o PCI – Parque de Ciência e Inovação em Ílhavo, tanto no período de ponta da manhã como no da tarde (8h45-10h00 e 17h45-19h00, respetivamente).

De modo a fazer a avaliação do desempenho do tráfego na rede, foi utilizado um modelo microscópico de tráfego (PTV VISSIM 2020), bem como metodologias de cálculo de emissões de poluentes calculadas através da potência específica dos veículos (VSP) e de análise de conflitos rodoviários (SSAM).

Para a calibração do modelo de tráfego para o cenário de referência foram tidas em conta observações experimentais de volumes de tráfego em vários pontos da rede, tempos de viagem, bem como da dinâmica do veículo para várias rotas específicas. Foram avaliados no total 18 cenários diferentes, nestes foram utilizadas taxas de penetração de veículos autónomos de 10%, 20%, 30% e 50%, posteriormente também analisando a penetração de veículos autónomos elétricos e por fim também será analisada a introdução de um veículo de transporte público autónomo elétrico “Shuttle” - para a ligação entre a Reitoria da UA e o PCI, com o intuito de reduzir o número de viagens com recurso a veículo próprio entre estes dois pontos de interesse.

No que diz respeito à análise de resultados foi feita uma comparação das emissões de poluentes (tais como dióxido de carbono, monóxido de carbono óxidos de azoto e hidrocarbonetos), da velocidade média e do tempo médio de viagem. Para a análise de resultados de conflitos rodoviários, foram analisados o número de conflitos, a sua localização na rede, o seu tipo e a sua gravidade com a análise dos parâmetros tempo para colisão e tempo de invasão. Nas simulações, para o cenário base, observou-se um maior congestionamento da rede no período da manhã face ao período da tarde, com emissões totais de CO₂ e NO_x 9% e 60% superiores e com mais conflitos rodoviários e maior grau de gravidade destes. A Avenida da Universidade em Aveiro e a ligação entre a Av. 25 de Abril em Ílhavo e EN109 destacam-se como pontos críticos, a nível de emissões de poluentes e número de conflitos. Na observação dos resultados da penetração dos veículos autónomos na rede, estes indicam que existe uma correlação geral entre o aumento da taxa de penetração com a redução de emissões de poluentes e a redução de conflitos rodoviários, bem como o nível de gravidade dos mesmos, com reduções máximas de 8,7% nas emissões de CO₂. Para cenários de introdução de veículos autónomos elétricos existe uma redução muito significativa de 50% de emissão de poluentes (cenário 50%AV-E) . Já os cenários nos quais se introduzem vários “Shuttles” na rede a redução de poluentes não é tão expressiva.

keywords

Autonomous vehicles, emissions, road conflicts, network modelling, VSP, SSAM, traffic, VISSIM

abstract

University campuses have a varied population and hence very diverse mobility, in which some the private vehicle is the most prevalent. The implementation of autonomous vehicles may have potential for application in these centers of attraction and generation of trips, but their impacts must be evaluated. Thus, the main objective of this dissertation is to evaluate the impact of the penetration of autonomous vehicles on the performance of traffic, road conflicts and emissions between the campus of Santiago University of Aveiro (UA) and the SIP- Science and Innovation Park in Ílhavo, both in the morning and afternoon (8:45 am to 10:00 am and 5:45 pm to 7:00 pm, respectively).

In order to assess the performance of traffic on the network, a microscopic traffic model (PTV VISSIM 2020) was used, as well as methodologies for calculating pollutant emissions calculated using specific vehicle power (VSP) and conflict analysis (SSAM).

For the calibration of the traffic model for the reference scenario, experimental observations of traffic volumes at various points in the network, travel times, as well as vehicle dynamics for various specific routes were taken into account. A total of 18 different scenarios were evaluated, in which autonomous vehicle penetration rates of 10%, 20%, 30% and 50% were used, later also analyzing the penetration of autonomous electric vehicles and finally the introduction of a vehicle will also be analyzed of autonomous electric public transport "Shuttle" - for the connection between the Rectory building of UA and the SIP, in order to reduce the number of trips using a vehicle between these two points of interest.

With regard to the analysis of results, a comparison was made of the emissions of pollutants (such as carbon dioxide, carbon monoxide, nitrogen oxides and hydrocarbons), the average speed and the average travel time. For the analysis of the results of road conflicts, the number of conflicts, their location on the network, their type and their severity were analyzed with the analysis of the parameters time for collision and time of invasion. In the simulations, for the base scenario, there was a greater congestion of the network in the morning compared to the afternoon, with total emissions of CO₂ and NO_x 9% and 60% higher and with more road conflicts and a greater degree of severity of these. Avenida da Universidade in Aveiro and the connection between Av. 25 de Abril in Ílhavo and EN109 stand out as critical points, in terms of pollutant emissions and number of conflicts. When observing the results of the penetration of autonomous vehicles in the network, they indicate that there is a general correlation between the increase in the penetration rate with the reduction of pollutant emissions and the reduction of road conflicts, as well as the level of severity of the same, with maximum reductions of 8.7% in emissions of CO₂. For scenarios for the introduction of autonomous electric vehicles, there is a very significant reduction of 50% in the emission of pollutants (scenario 50% AV-E). As for the scenarios in which several "Shuttles" are introduced in the network, the reduction of pollutants is not so significant.

Índice

1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Veículos autónomos	4
1.3 Objetivos	6
1.4 Estrutura da dissertação	7
2. Revisão bibliográfica	8
3. Metodologia	12
3.1 Estudo de caso e monitorização experimental.....	13
3.2 Obtenção de dados e modelação de tráfego	14
3.3 Calibração e validação da rede.....	25
3.4 Modelação de emissões	32
3.5 Modelação de conflitos rodoviários.....	35
3.6 Cenários.....	36
4. Discussão de resultados	47
4.1 Cenário Base	47
4.2 Cenários VA – Análise de emissões e dinâmica.....	52
4.3 Cenário Shuttle – Análise de emissões e dinâmica	56
4.4 Cenários VA elétricos – Análise de emissões.....	59
4.5 Cenários Veículos elétricos – Análise de emissões.....	60
4.6 Cenários Alternativos – Análise de conflitos	61
4.7 Cenário Shuttle – Análise de conflitos	63
5. Conclusões	65
Referências bibliográficas	69
Anexos	74

Lista de Figuras

Figura 1- Energia consumida na UE 2017 (Fonte: EEA 2019)	1
Figura 2- Emissão de gases com efeito de estufa por sector de transporte 2017 (Fonte: EEA 2019)	2
Figura 3- Variação das emissões totais de gases de efeito estufa do transporte 1990-2017(Fonte: EEA 2019)	3
Figura 4- Transporte de passageiros e mercadorias na Europa 2017 (Fonte: EEA 2019)	4
Figura 5- Cinco níveis de automação SAE [8]	5
Figura 6- Localização dos pontos de observação para recolha de volumes de tráfego.....	15
Figura 7- Caracterização do “Link” na rede. (Fonte da imagem de fundo: <i>Bing Maps</i>).....	19
Figura 8- Rede modelada e o seu tamanho (Fonte da imagem de fundo: <i>Bing Maps</i>).....	20
Figura 9- Caracterização das “Desired Speed Decisions” na rede (Fonte da imagem de fundo: <i>Bing Maps</i>)	20
Figura 10- Caracterização do gradiente de velocidade para “Aveiro Centro”	21
Figura 11- Caracterização do gradiente de velocidade para “20km/h”	21
Figura 12- Caracterização das “Reduced Speed Areas” (Fonte da imagem de fundo: <i>Bing Maps</i>)	22
Figura 13- Caracterização das “Conflict Areas” (Fonte da imagem de fundo: <i>Bing Maps</i>)	22
Figura 14- Caracterização da localização da sinalização luminosa na Av.25 de Abril, Ílhavo (Fonte da imagem de fundo: <i>Bing Maps</i>)	23
Figura 15- Caracterização das linhas dos autocarros e respetivas paragens.....	24
Figura 16- Caracterização das paragens dos autocarros (Fonte da imagem de fundo: <i>Bing Maps</i>)	24
Figura 17- Caracterização dos tempos em que se iniciam as rotas dos autocarros.....	24
Figura 18- Caracterização de uma “Parking Route” (Fonte da imagem de fundo: <i>Bing Maps</i>).....	25
Figura 19- Caracterização dos “Nodes”	26
Figura 20- Configuração para leituras de volumes de tráfego dadas em “Evaluation Configuration”	27
Figura 21- Leituras de volumes de tráfego dadas por “Nodes Results”	27
Figura 22- Gráfico de dispersão da calibração dos volumes de tráfego, no período da manhã (8h45- 10h00), 1ª calibração	28
Figura 23- Exemplo de rota para caracterização dos tempos de viagem Av. 25 de Abril- Rua da Mota (Fonte: Google Maps)	29
Figura 24- Caracterização dos parâmetros de “Vehicle Record” para recolha dos tempos de viagem na rede para uma dada rota.....	30
Figura 25 - Gráfico de dispersão da calibração dos volumes de tráfego calibração final, no período da manhã (8h45- 10h00).....	32
Figura 26- Via exclusiva ao “Shuttle” e peões ligação PCI-ESSUA (Fonte da imagem de fundo: <i>Bing Maps</i>)	36
Figura 27- Caracterização de “Vehicle Compositions” Cenário de 50% de penetração de AV.....	37
Figura 28- Parâmetros utilizados na caracterização dos AV na mudança de via	40
Figura 29- Rota percorrida pelo “Shuttle” no percurso PCI-UA (Fonte da imagem de fundo: <i>Bing Maps</i>)	41
Figura 30- Caracterização dos parâmetros de simulação	42
Figura 31- Caracterização da “Evaluation Configuration” para recolha de dados.....	43
Figura 32- Caracterização dos parâmetros de saída para posterior análise no código <i>Matlab</i>	43
Figura 33- Caracterização dos parâmetros no “Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) -3.0”	45
Figura 34- Caracterização dos ângulos de conflito (Fonte “Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) -3.0” [60]	45
Figura 35- Janela “Summary” – SSAM 3.0	46
Figura 36- Janela “Conflicts” – SSAM 3.0.....	46

Figura 37-Mapa de emissões de CO_2 em gramas por km, período da manhã (Fonte da imagem de fundo: Bing Maps).....	48
Figura 38- Mapa de emissões de CO_2 em gramas por km, período da manhã Av.25 de Abril, Ílhavo (Fonte da imagem de fundo: Bing Maps).....	48
Figura 39- Mapa de emissões de CO_2 em gramas por km, período da manhã Universidade de Aveiro (Fonte da imagem de fundo: Bing Maps)	48
Figura 40-Mapa de emissões de NO_X em gramas por km, período da manhã (Fonte da imagem de fundo: Bing Maps).....	49
Figura 41-Mapa de emissões de NO_X em gramas por km, período da manhã Av. 25 de Abril, Ílhavo (Fonte da imagem de fundo: Bing Maps).....	49
Figura 42-Mapa de emissões de NO_X em gramas por km, período da manhã Universidade de Aveiro (Fonte da imagem de fundo: Bing Maps)	49
Figura 43- Mapa de Conflitos (Fonte da imagem de fundo: <i>Bing Maps</i>)	50
Figura 44- Redução das emissões de CO_2 , CO, NO_x e HC para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da manhã face ao cenário base	52
Figura 45- Redução das emissões de CO_2 , CO, NO_x e HC para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da tarde face ao cenário base	54
Figura 46- Foco de conflitos rodoviários face ao cenário base com a introdução do “Shuttle” - entrada oeste e este do campus universitário (Fonte da imagem de fundo: Bing Maps).....	64

Índice de tabelas

Tabela 1 -Cronologia das tarefas na redação da dissertação	12
Tabela 2- Origem e destino das rotas feitas para calibração dos tempos de viagem: a) período da manhã; b) período da tarde	17
Tabela 3-Modos VSP (kW/ton) [22][38]	34
Tabela 4- Parâmetros utilizados na caracterização dos AV utilizando o modelo de <i>Wiedemann 99</i>	39
Tabela 5-Emissões de poluentes no cenário base para o período da manhã e tarde	51
Tabela 6- TTC, PET e número de conflitos no cenário base para o período da manhã e tarde.....	51
Tabela 7- Resultados obtidos das emissões de CO ₂ , CO, NO _x e HC para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da manhã.....	52
Tabela 8- Resultados obtidos das emissões de CO ₂ e NO _x por km e veículo para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da manhã	53
Tabela 9-Resultados obtidos da velocidade média e tempos de viagem médios para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da manhã	53
Tabela 10- Resultados obtidos das emissões de CO ₂ , CO, NO _x e HC para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da tarde	54
Tabela 11- Resultados obtidos das emissões de CO ₂ e NO _x por km e veículo para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da tarde	55
Tabela 12-Resultados obtidos da velocidade média e tempos de viagem médios para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da tarde	55
Tabela 13- Resultados obtidos das emissões de CO ₂ , NO _x para o cenário de introdução do “ <i>Shuttle</i> ” no período da manhã	56
Tabela 14- Resultados obtidos das emissões de CO ₂ e NO _x por km e veículo para o cenário de introdução do “ <i>Shuttle</i> ” no período da manhã	56
Tabela 15-Resultados obtidos da velocidade média e tempos de viagem médios para o cenário de introdução do “ <i>Shuttle</i> ” no período da manhã	57
Tabela 16- Resultados obtidos das emissões de CO ₂ , CO, NO _x e HC para o cenário de introdução do “ <i>Shuttle</i> ” no período da tarde	57
Tabela 17- Resultados obtidos das emissões de CO ₂ e NO _x por km e veículo para o cenário de introdução do “ <i>Shuttle</i> ” no período da tarde	58
Tabela 18-Resultados obtidos da velocidade média e tempos de viagem médios para o cenário de introdução do “ <i>Shuttle</i> ” no período da tarde	58
Tabela 19 - Resultados obtidos das emissões de CO ₂ e NO _x por km e veículo para os cenários 10% AV E, 20% AV E, 30% AV E, 50% AV E no período da manhã	59
Tabela 20- Resultados obtidos das emissões de CO ₂ e NO _x por km e veículo para os cenários 10% AV E, 20% AV E, 30% AV E, 50% AV E no período da tarde	59

Lista de Abreviaturas/Siglas

PJ- Peta joule, 10^{15} joule
UE-União Europeia
AV- Autonomous vehicle
VA- Veículos autónomos
CAV- Connected and autonomous vehicles
V2I - “*Vehicle to Infrastructure*” (Veículo para Infraestrutura)
V2V – “*Vehicle to Vehicle*” (Veículo para Veículo)
PCI – Parque de Ciência e Inovação
TEMA- Centro de Tecnologia Mecânica e Automação
UA – Universidade de Aveiro
SSAM - Surrogate Safety Assessment Model
VSP- Vehicle Specific Power
GPS- Global Positioning System
 CO_2 - Dióxido de carbono
CO- Monóxido de carbono
 NO_x – Óxidos nitrosos
HC- Hidrocarbonetos
VCI- IC23 - Via de Cintura Interna Porto
SSAM-Surrogate Safety Assessment Model
VSP- Vehicle Specific Power
TTC- Minimum time-to-collision
PET- Minimum post-encroachment
DR- Initial deceleration rate
MaxD- Maximum deceleration rate
MaxS- Maximum speed
DeltaS- Maximum speed differential
tMinTTC - Coordenada temporal em que foi observado o conflito (SSAM)
xMinPET -Coordenada em X para a ocorrência do conflito (SSAM)
yMinPET - Coordenada em Y para a ocorrência do conflito (SSAM)
AV-E - Autonomous vehicle – electric

1. Introdução

1.1 Enquadramento

Hoje em dia a Europa está conectada por uma vasta rede de infraestruturas que facilita o transporte de pessoas, bens e serviços de forma muito fluida. Porém, este sector levanta alguns temas dos quais põem em causa a nossa existência bem como o futuro do planeta. Um dos mais preocupantes e no qual se tem investido de forma a mitigar os seus efeitos é na emissão de gases com efeito de estufa e, por consequente, as alterações climáticas.

A União Europeia, juntamente com os seus parceiros, investiga uma solução para este tema que, procurando o desenvolvimento de redes para a mobilidade de passageiros e bens, também pretende a sua sustentabilidade para o futuro.

O setor dos transportes é dos que mais contribui para o consumo de energia, bem como para a emissão de gases com efeito de estufa como pudemos constatar em 2017 onde, na Europa, foram consumidos mais de 19 148 peta joule de energia, dos quais 8627 peta joule no uso de transporte rodoviário com veículos consumidores de gasóleo e 3248 peta joule no uso de transporte rodoviário com veículos consumidores de gasolina [1].

Também se confirma o crescimento deste sector observando o aumento da energia consumida desde 1990, apenas abrandado pela crise económica em 2008 com repercussões até meados de 2012

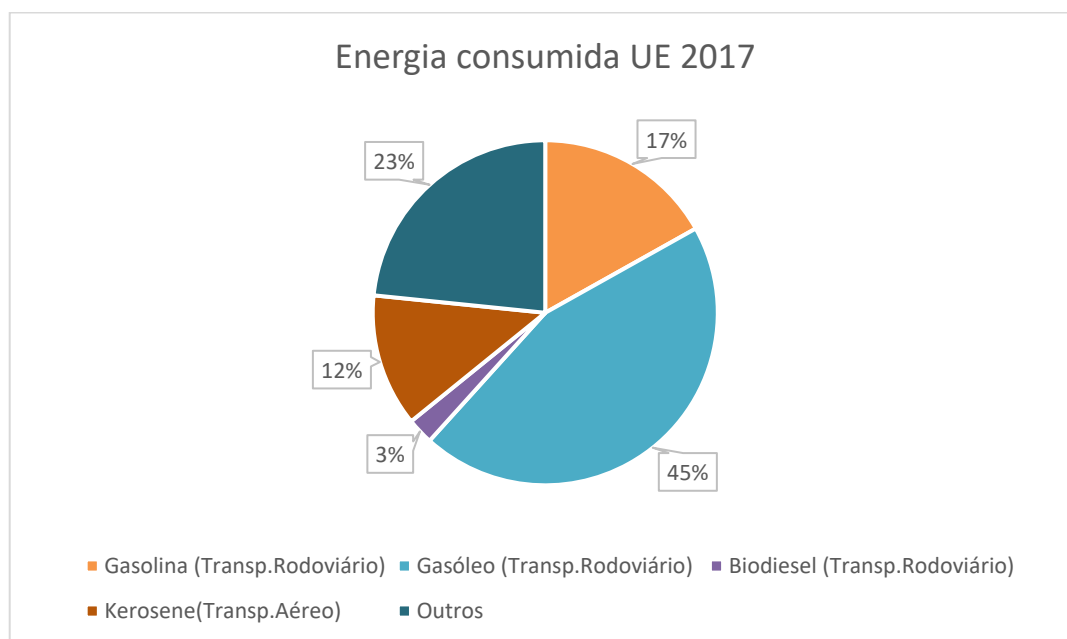


Figura 1- Energia consumida na UE 2017 (Fonte: EEA 2019)

Seguindo a mesma tendência, a emissão de gases com efeito de estufa por parte do sector dos transportes também tem progredido de forma decrescente na União Europeia se comparados com valores passados [2] - exceto o transporte marítimo e aéreo. Esta mudança é refletida pelas medidas tomadas por cada país para cumprir as metas estabelecidas pela UE e pela crescente eficiência do uso de energia no sector.

Avaliando a Figura 2 no contributo de cada sector de transporte para a emissão de gases com efeito de estufa, verifica-se que o transporte rodoviário continua a ser o principal responsável pela emissão de gases com efeito de estufa com uma percentagem de 72% da emissão total, 14% no transporte aéreo e 13% no transporte marítimo. [3]

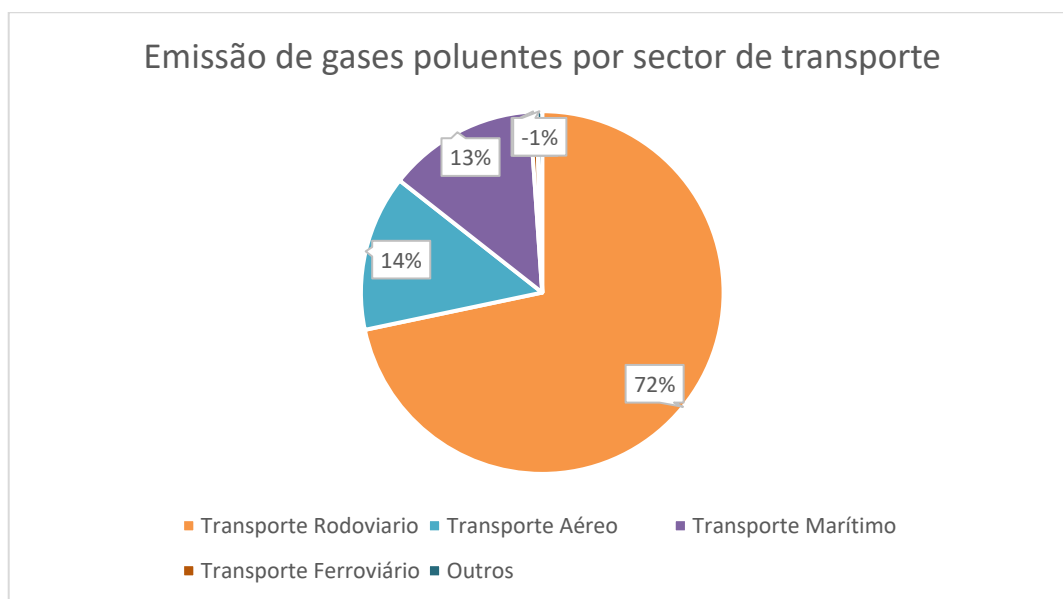


Figura 2- Emissão de gases com efeito de estufa por sector de transporte 2017 (Fonte: EEA 2019)

No sector do transporte rodoviário, a cota-parte de emissão de gases com efeito de estufa em cada segmento de veículos na UE-28 em 2017 é de cerca de: [3]

- 44.3% no transporte de veículos ligeiros
- 19.2% no transporte de veículos pesados
- 8.7% no transporte de veículos ligeiros de mercadorias
- 1% no transporte de motocicletas

Em 2017, comparando com valores de 1990, Portugal a semelhança de outros países da UE-28 aumentou a sua emissão total de gases com efeito de estufa em 78% com o contributo de todos os sectores de transporte exceto o sector de transporte marítimo. Comparando este valor com a média europeia que se situa num aumento de 28%, Portugal encontra-se no grupo de países dos quais contribui mais para este aumento face ao ano 1990, como pode ser observado na Figura 3. [3]

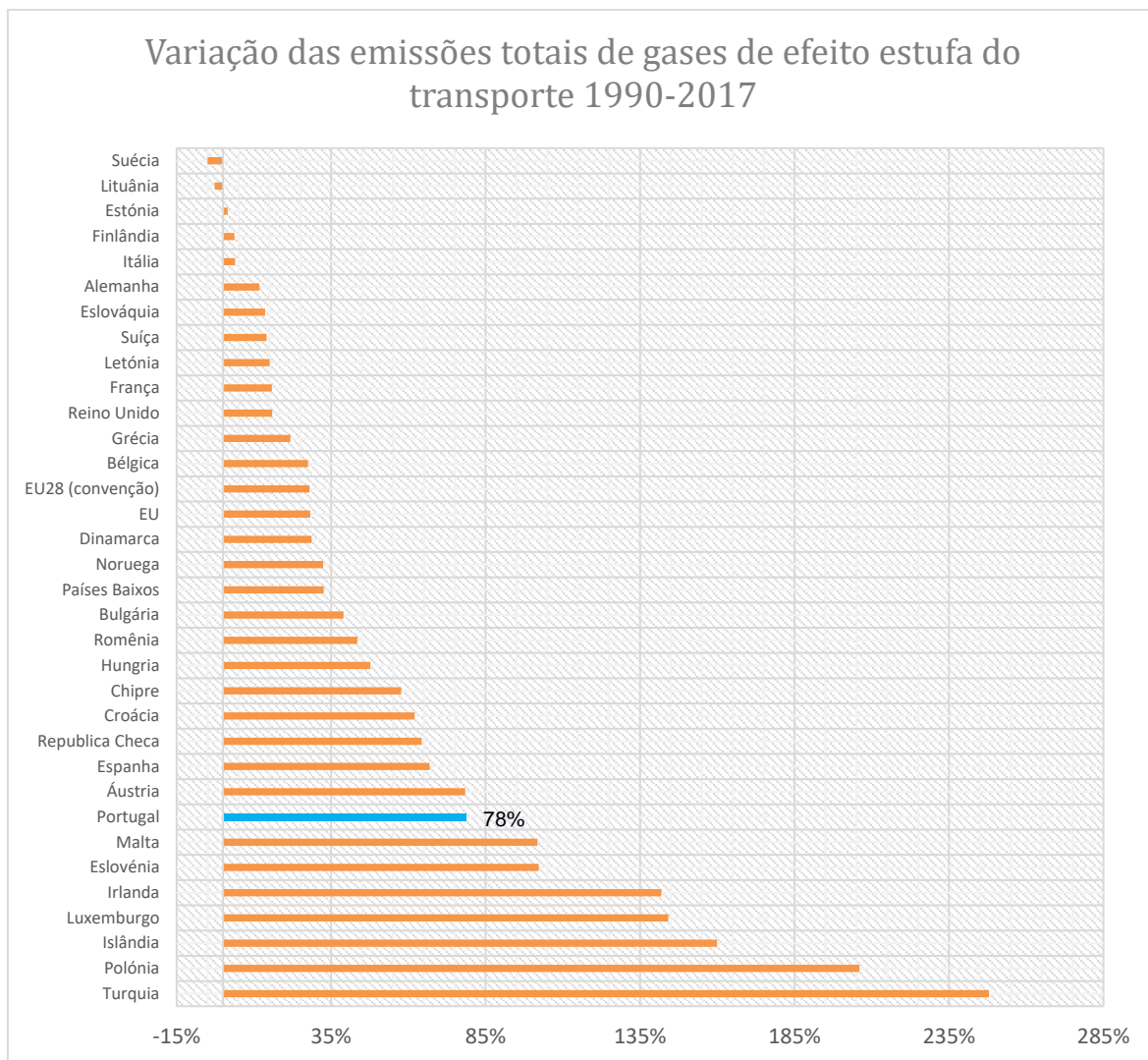


Figura 3- Variação das emissões totais de gases de efeito estufa do transporte 1990-2017(Fonte: EEA 2019)

Portugal, seguindo a diretiva do parlamento europeu, compromete-se a reduzir em 36% os valores de NO_x entre 2020 e 2029 e em 63% de 2030 em diante, comparados com valores de 2005 [4].

Atualmente, o meio de transporte mais utilizado na Europa é o transporte de veículos rodoviários individual, sendo este que, em 2017, contribuiu para mais de 4 901 mil milhões de passageiro-quilómetro, cerca de 125% do valor em 1990. Nas últimas duas décadas, o transporte aéreo e o transporte de veículos rodoviários individual, foram os dois setores que mais aumentaram, conforme demonstrado na Figura 4.

Na mesma, Figura 3, observa-se que o transporte coletivo, tal como o transporte ferroviário e o transporte com o recurso a autocarros, tem estagnado no que toca a valores entre 2000 e 2017. Na Europa, o transporte individual é estimado ser mais de 70% do total de transporte de passageiros. [5].

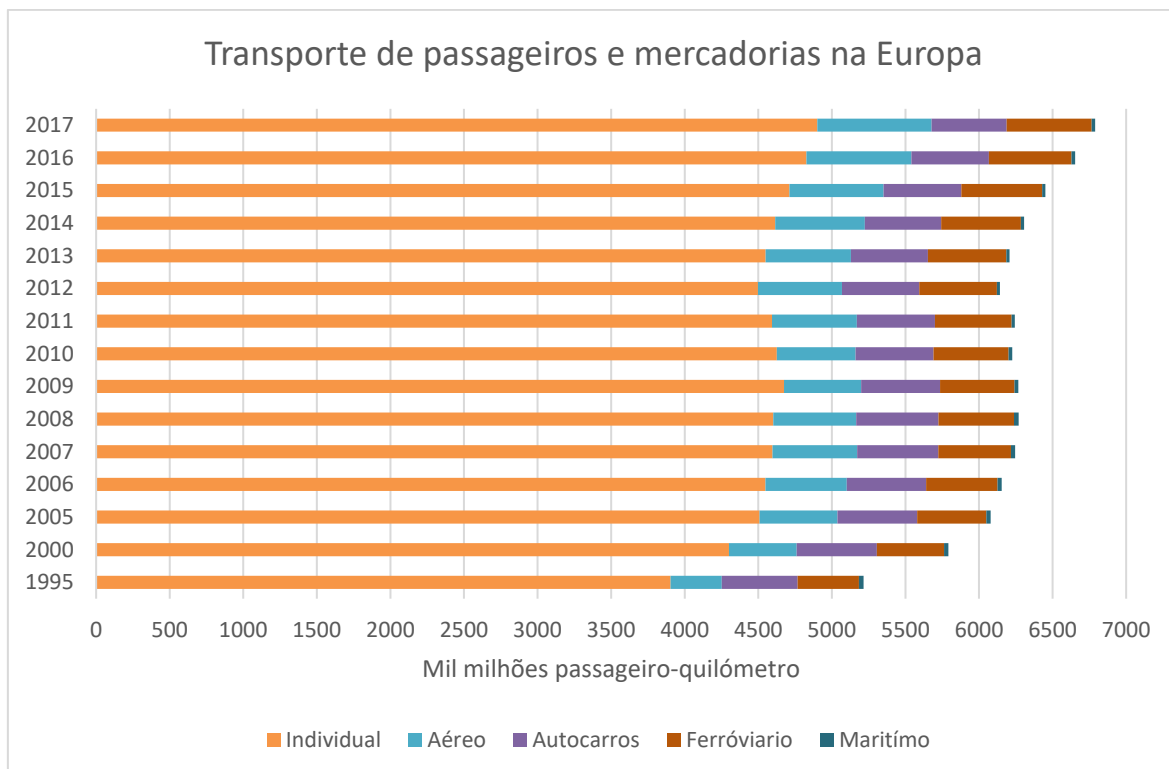


Figura 4- Transporte de passageiros e mercadorias na Europa 2017 (Fonte: EEA 2019)

1.2 Veículos autónomos

As principais estratégias a serem postas em ação por parte de vários países europeus para combater o aumento do uso do transporte individual de combustão interna com o combustível proveniente do refinamento de petróleo, são, nomeadamente, a introdução de veículos elétricos, o aumento da eficiência da rede de transporte público, bem como a melhor acessibilidade da mesma por parte dos cidadãos do seu país através da redução tarifária nos transportes públicos – medidas também adotadas por Portugal [6].

Outra medida a ser tomada é a mudança de um parque automóvel europeu dependente de combustíveis fósseis sendo que, no caso de Portugal, o combustível dominante nos automóveis dos portugueses é o gasóleo [7].

Atento no facto de haver mais carros elétricos a circular pelas estradas de Portugal, podemos constatar que esta medida já se encontra em curso. Em Portugal existe um incentivo da parte do governo na compra de automóveis elétricos e com baixas emissões.

Desta forma, tem-se investido de forma a mudar este paradigma no setor automóvel. Em particular, para efeitos de segurança rodoviária, a infraestrutura viária e o veículo têm sofrido evoluções ao longo dos anos para permitir uma condução mais segura. Porém, é também necessário equacionar o outro elemento na utilização dos automóveis: o condutor em si. Tomemos com exemplo os VA - veículos autónomos – que são veículos que pretendem integrar sistemas de controlo de modo a tomar decisões de forma mais segura que seriam tomadas por um ser humano. Estes contam com uma

panóplia de sensores e controladores de modo a “varrer” o ambiente como o *LIDAR*, onde auxiliam na determinação de rotas e acelerações. Atualmente, os VA já contam com uma rede de comunicação e acesso à base de dados que os ajudam a tomar decisões e mais seguras e no menor tempo possível. Assim, os VA tornam-se em *CAV - connected and autonomous vehicle* – os quais podem comunicar entre si bem como comunicar de forma *wireless* – sem fios - com uma base de dados via *Wi-Fi, Bluetooth*.

Uma das empresas mais promissoras neste campo e uma das pioneiras neste ramo de veículos autónomos e veículos elétricos, é a *Tesla, Inc.* seguida pela *BMW, Toyota, Mercedes, Renault* entre muitas outras.

Apesar desta realidade ser relativamente recente, já existem protótipos de veículos autónomos desde a década de 1970 com primeiro veículo autónomo criado na Universidade de *Tsukuba*. A evolução desta tecnologia tem sido tal que, atualmente, os governos de vários países no mundo depararam-se com a obrigação de mudar as suas leis de modo a acomodar estes veículos. Por exemplo, nos Estados Unidos da América, os mesmos podem circular livremente desde que um humano permaneça no veículo caso haja alguma inconformidade e este possa intervir.

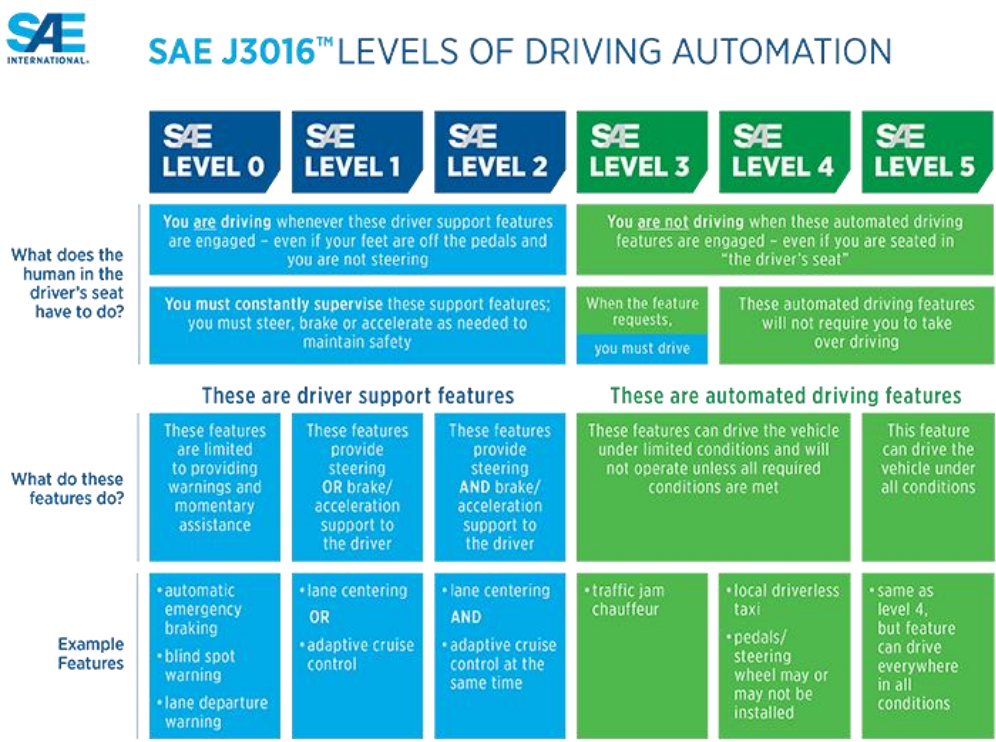


Figura 5- Cinco níveis de automação de veículos SAE [8]

O nível que os veículos autónomos hoje em dia se encontram é o nível 3 onde é requerido a presença de um humano na posição de condutor, porém o veículo já possui autonomia suficiente tomar decisões na condução sem interação do condutor. Futuramente serão introduzidos VA com níveis superiores, tais como nível 4 e 5 previstos para 2025 e 2050 respetivamente [8].

Porém, estes veículos não vêm sem os seus desafios nos quais se destacam a legalidade em determinados países e atribuição de responsabilidade em caso de acidente, uma vez que algumas legislações não acautelam para a coexistência deste tipo de veículos com veículos comuns. Outro desafio será o seu próprio desenvolvimento, bem como a sua capacidade de adaptação e perceção do mundo real. A imprevisibilidade do mundo real ligada ao aparecimento de obstáculos tais como peões, ciclistas, outros veículos e objetos na faixa de rodagem, é dos fatores que requerem mais desenvolvimento e investigação por parte dos fabricantes destes veículos autónomos.

Contudo, não são só desvantagens ou desafios que impossibilitam a circulação destes veículos. Os VA são bastante úteis no dia-dia trazendo diversas vantagens, tais como a redução e otimização de rotas por exemplo: se houver comunicações entre CAV, estes podem alertar outros para um eventual acidente, congestionamento e assim definir rotas que mitiguem estes atrasos e proporcionar novos trajetos mais rápidos. Do mesmo modo que se procura retirar o fator humano da condução, subsiste uma probabilidade muito menor de ocorrerem acidentes de viação. O aumento da segurança rodoviária é assim uma das principais vantagens, com a redução de número de acidentes. Em ambiente urbano este fator é de elevada importância visto que é neste ambiente onde existe um maior número de conflitos. [9][10]

Outra vantagem será o aumento de produtividade do condutor visto que este não precisa de estar completamente dedicado à condução, podendo realizar outras atividades enquanto é conduzido ao seu destino. Da mesma maneira que cidadãos portadores de deficiência ou algum tipo de incapacidade serão mais autónomos, pois não dependeriam de ninguém para as suas deslocações, uma vez que estas estão asseguradas pelo VA [11].

A otimização de fluxos de tráfego também é uma mais-valia no que toca aos VA. Num ambiente onde maioritariamente coexistam VA, estes comunicam entre si distribuindo-se por várias rotas fugindo ao aglomerado de veículos de modo a evitar filas de trânsito. Da mesma forma, estes veículos podem comunicar uns com os outros de modo a tornar as distâncias de travagem menores ao relatar entre si o estado do fluxo de trânsito e possíveis obstáculos, tornando-se mais previsíveis para outros VA ou mesmo para veículos convencionais conduzidos pelo Homem. [12]

1.3 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é a avaliação e análise de cenários de penetração de veículos autónomos na rede rodoviária limítrofe no campus da Universidade de Aveiro e no Parque de Ciência e Inovação em Ílhavo, PCI. Pretende-se assim, enquadrar a utilização de ferramentas de simulação de tráfego, bem como fazer uma análise de conflitos rodoviários utilizando a metodologia de cálculo SSAM - *Surrogate Safety Assessment Model* - e fazer uma análise de consumos e emissões de poluentes com a metodologia de cálculo VSP - *Vehicle Specific Power*.

Através dessa análise, será feita uma quantificação de indicadores e procurar-se-á melhorar o desempenho do tráfego circulante à Universidade de Aveiro e PCI. Também será elaborada uma análise para avaliar a coexistência de veículos autónomos com os restantes (veículos convencionais, peões e ciclistas), de forma a minimizar os efeitos resultantes de conflitos rodoviários. Por fim, será estudada a introdução de um veículo de transporte público de passageiros autónomo elétrico, denominado "Shuttle", com o intuito de fazer o transporte de pessoas entre a UA e o PCI, substituindo assim as viagens feitas por veículo próprio.

O trabalho desta dissertação encontra-se inserido no âmbito de quatro projetos de investigação financiados pela Fundação para a Ciência e Tecnologia e COMPETE: UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020 - Fundação para a Ciência e a Tecnologia; CENTRO-01-0145-FEDER-022083 – Programa Operacional da Região Centro de Portugal (Centro2020), através do Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional; MobiWise (POCI-01-0145-FEDER-016426); DICA-VE (POCI-01-0145-FEDER-029463), Driving2Driverless (POCI-01-0145-FEDER-031923) e inFLOWence (POCI-01-0145-FEDER-029679), financiados pelo FEDER através do COMPETE2020, e por fundos nacionais (OE), através da FCT/MCTES.

1.4 Estrutura da dissertação

A estrutura da presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos nos quais se destacam os seguintes tópicos:

- **Capítulo 1**
No capítulo 1 será feita uma introdução ao tema da dissertação e ao paradigma europeu, no que toca ao impacto do sector dos transportes a nível de consumo de energia e emissão de gases de estufa. Neste capítulo, também será feito um breve enquadramento à mobilidade autónoma com uso de veículos autónomos no sector de transportes. Serão também apresentados os objetivos principais desta dissertação bem como a sua estrutura.
- **Capítulo 2**
Neste capítulo será apresentado o estado de arte e revisão bibliográfica relevante a esta dissertação, e abordados tópicos relacionados com ferramentas de modelação de tráfego, escolha de rotas e tecnologias ligadas a veículos autónomos.
- **Capítulo 3**
No capítulo 3, será exposta a metodologia seguida na elaboração desta dissertação e a sua adaptação aos objetivos definidos no capítulo 1. Este capítulo vai ser focado na caracterização dos troços a serem alvo da análise e na sua modelação de tráfego no *software* PTV VISSIM. Será também apresentado o procedimento inerente à metodologia de cálculo de emissões – VSP - e a metodologia de conflitos rodoviários - SSAM.
- **Capítulo 4**
Neste capítulo serão expostos os resultados obtidos durante a realização da presente dissertação.
- **Capítulo 5**
No capítulo 5 proceder-se-á à discussão relativa aos resultados obtidos, bem como à conclusão e reflexão sobre a dissertação realizada. Irá também ser feita uma breve discussão sobre possíveis desenvolvimentos a trabalhos futuros, bem como possíveis melhorias a ter em conta. Por fim, serão avaliadas as limitações encontradas para a elaboração da presente dissertação.

2. Revisão bibliográfica

Neste capítulo será feita uma exposição do estado de arte no âmbito da presente dissertação.

A procura de modos alternativos para o transporte de bens e de passageiros ligados à utilização de veículos autónomos, tem despertado a pesquisa por uma grande comunidade de investigadores dos quais se destacam alguns mencionados à frente neste capítulo.

Começando por fazer uma breve introdução às tecnologias de comunicação e escolhas de rotas para veículos autónomos, tentemos compreender a diferença entre dois tipos de comunicações: a comunicação entre veículos - mais conhecida por *Vehicle to Vehicle* -V2V - e a comunicação entre veículos e infraestruturas - denominadas por *Vehicle to Infrastructure*- V2I. Estas comunicações por redes *wireless* - sem fios - podem ser auxiliadas por localização GPS - *Global Positioning System* -, e comunicação de transferência de dados como tecnologias de serviço de redes como o 4G e 5G.

Neste âmbito, foram feitos vários estudos para a avaliação de escolhas de rotas bem como o impacto que teriam no congestionamento e emissões de gases, no qual em 2016 Bansal, Prateek e Kockelman Kara M. [13] analisaram a aquisição de veículos autónomos e o seu impacto a longo termo nos Estados Unidos e concluíram que, para o ano 2025 segundo dados obtidos através de questionários e o interesse da indústria, haveria uma conectividade de 98% dos veículos da frota dos Estados Unidos. Esta é apoiada pela redução de custos ligados à produção de veículos bem como a aceitação por parte do público e arbítrio de adquirir tais veículos [12]. Estima-se que, em 2045, 90% das aquisições de veículos venham com conectividade de nível 4 [13]. Esta é caracterizada por assistir na condução com recurso às tecnologias de condução autónoma, continuando o veículo a ser controlado pelo condutor.

Um dos estudos sobre a aquisição dos CAV é de Litman, em 2015 [14]. Este, com base na aquisição de tecnologias de assistência à condução bem como sistemas de motorização inteligentes como veículos híbridos, pressupunha a aquisição de VA de forma generalizada constituindo cerca de 90% das vendas novas e 50% da frota automóvel [14], no ano de 2050. Porém, segundo Litman, esta mudança poderia trazer algumas barreiras de acesso nomeadamente aos condutores e empresas com rendimentos mais baixos que, normalmente, optariam por modelos mais económicos e estariam agora numa situação de dificuldade em adquirir veículos modernos. Não há muito tempo - mais precisamente no ano de 2018 - Litman publica outro artigo, no qual afirma que apenas 40% a 60% das novas vendas de veículos serão vendas de veículos autónomos de baixo custo e 20% a 40% serão vendas de veículos autónomos de médio custo. [14]

Atualmente, as investigações estão mais interessadas nos benefícios e na receção destes métodos alternativos de condução por parte da sociedade, nomeadamente os entrevistados destes estudos, destacando-se Bansal, Kockelman em 2016 [15], Bansal, P., Kockelman, K., Singh, A. [16] também em 2016 e Schoettle e Sivak em 2014 [17].

Outros estudos são focados na previsão de quotas de mercados para a aquisição de veículos autónomos, juntamente com a utilização de combustíveis alternativos, como é o caso do estudo de Musti e Kockelman em 2011 [18].

Um estudo conduzido por Bandeira, J. et al. 2011, procurou uma solução para a situação de congestionamento em hora de ponta, através da informação de possíveis rotas alternativas e mudança do comportamento dos condutores que, consequentemente, levaria à redução de gases com efeito de estufa bem como à poupança de energia. [19] Bandeira, J. et al. 2018 conduziram outro estudo que pressupunha o de 2011 [20] e este [20] concluiu que possíveis rotas alternativas e mudança do comportamento dos condutores, levou a reduções nas emissões de gases em 7% e reduções nos tempos de viagens em 9% para um cenário de 50% de ocupação da rede.

Em 2018 um estudo de Eilbert, A., L. Jackson, G. Noel procurou analisar o consumo energético e emissões de poluentes variando o modelo de comportamento dos VA, bem como o modelo de simulação de tráfego e modelo de emissões [21].

Christos Stogios, Li Zhao e Jian Sun foram alguns dos autores que utilizam o PTV VISSIM na sua investigação por se tratar de um *software* flexível e customizável em diferentes parâmetros, de forma a simular situações reais [22][23]. Christos Stogios, em 2018 [22], analisou o efeito do comportamento do VA, nomeadamente na distância de circulação entre veículos e na emissão de gases com efeito de estufa e constatou que, num ambiente urbano, poderia haver uma redução de 2% neste último, apenas mudando o comportamento do VA.

No âmbito da análise de emissões, a metodologia VSP - *Vehicle Specific Power* -, fora utilizada por diversos autores como Bandeira, J. et al. 2011 e Zhai et al. (2008), que conduziram estudos sobre os impactos de escolhas de rotas na emissão de poluentes [20] e sobre a aplicação da metodologia VSP para a simulação das emissões de veículos a diesel, respetivamente [24].

Outros autores a iniciar investigações na simulação de emissões de veículos a diesel foi Coelho et al. (2009). Estes concluíram que os valores que diferenciam a combustão de veículos a diesel de veículos a gasolina, é confirmada com a utilização da metodologia VSP uma vez que nos seus resultados constatou que, no caso de veículos a diesel, existe uma maior percentagem de emissões de NO_x comparativamente com veículos semelhantes a gasolina. Por outro lado, em veículos a gasolina, deparou-se com emissões mais elevadas de monóxido e dióxido de carbono comparativamente com veículos a diesel. [25]

Estudos feitos na área de avaliar o impacto da utilização de veículos para a redução de emissões de gases com efeito de estufa, destaca-se o de Andrade, 2018, que, ao analisar os resultados obtidos em ambiente de coexistência de CAV e veículos comuns, deparou-se com uma redução de gases com efeito de estufa, 18% de CO_2 e 16% de NO_x para o cenário da Nacional 109 em Aveiro [26]. Por outro lado, constatou que a introdução de CAV contribuiu para o melhoramento do tráfego em situações em que este é mais constrangido. Em ambiente de autoestrada, não se verificou grande melhoramento com a introdução de CAV devido às baixas interações entre veículos e a estes circularem a uma velocidade constante entre si [26]. Verificou também uma relação direta entre a redução de velocidades médias com a emissão de gases com efeito de estufa, nomeadamente CO_2 [27] facto também observado no estudo feito em 2018, com o intuito de avaliar cenários de penetração de VA em vias rápidas mais propriamente na ligação entre a VCI- IC23, A28 e a cidade do Porto. [27]

Num estudo feito em 2017 no qual se avaliou a modelação de diferentes taxas de penetração de VA em ambiente urbano analisando os impactos no fluxo de tráfego e emissões, concluiu-se que em cenários com volumes de tráfego reduzidos e taxas de penetração de VA superiores, verificam-se resultados positivos em termos de emissões, por outro lado em cenários de baixa taxa de penetração de VA e grandes volumes de

tráfego as emissões de poluentes aumentam. Sendo que a conclusão principal deste estudo centra-se nos resultados que o comportamento dos VA tem nas emissões globais, destacando as acelerações e desacelerações destes veículos sendo as principais responsáveis da redução de emissões [28].

No estudo realizado pela Clemson University, observa-se o impacto e a otimização do fluxo de tráfego através da coordenação entre CAV nos tempos de travagem e na melhoria de velocidades medias através de fluxos de tráfego ideais para as vias em circulação. Com base na sua análise, conseguiram concluir que num cenário em que existe 15% de penetração de CAV, obtêm um aumento na velocidade média dos veículos na ordem de 5,6% e cerca de 68,7% no comprimento total de filas de trânsito. [29]

Já para um cenário de 100% de penetração de CAV, obtêm um aumento na velocidade média dos veículos na ordem de 8,1% e cerca de 70,2% no comprimento total de filas de trânsito [29]. No mesmo estudo, também se observou a redução dos tempos de paragem com o aumento da penetração de CAV no cenário em questão e, neste caso, com uma redução superior a 40% para penetrações de acima de 30%. Apenas com 5% de penetração no cenário, existe uma diminuição de 32,4% nos tempos médios de paragem, evidenciados pela coordenação entre veículos [29].

Alguns estudos focam-se na da aquisição de VA e o impacto que esta terá no futuro consumo energético, assim foi observado que a população mais jovem bem como os que vivem em ambiente urbano e os que viajam menos nas suas deslocações diárias são os que estão mais recetivos à aquisição destes veículos. Pessoas que no futuro vêm as suas deslocações diárias a aumentar são aquelas que desejam ser as primeiras a adotar esta tecnologia [30].

Em 2016 um estudo procurou avaliar a o impacto dos VA na interação em passadeiras com os peões, este concluiu que os veículos autónomos por terem um comportamento de condução mais seguro e consistente face ao comportamento de condução de um humano, sugere que os VA poderão facilitar uma mudança direção na qual construímos as nossas cidades, nas quais serão possíveis existir bairros urbanos voltados para peões [31].

Um estudo em 2014 analisou a promoção da aquisição de veículos autónomos de forma a promover a sustentabilidade da mobilidade dentro de um campus universitário e concluiu que penalizando o uso do veículo particular para as deslocações dentro do campus através de aumento de taxas de pagamento de estacionamento contribuiria para uma mudança nos padrões de mobilidade, sendo que a aquisição de transporte público e bicicletas bem como outras formas de micro mobilidade teria um aumento [32].

Estudos feitos para avaliar a aproximação de modelos microscópicos à realidade dos fluxos de tráfego com auxílio de análise de conflitos com a metodologia SSAM, mostraram resultados promissores, no que toca à avaliação da segurança rodoviária para interseções e novos traçados [33]. Outros estudos que procuraram avaliar a validação de modelos de simulação de fluxos de tráfego e modelos de avaliação de segurança, tais como o VISSIM e SSAM, nos quais através de uma boa caracterização dos fluxos de tráfego e posteriormente calibração do modelo de avaliação de segurança, se obtêm bons resultados indicativos da segurança e conflitos rodoviários [34][35][36][37].

Em 2020 um estudo que visou a análise do impacto dos VA no âmbito da segurança rodoviária, consumo energético e emissões de poluentes, utilizou uma metodologia composta por um modelo de tráfego rodoviário, um modelo de emissão de

transporte rodoviário e um modelo de dinâmica de fluidos computacional de qualidade do ar, chegou à conclusão que para um cenário de penetração de 30 % de VA existe um aumento de 1,8% nas emissões de NO_x e 0,7% de CO_2 . Já para um cenário em que existe a mesma taxa de penetração, mas com recurso a veículos autónomos elétricos, verificou-se uma redução de 30% na emissão de ambos os poluentes [38]. Com isto conclui-se nesse estudo que a introdução de VA elétricos, pode potencialmente conduzir a uma melhoria na qualidade do ar em ambiente urbano, derivado das emissões equivalentes ligadas a produção de eletricidade (que serão menores do que as emissões emitidas pela circulação de veículos de combustão interna se forem usadas fontes de produção renováveis), e o fator de condução autónoma pelas suas características também pode contribuir para uma melhoria na qualidade do ar se esta variável for tida em consideração durante a operação do VA.

Em resumo, vários estudos científicos demonstram um conhecimento notório da aplicabilidade de ferramentas de modelação de tráfego, modelação de emissões e modelação de modelos de avaliação de segurança com estudos em ambiente urbano e extraurbano na avaliação de penetração de VA. Porém no que toca à análise de um cenário que conjuga todas estas ferramentas e em que são analisados vários períodos do dia numa área em que se verifica congestionamento de tráfego, existe uma falta de estudos que demonstrem o impacto dos VA nesse ambiente. Com isso esta Dissertação de Mestrado revela-se inovadora nesse sentido ao analisar o impacto em vários períodos do dia, apresentando resultados numa perspetiva ambiental e de segurança rodoviária, com o acrescento do estudo de formas de mobilidade distintas tais como introdução de um veículo de transporte público autónomo elétrico e análise de emissões de veículos autónomos elétricos.

3. Metodologia

Neste capítulo vai ser abordado o método para a realização desta dissertação. De seguida, vai ser apresentado um cronograma - Tabela 1 - para ser mais fácil a leitura e compreensão dos passos seguidos.

Inicialmente foi discutido o âmbito e objetivos da dissertação com os orientadores. Seguidamente, foi feita a revisão bibliográfica e recolha do estado da arte no capítulo de penetração de VA, seguida da aprendizagem ao *software* de simulação PTV VISSIM 2020.

Logo após, foi feita a adição da rede entre a Universidade de Aveiro e o PCI – Parque de Ciência e Inovação em Ílhavo - juntamente com a modelação de tráfego durante os cenários a serem avaliados. Nesta etapa destacam-se as seguintes fases: configuração de vias de trânsito entre a Universidade de Aveiro e o PCI, tipos e volumes de veículos a circular nas vias, levantamento de perfis de condução, bem como o sistema de controlo de semáforo, rotas e locais de paragem de transporte públicos e locais de estacionamento.

Também se procedeu à calibração do modelo e adaptação de rotas e volumes de tráfego seguindo medições no terreno e a medição de fluxo de tráfego em áreas chave da rede.

Por conseguinte, foram analisadas as emissões e consumos com a metodologia VSP e conflitos rodoviários com auxílio a metodologia SSAM.

A criação de cenários alternativos de forma a minimizar os efeitos resultantes de conflitos rodoviários e aumentar a segurança inerente à simulação, bem como diminuir as emissões de poluentes, foi a etapa que se sucedeu, uma vez que posteriormente foi elaborada a análise de dados resultantes do volume de tráfego, das emissões de poluentes e do número de conflitos.

Por fim, concluir a escrita da Dissertação de Mestrado.

Tabela 1 -Cronologia das tarefas na redação da dissertação

2020										
Etapa	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
1										
2										
3										
4										
5										
6										

- Etapa 1 – Revisão bibliográfica.
- Etapa 2 – Modelação da rede de tráfego.
- Etapa 3 – Pesquisa e recolha de dados para caracterizar fluxos e rotas na rede.

- Etapa 4 – Calibração da rede e definição de cenários alternativos.
- Etapa 5 – Análise crítica de cenários e interpretação de resultados.
- Etapa 6 – Escrita da dissertação e de um artigo para submissão a uma conferência internacional.

3.1 Estudo de caso e monitorização experimental

No estudo de análise de rotas e fluxos de tráfego, destacam-se dois modelos teóricos de análise: o modelo macroscópico e o modelo microscópico. O modelo macroscópico, é calculado tendo em conta um cenário mais geral e menos pormenorizado do que no modelo microscópico. Neste primeiro, são calculadas emissões e consumos baseados em valores médios de velocidade, tipo de veículo e comportamento e percurso médio, não tendo em conta pequenas paragens, acelerações e desacelerações, tempos de espera, sinalização, entre outros, o que os torna ideais para cenários pouco precisos e de cálculo rápido.

Por outro lado, o modelo microscópico é baseado em métodos de cálculo instantâneo sustentados em propriedades como velocidade instantânea, acelerações, tempos de espera, comportamento do condutor, entre outros parâmetros dinâmicos do veículo. Neste método é possível ter um cálculo mais preciso de segundo a segundo, tendo em conta todas as variáveis a ter em consideração.

No caso do *software* utilizado nesta dissertação de mestrado – o PTV VISSIM 2020 –, o mesmo baseia-se num modelo microscópico e tem em conta fenómenos de fluxo de tráfego tais como o congestionamento, sinalização e regras de trânsito bem como a interação entre o tráfego de veículos com peões e ciclistas. O congestionamento ocorre quando o fluxo de tráfego para uma dada via de trânsito não se adequa e supera a capacidade dessa via de escoar o fluxo que lhe está a ser imposto. Assim, a criação de vias e rotas alternativas bem como a escolha das mesmas, é essencial no bom funcionamento da rede de tráfego.

Um dos dados a ter em conta para avaliar o comportamento e penetração dos VA, é o troço em que circulam. No caso alvo de análise nesta dissertação, foi feita a distinção dos traçados em três tipos: traçado urbano, traçado em estrada nacional e traçado de parques de estacionamento e vias com velocidade reduzida. Assim, para cada traçado, existe um comportamento distinto por parte dos condutores, ciclistas e veículos autónomos. Este conceito de comportamentos distintos é o que distingue o PTV VISSIM de outros programas de modelação microscópica de tráfego.

A modelação descrita neste capítulo segue as diretrizes de trabalhos desenvolvidos no passado, com o intuito de elaborar uma rede para modelar o tráfego na periferia da Universidade de Aveiro. Este trabalho foi desenvolvido com o auxílio e trabalho dos investigadores do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, bem como antigos alunos no seu trabalho de dissertação.

Os períodos do dia a serem analisados nesta dissertação serão as horas de ponta da parte da manhã - entre as 8h45 e as 10h00 - e da parte da tarde - entre as 17h45 e as 19h00.

A simulação terá um total de 5400 segundos, na qual os primeiros 900 segundos serão para a introdução de veículos na rede fazendo assim um aquecimento da mesma para aquando do início da recolha de dados, dos 900 segundos a 5400 segundos para um total de 4500 segundos, já haver veículos a percorrer a rede.

3.2 Obtenção de dados e modelação de tráfego

Como já foi referido, o caso de estudo desta dissertação situa-se nos concelhos de Aveiro e Ílhavo, mais propriamente nas áreas em redor da Universidade de Aveiro e o PCI, também abrangido a nacional 109, N109 e parte da A25.

Devido à situação pandémica consequente do COVID-19, não foi possível fazer recolha de dados experimentais para vários pontos da rede nem fazer monitorização de tempos de viagem para diversas rotas, pelo que foram seguidos outros métodos para a modelação da rede.

Para a obtenção de dados relativos aos volumes de tráfego e tempos de viagem nas áreas sujeitas a análise, foi examinada a base de dados obtidos pelo TEMA - Centro de Tecnologia Mecânica e Automação - no ano 2019, relatórios de fluxos de tráfego históricos e recolhas no terreno no ano 2020 para complementar alguns dados em falta e assegurar a idoneidade da mesma.

Assim sendo, a monitorização experimental efetuada pelo TEMA consistiu na recolha de volumes de tráfego na zona circundante à UA em vários nós com os vários intervenientes, registando o fluxo de veículos ligeiros, passageiros e mercadorias, bem como o fluxo de veículos pesados a cada 15 minutos para os intervalos em análise acima mencionados - parte da manhã entre as 8h45 e as 10h00 e da parte da tarde entre as 17h45 e as 19h00. De seguida, demonstra-se a localização dos pontos de observação bem como o sentido do fluxo de tráfego. Estes pontos de observação são os que se encontram mais perto do campus da Universidade e estão identificados nas seguintes imagens, tratando-se do ponto de observação número um até ao número catorze.

Os restantes pontos foram obtidos através de dados históricos retirados de monitorizações realizadas no âmbito Relatório Mapa de Ruído - Revisão do Plano Diretor Municipal, abril 2013 [39]. Este plano consiste na elaboração de mapas de ruído em torno da área do concelho de Ílhavo em que, para isso, foi necessária a realização de contagens no terreno do fluxo de tráfego nas várias avenidas e ruas do concelho.

Os principais eixos que atravessam o concelho em que foram feitas as contagens são os seguintes: estrada EN109, EN335, a EM 587, a EM590 e a EM592, bem como troços na A25 e A17.

Como está presente no relatório, estas contagens foram feitas em vários períodos do dia, porém, para esta dissertação, só foi tido em conta as contagens feitas para o período que se vai avaliar, entre as 9h00 e as 20h00.

Contudo, neste relatório, o valor de fluxo de tráfego para uma dada via rodoviária não especifica o seu sentido, sendo o valor total do fluxo de ambos os sentidos.

Para uma melhor modelação da rede em VISSIM, seria ideal ter valores para cada sentido da via a fim de aumentar a definição do fluxo de tráfego nas rotas a serem contruídas posteriormente no VISSIM. Para completar a informação do relatório, foram feitas várias observações no concelho de Ílhavo e Aveiro para retirar dados relativos à distribuição de fluxo por sentido de tráfego, bem como avaliar a temporização da sinalização luminosa nos concelhos. As observações, embora feitas nas últimas semanas de abril e primeiras semanas de maio, em que se registou uma diminuição do fluxo de tráfego devido à imposição de restrições na deslocação dos portugueses devido à pandemia, foram consideradas suficientes para o registo e seguinte calibração da rede no VISSIM. Esta constatação foi baseada na comparação da repartição do fluxo por sentido, confrontada aos dados obtidos no concelho de Aveiro pelo TEMA, em que demonstrava seguir o mesmo padrão.

Seguindo o que foi suprarreferido, encontram-se assim na seguinte figura, Figura 6, a localização dos intervenientes para as medições de fluxos a serem considerados para uma posterior calibração da rede no VISSIM através de nós e, de seguida, informação relativa ao nome da rua bem como a identificação de cada ponto de observação.

No que toca à modelação da ocupação do parque de estacionamento na rede, nomeadamente em redor do campus universitário e em redor do PCI, foram consultados dados obtidos por observações no terreno para os parques de estacionamento da UA bem como o volume de fluxo de tráfego a entrar e sair dos parques. Para os parques anexos ao PCI, foi feito um levantamento da taxa de ocupação dos parques nos dias 22, 24 e 25 de janeiro de 2020, calculando a média da taxa de ocupação para, posteriormente, inserir os dados para a modelação da rede em VISSIM.

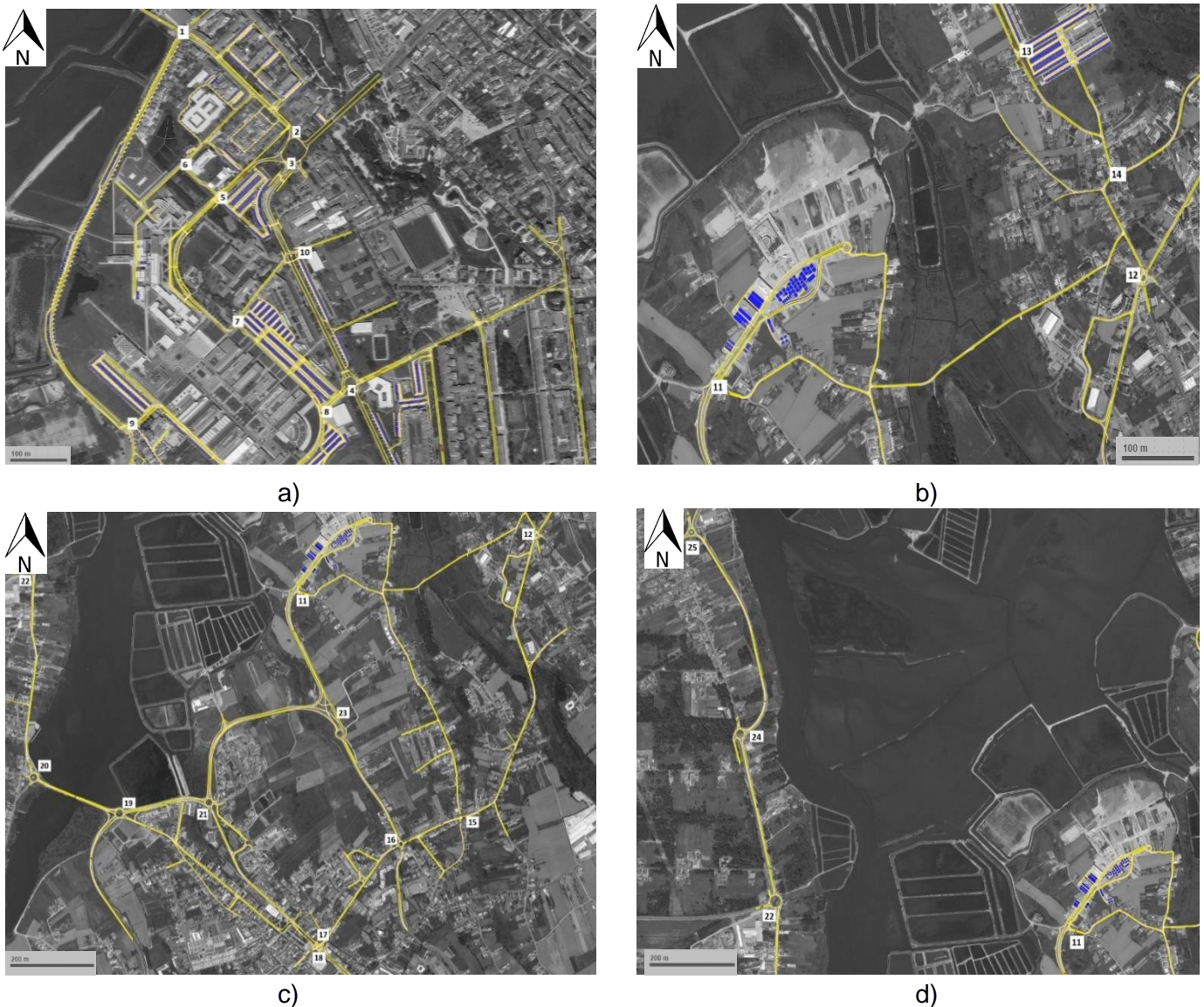


Figura 6- Localização dos pontos de observação para recolha de volumes de tráfego

- a) Pontos 1 a 10; b) Pontos 11 a 14; c) Pontos 15 a 23; d) Pontos 24 e 25
(Fonte da imagem de fundo: *Bing Maps*)

Descrição dos pontos de observação:

- Ponto 1 - Rua da Pega;
- Ponto 2 - Rotunda do Hospital-Norte
- Ponto 3 - Rotunda do Hospital-Sul
- Ponto 4 – ISCAA Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Aveiro
- Ponto 5 - Cruzamento Autocarro Bar
- Ponto 6 - Cruzamento AFPIUA
- Ponto 7 - Reitoria UA
- Ponto 8 - Complexo Pedagógico
- Ponto 9 - Departamento de Matemática
- Ponto 10 - Urgências Hospital de Aveiro
- Ponto 11 - PCI Parque de Ciência e Inovação
- Ponto 12 - Rotunda Botafogo
- Ponto 13 - ESSUA Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro
- Ponto 14 - Cruzamento Rua Eça de Queiróz
- Ponto 15 - Rua da Coutada
- Ponto 16 - Rotunda N109
- Ponto 17 - Av. 25 de Abril-Norte
- Ponto 18 - Av. 25 de Abril-Sul
- Ponto 19 - Via da Malhada
- Ponto 20 - Rua da Mota
- Ponto 21 - Vila das Lavegadas
- Ponto 22 - Rua do Norte
- Ponto 23 - R. Dr. Dinis Gomes
- Ponto 24 - Via Daria
- Ponto 25 - Avenida dos Bacalhoeiros

As coordenadas de cada ponto de observação para a recolha de volumes de tráfego encontram-se em anexo na Tabela A.1.

Para a recolha de dados relativos a tempos de viagem, também foi feita a recolha de base de dados de monitorizações experimentais efetuada pelo TEMA em 2019 para o concelho de Aveiro. Para o concelho de Ílhavo, foram feitos vários trajetos nos períodos alvo de análise, com auxílio de veículo próprio e com a medição dos tempos com um cronómetro. Os mesmos foram efetuados no final do mês de maio do corrente ano seguindo, porém, o que foi feito para os fluxos de tráfego, elaborando um cruzamento com os dados recolhidos pelo TEMA e valores de tempos de viagem dados por GPS, e considerou-se valores credíveis para a elaboração desta dissertação.

Para a caracterização dos tempos de viagem, foram consideradas as rotas indicadas na Tabela 2 para os períodos de ponta da manhã e da tarde

Tabela 2- Origem e destino das rotas feitas para calibração dos tempos de viagem: a) período da manhã; b) período da tarde

Rota	Origem→Destino
1	Avenida Mário Sacramento → Rua do Castro
2	Avenida Mário Sacramento→ Complexo Pedagógico
3	Complexo Pedagógico → Mercadona
4	N235→ Hospital de Aveiro
5	Reitoria → Doce Aveiro
6	Rotunda Pirâmides → Doce Aveiro
7	Rua do Castro→ Rotunda Pirâmides
8	Prio→Lidl
9	Av. 25 de Abril→ Rua da Mota
10	Av. 25 de Abril →Vila Daria
11	Mercadona→Pingo Doce (Ílhavo)
12	Avenida dos Bacalhoeiros→ Vila da barraquinha
13	Av. 25 de Abril → LIDL
14	Av. 25 de Abril_→ PCI
15	Mercadona→ PCI

a)

Rota	Origem→Destino
1	Avenida Mário Sacramento → Rua do Castro
2	Complexo Pedagógico → Mercadona
3	N235→ Hospital de Aveiro
4	Reitoria→ Doce Aveiro
5	Rotunda Pirâmides → Doce Aveiro
6	Rua do Castro→ Rotunda Pirâmides
7	Prio→Lidl
8	Av. 25 de Abril→ Rua da Mota
9	Av. 25 de Abril →Vila Daria
10	Mercadona→Pingo Doce (Ílhavo)
11	Avenida dos Bacalhoeiros→ Vila da barraquinha
12	Av. 25 de Abril → LIDL
13	Av. 25 de Abril_ → PCI
14	Mercadona→ PCI
15	Complexo Pedagógico→ Glicínias
16	Glicínias→ ESSUA
17	ESSUA→ Rua da Pega
18	Glicínias→ Hospital
19	Departamento de Matemática→ Prio

b)

Feita a recolha de dados relativos à caracterização do tráfego dos concelhos de Aveiro e Ílhavo, procedeu-se à construção da rede no VISSIM. Para isso, foi necessário completar a rede que foi disponibilizada pelo TEMA, a fim de permitir a simulação do comportamento dos variados veículos na área em redor da Universidade de Aveiro e Parque da Ciência e Inovação em Ílhavo.

Assim, começou-se por desenhar as vias de circulação no VISSIM - denominadas por “Links” [40] -, acompanhando imagens de satélite dadas pelo *software* de modo a criar uma rede de estradas virtual no qual circulam os veículos na simulação.

Para o comportamento dos veículos nas mesmas, foi adotado um tipo de comportamento denominado “Aveiro Downtown” cujo comportamento segue “1: Urban (motorized)” na secção “Link Behavior Types/Driving Behaviors By Vehicle Class” [40] conforme a Figura 7. Este foi escolhido por melhor definir o comportamento dos veículos a circular nos concelhos de Aveiro e Ílhavo.

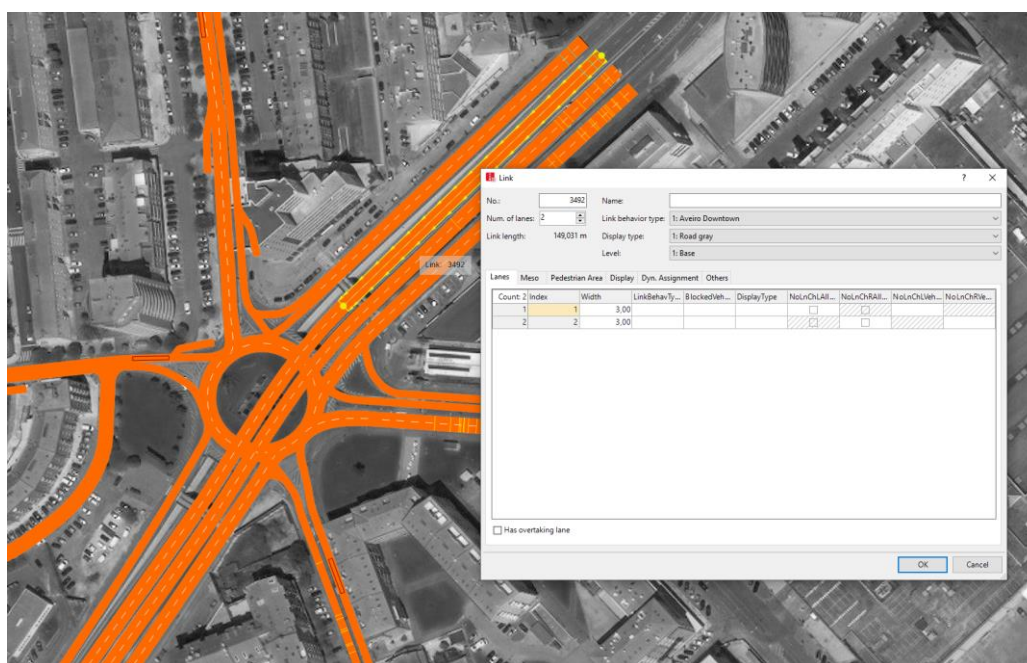


Figura 7-Characterização do “Link” na rede. (Fonte da imagem de fundo: Bing Maps)

No total da rede encontram-se criados 15 656 “Links” perfazendo um total de 142 quilómetros e 721 metros, abrigando assim uma área em redor da Universidade de Aveiro e Parque da Ciência e Inovação de aproximadamente 20 quilómetros quadrados como se pode observar na Figura 8.

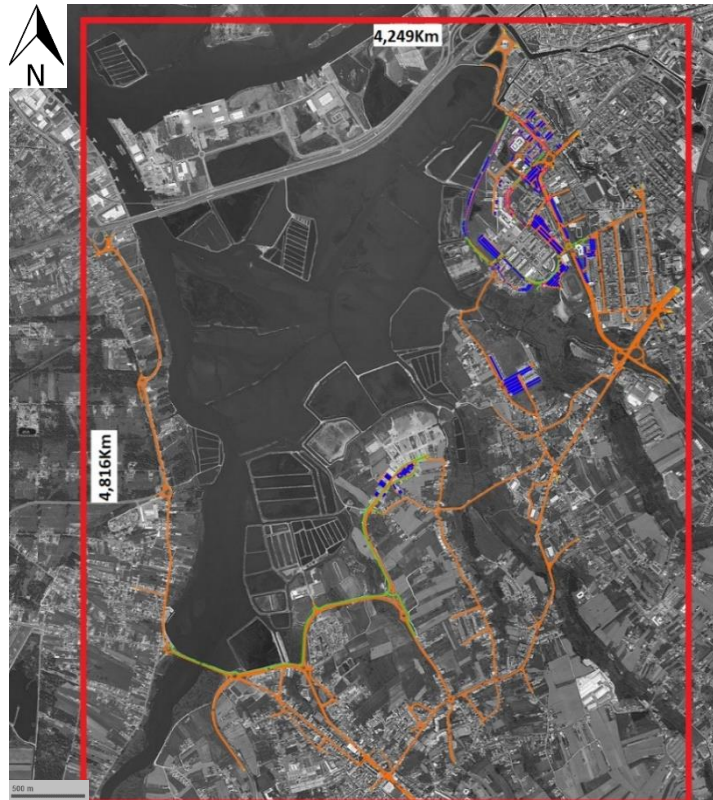


Figura 8-Rede modelada e o seu tamanho (Fonte da imagem de fundo: *Bing Maps*)

De seguida, foram atribuídas velocidade máximas a cada “*Link*” denominados “*Desired Speed Decisions*” [40] de acordo com as velocidades praticadas, de forma a ter uma maior aproximação à realidade. Sendo assim, foram usados vários valores para caracterizar as velocidades, dependendo do tipo de veículo a circular, conforme exemplificado na Figura 9.

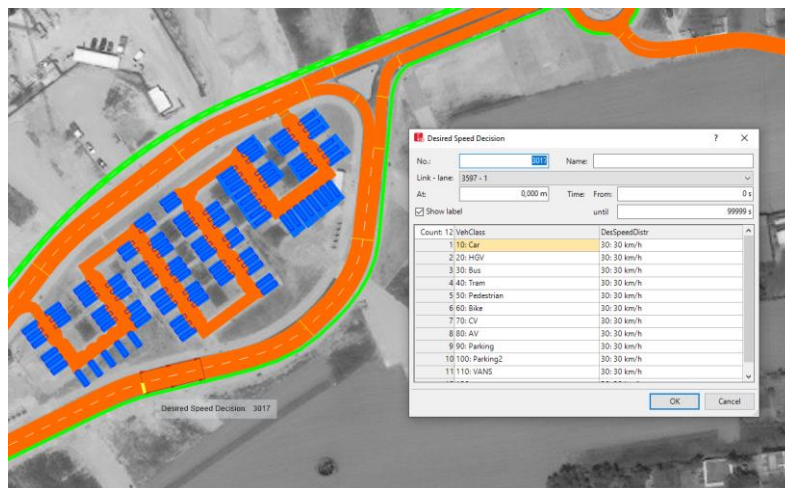


Figura 9- Caracterização das “*Desired Speed Decisions*” na rede (Fonte da imagem de fundo: *Bing Maps*)

A mais usada, denominada “Aveiro Centro”, é caracterizada por velocidades compreendidas entre os 45 quilómetros por hora e os 60 quilómetros por hora, com a função exemplificada na próxima figura, Figura 10.

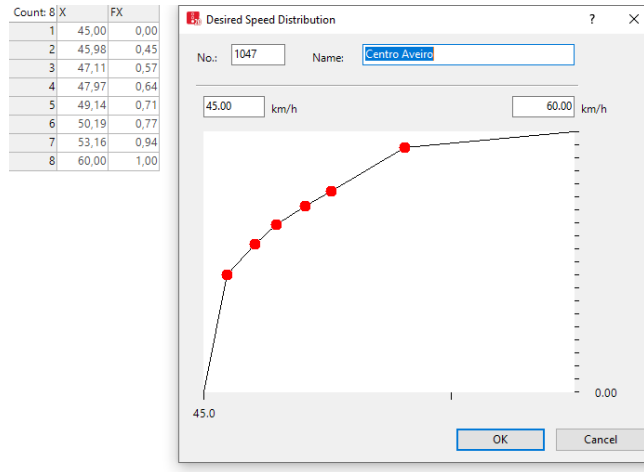


Figura 10- Caracterização do gradiente de velocidade para “Aveiro Centro”

Para caracterizar outros espetros de velocidade na rede, foram utilizadas outras opções normalizadas no VISSIM, tais como “*Entry Roundabout*” [40] para entrada em rotundas, “*Exit Roundabout*” [40] para saída de rotundas, “20km/h” [40] para velocidades compreendidas entre os vinte quilómetros por hora e os vinte e cinco quilómetros por hora, como pode ser observado na Figura 11, “30km/h” [40] para velocidades compreendidas entre os trinta quilómetros por hora e os trinta e cinco quilómetros por hora e “40km/h” [40] para velocidades compreendidas entre os quarenta quilómetros por hora e os quarenta e cinco quilómetros por hora. Estas últimas três apresentam gradientes lineares de velocidade. No total da construção da rede, foram utilizados 4163 decisores de velocidade.

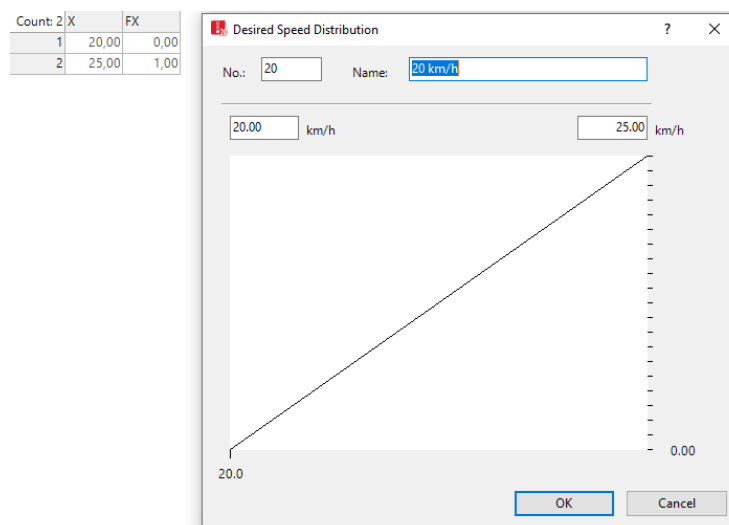


Figura 11- Caracterização do gradiente de velocidade para “20km/h”

Para a redução de velocidade em curvas de menor raio, entrada de rotundas, estacionamentos e zonas em que por motivos externos os veículos reduzem a sua velocidade instantânea, recorreu-se a “*Reduced Speed Areas*” [40] para garantir uma desaceleração homogênea de todos os veículos abrangidos por esta ferramenta.

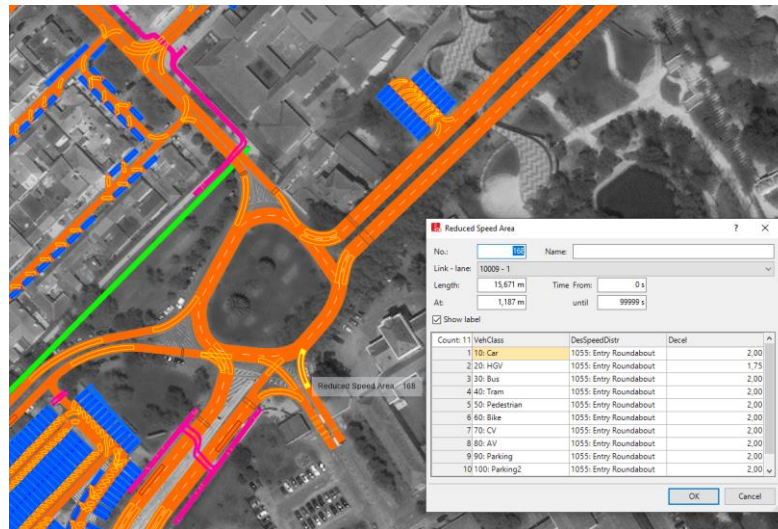


Figura 12- Caracterização das “*Reduced Speed Areas*”
(Fonte da imagem de fundo: *Bing Maps*)

De seguida, foram consideradas as situações em que existe prioridade de circulação entre os utentes da rede devido à interceção de vias de circulação, denominadas no VISSIM por “*Conflict Areas*” [40], tais como interceções entre vias principais e secundárias, saídas de estacionamentos, vias de aceleração, entradas e saídas de rotundas, vias com sinalização de cedência de passagem e interação de veículos, peões e bicicletas, conforme exemplificado na Figura 13.



Figura 13- Caracterização das “*Conflict Areas*”
(Fonte da imagem de fundo: *Bing Maps*)

Para as interseções na qual a cedência de passagem recorre a sinalização luminosa, o VISSIM possui a opção “*Signal Heads*” [40], que simula a temporização da sequência luminosa - vermelho-amarelo-verde. Na caracterização desta opção, é definido os tempos de cada etapa e emparelhado as várias sinalizações luminosas de modo a não haver conflitos no fluxo de tráfego. Todas as sinalizações presentes na rede foram devidamente modeladas com o auxílio de um cronómetro e observação no terreno.



Figura 14- Caracterização da localização da sinalização luminosa na Av.25 de Abril, Ílhavo (Fonte da imagem de fundo: *Bing Maps*)

A temporização sinalização luminosa foi introduzida dentro do campo de opções “*Signal Controls*” [40]. Depois, foi selecionado o padrão luminoso correspondente ao padrão usado em Portugal no VISSIM, denotado por “*Red- Green-Amber*” [40]. Posteriormente foi programada a temporização para cada um dos conjuntos de sinalização na rede conforme a Figura A.1 em anexo. No total, foram modelados quatro conjuntos de semáforos.

O próximo passo foi construir a rede dos transportes públicos. Na região de Aveiro, o transporte público mais dominante é o autocarro logo, para isso, contou-se com a definição de rotas, paragens e horários de forma a simular a rede rodoviária de transporte público. Por conseguinte, foram consultados os horários da Transdev que opera no concelho de Aveiro e Ílhavo com as redes “*AveiroBus*” e “*ÍlhavoIN*”, respetivamente [41][42].

Na construção da rede de transportes públicos no VISSIM, foi usada a opção “*Public Transport Stops*” [13] para a criação de paragens e para as várias rotas foi utilizada a “*Public Transport Lines*” [40], conforme a Figura 15 e Figura 16. Para uma maior aproximação, como o início da recolha de dados na simulação corresponde ao intervalo entre as 8h45 e 10h00 no período da manhã e 17h45 e 19h00 para o período da tarde, a criação dos horários da linhas foi concebido e adaptado de modo a que coincidisse com a realidade, sendo 900 segundos na simulação correspondem a 8h45 no período da manhã e 17h45 no período da tarde, e 5400 segundos correspondem a 10h00 no período da manhã e 19h00 no período da tarde. No total, foram construídas 42 paragens e 12 linhas podendo ser consultadas as Tabelas A.10 e A.11 que se encontram em anexo na qual podem ser verificados os tempos em que se iniciam as rotas dos autocarros na rede, seguindo a Figura 17 no que toca à construção das mesmas no VISSIM.

Count	12	No	Name	EntryLink	DestLink	DestPos	EntTmOffset	VehType	DesSpeedDistr	Color
1	1	Linha 1	456	3982	10,728	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 190, 0, 0)	
2	2	Linha 2	3984	10637	118,248	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 0, 168, 0)	
3	3	Linha 3	456	3986	8,440	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 224, 224, 0)	
4	4	Linha 4	3499	18471	39,030	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 0, 168, 168)	
5	5	Linha 5	3500	67,728	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 168, 0, 168)		
6	6	Linha 6	456	3981	12,236	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 0, 0, 0)	
7	7	Linha 7	157	10637	111,471	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 127, 255, 21...	
8	8	Linha 8	456	18214	27,750	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 138, 43, 226)	
9	9	Linha 9	3980	10637	132,422	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 165, 42, 42)	
10	10	Linha 10	18144	4113	48,540	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 222, 184, 13...	
11	11	Linha 11	4221	3943	229,448	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 95, 158, 160)	
12	12	Linha 12	3980	4134	40,047	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 127, 255, 0)	

Count	6	PTLine	PTStop	Active	SkipPass	DepOffset	PedsAsPass	DwellTmDef	DoorClosDel	DoorLockDurRefDep
1	1	Linha 1	1: Av. Artur Ravara	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,0	<input type="checkbox"/>	Calculation	3,0	1,0
2	1	Linha 1	3: Hospital	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,0	<input type="checkbox"/>	Calculation	3,0	1,0
3	1	Linha 1	30: UA residencias	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0	<input type="checkbox"/>	Calculation	3,0	1,0
4	1	Linha 1	12: ISCA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,0	<input type="checkbox"/>	Calculation	3,0	1,0
5	1	Linha 1	9: Rua Nova Santiago	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,0	<input type="checkbox"/>	Calculation	3,0	1,0
6	1	Linha 1	4: Rua de Ovar_SentidoGlicini...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,0	<input type="checkbox"/>	Calculation	3,0	1,0

Figura 15- Caracterização das linhas dos autocarros e respetivas paragens

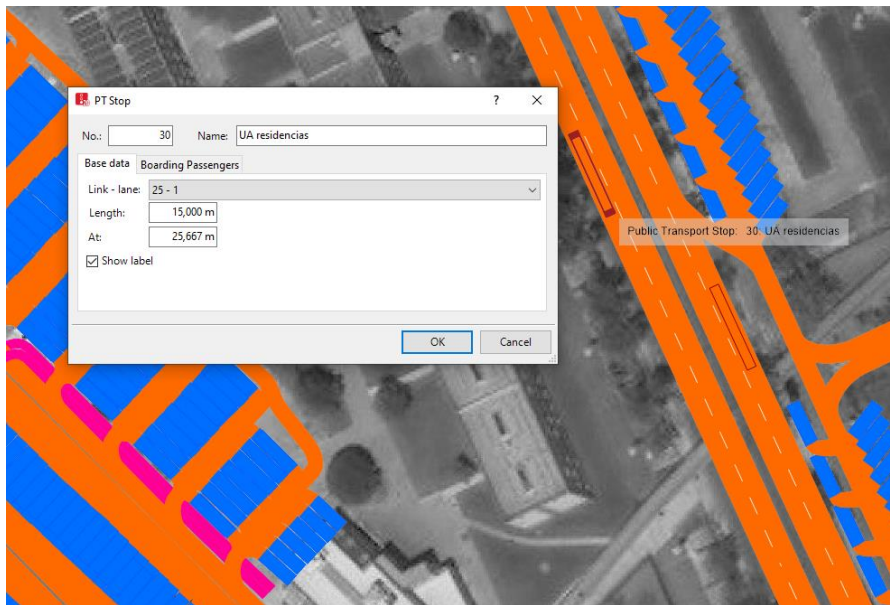


Figura 16- Caracterização das paragens dos autocarros (Fonte da imagem de fundo: Bing Maps)

Count	12	No	Name	EntryLink	DestLink	DestPos	EntTmOffset	VehType	DesSpeedDistr	Color
1	1	Linha 1	456	3982	10,728	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 190, 0, 0)	
2	2	Linha 2	3984	10637	118,248	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 0, 168, 0)	
3	3	Linha 3	456	3986	8,440	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 224, 224, 0)	
4	4	Linha 4	3499	18471	39,030	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 0, 168, 168)	
5	5	Linha 5	3500	67,728	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 168, 0, 168)		
6	6	Linha 6	456	3981	12,236	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 0, 0, 0)	
7	7	Linha 7	157	10637	111,471	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 127, 255, 21...	
8	8	Linha 8	456	18214	27,750	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 138, 43, 226)	
9	9	Linha 9	3980	10637	132,422	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 165, 42, 42)	
10	10	Linha 10	18144	4113	48,540	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 222, 184, 13...	
11	11	Linha 11	4221	3943	229,448	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 95, 158, 160)	
12	12	Linha 12	3980	4134	40,047	0,0	300: Bus	1052: Bus Speed Avei...	(255, 127, 255, 0)	

Count	6	Dep	TeleCour	Occup
1	600,0	0	0	
2	660,0	0	0	
3	2460,0	0	0	
4	2700,0	0	0	
5	2820,0	0	0	
6	3540,0	0	0	

Figura 17- Caracterização dos tempos em que se iniciam as rotas dos autocarros

De forma semelhante à criação das rotas para os transportes públicos, foram concebidas rotas para os restantes intervenientes na rede, tais como veículos ligeiros, bicicletas e peões. Assim, foi utilizada a opção “*Vehicle Routes*” [40], sendo utilizadas duas subcategorias para simular as rotas dos veículos: rotas estáticas - “*Static Routes*” - [40] e rotas destinadas a estacionamento - “*Parking Routes*” [40] como pode ser observado na Figura 18. As rotas estáticas destinam-se para a circulação dos veículos, peões e bicicletas, de um “Link” de entrada na rede até um “Link” de saída da rede, simulando assim a circulação através da rede, mas sem a paragem e permanência dos mesmo para o restante tempo de simulação. Por outro lado, as rotas destinadas a estacionamento, como o próprio nome indica, são rotas em que os veículos seguem para a finalidade de estacionar e permanecer.

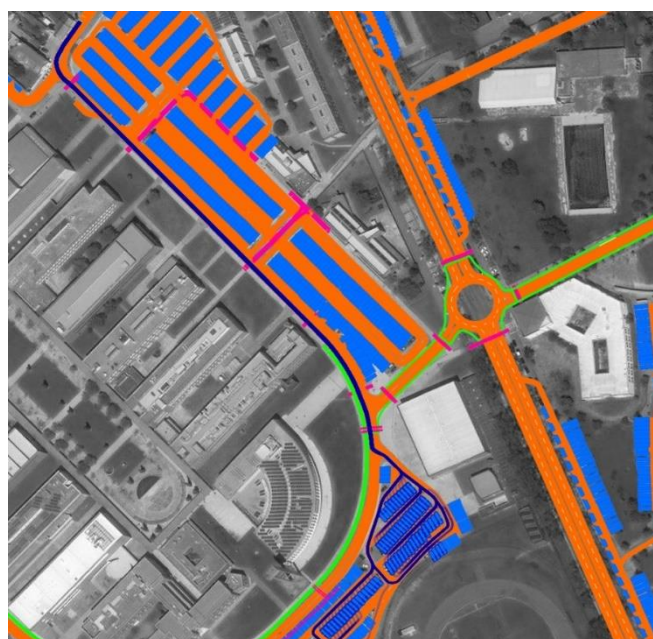


Figura 18- Caracterização de uma “*Parking Route*”
(Fonte da imagem de fundo: *Bing Maps*)

3.3 Calibração e validação da rede

Para a representação das características do tráfego do objeto de estudo desta dissertação, foi feita uma calibração e validação da rede VISSIM a fim de ter uma representação credível da rede rodoviária da área a ser analisada.

Numa primeira fase, foi feita uma calibração do fluxo de tráfego nas proximidades da Universidade de Aveiro e o Parque de Ciência e Inovação de Ílhavo. Para isso, acedeu-se a registos do TEMA para as imediações da universidade que foram obtidos com o auxílio a observações em pontos chaves da rede, tais como rotundas e cruzamentos de entrada para esta área com contagens de quinze em quinze minutos para os períodos em análise.

Na zona que abrange o concelho de Ílhavo, foi consultado o Relatório Mapa de Ruído - Revisão do Plano Diretor Municipal, abril 2013 [39] -, que tem contagens de veículos em pontos chave do concelho. Porém, estas contagens não especificam o sentido do fluxo de tráfego sendo, por isso, feitas observações nesses pontos a fim de

retirar as distribuições de fluxo nos mesmos. Estas observações foram feitas em período de pandemia COVID-19, porém, foi concluído que refletiam de grosso modo as distribuições de fluxo de tráfego para um período normal, mas com menos veículos. Deste modo, foi possível a calibração e validação da rede tendo uma base de dados que consiste no número e tipo de veículos que passam em pontos fulcrais da rede nos períodos da manhã e tarde.

Neste contexto, foi utilizada a opção de criação e caracterização de nós na rede [40], conforme observado na Figura 19. Este tem o fim de ser um ponto de leitura de diversos parâmetros, entre eles o número de veículos a passar por nó.

Assim, para obter a leitura, foram colocados os nós nos mesmos locais dos pontos de observação dados pela base de dados obtidas, conforme descrito anteriormente.

No total, foram inseridos 158 nós na rede que avalia o período da manhã e 163 nós na rede que avalia o período da tarde.

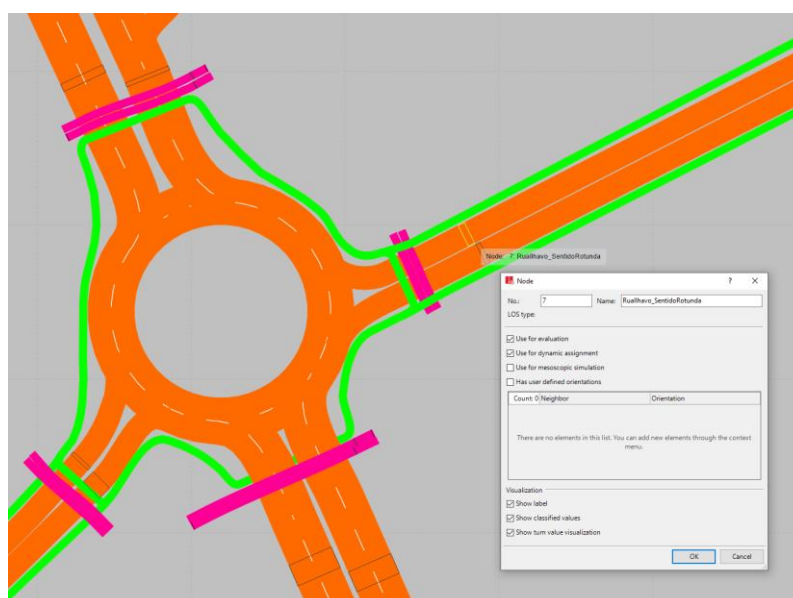


Figura 19- Caracterização dos “Nodes”

Após a inserção dos nós, foi selecionado no campo relativo a “Evaluation” [40], a opção de recolha das leituras dadas pelos nós em “Evaluation Configuration” [40] e por fim observando essas leituras em “Node Results” [40] conforme as seguintes figuras, Figura 20 e Figura 21.

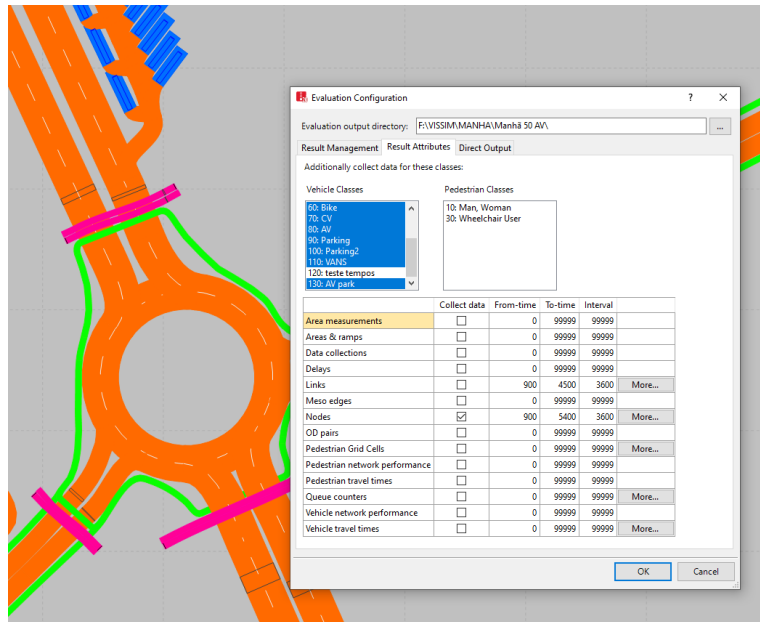


Figura 20- Configuração para leituras de volumes de tráfego dadas em “*Evaluation Configuration*”

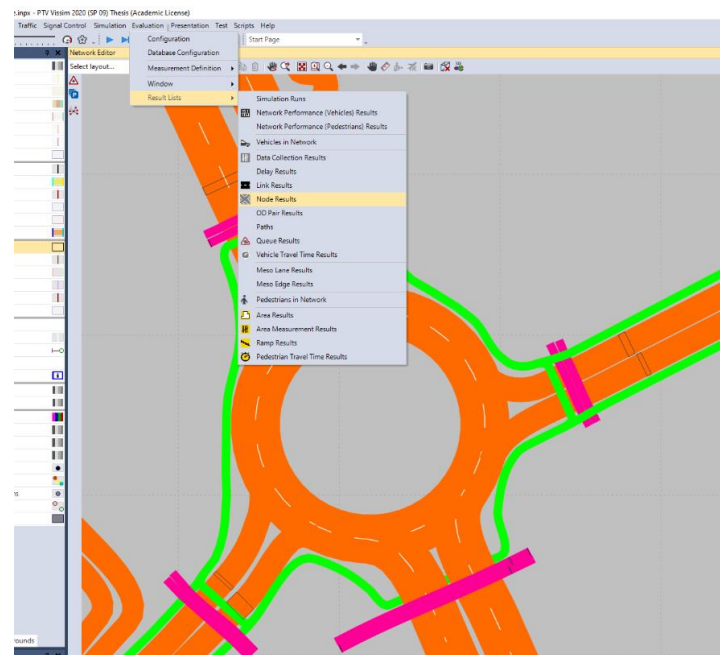


Figura 21- Leituras de volumes de tráfego dadas por “*Nodes Results*”

Para a calibração dos dados obtidos das leituras dadas por “*Node Results*” [40], foi adotada a calibração protagonizada por *Geoffrey E. Havers* (GEH) [43] em que avalia o intervalo entre os dados reais obtidos através das observações e relatórios anteriormente mencionados e os dados obtidos resultantes das simulações.

Para o cálculo do índice GEH, é tido em conta os valores de volume de tráfego observado (Real) e os valores de volume de tráfego obtido nas simulações (Simulado) conforme a equação 1:

$$GEH = \sqrt{\frac{2*(R-S)^2}{R+S}} \quad (1)$$

Equação 1 - Cálculo do índice GEH

Em que:

- GEH: índice de *Geoffrey E. Havers*;
- R: volume de tráfego simulado, em veículos por hora (vph).
- S: volume de tráfego observado, em veículos por hora (vph).

Sendo que, para valores de GEH compreendidos entre zero e quatro, obtém-se uma calibração do nó com credibilidade e com valores de GEH superiores a quatro, terá que ser feita uma nova recalibração de forma a ter resultados mais credíveis.

Para o conjunto dos nós presentes na rede, considerou-se a rede calibrada quando eram cumpridos dois requisitos: primeiro, mais de 85% dos nós com o índice de GEH inferior ou igual a quatro, o que correspondia a ter mais de 115 nós com índice de GEH no intervalo referido; o segundo requisito, seria ter um ajuste entre valores observados e valores obtidos bom. Este é determinado com o auxílio da construção de um gráfico em que no eixo horizontal consta o volume de veículos observado e no eixo vertical o volume de veículos obtido da simulação, Figura 22. Obtendo um coeficiente de determinação na ordem superior a 95%, seria considerado um bom ajuste e, assim, uma boa calibração da rede. Nesta figura, Figura 22, apenas se obteve um coeficiente de determinação de 89% para a primeira fase de calibração, posteriormente serão introduzidos os dados da dinâmica dos veículos e seguidamente será feita uma nova calibração, assegurando um coeficiente de determinação superior a 95%.

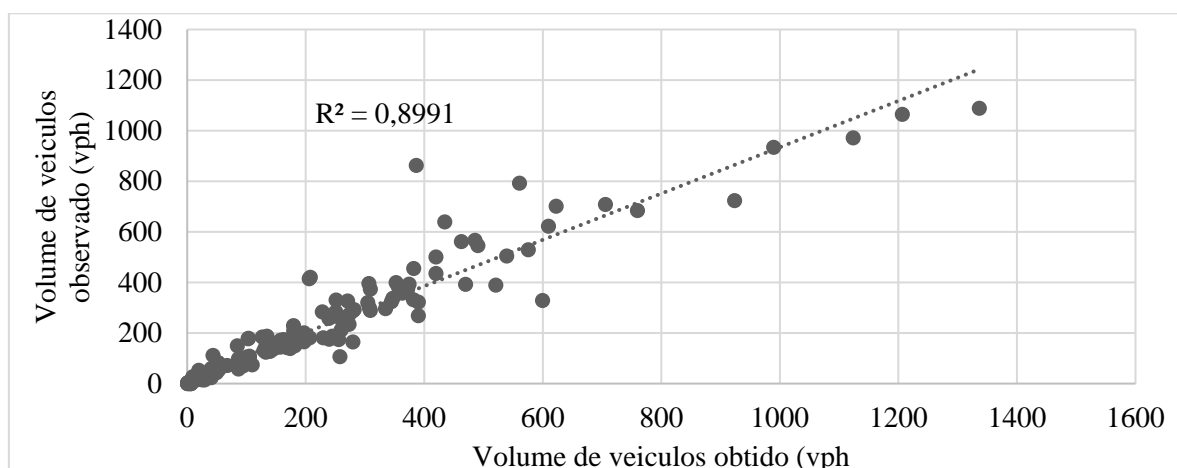


Figura 22- Gráfico de dispersão da calibração dos volumes de tráfego, no período da manhã (8h45- 10h00), 1ª calibração

Para uma segunda fase da calibração e validação da rede, foi feita a calibração dos tempos de viagem. Com esta, procura-se definir rotas para que o tempo que um dado veículo demora a efetuar na realidade seja, aproximadamente, o mesmo que demora um veículo a efetuar na rede.

Assim, foram disponibilizadas bases de dados de medições da dinâmica efetuadas pela equipa de investigação em mobilidade e transportes do DEM/TEMA em redor do campus da Universidade de Aveiro, que consistiu em realizar várias passagens para cada rota com o auxílio de monitorização GPS e recolha de vários parâmetros do veículo em tempo real tais como latitude, longitude, velocidade instantânea, aceleração e distância total percorrida. Nesta recolha de dados foram feitas, em média, 5 passagens para cada rota para os dois períodos alvo de análise: manhã entre as 8h30 e as 10h00 e no período da tarde entre as 17h00 e as 19h00.

Para a calibração da dinâmica dos tempos de viagem no concelho de Ílhavo, como era impossível seguir a metodologia adotada acima mencionada devido à pandemia COVID-19, todas as medições nesta área foram efetuadas percorrendo rotas chave, pré-definidas, tal como pode ser observado na Figura 23, de forma a ter uma calibração homogénea entre os dois concelhos, recorrendo à recolha de tempos através de um cronómetro. Apesar da recolha de dados ser em período de pandemia COVID-19, as dinâmicas dos tempos de viagem não divergem dos tempos de viagem para um período normal. Para chegar a esta conclusão, comparou-se os tempos obtidos com tempos de viagem indicados pelo “Google Maps” realizando-se também algumas passagens nas rotas em que o TEMA obteve medições e, ao comparar alguns tempos, observou-se pouca disparidade entre as medições do TEMA e as medições feitas, com desvios entre os 3% e os 11%.

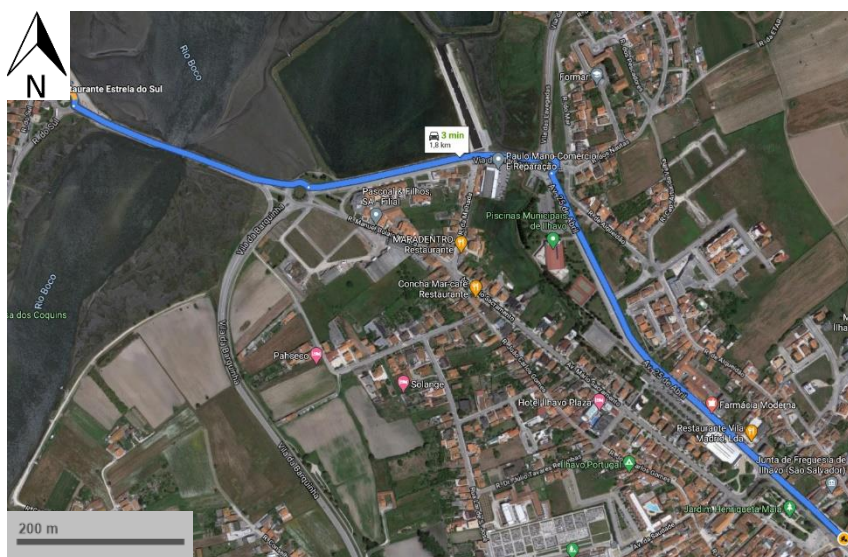


Figura 23- Exemplo de rota para caracterização dos tempos de viagem Av. 25 de Abril- Rua da Mota (Fonte: Google Maps)

Para a calibração dos tempos de viagem dos veículos, foi feita uma comparação entre os valores obtidos da base de dados alcançados através observações acima mencionadas e dos valores conseguidos da simulação no VISSIM.

Para a realização das rotas no VISSIM, foi criado um tipo de veículo no *software* de forma a ser mais fácil a sua identificação nos ficheiros de saída e, posteriormente, a calibração de limites de velocidade e comportamentos dos veículos com o intuito de calibrar os tempos de viagem na rede. As características deste tipo de veículo são semelhantes às características de um veículo ligeiro comum, onde apenas difere a sua apresentação no VISSIM e a sua identificação (denominado por “veículo teste de tempos” na rede). Já as velocidades e comportamentos são inalterados comparativamente a um veículo ligeiro comum.

Para uma dada rota, foram inseridos um número de veículos a determinar espaçados homogeneamente durante o período de simulação. No final de cada simulação, para obter os dados relativos a cada veículo a percorrer as rotas, selecionou-se na opção “*Evaluation*”, seguida de “*Evaluation Configuration*”, seguida de “*Direct Output*”, selecionando “*Vehicle Record*” e selecionando logo após os parâmetros do veículo que se quer avaliar em “*Attributes*”[40]. Alguns destes parâmetros selecionados são: a identificação do veículo na rede, o seu ID, a sua velocidade instantânea, aceleração, o tempo de simulação, o número de paragens, entre outros, Figura 24.

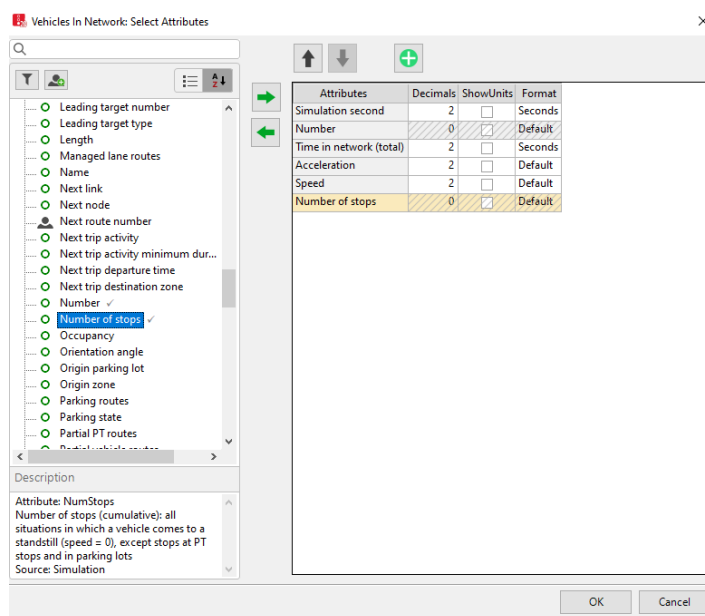


Figura 24- Caracterização dos parâmetros de “*Vehicle Record*” para recolha dos tempos de viagem na rede para uma dada rota

Para a determinação no número de veículos a inserir na rede para realizar uma rota predefinida, recorreu-se à metodologia seguida por D. Winnie, B. Christine e S. P., em “*Traffic Simulation and Data: Validation Methods and Applications*”, 2014 [44]. Para este, o número de veículos a inserir na rede está dependente do número de repetições, intervalo de confiança, média de tempos de viagem e desvio padrão dos tempos, segundo a Equação 2:

Número de repetições: entre cinco para o concelho de Aveiro e oito para o concelho de Ílhavo, conforme a Tabela A.7 e Tabela A.8 em anexo.

$$IC = \frac{Z*DP}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

Equação 2 – Cálculo do intervalo de confiança

Em que:

- IC: Intervalo de confiança;
- N: Número de repetições por rota;
- DP: Desvio padrão;
- Z: Retirado da tabela t para um valor de confiança de 95% [37];

Depois, para o cálculo do número de veículos a inserir na rede, é seguida a equação infra referenciada, Equação 3, sendo que em situações em que o número de veículos a inserir é superior a 30, é usado no máximo trinta veículos [37].

$$N = \left(\frac{2*IC*DP}{0,95*MED} \right)^2 \quad (3)$$

Equação 3 – Cálculo do Número de veículos a inserir na rede

Em que:

- N: Número de veículos a inserir na rede;
- IC: Intervalo de confiança;
- MED: Media dos tempos de viagem;
- DP: Desvio padrão;

Para a análise da credibilidade da calibração feita, foi tido em conta o valor de *p-value* que se se encontrar acima do nível de significância - neste caso de 5% - os valores obtidos da calibração são estatisticamente credíveis [44], conforme a Tabela A.7 e Tabela A.8 em anexo.

Posteriormente à calibração da dinâmica dos tempos de viagem, foi feita uma nova calibração dos volumes de tráfego na qual se realizou alguns ajustes de forma a respeitar a metodologia seguida, onde um coeficiente de determinação na ordem superior a 95% seria considerado um bom ajuste e, assim, uma boa calibração da rede. Nesta, foi obtido um coeficiente de determinação de 96%, Figura 25, terminando assim a calibração e validação da rede obtendo bons resultados de ajuste nos tempos de viagem e volumes de tráfego.

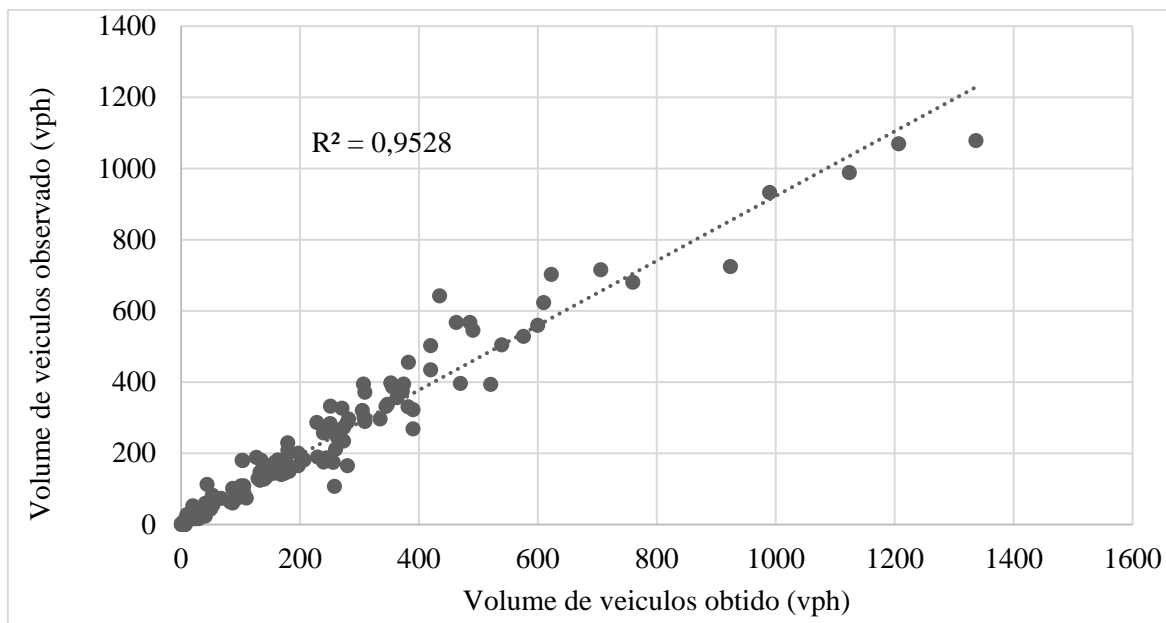


Figura 25 - Gráfico de dispersão da calibração dos volumes de tráfego calibração final, no período da manhã (8h45- 10h00)

3.4 Modelação de emissões

De modo a avaliar as emissões de gases com efeito de estufa - tais como o dióxido de carbono, monóxido de carbono e óxidos de azoto - recorreu-se à metodologia VSP para avaliar os vários cenários de tráfego para diferentes rotas, quando os veículos possuem motor de combustão interna.

A metodologia VSP permite estimar potência instantânea por unidade de massa do veículo levando em conta resistência aerodinâmica, velocidade, aceleração e desaceleração, declive da via e resistência de rolamento. Na equação 4 apresenta-se a fórmula de cálculo do VSP para veículos ligeiros.

$$VSP = v * [1,1a + 9,81 * \sin(\arctg(\text{declive})) + 0,132] + 0,00032 * v^3 \quad (4)$$

Equação 4 – Cálculo do VSP para veículos ligeiros

- *VSP*- “Vehicle Specific Power” - Potência Específica do Veículo (kW/ton);
- *v* – Velocidade instantânea (m/s);
- *a* – Aceleração instantânea (m/s²);
- *declive* – Declive da estrada expressa em percentagem (%);

Para a análise nesta dissertação, foi tido em conta o modelo VSP para veículos a gasolina e gasóleo protagonizados em vários estudos [25] [45] em que foi observada as emissões de veículos ligeiros de transporte de passageiros.

Para a análise de veículos pesados de transporte de passageiros, a expressão para o cálculo da potência específica do veículo é dada pela Equação 5.

$$VSP = v * [a + 9,81 * \sin(\text{declive}) + 0,092] + 0,00021 * v^3 \quad (5)$$

Equação 5 – Cálculo do VSP para veículos pesados

- VSP- “Vehicle Specific Power” - Potência Específica do Veículo (kW/ton);
- v – Velocidade instantânea (m/s);
- a – Aceleração instantânea (m/s^2);
- declive – Declive da estrada expressa em percentagem (%);

Conforme descrito na metodologia VSP, as emissões dos veículos estão divididas em 14 categorias para veículos ligeiros e 8 para autocarros, como pode ser observado na Tabela 3. Nos veículos ligeiros as 14 categorias estão divididas em 3 grupos, os modos 1 e 2 representam situações de desaceleração ou descida, o modo 3 representa situações em que o veículo circula a velocidades reduzidas e os restantes modos, de 4 a 14 representam situações de aceleração e velocidades superiores [25][45]. Para os autocarros os modos estão divididos também em 3 grupos com o modo 1 representando situações de desaceleração, modo 2 representa situações em que o veículo circula a velocidades reduzidas e os restantes (3 a 8) representam situações de aceleração do veículo e velocidades de circulação mais elevadas [25][45].

No caso de os veículos serem elétricos como não existem emissões locais, estas, CO_2 e NO_x , são calculadas segundo a seguinte metodologia: primeiramente foi calculada a velocidade média de cada veículo elétrico em cada “*Link*”, de seguida foi calculado o seu consumo de energia seguindo a Equação 3 baseada na interpolação de um gráfico que relaciona o consumo energético com a velocidade [46]:

$$EC = 0,0233v^2 - 1,3109v + 127,13 \quad (6)$$

Equação 5 – Cálculo da energia consumida de cada veículo a uma dada velocidade

Onde:

- EC - Energia consumida (Wh\km)
- v - Velocidade do veículo (km\h)

De seguida após ter obtido o consumo de energia foi calculado a emissão de CO_2 e NO_x por unidade de comprimento de cada veículo, cruzando os fatores de emissão de CO_2 e NO_x por quilowatt-hora na produção de eletricidade. Nesta dissertação foram utilizados os valores de 277,454 g/kWh e 0,2g/kWh para o cálculo das emissões de CO_2 e NO_x dados pela ERSE [47] e pelo relatório de sustentabilidade da EDP para o ano de 2017 [48].

Tabela 3-Modos VSP (kW/ton) [25][45]

Modo VSP	Veículos ligeiros	Veículos pesados
1	$VSP < -2$	$0 \leq VSP$
2	$-2 \leq VSP < 0$	$0 \leq VSP < 2$
3	$0 \leq VSP < 1$	$2 \leq VSP < 4$
4	$1 \leq VSP < 4$	$4 \leq VSP < 6$
5	$4 \leq VSP < 7$	$6 \leq VSP < 8$
6	$7 \leq VSP < 10$	$8 \leq VSP < 10$
7	$10 \leq VSP < 13$	$10 \leq VSP < 13$
8	$13 \leq VSP < 16$	$VSP \geq 13$
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	$VSP \geq 39$	

3.5 Modelação de conflitos rodoviários

A metodologia SSAM - *Surrogate Safety Assessment Mode* -, tem como principal característica avaliar a segurança de um fluxo de tráfego através das várias interações entre veículos e procura possíveis conflitos. A estratégia de avaliação recorre a modelação de rotas em *softwares* de micro simulação como o PTV VISSIM, *Paramics* ou AIMSUN, para obtenção de dados ligados às trajetórias dos veículos e características cinemáticas como velocidade e direção para analisar as interações e construir uma base de dados em que são identificados os conflitos.

O SSAM é usado então num ambiente de pós-processamento e após identificados os possíveis conflitos na rede de tráfego, calcula e fornece possíveis medidas de segurança alternativas de modo a diminuir os conflitos. Desta forma é instruída uma tabela resumo com todos os conflitos identificados, bem como uma base de dados associada com as trajetórias, velocidade, localização e identificação dos veículos presentes nesses conflitos e a gravidade do mesmo. Simultaneamente, também é gerada um mapa da rede em que são identificados estes parâmetros com ícones de cores diferentes para uma leitura mais fácil e intuitiva da análise feita.

Apesar do SSAM ser um *software* independente que consegue avaliar potenciais impactos na segurança rodoviária ligados à geometria e fluxo de tráfego da rede, necessita que a modelação seja previamente instruída para posteriormente fazer a análise, recorrendo a *software* externos como anteriormente referido com o PTV VISSIM, que será utilizado nesta presente dissertação.

Para a análise, a metodologia SSAM conta com vários parâmetros que tem em conta para catalogar todos os conflitos e calcular a sua gravidade. Desses parâmetros destacam-se os seguintes: [49]

- Tempo mínimo de colisão (TTC).
- Pós-invasão mínima (PET).
- Taxa de desaceleração inicial (DR).
- Taxa máxima de desaceleração (MaxD).
- Velocidade máxima (MaxS).
- Diferencial de velocidade máxima (DeltaS).
- Classificação tipo de evento tais como mudança de via, extremidade traseira ou cruzamento de caminho.
- A mudança de velocidade do veículo que procedeu ao acidente (DeltaV).
- Bem como parâmetros posicionais e temporais na simulação como tempo em que foi observado o conflito (tMinTTC) e as suas coordenadas nesse tempo, (xMinPET) e (yMinPET).
- Ângulo aproximado do hipotético conflito.

Para elaborar as tabelas e resultados recorrendo à metodologia SSAM, são utilizados modelos de previsão de conflitos com base em métodos de cálculos e validados e calibrados [50] [51] [52] [53].

3.6 Cenários

Na criação de cenários para análise procurou-se, primeiramente, a criação de um cenário base onde são representadas as condições e comportamentos da rede rodoviária real. Esse cenário base é dividido em dois: um para a representação do período da manhã (8h45 – 10h00) e outro para a representação do período da tarde (17h45 – 19h00). Estes foram calibrados e validados segundo as metodologias mencionadas anteriormente, mais precisamente no capítulo 3.3 Calibração e validação da rede.

Para a definição de cenários alternativos, foram criados 8 cenários nos quais se variou a taxa de penetração de veículos autónomos, 4 com veículos de combustão interna e 4 com veículos elétricos, também foram criados 4 cenários em que se procura avaliar a introdução de veículos elétricos na rede sem recurso a automação dos mesmos e por fim a criação de um cenário em que consta um “*Shuttle*”, com o intuito de ligar o Parque de Ciências e Inovação em Ílhavo com o campus da Universidade de Aveiro. Desta forma, procura-se substituir as viagens feitas entre estes dois pontos de interesse geralmente efetuadas com recurso a veículos pessoais ligeiros, com taxa de ocupação baixa de apenas uma pessoa, por um veículo autónomo público que faça o corredor PCI-UA. Neste cenário, o “*Shuttle*” na ligação entre a Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro (ESSUA) e o PCI, percorreria uma via panorâmica exclusiva ao “*Shuttle*” e peões, conforme demonstrado na Figura 26.

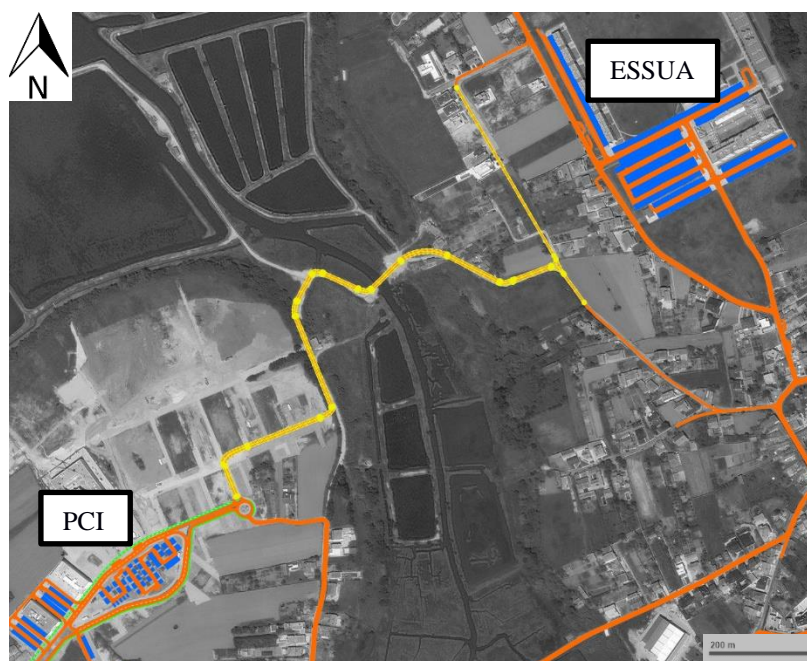


Figura 26- Via exclusiva ao “*Shuttle*” e peões ligação PCI-ESSUA
(Fonte da imagem de fundo: *Bing Maps*)

Percorrendo as ruas Bartolomeu Dias e Malhada do Eiró para a concretização deste cenário, teria de ser elaborada uma reabilitação dessas vias e da ponte entre elas, uma vez que esta não está preparada para a circulação de tráfego rodoviário.

Para a criação dos 4 cenários nos quais se variou a taxa de penetração de veículos autónomos, foram considerados os seguintes:

- Cenário alternativo 10% AV: 10% dos veículos ligeiros que circulam pela rede são veículos autónomos;
- Cenário alternativo 20% AV: 20% dos veículos ligeiros que circulam pela rede são veículos autónomos;
- Cenário alternativo 30% AV: 30% dos veículos ligeiros que circulam pela rede são veículos autónomos;
- Cenário alternativo 50% AV: 50% dos veículos ligeiros que circulam pela rede são veículos autónomos;

Nestas avaliações foram apenas mudadas as percentagens do tipo de veículos nos dados de entrada da rede, mantendo assim volume de veículos a percorrer a rede constante conforme demonstrado na seguinte figura, Figura 27.

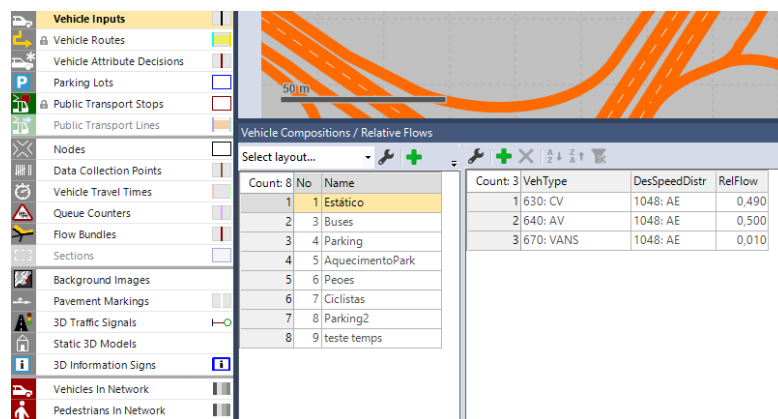


Figura 27- Caracterização de “*Vehicle Compositions*”
Cenário de 50% de penetração de AV

Correspondendo a sigla CV aos Veículos Comuns, AV aos Veículos Autónomos e VANS aos Veículos Comuns Ligeiros de Transporte de Mercadorias. A composição “Parking” criada destina-se ao estacionamento dos veículos na rede, tendo a mesma composição da “Estático”.

No que toca à introdução de veículos autónomos na rede, os seus comportamentos de condução sofreram alterações, uma vez que não seguem as mesmas características dos veículos comuns que circulam na rede. Para isso, foi seguido o modelo de *Wiedemann* - mais propriamente o modelo *Wiedemann 99* - visto que tem uma maior flexibilidade de configuração quando comparado com outros modelos, tais como *Wiedemann 74*, sendo que o modelo *Wiedemann 99* contém 10 parâmetros podendo assim caracterizar o comportamento do veículo no que toca a distâncias de circulação, velocidade e acelerações. Já em relação ao modelo *Wiedemann 74*, apenas contém 3 parâmetros tais como a distância média em paragem e modificadores (multiplicadores e aditivos) de distâncias de circulação, podendo assim apenas caracterizar o comportamento do veículo autónomo relativamente a distâncias de circulação [54][55].

Nesta dissertação, a análise centra-se sobretudo em ambiente urbano tendo muito pouco ou quase nenhum ambiente em autoestrada/via rápida, sendo o modelo escolhido apropriado. Esta conclusão é apoiada seguindo vários estudos protagonizados [22][54][58].

No modelo de *Wiedemann 99*, o comportamento dos veículos autónomos é caracterizado com auxílio de 10 parâmetros, nos quais modificam distâncias de circulação relativas aos demais veículos, velocidade instantânea, aceleração e, por fim, características na mudança de via. Estes parâmetros estão capacitados com a conotação CC0 até CC9.

Os parâmetros compreendidos entre CC0 e CC3, caracterizam o comportamento do veículo autónomo no que toca a distâncias de circulação; parâmetros compreendidos entre CC4 e CC6 caracterizam o comportamento do veículo autónomo no que toca a velocidade instantânea de circulação na rede; e parâmetros compreendidos entre CC7 e CC9 caracterizam as acelerações e desacelerações do veículo autónomo.

Uma vez que cada parâmetro modifica uma componente do comportamento da circulação do veículo, fica uma síntese do que cada parâmetro modifica: [56]

- CC0 ("*Stopped Condition Distance*") – distância de paragem relativa ao veículo que circula a sua frente quando estes se encontram em parados em metros;
- CC1 ("*Headway Time*") – representa o intervalo de tempo na qual à velocidade em que o veículo circula caso seja necessário de uma tomada de decisão tal como travagem é assegurada uma distância de segurança, representado em segundos;
- CC3 ("*Threshold for entering Following*") – representa o momento no tempo em que o veículo inicia a travagem até se situar a uma distância considerada segura, representado em segundos;
- CC4 e CC5 ("*Following Thresholds*") – representam a capacidade de reação do veículo à velocidade do veículo que segue à sua frente sendo que para valores mais elevados existe uma menor reação, representados em m/s;

- CC7 (“*Oscillation Acceleration*”) – representa a capacidade de aceleração do veículo em situações em que encontra um veículo à sua frente, para valores mais elevados existe uma condução mais dinâmica em seguir o veículo da frente, representado em m/s^2 ;
- CC8 (“*Standstill Acceleration*”) – representa a capacidade de aceleração do veículo quando este se encontra parado, sendo representado em m/s^2 ;
- CC9 (“*Acceleration at 80 km/h*”) – capacidade de aceleração do veículo quando este circula a 80 km/h, representado em m/s^2

De seguida, segue a Tabela 6 na qual constam os valores padrão na metodologia Wiedemann 99, bem como os valores usados na presente dissertação. Para isso, como a presente análise conta maioritariamente com vias em ambiente urbano, foram modificados os valores dos parâmetros de modo a obter um comportamento do veículo mais aproximando à realidade do objeto desta dissertação [57]. Os últimos dois parâmetros são referentes ao modelo de mudança de via, conforme pode ser observado na Tabela 6 e Figura 28. [56]

Tabela 4- Parâmetros utilizados na caracterização dos AV utilizando o modelo de *Wiedemann 99*

Parâmetros	Valores Padrão	Valores Veículos Autónomos
CC0 (m)	1,50	1,47
CC1 (s)	0,9	1
CC3 (s)	-8,00	-13,54
CC4 (m/s)	-0,35	-0,13
CC5 (m/s)	0,35	0,13
CC7 (m/s^2)	0,25	0,08
CC8 (m/s^2)	3,50	3,72
CC9 (m/s^2)	1,50	1,60
<i>Min. headway (front/rear) (m)</i>	0,5	0,7
<i>Safety Distance Reduction Factor</i>	0,6	0,21

Driving Behavior

No.: 1 Name: Urban (motorized)

Following Car following model Lane Change Lateral Signal Control Autonomous Driving Driver Errors Meso

General behavior: Free lane selection

Necessary lane change (route)

	Own	Trailing vehicle
Maximum deceleration:	-4,00 m/s ²	-3,00 m/s ²
- 1 m/s ² per distance:	100,00 m	100,00 m
Accepted deceleration:	-1,00 m/s ²	-1,00 m/s ²

Waiting time before diffusion: 60,00 s Overtake reduced speed areas

Min. headway (front/rear): 0,50 m Advanced merging

To slower lane if collision time is above: 11,00 s Vehicle routing decisions look ahead

Safety distance reduction factor: 0,60

Maximum deceleration for cooperative braking: -3,00 m/s²

Cooperative lane change

Maximum speed difference: 10,80 km/h

Maximum collision time: 10,00 s

Rear correction of lateral position

Maximum speed: 3,00 km/h

Active during time period from 1,00 s until 10,00 s after lane change start

Figura 28- Parâmetros utilizados na caracterização dos AV na mudança de via

Os restantes veículos convencionais da rede seguem os valores padrão do modelo *Wiedmann 74* dado pelo VISSIM por representarem, de forma aproximada, o comportamento dos veículos em questão em ambiente urbano [58].

Os valores acima descritos, foram utilizados para a caracterização dos veículos autónomos na rede incluindo o “*Shuttle*”. Porém, na caracterização das velocidades máximas, limitou-se a velocidade máxima do “*Shuttle*” a 20 quilómetros por hora visto que este tipo de veículos circula de forma segura a velocidades inferiores, conforme vários testes já feitos [59].

No cenário em que é avaliado o impacto da penetração do “*Shuttle*” com vista à redução e substituição das viagens feitas entre o PCI e o campus da UA, sendo as mesmas feitas com recurso a veículos pessoais ligeiros com taxas de ocupação de apenas uma pessoa, foram criados pontos de paragem junto à Reitoria da Universidade de Aveiro, ao Complexo Pedagógico, ao Departamento de Matemática, à Escola Superior de Saúde da Universidade de Aveiro, ESSUA e, por fim, junto do Parque de Ciência e Inovação em Ílhavo, cada paragem está sinalizada com um círculo a verde conforme se pode observar na Figura 29.

Neste cenário, os “*Shuttles*” percorrem este percurso recolhendo e transportando passageiros até ao seu destino. A cada 10 minutos existe um “*Shuttle*” a realizar o percurso no sentido Reitoria da Universidade de Aveiro - Parque de Ciência e Inovação, enquanto que outro percorre no sentido inverso. Desta maneira, a qualquer momento, existem pelo menos 2 “*Shuttles*” a percorrer a rede. Com a introdução do “*Shuttle*”, são substituídos cerca de 25 a 35 veículos na rede equivalente ao número de utilizadores que fariam esses percursos, tendo cada veículo uma taxa de ocupação de apenas 1 pessoa.

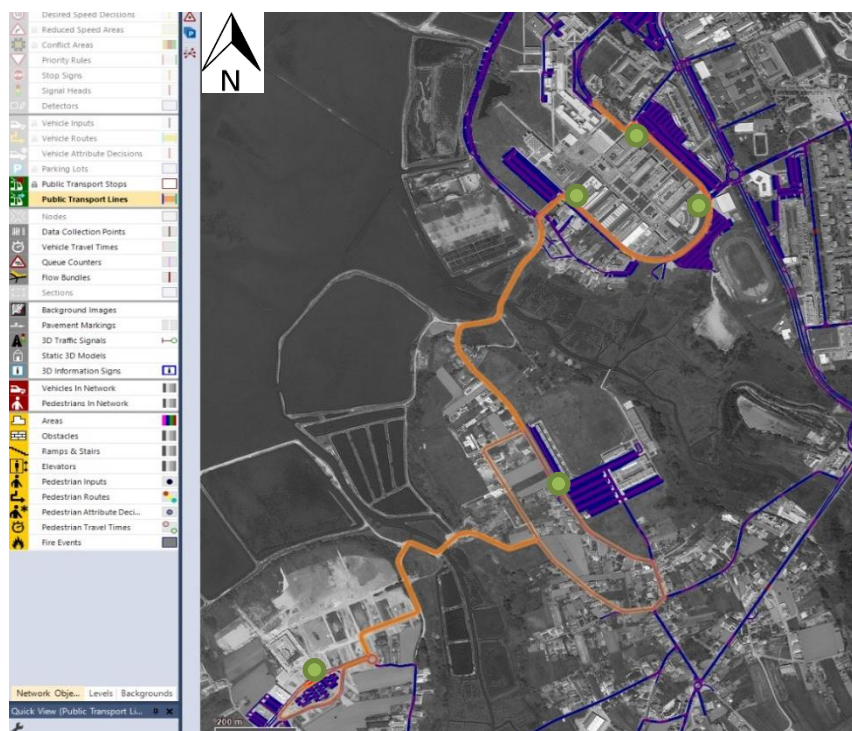


Figura 29- Rota percorrida pelo “Shuttle” no percurso PCI-UA
(Fonte da imagem de fundo: Bing Maps)

A caracterização da composição do tráfego na rede foi baseada na composição do parque automóvel português para o ano de 2018. Nesse ano, existiam um total de 6.5 milhões de veículos ligeiros, dos quais 4,2 milhões (cerca de 64%) são veículos a gasóleo, 2,2 milhões (cerca de 34%) são veículos a gasolina, 56 mil a GPL e os restantes veículos híbridos, veículos elétricos, entre outros. O parque automóvel seria composto por 85% dos veículos ligeiros a gasolina com cilindrada inferior a 1,8L e os restantes 15% com cilindrada superior, já nos veículos ligeiros a gasóleo foram considerados 40% com cilindrada inferior da 1,9L e os restantes com cilindrada superior. [60][61]

Para os veículos pesados, segundo os dados do INE – “Estatísticas do Parque de Veículos Rodoviários”, existem aproximadamente 128 mil veículos onde o tipo de combustível predominante é o gasóleo, com cerca de 98% do número total de veículos pesados em Portugal em 2018. [60]

Assim, para a análise da rede, foi considerado um parque automóvel constituído maioritariamente por veículos ligeiros de passageiros e mercadorias. A composição considerada é de 33% de veículos ligeiros de passageiros a gasolina e 65% de veículos ligeiros de passageiros e ligeiros de mercadorias a gasóleo, sendo os restantes 2% para outro tipo de combustível tal como GPL e veículos híbridos e elétricos.

Para a preparação da avaliação da simulação dos cenários, conforme já foi referido anteriormente, serão feitas duas simulações para dois períodos do dia: o período da manhã compreendido entre as 8h45 e as 10h00 e o período da tarde, compreendido entre as 17h45 e as 19h00. Em ambos os casos, procura-se avaliar um período de 1 hora e 15 minutos que corresponde, na avaliação da simulação, a um período entre os 900 segundos e os 5400 segundos, na Figura 30 pode ser observado a introdução dos parâmetros no VISSIM.

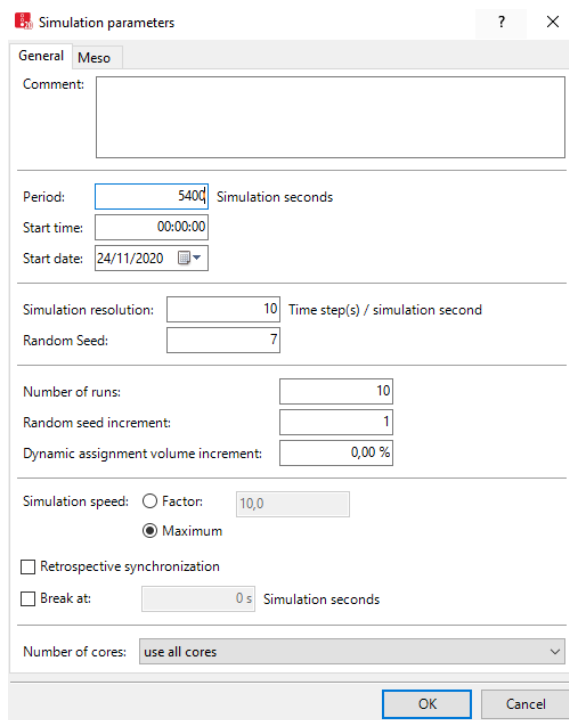


Figura 30- Caracterização dos parâmetros de simulação

Para cada um dos seis cenários foram feitas 10 simulações, conforme sugerido na literatura Winnie, Christine, & Serge, 2014 [37], nos dois períodos para um total de 280 análises. As simulações seguiram um padrão de aleatoriedade estocástica através da implementação de “*random seeds*”.

Nas 10 simulações, foram geradas 10 “*random seeds*” com início no valor 1 com incremento de 2 para cada simulação posterior. Com este método, procura-se ter um número significativo de “runs” para cada cenário de forma a obter uma amostra de resultados estatisticamente com alguma relevância.

Cada simulação tem uma duração de 90 minutos com um período de aquecimento de 15 minutos para a introdução de tráfego na rede, sendo os restantes 75 minutos dedicados à recolha de dados.

Para a preparação dos parâmetros de saída da simulação de cada cenário para uma posterior análise VSP e SSAM, recorreu-se à opção “*Evaluation Configuration*” [40] no menu do VISSIM, seguida da opção “*Direct Output*” selecionando “*Write to File*” em “*SSAM*” e “*Vehicle Record*”, conforme demonstrado na figura que se segue, Figura 31.

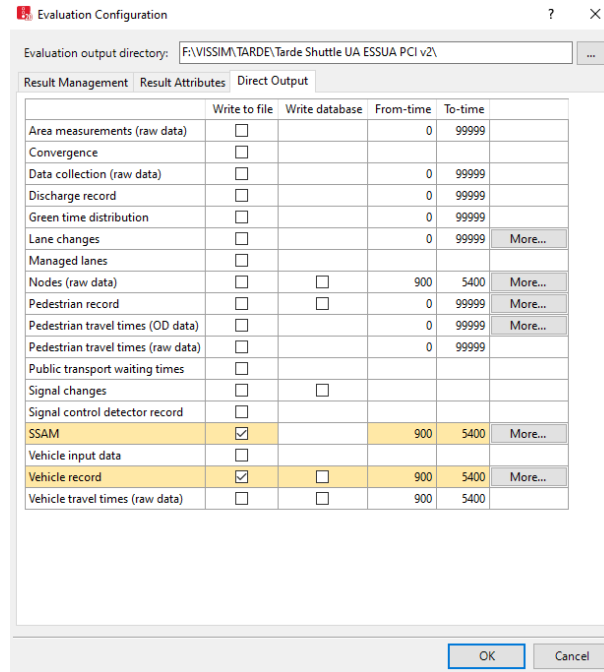


Figura 31- Caracterização da “*Evaluation Configuration*” para recolha de dados

Apesar de que, nas opções dos parâmetros do “*Vehicle Record*”, foi necessário especificar os parâmetros de saída para depois serem alvo de análise num algoritmo em ambiente *Matlab*. Na figura que se segue, Figura 32, encontram-se os parâmetros seleccionados.

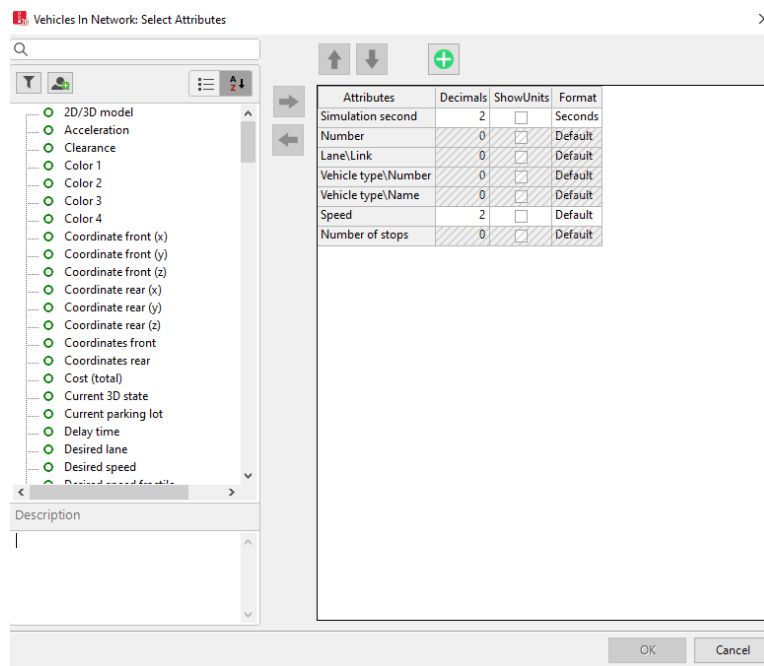


Figura 32- Caracterização dos parâmetros de saída para posterior análise no código *Matlab*

Após correr todas as simulações para cada cenário e período, foi feita uma recolha dos ficheiros de saída dados pelo VISSIM para as respetivas análises de cálculo seguindo as metodologias VSP e SSAM.

Para a análise de cálculo do VSP, os ficheiros foram submetidos a um algoritmo em *Matlab* que efetua o cálculo das emissões de CO₂, NO_x, CO e HC dos veículos analisados, o cálculo de emissões anteriormente mencionadas para cada “Link” da rede, o cálculo das emissões para cada tipo de veículo na rede e o cálculo das emissões de poluentes por quilómetro na rede.

Com isto, é possível fazer a comparação direta entre cenários para a identificação de pontos críticos de emissão de poluentes, identificação da contribuição da emissão de poluentes por tipo de veículo, bem como a identificação do desempenho da rede com o recurso à velocidade média e número de paragens dos veículos.

No final, foi feita uma média para cada cenário e determinação dos respetivos desvios padrão, de forma a avaliar a integridade estática dos dados obtidos.

Para a análise de cálculo seguindo a metodologia SSAM, foram analisados os ficheiros da trajetória de saída do VISSIM, submetendo-os a uma ferramenta de análise de segurança por interface de programação de um aplicativo (API) através mecanismo de computação do “*Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) -3.0*” [62].

Assim, foi feita uma calibração de modo a assegurar que os valores obtidos da análise tivessem uma significância científica, seguindo vários estudos que fazem considerações no que toca a parâmetros de “*Maximum time-to-collision (TTC)*” e “*Maximum post-encroachment time (PET)*” [60], para uma melhor aproximação dos resultados à realidade em ambiente urbano.

Um estudo protagonizado por *Mohamed Essa and Tarek Sayed*, 2016 [36], sugere que, para a análise do cálculo seguindo a metodologia SSAM usando os valores padrão de 1,5 para “*Maximum time-to-collision (TTC)*” nas redes de tráfego urbano construídas em VISSIM, existe uma subestimação do número de conflitos. Porém, para valores de “*Maximum time-to-collision (TTC)*” de 3, já existe uma sobrestimação do número de conflitos. Noutro estudo protagonizado por *Jiawei Wu, Essam Radwan & Hatem Abou-Senna*, 2017 [34], sugere valores de 2,7 de “*Maximum time-to-collision (TTC)*” e 8 de “*Maximum post-encroachment time (PET)*” para a análise de redes urbanas criadas em VISSIM, sendo esses os valores utilizados na análise desta dissertação. No que diz respeito a outros parâmetros, foram utilizados os valores padrão tais como os ângulos de conflito traseiro e conflito de atravessamento, 30 graus e 80 graus. [62]

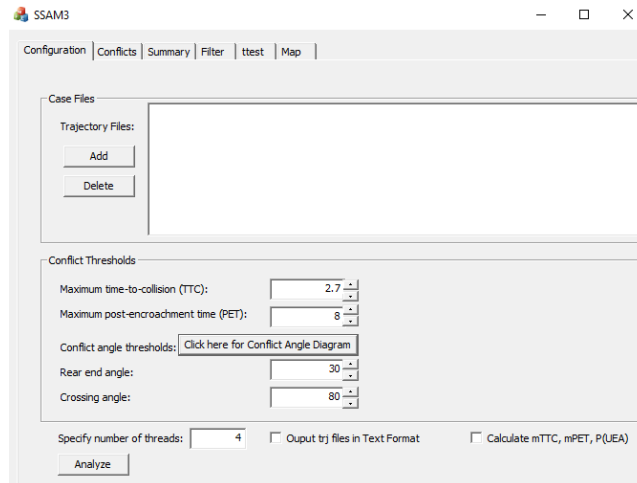


Figura 33- Caracterização dos parâmetros no “*Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) -3.0*”

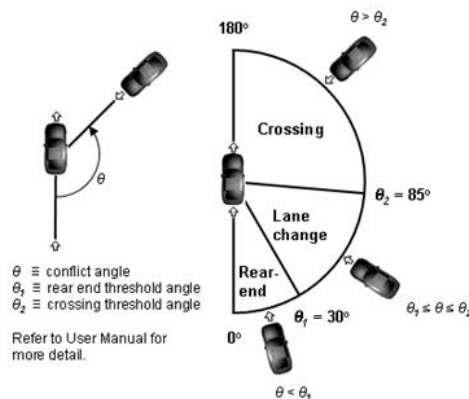


Figura 34- Caracterização dos ângulos de conflito (Fonte “*Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) -3.0*” [62])

Após correr a análise para a obtenção de resultados, foi consultada a janela “*Summary*” na qual se pode obter os valores médios, máximos e mínimos dos seguintes parâmetros: [62]

- Tempo mínimo de colisão (*TTC*).
- Pós-invasão mínima (*PET*).
- Taxa de desaceleração inicial (*DR*).
- Taxa máxima de desaceleração (*MaxD*).
- Velocidade máxima (*MaxS*).
- Diferencial de velocidade máxima (*DeltaS*).
- A mudança de velocidade do veículo que procedeu ao acidente (*DeltaV*).
- Bem como parâmetros posicionais e temporais na simulação como tempo em que foi observado o conflito (*tMinTTC*) e as suas coordenadas nesse tempo, (*xMinPET*) e (*yMinPET*).
- Número total de conflitos e discriminação por tipo de conflito (retaguarda, mudança de via e passagem).

SSAM3

Configuration | Conflicts | Summary | Filter | ttest | Map |

NO FILTER APPLIED

Summary Group	SSAM_Measure	Min	Max	Mean	Variance
Summary Group	SSAM_Measure	Min	Max	Mean	Variance
Unfiltered-All F...	TTC	0.00	1.50	0.81	0.29
Unfiltered-All F...	PET	0.00	4.90	0.76	0.70
Unfiltered-All F...	MaxS	0.00	25.68	6.83	11.35
Unfiltered-All F...	DeltaS	0.00	29.56	5.27	21.91
Unfiltered-All F...	DR	-9.39	2.66	-1.63	2.04
Unfiltered-All F...	MaxD	-9.39	2.66	-2.97	4.69
Unfiltered-All F...	MaxDeltaV	0.00	16.17	2.88	6.68
Unfiltered-All F...	FLUEA	1.00	1.00	1.00	0.00
Unfiltered-All F...	mTTC	99.00	99.00	99.00	0.00
Unfiltered-All F...	mPET	99.00	99.00	99.00	0.00

Summary Group	SSAM_Measure	Min	Max	Mean	Variance
Unfiltered-F:V...	TTC	0.00	1.50	0.81	0.29
Unfiltered-F:V...	PET	0.00	4.90	0.76	0.70
Unfiltered-F:V...	MaxS	0.00	25.68	6.83	11.35
Unfiltered-F:V...	DeltaS	0.00	29.56	5.27	21.91
Unfiltered-F:V...	DR	-9.39	2.66	-1.63	2.04

Summary Group	Total	unclassified	crossing	rear end	lane change
Unfiltered-All F...	S465	0	705	4092	668
Unfiltered-F:V...	S465	0	705	4092	668

Export to csv file...

Figura 35- Janela “Summary” – SSAM 3.0

Posteriormente, também foi examinada a janela de “Conflicts”, na qual se pode obter a descrição mais pormenorizada de cada conflito seguindo os parâmetros acima mencionados.

SSAM3

Configuration | Conflicts | Summary | Filter | ttest | Map |

NO FILTER APPLIED

File	mTTC	mPET	mMinPET	mMaxPET	TTC	PET	MaxS	DeltaS	DR	MaxD	MaxDeltaV	ConflictAngle	ClockAngle	ConflictType	PostCard
Baseline_AveroCam...	204.82	164.64	0.00	0.30	0.30	11.99	3.83	-7.39	-7.58	3.13	6.33	5.47	rear end	11.31	
Baseline_AveroCam...	900.10	62.66	27.22	0.00	1.20	2.10	3.30	2.83	-2.43	1.41	-33.30	7.07	lane change	1.90	
Baseline_AveroCam...	900.00	62.70	26.91	0.00	1.10	2.30	5.93	5.41	-4.71	-7.53	3.08	-26.30	lane change	3.61	
Baseline_AveroCam...	900.00	45.65	13.58	0.00	0.00	0.00	1.83	0.00	0.00	0.00	14.00	5.32	rear end	0.00	
Baseline_AveroCam...	903.20	-945.01	-3749.03	0.00	1.40	1.30	7.08	7.08	-3.14	-3.14	3.87	1.30	5.57	rear end	3.21
Baseline_AveroCam...	903.40	-154.17	-117.92	0.00	0.80	2.80	1.53	1.38	-6.81	-6.81	0.73	1.00	rear end	0.80	
Baseline_AveroCam...	900.40	210.12	173.40	0.00	0.00	0.00	5.75	0.95	-0.01	-0.01	0.48	-0.26	6.01	rear end	9.27
Baseline_AveroCam...	905.20	612.64	-278.71	0.00	1.20	0.60	7.68	4.77	-1.21	-2.57	2.38	10.56	5.39	rear end	5.32
Baseline_AveroCam...	903.80	59.00	25.37	0.00	1.40	3.20	1.60	1.60	-0.29	-1.67	0.80	0.00	6.00	rear end	0.80
Baseline_AveroCam...	904.00	43.89	13.11	0.00	0.10	1.70	2.58	0.58	0.00	0.00	0.46	10.60	5.39	rear end	0.46
Baseline_AveroCam...	904.00	613.12	-280.58	0.00	0.90	0.50	8.09	7.94	-3.41	-3.41	3.97	6.27	5.47	rear end	4.12
Baseline_AveroCam...	904.50	53.35	14.30	0.00	0.70	0.40	3.74	3.35	-0.29	-2.48	1.86	17.77	5.24	rear end	1.49
Baseline_AveroCam...	906.80	-234.03	266.34	0.00	1.30	4.90	8.02	11.48	-3.00	-3.00	5.74	122.24	1.56	crossing	3.23
Baseline_AveroCam...	908.80	-228.26	256.33	0.00	0.60	0.20	5.65	3.38	-3.20	-3.20	1.74	-36.72	7.13	lane change	4.87
Baseline_AveroCam...	908.50	-992.33	-3803.33	0.00	1.50	0.20	8.05	1.84	-0.19	-0.21	0.98	12.97	5.34	rear end	7.70
Baseline_AveroCam...	911.80	42.47	12.45	0.00	0.00	0.00	3.51	2.13	-0.28	-1.79	1.18	35.45	4.49	lane change	2.68
Baseline_AveroCam...	910.50	52.99	19.54	0.00	0.70	0.10	10.15	7.75	-0.61	-4.74	4.30	0.00	6.00	rear end	6.70
Baseline_AveroCam...	915.20	46.13	13.52	0.00	0.00	0.00	3.28	2.51	-0.20	-1.58	1.26	15.22	5.30	rear end	2.03
Baseline_AveroCam...	923.00	-7.85	-36.73	0.00	1.20	1.30	4.80	3.23	-2.87	-2.87	1.77	-0.87	6.02	rear end	3.04
Baseline_AveroCam...	924.10	42.17	12.62	0.00	0.00	0.00	2.38	1.46	-0.26	-1.28	0.81	31.65	4.57	rear end	1.76
Baseline_AveroCam...	923.80	45.00	8.99	0.00	1.50	1.60	4.54	4.98	-1.17	-1.57	2.36	38.20	4.44	lane change	2.19
Baseline_AveroCam...	920.70	-6.55	-29.82	0.00	1.40	2.60	7.67	9.02	-2.71	-3.71	7.28	83.90	3.12	crossing	4.92
Baseline_AveroCam...	923.70	-202.43	-601.52	0.00	1.10	0.10	6.77	1.78	-0.75	-0.87	0.93	0.09	5.59	rear end	7.53
Baseline_AveroCam...	930.30	-641.52	-3363.38	0.00	0.10	0.00	10.21	18.64	0.22	0.22	10.20	178.06	12.04	crossing	1.75
Baseline_AveroCam...	933.00	-25.53	-84.79	0.00	0.00	0.00	8.42	4.99	-0.77	-5.39	4.17	4.13	5.52	rear end	4.26
Baseline_AveroCam...	929.90	-2.74	-20.14	0.00	1.40	0.10	6.98	0.89	-0.47	-0.50	0.51	-5.18	6.10	rear end	6.69
Baseline_AveroCam...	934.00	137.75	102.04	0.00	1.50	1.40	6.61	4.64	-2.49	-2.49	3.68	-0.16	6.00	rear end	2.94
Baseline_AveroCam...	933.30	158.57	-570.78	0.00	1.20	2.00	6.52	6.64	-1.82	-3.04	6.43	89.32	3.01	crossing	6.32
Baseline_AveroCam...	935.90	151.44	-576.79	0.00	1.50	1.30	6.26	4.50	-2.24	-2.29	2.32	-1.28	6.03	rear end	3.94
Baseline_AveroCam...	937.10	-1041.07	-3794.83	0.00	0.60	0.40	3.88	1.59	-0.31	-7.56	0.88	9.64	5.41	lane change	3.03
Baseline_AveroCam...	937.50	9.14	22.88	0.00	0.80	1.10	6.06	6.06	-2.06	-5.09	3.45	20.81	5.18	rear end	3.45
Baseline_AveroCam...	935.50	667.64	-780.80	0.00	1.30	1.00	6.91	4.36	-1.78	-7.98	3.50	9.64	5.41	lane change	3.45
Baseline_AveroCam...	940.60	134.64	98.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.17	-7.17	0.00	22.20	5.16	rear end	0.00
Baseline_AveroCam...	944.50	633.44	-425.06	0.00	1.40	0.40	5.59	2.51	-4.14	-4.76	1.31	0.00	5.59	rear end	4.28
Baseline_AveroCam...	945.10	-2041.23	-3185.48	0.00	0.00	0.00	10.58	2.07	1.54	1.54	1.12	9.74	5.41	rear end	7.75
Baseline_AveroCam...	946.60	633.58	-428.04	0.00	0.90	1.20	9.44	8.07	-1.73	-4.73	4.16	0.00	5.59	rear end	5.28

Export to csv file...

Figura 36- Janela “Conflicts” – SSAM 3.0

Por fim, para se alcançar uma representação gráfica dos resultados, foi selecionada a janela “Map”, onde se pode observar numa janela o tipo de visualização que se pretende, o mapa de conflitos no qual é demonstrado a localização e tipo de cada conflito por um ponto, um mapa de barras no qual é demonstrado as zonas mais críticas da rede onde existe um maior número de conflitos. Da mesma forma, podemos selecionar o tipo de mapa de contornos que também demonstra as zonas mais críticas da rede.

4. Discussão de resultados

4.1 Cenário Base

Neste capítulo é feita a apresentação e discussão dos resultados obtidos resultantes das análises efetuadas com base nas metodologias de cálculo VSP e SSAM para os vários cenários analisados.

Para melhor análise, sugere-se a consulta da Tabela A.11 até à Tabela A.36 onde estão apresentados todos os resultados obtidos relativos a emissões de poluentes - totais e por quilómetro - velocidades médias, tempos médios de viagem, bem como o tempo mínimo de colisão (TTC), tempo de pós-invasão mínima (PET) e o número de conflitos e o seu tipo. O cálculo de emissões por quilómetro é efetuado através do valor médio por simulação, contando com o comprimento de cada "Link" e o número de veículos a circular nesse mesmo. O cálculo dos restantes parâmetros, foi obtido atrás do valor médio para cada "Link", tal como a velocidade média e emissões de poluentes. Na consulta das tabelas referidas anteriormente, também pode ser consultado o desvio-padrão bem como o *p-value* conseguindo assim destacar os resultados estatisticamente significativos.

No período da manhã circulam cerca de 13 500 veículos com pico de 4000 veículos em simultâneo na rede e no período da tarde circulam aproximadamente 10 900 veículos com pico de 1100.

Para uma melhor compreensão das zonas críticas de emissões de poluentes, foram criados mapas de emissões. Para o cenário base destaca-se a zona em redor do campus da Universidade de Aveiro, mais propriamente a Av. da Universidade como sendo uma zona crítica de emissões de poluentes, bem como o centro de Ílhavo, mais propriamente no cruzamento entre a Avenida 25 de Abril e a EN109.

Para o mapa de emissões totais de CO_2 em gramas por km em cada "Link" foi utilizada a seguinte escala de cores:

- Verde- $CO_2 < 125$ g/km
- Amarelo - $125 \text{ g/km} < CO_2 < 175$ g/km
- Laranja - $175 \text{ g/km} < CO_2 < 400$ g/km
- Vermelho - $CO_2 > 400$ g/km

E para o mapa de emissões totais de NO_x em gramas por km em cada "Link" foi utilizada a seguinte escala de cores:

- Verde- $NO_x < 0,3$ g/km
- Amarelo - $0,3 \text{ g/km} < NO_x < 1$ g/km
- Laranja - $1 \text{ g/km} < NO_x < 4$ g/km
- Vermelho - $NO_x > 4$ g/km



Figura 37-Mapa de emissões de CO_2 em gramas por km, período da manhã
(Fonte da imagem de fundo: Bing Maps)

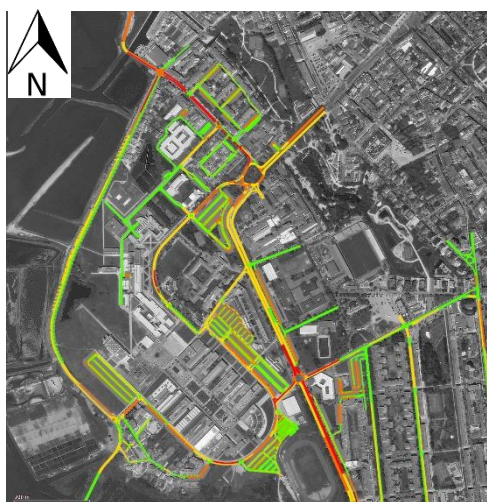


Figura 39- Mapa de emissões de CO_2 em gramas por km, período da manhã
Universidade de Aveiro (Fonte da imagem de fundo: Bing Maps)

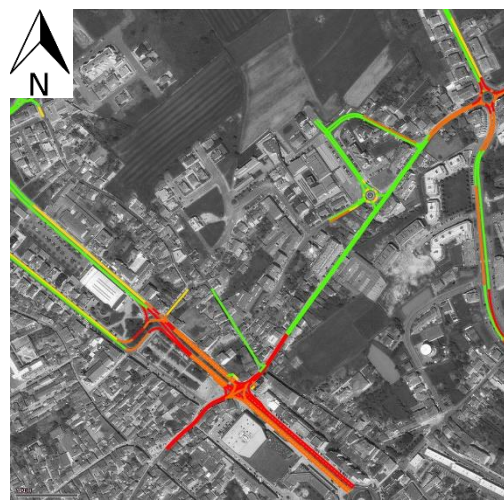


Figura 38- Mapa de emissões de CO_2 em gramas por km, período da manhã
Av.25 de Abril, Ilhavo (Fonte da imagem de fundo: Bing Maps)

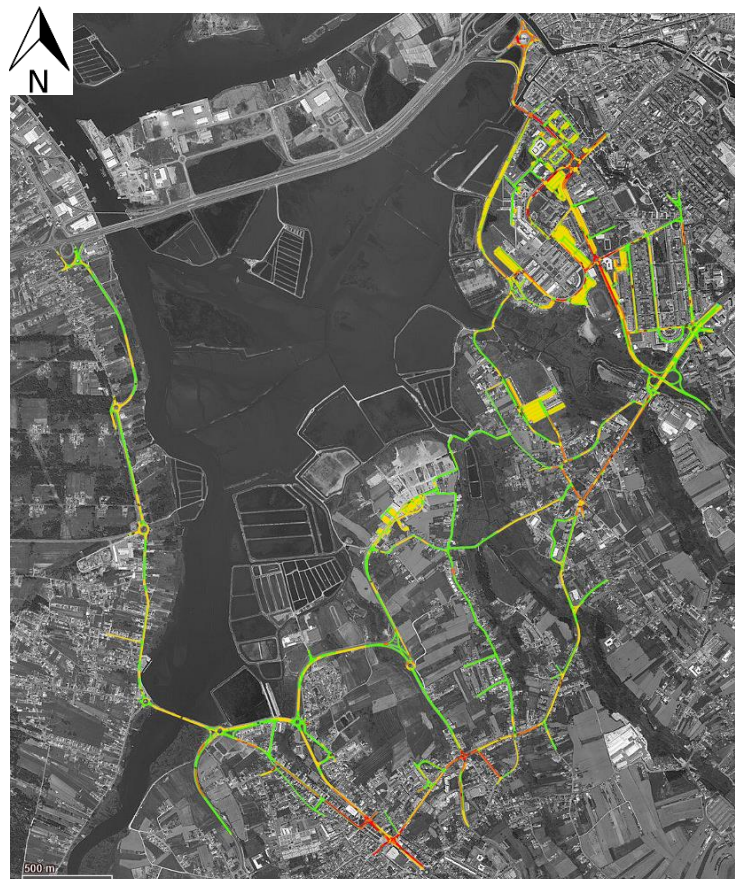


Figura 40-Mapa de emissões de NO_x em gramas por km, período da manhã (Fonte da imagem de fundo: Bing Maps)

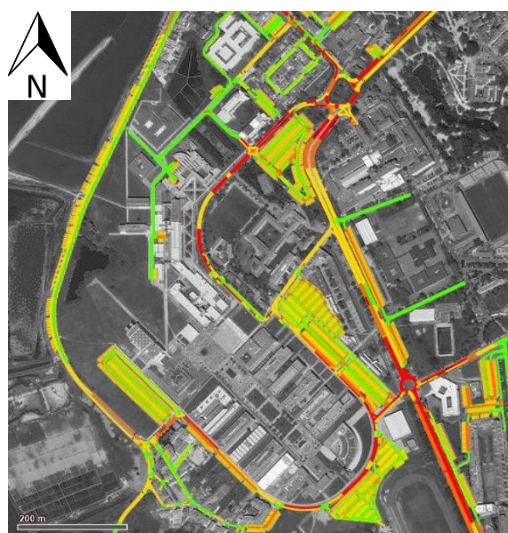


Figura 42-Mapa de emissões de NO_x em gramas por km, período da manhã Universidade de Aveiro (Fonte da imagem de fundo: Bing Maps)

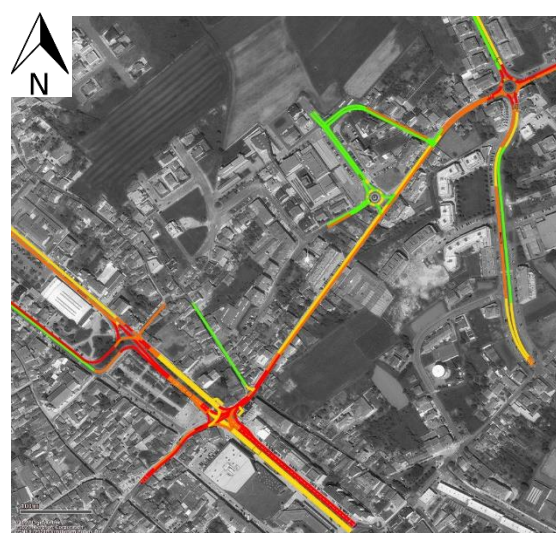


Figura 41-Mapa de emissões de NO_x em gramas por km, período da manhã Av. 25 de Abril, Ílhavo (Fonte da imagem de fundo: Bing Maps)

Através destes mapas, verifica-se que as zonas críticas da rede onde existe uma maior emissão de poluentes são na zona em redor da Universidade de Aveiro (mais propriamente a Avenida da Universidade e a circunvalação dentro do campus), contribuindo com 15% das emissões de CO_2 e 14 % das emissões de NO_x do total da rede, juntamente com a Avenida 25 de Abril em Ílhavo e a sua ligação com a EN 109, contribuindo com 8% das emissões de CO_2 e 6 % das emissões de NO_x do total da rede, verificando-se também alguns pontos críticos nomeadamente junto às rotundas em direção a Aveiro, contribuindo com 7% das emissões de CO_2 e 7 % das emissões de NO_x do total da rede.

Estas zonas são zonas onde existe um maior volume de tráfego e, por sua vez, uma maior emissão de poluentes. São igualmente caracterizadas por terem, em hora de ponta, congestionamento havendo uma condução de pára arranca.

Nas zonas onde o tráfego circula de forma mais fluida e com menor volume de veículos a circular - tal como na Via da Malhada e Vila das Lavegadas em Ílhavo -, existe uma emissão de inferior de poluentes, localização destas pode ser consultada na Tabela A.1 em anexo segundo as coordenadas dos pontos 19 e 21 respetivamente.

Nas zonas em que na circulação do tráfego é utilizada sinalização luminosa, existe uma emissão considerável de poluentes e semáforos no cruzamento da EN109 com Rua da Coutada, Avenida 25 de Abril. Neste caso, existe uma paragem de veículos periódica e situações de pára arranca que contribuem para este cenário de elevadas emissões.

Para os resultados obtidos da análise com base na metodologia SSAM, pode-se verificar que as zonas críticas, no que a conflitos rodoviários se refere, são semelhantes às zonas críticas de emissão de poluentes destacando-se a zona em redor da Universidade de Aveiro, Avenida da Universidade e EN109. Na seguinte figura, Figura 43 é possível ter uma noção da localização de cada conflito, sendo que um conflito de retaguarda é identificado por um ponto de cor amarela, um conflito de mudança de via é identificado por um ponto de cor azul e um conflito de passagem é identificado por um ponto de cor vermelha.

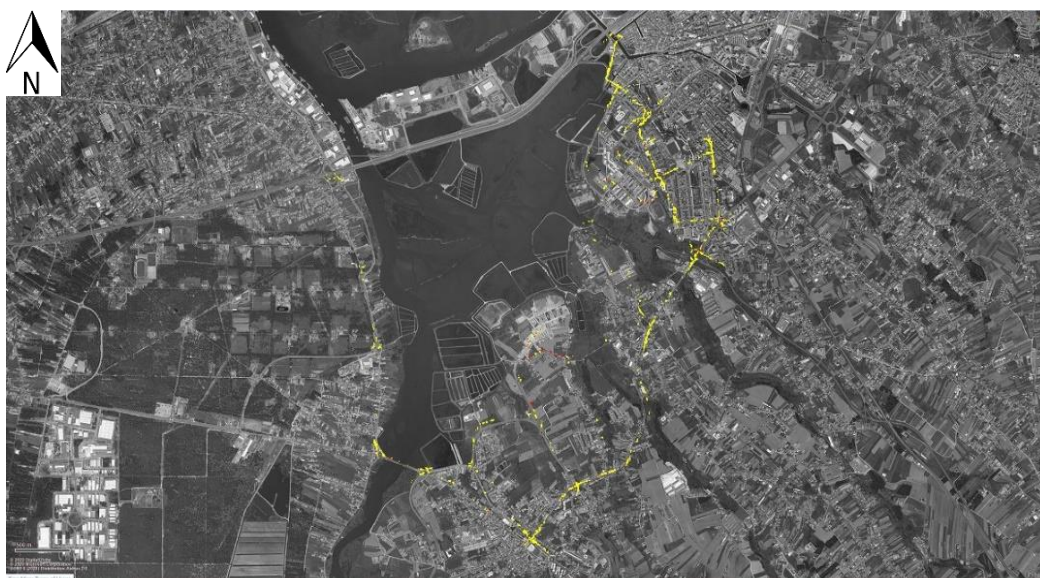


Figura 43- Mapa de Conflitos (Fonte da imagem de fundo: *Bing Maps*)

No mapa da Figura 43, é verificada que, uma grande percentagem dos conflitos totais na rede, são conflitos de retaguarda seguidos de conflitos de mudança de via, sendo as menores percentagens de conflitos de passagem. Esta distribuição deve-se à natureza da rede rodoviária da área alvo da análise desta dissertação, que é caracterizada por fluxos de tráfego em que os veículos circulam atrás uns dos outros sem grande oportunidade de mudança de via e com poucos cruzamentos sem sinalização que possibilitam conflitos de passagem.

No que toca aos conflitos de retaguarda, são causados principalmente por situações de pára arranca e variações de aceleração de veículos ao chegar a cruzamentos e entradas de rotundas, evidenciado junto das rotundas na EN109 e na Av. da Universidade.

Já os conflitos de mudança de via, verificam-se primeiramente aquando a aproximação de rotundas multívias. Neste caso existe uma mudança de direção dos veículos para seguirem a sua rota após a rotunda, havendo assim um acréscimo de conflito pré-rotunda, também se verificam alguns conflitos de mudança de via dentro dos parques de estacionamento em redor do campus universitário.

As situações de conflitos de passagem são mais escassas na rede, porém são verificados nas passadeiras adjacentes à rotunda do ISCAA, na Av. da Universidade, que têm como origem os conflitos entre veículos e peões. Na restante rede são muito escassos os conflitos deste tipo entre veículos, pois existem muito poucos cruzamentos nos quais não existe uma sinalização para a circulação dos veículos, tais como semáforos rotundos ou sinalização de cedência de passagem. Estes são apenas evidenciados no período da manhã na circulação dos veículos dentro dos parques de estacionamento circundantes ao campus da Universidade, quando chegam a um cruzamento.

Fazendo a comparação dos resultados obtidos do cenário base entre o período da manhã e da tarde pelas Tabelas 5 e 6, verifica-se que, para o período da manhã, existe um maior congestionamento do fluxo de tráfego que por si causa uma maior emissão de poluentes, um maior número de conflitos e menor velocidade média de cada veículo.

Tabela 5-Emissões de poluentes no cenário base para o período da manhã e tarde

Período	CO ₂ (kg)	NO _x (g)	CO(g)	HC(g)	CO ₂ (g/km)	NO _x (g/km)
Manhã	3891,4	8664,7	7350,9	12833,5	369,8	0,62
Tarde	3542,7	7925,1	5265,8	9835,4	212,2	0,52

Tabela 6- TTC, PET e número de conflitos no cenário base para o período da manhã e tarde

Período	TTC (s)	PET (s)	Passagem	Retaguarda	Mudança de via
Manhã	1,34	1,15	2519	11912	1990
Tarde	1,53	1,24	900	8191	1142

4.2 Cenários VA – Análise de emissões e dinâmica

Nesta secção de discussão dos resultados para os cenários alternativos com a implementação de veículos autónomos, são apresentados os resultados obtidos e é feita uma comparação dos mesmos com os resultados conseguidos na análise do cenário base. Estes resultados podem ser consultados na Tabela A.12 à Tabela A.37.

Começando por fazer a comparação entre o cenário base e os cenários em que existe uma variação da penetração de veículos autónomos para o período da manhã, cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV com penetração de 10%,20%,30% e 50% respetivamente.

Tabela 7- Resultados obtidos das emissões de CO₂, CO, NO_x e HC para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da manhã

Cenário	CO ₂ (kg)	NO _x (g)	CO(g)	HC(g)
Base	3891,4	7925,1	7350,9	12833,5
10%AV	0,0%	-5,0%	-5,6%	-7,0%
20%AV	-1,8%	-10,4%	-7,4%	-6,6%
30%AV	-4,1%	-12,2%	-7,5%	-8,9%
50%AV	-8,7%	-15,1%	-13,7%	-5,8%

Analisando os resultados da Tabela 7 e 8 e da Figura 44, verificou-se que com o aumento da taxa de penetração dos veículos autónomos para o período da manhã, existe uma diminuição da emissão de poluentes. De destacar uma redução de 4,1% das emissões totais de CO₂ para um cenário de taxa de penetração de 30% e uma redução de 12,2% para as emissões de NO_x no mesmo cenário.

Destaca-se ainda a redução da ordem dos 5%-7% para o cenário de 10%AV no que toca a emissões de NO_x, CO e HC.

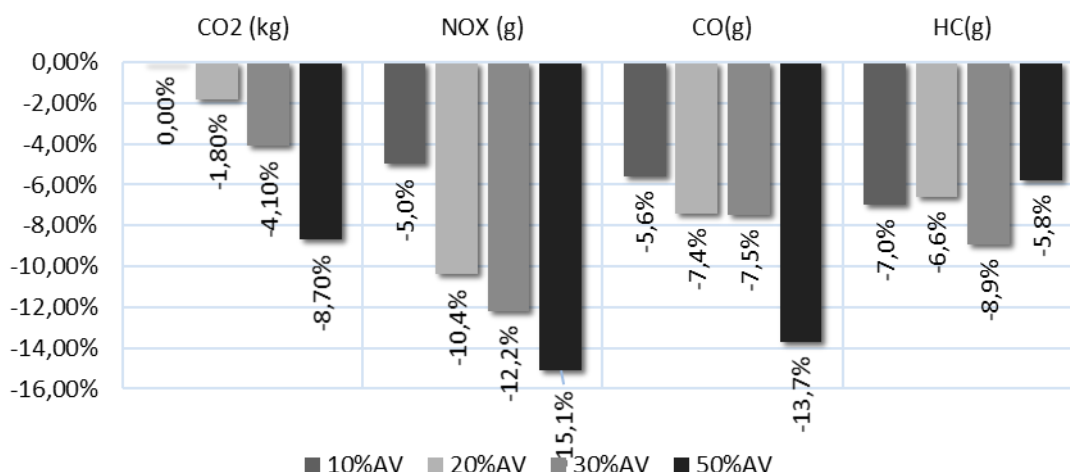


Figura 44- Redução das emissões de CO₂, CO, NO_x e HC para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da manhã face ao cenário base

Esta redução das emissões de poluentes, de modo geral, deve-se principalmente ao melhor fluxo de tráfego dado pelo comportamento dos VA, tendo uma condução mais defensiva e mais eficiente e, sobretudo, à diminuição de congestionamentos e situações de pára arranca.

Tabela 8- Resultados obtidos das emissões de CO₂ e NO_x por km e veículo para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da manhã

Cenário	CO ₂ (g/km)	NO _x (g/km)
Base	369,8	0,62
10%AV	0,0%	-4,1%
20%AV	-1,2%	-5,8%
30%AV	-4,5%	-9,4%
50%AV	-5,4%	-12,2%

De forma semelhante às emissões totais de poluentes, pode-se observar na Tabela 8 que as emissões de CO₂ e NO_x, por quilómetro e veículo, sofrem uma diminuição com o aumento da taxa de penetração dos veículos autónomos. Nesta análise o número de veículos a circular na rede manteve-se constante.

Observou-se também que apenas uma taxa de penetração de 10% é suficiente para reduzir as emissões NO_x por unidade de comprimento, face ao cenário base em cerca de 4% e que, com um aumento para 30% de taxa de penetração, existe uma diminuição de quase 10%.

No que toca as emissões de CO₂ por unidade de comprimento, verificou-se uma diminuição de 4,5% para uma taxa de penetração de 30% e 5,4% para taxa de 50%.

Tabela 9-Resultados obtidos da velocidade média e tempos de viagem médios para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da manhã

Cenário	Velocidade Média (km/h)	Tempo Médio de Viagem(s)
Base	26,1	190,6
10%AV	+0,8%	-2,1%
20%AV	+1,9%	-4,2%
30%AV	+1,8%	-6,6%
50%AV	+5,5%	-6,8%

Com a introdução de veículos autónomos na rede e por consequente aumento da taxa de penetração do mesmo, verificou-se um aumento da velocidade média de cada veículo. Este aumento pode ser explicado por uma diminuição do congestionamento do fluxo de tráfego na rede justificado por uma condução mais eficiente dos veículos

autónomos, com um aumento de 1,8% para uma taxa de penetração de 30% e mais de 5% para uma taxa de penetração de 50%.

Por consequente, os tempos de viagem são inferiores para cenários que tenham taxa de penetração superior devido ao aumento da velocidade média, mantendo a distância percorrida constante.

Fazendo agora a discussão dos dados obtidos no período da tarde entre o cenário base e os cenários em que existe uma variação da penetração de veículos autónomos.

Tabela 10- Resultados obtidos das emissões de CO₂, CO, NO_x e HC para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da tarde

Cenário	CO ₂ (kg)	NO _x (g)	CO(g)	HC(g)
Base	3542,7	8664,7	5265,8	9835,4
10%AV	-0,8%	-0,8%	-0,7%	-0,4%
20%AV	-0,9%	-2,3%	-1,1%	-0,5%
30%AV	-1,1%	-2,5%	-1,2%	-1,1%
50%AV	-1,8%	-3,0%	-1,2%	-1,1%

De forma análoga ao período da manhã, observou-se uma diminuição das emissões totais de poluente com o aumento da taxa de penetração de veículos autónomos, não tendo, porém, tanto impacto como foi verificado no período da manhã, comparando a Tabela 7 e a Tabela 10, Figura 45. Apesar da correlação se manter, a justificação para os resultados do período da tarde não serem tão expressivos como os do período da manhã, pode ser dada pelo facto de, no período da manhã, existir um maior congestionamento da rede e, por isso, o impacto da introdução dos veículos autónomos ser maior. No período da tarde, por não existir tantos congestionamentos na rede e haver uma fluidez de tráfego superior quando comparado ao período da manhã, o impacto da introdução dos veículos autónomos é inferior.

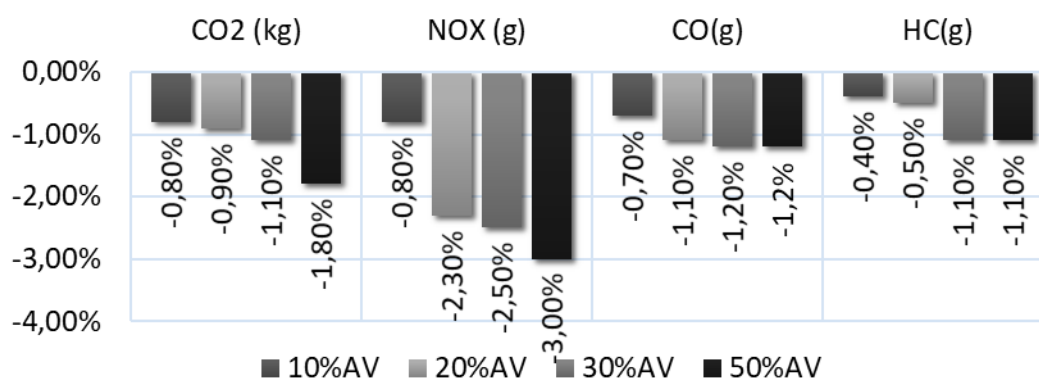


Figura 45- Redução das emissões de CO₂, CO, NO_x e HC para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da tarde face ao cenário base

Apesar dos resultados não serem tão significativos, também é verificada a tendência de redução de emissões com o aumento da taxa de penetração de veículos autônomos onde, para uma taxa de 30%, existe uma diminuição de 1,1% de emissão total de CO_2 , e 2,5% de emissão de NO_x . Já as emissões de CO e HC, não sendo tão expressivas, também registam uma diminuição linear com o aumento da taxa de penetração dos VA, assinalando uma diminuição de cerca de meio ponto percentual para taxas de 10% e 20%.

Tabela 11- Resultados obtidos das emissões de CO_2 e NO_x por km e veículo para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da tarde

Cenário	CO_2 (g/km)	NO_x (g/km)
Base	212,2	0,52
10%AV	-0,2%	-3,2%
20%AV	-0,3%	-3,8%
30%AV	-0,3%	-3,5%
50%AV	-0,4%	-3,8%

Da mesma forma, as emissões de CO_2 e NO_x por unidade de comprimento e veículo, sofrem uma diminuição com o aumento do número de veículos autônomos a circular na rede, como observado na Tabela 11. Tal como a redução de emissões totais de poluentes para o período da tarde observado anteriormente, a redução das emissões de CO_2 e NO_x por unidade de comprimento e veículo não são tão expressivas como o período da manhã, justificadas em parte por uma maior fluidez do fluxo de tráfego.

Tabela 12-Resultados obtidos da velocidade média e tempos de viagem médios para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da tarde

Cenário	Velocidade Média (km/h)	Tempo Médio de Viagem(s)
Base	31,8	209,1
10%AV	+1,0%	-1,4%
20%AV	+1,1%	-2,5%
30%AV	+0,9%	-4,6%
50%AV	+1,5%	-9,1%

Para a análise de velocidades médias dos veículos, na Tabela 12, verifica-se um aumento das mesmas para um aumento da taxa de penetração de veículos autônomos, de 31km/h para o cenário base para cerca de 32 km/h, um aumento de 1,5%, para 50% de taxa de penetração.

Seguindo a tendência inversa, seguem os tempos médios de viagem para cada veículo registando uma diminuição com o aumento da taxa de penetração, verificado com uma diminuição de 1,44%, 2,3%, 4,6% e 9,1% para taxas de penetração de 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50%, respetivamente.

4.3 Cenário Shuttle – Análise de emissões e dinâmica

De seguida, procede-se à discussão da introdução do “Shuttle” comparando os resultados com os resultados obtidos do cenário base para o período da manhã, seguida da discussão para o período da tarde. Para o cálculo de emissões de CO_2 e NO_x do “Shuttle” sendo este um veículo elétrico foi seguida a metodologia de cálculo descrita secção 3.4.

Tabela 13- Resultados obtidos das emissões de CO_2 , NO_x para o cenário de introdução do “Shuttle” no período da manhã

Cenário	CO_2 (kg)	NO_x (g)
Base	3891,4	7925,1
SHUTTLE	0,0%	-0,1%

Com a introdução do “Shuttle”, procurou-se substituir alguns veículos na rede que percorriam os trajetos entre a Universidade de Aveiro e o Parque de Ciência e Inovação em Ílhavo, diminuindo assim as emissões totais de poluentes. Neste caso a substituição de veículos privados na rede para o período analisado produz uma redução de emissões praticamente nula. No total da rede circulam aproximadamente 4000 veículos a remoção de uma percentagem tao baixa como a remoção de 25 a 35 não traz resultados expressivos. Porém se for analisado para um período de 1 ano ou mais já se consegue ter uma perceção de que a introdução do “Shuttle” traz um grande impacto. Sendo que pela remoção de 25 a 35 veículos e com a introdução do “Shuttle” são emitidos cerca de 17kg a menos de CO_2 e 2,9 kg de NO_x apenas no período analisado de 1 hora e 15 minutos, fazendo os cálculos ao ano serão menos 6 toneladas de CO_2 e 1 tonelada de NO_x emitidas apenas no período entre as 8h45 e as 10h00.

Por consequente as emissões de CO_2 e NO_x por unidade de comprimento não sofrem reduções nem aumentos expressivos justificados pela redução das emissões totais destes poluentes. Verificando uma diminuição de 0,1% nas emissões de CO_2 (g/km) como pode ser verificado na Tabela 14.

Tabela 14- Resultados obtidos das emissões de CO_2 e NO_x por km e veículo para o cenário de introdução do “Shuttle” no período da manhã

Cenário	CO_2 (g/km)	NO_x (g/km)
Base	369,8	0,62
SHUTTLE	-0,1%	0,0%

Tabela 15-Resultados obtidos da velocidade média e tempos de viagem médios para o cenário de introdução do “Shuttle” no período da manhã

Cenário	Velocidade Média(km/h)	Tempo Médio de Viagem(s)
Base	26,1	190,6
SHUTTLE	-7,0%	+7,8%

Por outro lado, analisando a Tabela 15 verifica-se que, com a introdução do “Shuttle”, existe uma diminuição acentuada das velocidades médias dos veículos a circular na rede, comparando com as velocidades médias obtidas na análise do cenário base. Estes resultados apenas reforçam a percepção que com a introdução do “Shuttle”, por esta circular a velocidades reduzidas (20km/h) face às velocidades praticadas quando este não está a circular, cria-se um cenário propício a congestionamento.

Sendo assim, examinando os resultados obtidos das Tabelas 14 e 15, pode-se afirmar que a introdução do “Shuttle” com o intuito de reduzir as emissões de poluentes e melhorar o fluxo de tráfego retirando veículos da rede, está a produzir resultados positivos porém não com a expressividade que se esperava. Fazendo a análise do seu impacto ao longo termo de 1 ano ou mais, sim já se observam resultados promissores.

Tabela 16- Resultados obtidos das emissões de CO₂, CO, NO_x e HC para o cenário de introdução do “Shuttle” no período da tarde

Cenário	CO ₂ (kg)	NO _x (g)
Base	3542,7	8664,7
SHUTTLE	0,0%	0,0%

Observando os resultados obtidos, por análise da Tabela 16, para o período da tarde, a introdução do “Shuttle” produz resultados semelhantes aos obtidos no período da manhã. Desta forma, com a introdução do “Shuttle”, não existem reduções significativas das emissões totais de CO₂ e NO_x. Porém, para a análise de um período de 1 ano verifica-se uma redução de 4 toneladas e 1 tonelada das emissões totais de CO₂ e NO_x respetivamente, sendo que no intervalo de tempo analisado (17h45-19h00) existe uma redução de emissões 12kg de CO₂ e 3,2 de NO_x.

Tabela 17- Resultados obtidos das emissões de CO₂ e NO_x por km e veículo para o cenário de introdução do “Shuttle” no período da tarde

Cenário	CO ₂ (g/km)	NO _x (g/km)
Base	212,2	0,52
SHUTTLE	-0,1%	0,0%

De forma análoga aos resultados obtidos para a emissão total de poluentes dada pela Tabela 17, na Tabela 18, regista-se a mesma tendência verificada no período da manhã, porém como também já foi verificado na análise de emissões entre os dois períodos, o período da tarde reflete resultados que indicam impactos com menor expressividade. Analisando a Tabela 20 a velocidade média dos veículos na rede é reduzida em 6,2% e os tempos de viagem sofrem um acréscimo de cerca de 2% com a introdução do “Shuttle”.

Tabela 18-Resultados obtidos da velocidade média e tempos de viagem médios para o cenário de introdução do “Shuttle” no período da tarde

Cenário	Velocidade Média(km/h)	Tempo Médio de Viagem(s)
Base	31,8	209,1
SHUTTLE	-6,2%	+2,2%

4.4 Cenários VA elétricos – Análise de emissões

Nesta secção será analisado o impacto da introdução de veículos autónomos elétricos na rede com taxas de penetração semelhantes às analisadas na secção 4.2, de 10%,20%,30% e 50%.

Com emissões muito inferiores comparado com veículos de combustão interna, os veículos elétricos são um passo em frente no que toca à redução de emissões na circulação de veículos na rede rodoviária. Para o cálculo de emissões de CO_2 e NO_x dos veículos elétricos foi seguida a metodologia de calculo descrita secção 3.4.

Começando por analisar o impacto da introdução de veículos autónomos elétricos no período da manhã para os vários cenários denominados “AV-E” para veículos autónomos elétricos, seguido do período da tarde:

Tabela 19 - Resultados obtidos das emissões de CO_2 e NO_x por km e veículo para os cenários 10% AV E, 20% AV E, 30% AV E, 50% AV E no período da manhã

Cenário	CO_2 (g/km)	NO_x (g/km)
Base	369,87	0,629
10%AV-E	-10,1%	-14,9%
20% AV-E	-19,3%	-24,3%
30%AV-E	-31,2%	-36,7%
50%AV-E	-49,5%	-56,1%

Tabela 20- Resultados obtidos das emissões de CO_2 e NO_x por km e veículo para os cenários 10% AV E, 20% AV E, 30% AV E, 50% AV E no período da tarde

Cenário	CO_2 (g/km)	NO_x (g/km)
Base	212,26	0,523
10%AV-E	-9,0%	-13,5%
20% AV-E	-17,3%	-23,1%
30%AV-E	-26,4%	-32,9%
50%AV-E	-43,1%	-51,1%

Da análise das Tabela 19 e Tabela 20 verifica-se uma diminuição substancial das emissões de poluentes. No período da manhã para o cenário de 10% AV-E existe uma redução de 10% de emissão de CO_2 (g/km) face ao cenário base com 332,5 g/km e para uma taxa de penetração de 50% com 189,9 g/km, registando assim uma redução de 49,5%. Para o período da tarde o cenário de 10% AV-E verifica-se uma redução de 9% e 13%, de emissões de CO_2 e NO_x com 193,5 g/km e 0,45 g/km respetivamente. Para o cenário em que existe 50% de penetração de veículos autónomos elétricos na rede para o período da tarde observa-se 120,7 g/km e 0,25 g/km de emissões de CO_2 e NO_x por unidade de comprimento respetivamente.

Comparando com um veículo que possua motor de combustão interna, um veículo elétrico emite em média menos 90% de emissões que foram analisadas, CO_2 e NO_x . Esta análise tem várias limitações, por exemplo, não é considerado a mudança na dinâmica dos veículos, nem um consumo adicional relacionado à energia necessária para alimentar os dispositivos de automação. Esta análise visa apenas demonstrar aproximadamente a ordem de magnitude das mudanças nas emissões relacionadas ao sistema de propulsão do veículo, na secção seguinte, secção 4.5, será analisado o impacto da mudança de motorização.

4.5 Cenários Veículos elétricos – Análise de emissões

Fazendo a análise do impacto da mudança de motorização dos veículos sem analisar o impacto da automação, neste caso semelhante à secção 4.4 será feita a introdução de veículos elétricos com taxas de penetração de 10%,20%,30% e 50%, com os cenários denominados “E” de elétrico.

Tabela 21 - Resultados obtidos das emissões de CO_2 e NO_x por km e veículo para os cenários 10% E, 20% E, 30% E, 50% E no período da manhã

Cenário	CO_2 (g/km)	NO_x (g/km)
Base	369,87	0,629
10%E	-9,9%	-9,6%
20%E	-17,4%	-17,8%
30%E	-29,1%	-27,5%
50%E	-43,1%	-44,4%

Tabela 22- Resultados obtidos das emissões de CO_2 e NO_x por km e veículo para os cenários 10% AV E, 20% AV E, 30% AV E, 50% AV E no período da tarde

Cenário	CO_2 (g/km)	NO_x (g/km)
Base	212,26	0,523
10%E	-8,7%	-9,8%
20%E	-15,7%	-19,6%
30%E	-24,9%	-30,3%
50%E	-41,6%	-47,9%

Dos resultados obtidos dos dois períodos é possível observar o impacto apenas da introdução de veículos elétricos, sendo que a comparação dos resultados com os obtidos na secção 4.4 indicam que as diferenças se devem à automação dos veículos.

Fazendo destacar reduções de 43% e 41% nas emissões de CO_2 em grama por quilómetro para penetração de 50% de veículos elétricos e 44% e 48% % nas emissões de NO_x em grama por quilómetro para a mesma taxa, Tabela 21 e Tabela 22.

4.6 Cenários Alternativos – Análise de conflitos

Por fim, será feita a discussão dos resultados obtidos fruto da análise com base na metodologia SSAM para os diferentes cenários em que existe uma variação da penetração de veículos autônomos, bem como a introdução do “*Shuttle*” para ambos os períodos: manhã e tarde.

Começando pela discussão dos resultados referentes aos cenários em que existe uma variação da penetração de veículos autônomos no período da manhã.

Tabela 23- Resultados obtidos de TTC e PET para os cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da manhã

Cenário	TTC (s)	PET (s)
Base	1,34	1,15
10%AV	+1,9%	+6,1%
20%AV	+1,3%	+5,8%
30%AV	+2,0%	+9,8%
50%AV	+2,6%	+7,5%

Analisando os resultados obtidos do “*Time-to-collision (TTC)*” e de “*Post-encroachment time (PET)*”, para o período da manhã dado pela Tabela 23, verifica-se que com o aumento da taxa de penetração dos veículos autônomos na rede, existe um aumento de TTC e PET comparando ao cenário base. Um aumento de TTC e PET promove uma diminuição da gravidade dos conflitos. Para uma taxa de penetração superior a 20%, verifica-se que existe um aumento de 2% do TTC relativo ao cenário base e para as taxas de penetração analisadas de 10%,20%,30% e 50% existe um acréscimo entre 5% e 10% do PET relativo ao cenário base.

Tabela 24 - Resultados obtidos para número e tipo de conflitos para cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da manhã

Cenário	Passagem	Retaguarda	Mudança de via
Base	2519	11912	1990
10%AV	-1,1%	-0,2%	-8,6%
20%AV	-1,2%	-2,3%	-9,9%
30%AV	-1,0%	-7,2%	-10,3%
50%AV	-0,6%	-7,6%	-11,4%

Consultando a Tabela 24, é possível observar uma diminuição do número total de conflitos, bem como uma diminuição do número de conflitos para cada tipo. Sendo que o tipo de conflito que sofre uma maior diminuição é o conflito de mudança de via, seguido por conflitos de retaguarda. Esta diminuição está associada ao comportamento de condução dos veículos autônomos seguindo o modelo de *Wiedemann 99*, segundo a Tabela 4, e os parâmetros de “*Lane Change*” como demonstra a Figura 28 na seção 3.6.

Segue a discussão dos resultados referentes aos cenários em que existe uma variação da penetração de veículos autônomos no período da tarde.

Tabela 25- Resultados obtidos de TTC e PET cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da tarde

Cenário	TTC (s)	PET (s)
Base	1,53	1,24
10%AV	+0,2%	+1,1%
20%AV	+0,2%	+0,5%
30%AV	+0,8%	+0,1%
50%AV	+0,7%	+2,9%

Analisando agora os resultados para o período da tarde, pela Tabela 25, verifica-se que o aumento da taxa de penetração dos veículos autônomos leva a um aumento do TTC e PET face aos valores obtidos da análise para o cenário base. Porém, tal como foi verificado anteriormente na análise de emissões de poluentes, a diferença entre os dois períodos - da manhã e tarde -, no período da tarde não se observam resultados tão expressivos, dado as características de fluxo de tráfego entre estes dois períodos.

Ao observar os resultados da Tabela 25, verifica-se um aumento de TTC praticamente nulo para taxas de penetração de VA de 10% e 20%, e um aumento de perto de 1% para taxas de penetração de VA de 30% e 50%. Por outro lado, o aumento de PET é mais expressivo que o de TTC registrando diferenças de 2,9% para uma taxa de penetração de 50%, comparado com o cenário base.

Tabela 26 - Resultados obtidos para número e tipo de conflitos para cenários 10% AV, 20% AV, 30% AV, 50% AV no período da tarde

Cenário	Passagem	Retaguarda	Mudança de via
Base	900	8191	1142
10%AV	-6,3%	-3,4%	-2,6%
20%AV	-9,0%	-4,5%	-1,9%
30%AV	-11,6%	-5,2%	-4,0%
50%AV	-18,1%	-9,6%	-8,2%

Para a análise da Tabela 26 que reflete o número de conflitos e o seu tipo, segue a mesma tendência da Tabela 24, para o período da manhã. Contudo, existe uma diminuição superior de conflitos de passagem, para diferentes taxas de penetração nomeadamente 18,1% para uma taxa de 50% e 11,6% para uma taxa de 30%, ambas comparadas ao cenário base.

4.7 Cenário Shuttle – Análise de conflitos

Segue a discussão dos resultados referentes ao cenário em que é introduzido o “Shuttle” no período da manhã.

Tabela 27- Resultados obtidos de TTC e PET para o cenário de introdução do “Shuttle” no período da manhã

Cenário	TTC (s)	PET (s)
Base	1,34	1,15
SHUTTLE	-0,9%	-1,5%

Examinando os resultados dados pela introdução do “Shuttle” no período da manhã - Tabela 27 - verifica-se agravamento da performance da rede com a diminuição do TTC e PET, relativamente ao cenário base, respetivamente 0,9% e 1,5%. Com a diminuição destes dois parâmetros tem-se uma rede que, com introdução do “Shuttle”, tem conflitos com maior grau de gravidade.

Tabela 28- Resultados obtidos de número e tipo de conflitos para o cenário de introdução do “Shuttle” no período da manhã

Cenário	Passagem	Retaguada	Mudança de via
Base	2519	11912	1990
SHUTTLE	+4,7%	+14,4%	+6,6%

Observando agora os resultados dados pela Tabela 28, com o número de conflitos e o seu tipo na rede, verifica-se um aumento do número total de conflitos, juntamente com um aumento do número de conflitos para cada tipo, passagem, retaguada e mudança de via, 4,7%, 14,4% e 6,6% respetivamente.

Finalizando com a discussão dos resultados referentes ao cenário em que é introduzido o “Shuttle” no período da tarde.

Tabela 29- Resultados obtidos de TTC e PET para o cenário de introdução do “Shuttle” no período da tarde

Cenário	TTC (s)	PET (s)
Base	1,53	1,24
SHUTTLE	-2,5%	-6,4%

Tabela 30- Resultados obtidos de número e tipo de conflitos para o cenário de introdução do “Shuttle” no período da tarde

Cenário	Passagem	Retaguarda	Mudança de via
Base	900	8191	1142
SHUTTLE	+27,67%	+17,43%	+26,72%

De forma semelhante à análise dos resultados para o período da manhã com a introdução do “Shuttle”, para o período da tarde existe uma diminuição do TTC e PET comparativamente ao cenário base, contribuindo assim para um aumento da severidade dos conflitos, pela análise da Tabela 29.

Por fim, observando a Tabela 30, existe um aumento do número total de conflitos, juntamente com um aumento do número de conflitos para cada tipo uma vez introduzido o “Shuttle” na rede, com um aumento de 27% de conflitos de passagem, 17% de conflitos de retaguarda e 26% de conflitos por mudança de via. Da Figura 46 é possível observar os diferentes conflitos rodoviários face ao cenário base com a introdução do “Shuttle”, verifica-se um aumento de conflitos de retaguarda (pontos a amarelo) dada a localização pelos círculos a verde, estas coincidem com o local de paragem do “Shuttle” para a recolha e largada de passageiros.

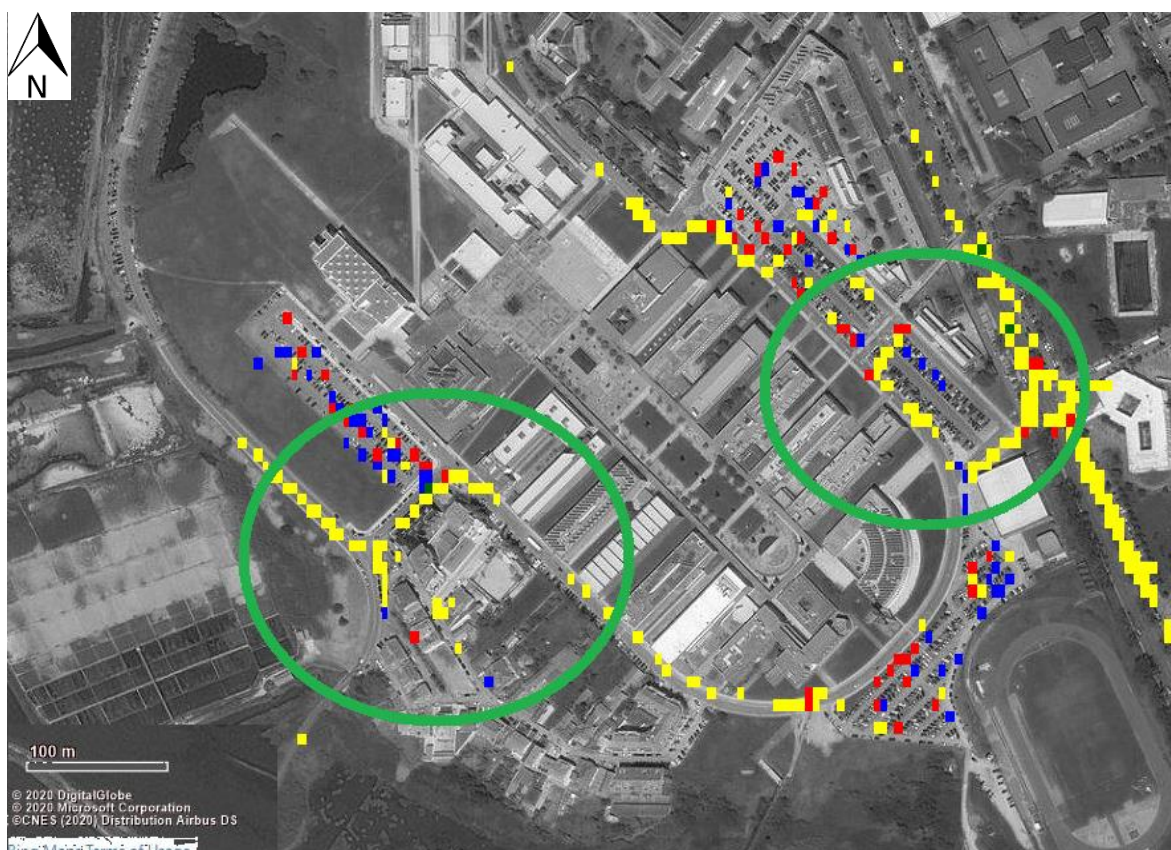


Figura 46- Foco de conflitos rodoviários face ao cenário base com a introdução do “Shuttle” - entrada oeste e este do campus universitário (Fonte da imagem de fundo: Bing Maps)

5. Conclusões

O trabalho desenvolvido para esta dissertação de mestrado teve, como foco principal, a análise do desempenho do tráfego e seus impactes do ponto de vista de conflitos rodoviários e emissões de poluentes na área circundante à Universidade de Aveiro e Parque de Ciência e Inovação em Ílhavo, com a introdução de veículos autónomos na rede. Neste capítulo será feita uma avaliação dos resultados obtidos e uma análise dos objetivos propostos e, para finalizar, será feita uma análise crítica das limitações que foram encontradas para a redação desta dissertação bem como possíveis tópicos a abordar em trabalhos futuros.

Para a análise da rede rodoviária, foi utilizado o *software* de modelação microscópica de tráfego PTV VISSIM e, para análise de emissões e conflitos, recorreu-se às metodologias de cálculo VSP e SSAM, respetivamente. No caso de estudo, o cenário base foi calibrado seguindo as características do tráfego na área em análise, segundo volumes de fluxos de tráfego e tempos de viagem para uma dada rota contemplando dois períodos do dia - período da manhã, compreendido entre as 8h45 e as 10h00 e o período da tarde, compreendido entre as 17h45 e as 19h00. Foram analisados 9 cenários alternativos: um cenário em que existe 10% de penetração de veículos autónomos na rede seguido de outros três de 20%, 30% e 50%, adicionando outros quatro com a mesmas taxas de penetração, porém com a análise do impacto destes VA serem elétricos e sendo, por fim, criado um cenário no qual é introduzido um veículo de transporte público autónomo elétrico com o intuito de fazer o transporte de passageiros entre a Universidade de Aveiro e Parque de Ciência e Inovação em Ílhavo, retirando, deste modo, alguns veículos que percorreriam esse trajeto de modo a reduzir as emissões e congestionamento da área a ser alvo de análise.

Relativamente às simulações realizadas, é possível concluir que para o cenário base que retrata a situação atual, a aérea circundante à Universidade de Aveiro é a principal zona onde existe uma maior emissão de poluentes e com um maior número de conflitos rodoviários na rede, seguida da Estrada Nacional 109 com ligação entre Aveiro e Ílhavo, registando 15% e 8% das emissões totais de CO_2 na rede e 14% e 6% das emissões totais de NO_x . Para as emissões totais de CO_2 , registou-se a emissão de 3,8 e 3,5 toneladas para os períodos da manhã e tarde, acarretando assim emissões de CO_2 por quilómetro e veículos de 369 gramas por quilómetro e 212 gramas por quilómetro, respetivamente. No mesmo cenário foram registados um total de 16421 e 10233 conflitos rodoviários para o período da manhã e da tarde, sendo que uma grande percentagem destes são conflitos de retaguarda, causados por situações de pára-arranca e situações de desaceleração súbita de veículos.

Na análise dos resultados obtidos da introdução de veículos autónomos na rede concluiu-se que:

Para uma penetração de 10% de veículos autónomos na rede existe pouco impacto nas emissões totais de CO_2 para os dois períodos do dia em análise com reduções inferiores a 1%. Porém, no que toca às restantes emissões de poluentes, verificou-se uma redução significativa relativamente ao cenário base que retrata a situação atual, de emissões de NO_x , CO e HC com reduções compreendidas entre os 5% e 7% para o período da manhã. Também se verificou um aumento da velocidade média dos veículos na rede de 0,8% e 1% relativo ao cenário base que, por sua vez, implica que os tempos médios de viagem diminuam com reduções entre 1,5% e 2% para o período da manhã e tarde, respetivamente. No que toca ao número de conflitos rodoviários, registou-se uma melhoria significativa com a redução entre 4% e 6% no número de conflitos de atravessamento e 2% e 8% no número de conflitos de mudança de via. Todavia, no número de conflitos de retaguarda, o principal fator que contribuiu para o

número de conflitos totais, apenas se registou uma queda de 0,2% para o período da manhã e 3% para o período da tarde.

A gravidade dos conflitos rodoviários também diminuiu com TTC e PET a sofrerem uma redução entre 0,2% e 2%, 1% e 6%, respetivamente.

Para a penetração de 20% de veículos autónomos na rede, registou-se uma melhoria geral no desempenho do tráfego na rede, com reduções superiores de emissão de poluentes e redução de conflitos comparativamente ao cenário de penetração de 10% de veículos autónomos. Para as emissões totais de poluentes, registou-se uma diminuição de 2% para a emissão de CO_2 no período da manhã face ao cenário base e reduções de emissão de NO_x , CO e HC entre os 6% e 10% para o mesmo período. Já no período da tarde, também se registou uma redução de emissões, porém não tão acentuada com reduções de CO_2 de 1% e reduções de NO_x de 2%. Os resultados de velocidade média e tempos médios de viagem para cada veículo também sofreram um aumento e diminuição, respetivamente, com aumento entre 1% e 2% para velocidade média e uma diminuição de 2% e 4% para tempo médio de viagem. Ao nível do número de conflitos, este segue a mesma tendência do cenário de penetração de 10% de veículos autónomos, com redução do número total de conflitos de 4%. A gravidade destes mesmos conflitos foi reduzida com o aumento de TTC e PET de 1% e 5%, respetivamente.

Seguindo a tendência dos cenários de penetração de 10% e 20% de veículos autónomos com a redução de emissões de poluentes e redução do número de conflitos e a sua gravidade, os cenários de penetração de 30% e 50% de veículos autónomos registaram uma melhoria ainda mais significativa relativamente aos restantes cenários de introdução de VA. No cenário de 30%, registou-se no máximo uma redução de 4% de emissões totais de CO_2 e 12% de emissões totais de NO_x . Já no cenário de penetração de 50%, registou-se no máximo uma redução de 8% de emissões totais de CO_2 e 15% de emissões totais de NO_x , sendo o melhor resultado obtido para reduções de emissões. Por consequente, as emissões por unidade de comprimento e veículo também sofreram uma redução acentuada para estes dois cenários comparativamente com o cenário base, registando reduções de 4% e 5% de emissões CO_2 por grama por quilómetro e 9% e 12% de emissões NO_x por grama por quilómetro, respetivamente, para os cenários de 30% e 50% de penetração de veículos autónomos. Para as velocidades médias e tempos médios de viagem nestes dois cenários, foi registado um aumento de velocidade média dos veículos a circular na rede e uma redução dos tempos médios de viagem, de 5% e entre os 6% e 9%, respetivamente, seguindo assim a tendência que se vem observando com o aumento da taxa de penetração dos VA. Para a análise dos conflitos rodoviários também foi vista a mesma tendência de aumento de desempenho da rede com o aumento da taxa de penetração dos VA, com a redução do número total de conflitos e a sua gravidade com uma redução máxima de 20% para o cenário de 50% de penetração e 5% para o cenário de 30% de penetração, tendo uma redução do principal contribuído para o número total de conflitos - conflitos de retaguarda - para o cenário de 30% de 7% e para o cenário de 50% de 9%.

Para os cenários em que são introduzidos veículos autónomos elétricos com variadas taxas de penetração de 10% a 50% verificou-se que existe uma diminuição muito acentuada de emissões de poluentes justificada pela inexistência de emissões locais. No cálculo de emissões, estas são apenas provenientes da produção de eletricidade. Para os cenários de 10 % de penetração de veículos autónomos elétricos em ambos os períodos se observou em média uma redução entre 10% e 14% de emissões CO_2 por grama por quilómetro e emissões NO_x por grama por quilómetro respetivamente. Já para taxas de penetração de 50% verificou-se uma redução para metade das emissões de poluentes (CO_2 e NO_x) com emissões de 120,7 g/km e 0,25 g/km de emissões de CO_2 e NO_x por unidade de comprimento respetivamente. Fazendo a

comparação das emissões por quilometro de um veículo convencional com um veículo autónomo elétrico existe uma redução de cerca de 90%, com um veículo convencional a emitir em média cerca de 300g/km de CO_2 e um veículo autónomo elétrico para as mesmas condições a consumir energia elétrica que a ser produzida equivale à emissão de 30g/km de CO_2 . Também pode ser observado pela introdução de veículos elétricos sem automação e comparação com os cenários em que são introduzidos veículos autónomos elétricos, secção 4.4 e 4.5, que o fator determinante para a redução de emissões passa por uma mudança de motorização, neste caso para motorização elétrica.

Para o cenário final no qual foi introduzido um veículo de transporte público autónomo elétrico, “*Shuttle*”, conclui-se que os resultados obtidos seguem uma tendência de redução de emissões de poluentes, porém para o intervalo de tempo analisado não são muito expressivos com redução de emissão de CO_2 e NO_x totais praticamente nulas. Por outro lado, se for avaliado um cenário que tem em vista as emissões totais anuais fruto da análise para os 2 períodos do dia, já se consegue verificar uma redução de 10 toneladas de CO_2 e 2 toneladas de NO_x , apenas com a circulação do “*Shuttle*” e remoção de 25 a 35 veículos para 2 horas e meia de cada dia. No que toca a análise de conflitos rodoviários com este cenário, observa-se um aumento de número de conflitos (apesar de circularem na rede menos veículos), uma redução de 5% da velocidade média dos veículos e aumento de 6% do tempo médio de viagem. No aumento de número de conflitos destaca-se o aumento do número de conflitos de retaguarda de 15% e aumento da gravidade dos conflitos com a redução do TTC e PET de 2% e 6%, respetivamente. Esta degradação está, em parte, justificada pela criação de um maior congestionamento na rede - já bastante congestionada em hora de ponta - provocados pela circulação do “*Shuttle*” a baixa velocidade pelas vias contidas no campus e imediações, e pelas diversas paragens efetuadas no transporte e recolha de passageiros nessas mesmas vias.

É possível concluir com base nos resultados obtidos que a rede rodoviária nas imediações da Universidade de Aveiro e do Parque de Ciência e Inovação em Ílhavo tem um desempenho medíocre nas horas de ponta, mais concretamente no período da manhã, havendo bastantes congestionamentos junto à entrada da Universidade junto à rotunda do ISCAA e também no centro do município de Ílhavo (mais concretamente na ligação entre a Av. 25 de Abril e a EN109), sendo que, no período da tarde, não existe tantos congestionamentos face ao período da manhã devido à saída dos veículos do campus universitário de forma mais faseada e por haver uma maior dispersão do fluxo pela rede. Porém, com a introdução de veículos autónomos e por sua vez um aumento da sua taxa de penetração na rede, existe uma melhoria significativa das emissões de poluentes bem como a melhoria a nível do número de conflitos rodoviários registados e a sua gravidade. Com isto, também é de acrescentar o impacto significativo que a mudança para veículos autónomos elétricos traz com reduções de emissões em 50% para certas taxas de penetração, sendo que grande parte destas reduções deve à mudança de motorização.

Por outro lado, conclui-se que a introdução do “*Shuttle*” na rede rodoviária com o intuito de fazer o transporte de passageiros dentro do campus universitário e o PCI em Ílhavo, traz resultados positivos porém não tendo a magnitude que se esperava com o pequeno aumento de congestionamento dentro do campus que, por sua vez, provoca um maior número de conflitos rodoviários.

Por fim, é possível concluir que a utilização do *software* PTV VISSM é uma ferramenta útil para elaborar uma simulação bastante credível, muito relevante e, juntando métodos de análise do desempenho da rede tais como as metodologias de

cálculo VSP e SSAM, é possível fazer uma análise qualitativa e quantitativa do desempenho da mesma.

No decorrer do desenvolvimento desta dissertação de mestrado, foram identificadas as limitações abaixo indicadas, que poderão ser revistas para possíveis trabalhos futuros de modo a obter resultados e conclusões mais significativos:

- A calibração da rede em termos de volumes de fluxos de tráfego e tempos de viagem foi feita com a consulta de bases de dados e relatórios antigos devido à situação epidemiológica COVID-19, podendo não estar a refletir as características atuais;
- O comportamento dos veículos autónomos é estático sendo que a implementação de algoritmos de melhoramento do seu comportamento de forma a reduzir emissões e conflitos;
- Falta de validação de emissões de veículos face a dados experimentais, deste modo os resultados obtidos podem não representar a realidade de forma precisa;
- A exclusão do número de veículos pesados e motociclos a circular por falta de dados sobre a matéria;
- Análise de vários períodos do dia de forma a completar conhecimento da rede rodoviária dos concelhos de Aveiro e Ílhavo;
- Limitações no cálculo de emissões equivalentes para os veículos elétricos;
- Interação de diferentes modos emergentes na rede, juntamente com os veículos autónomos, incluindo micromobilidade.

Referências bibliográficas

- [1] AEA. (2019). “Final energy consumption in Europe by mode of transport,” Agência Europeia do Ambiente, Copenhaga, Dinamarca
- [2] AEA. (2019). “Emissions of air pollutants from transport,” Agência Europeia do Ambiente, Copenhaga, Dinamarca
- [3] AEA. (2019). “Greenhouse gas emissions from transport in Europe,” Agência Europeia do Ambiente, Copenhaga, Dinamarca
- [4] Diretiva (UE) 2016/2284 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 14 de dezembro de 2016, relativa à redução das emissões nacionais de certos poluentes atmosféricos, que altera a Diretiva 2003/35 / CE e revoga a Diretiva 2001/81 / CE (OJ L344,17.12.2016, p20)
- [5] AEA. (2019). “Passenger and freight transport demand in Europe,” Agência Europeia do Ambiente, Copenhaga, Dinamarca
- [6] Diário da República n.º 2/2020, 1º Suplemento, Série I de 2020-01-03, artigo 234.º da Lei n.º 71/2018
- [7] INE – Instituto Nacional de Estatística. (2018). “Consumo de combustível (l) das empresas de transporte rodoviário de passageiros por Localização geográfica (Continente) e Tipo de combustível”; Lisboa: INE, I.P
- [8] Níveis de automação “Padrão para veículos autónomos” - SAE International Consultado em: <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9Clevels-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles>
- [9] Michałowska M., Ogłodziński M. (2017) “Autonomous Vehicles and Road Safety”. Smart Solutions in Today’s Transport. TST 2017. Communications in Computer and Information Science, vol 715. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-66251-0_16
- [10] Cunningham M., Regan M. (2015) “Autonomous Vehicles: Human Factors Issues and Future Research” Australasian College of Road Safety Conference 2015.
- [11] Silva, F.C.; Kistmann, V.; Okimoto, M. L. (2018). «Terrestrial Autonomous Vehicles: Exploratory Study and Perspectives of the Interaction of Blind People in the Urban Environment». Advances in Ergonomics in Design
- [12] Pissardini, R. S.; Wei, D. C. M.; Fonseca Jr., E. S. (2013). “Veículos Autónomos: Conceitos, Histórico e Estado-da-Arte”. Artigo apresentado em Anais do XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes
- [13] Bansal P., Kockelman K. (2016). “Forecasting Americans’ long-term adoption of connected and autonomous vehicle technologies” Transportation Research Part A. doi: 10.1016/j.tra.2016.10.013

- [14] T. Litman. (2015). "Autonomous Vehicle Implementation Predictions," Victoria Transport Policy Institute, Victoria, Austrália
- [15] Bansal P., Kockelman K. (2016). "Are We Ready to Embrace Connected and Self-Driving Vehicles? A Case Study of Texans. Forthcoming in Transportation" Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, The University of Texas at Austin 45(2), 641-675
- [16] Bansal, P., Kockelman, K., Singh, A. (2016). "Assessing public opinions of and interest in new vehicle technologies: An Austin perspective. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 67, 1–14.
- [17] Schoettle, B., Sivak, M. (2014). "A Survey of Public Opinion about Autonomous and Self-driving Vehicles in the US, the UK, and Australia." Report: UMTRI-2014-21 University of Michigan
- [18] Musti, S., Kockelman, K. (2011). "Evolution of the household vehicle fleet: anticipating fleet composition and PHEV adoption in Austin, Texas." Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, The University of Texas at Austin doi: 10.1016/j.tra.2011.04.011
- [19] Bandeira J., Almeida T., Khattak A., Roupail N, Coelho M. (2013) "Generating Emissions Information for Route Selection: Experimental Monitoring and Routes Characterization, Journal of Intelligent Transportation Systems", 17:1, 3-17, DOI: 10.1080/15472450.2012.706197
- [20] Bandeira J., Fernandes P., Fontes T., Pereira S., Khattak, A. e Coelho M. (2018). "Exploring Multiple Eco-Routing Guidance Strategies in Commuting Corridor," International Journal of Sustainable Transportation, vol. 12
- [21] Eilbert, A., L. Jackson, G. Noel. (2018)." A Framework for Evaluating Energy and Emissions Impacts of CCAV Traffic Microsimulations" Transportation Research Board 92th Annual Meeting
- [22] Stogios C. (2018). "Investigating the Effects of Automated Vehicle Driving Operations on Road Emissions and Traffic Performance" Department of Civil Engineering, University of Toronto
- [23] Zhao L., Sun J. (2013)." Simulation Framework for Vehicle Platooning and Car-following Behaviors Under Connected-vehicle Environment". Procedia - Social and Behavioral Sciences 2013
- [24] Zhai H., Frey H.C., Roupail N.M., (2008). "A Vehicle-Specific Power Approach to Speed and Facility Specific Emissions Estimates for Diesel Transit Buses". Environmental Science & Technology
- [25] Coelho, M. C., Zhai, H., Frey, H. C., Roupail, N. M., Pelkmans, L. (2009). "Assessing methods for comparing emissions from gasoline and diesel light-duty vehicles based on microscale measurements". Transportation Research Part D: Transport and Environment, 14(2), 91–99. doi: 10.1016/j.trd.2008.11.005

- [26] Bandeira J., Andrade M., Fernandes M., Rodrigues M., Macedo E., Coelho M. (2019). "Potential energy and emissions benefits of connected and autonomous vehicles in mixed traffic flows". Presented at EWGT conference 2019
- [27] Tomás R., Fernandes P., Macedo E., Bandeira J., Coelho M. (2020) "Assessing the emission impacts of autonomous vehicles in metropolitan freeways", *Transportation Research Procedia* 47 (2020), pp. 617-624.
- [28] Garcia-Castro, A., Monzon, A., Valdes, C., & Romana, M. (2017). "Modeling different penetration rates of eco-driving in urban areas: Impacts on traffic flow and emissions." *International Journal of Sustainable Transportation*, 11(4), 282–294. doi: 10.1080/15568318.2016.1252972
- [29] Mahmud K., Mashrur C. (2019) "Connected Vehicle Supported Adaptive Traffic Control for Near-congested Condition in a Mixed Traffic Stream", Glenn Department of Civil Engineering, Clemson University.
- [30] Fleming K.; Singer M. (2019), "Energy Implications of Current Travel and the Adoption of Automated Vehicles", Laboratório Nacional de Energia Renovável Departamento de Energia dos Estados Unidos;
- [31] Millard-Ball A. (2016), "Pedestrians, Autonomous Vehicles, and Cities," *Journal of Planning Education and Research*, pp. 1-7 doi: 10.1177/0739456X16675674;
- [32] dell'Olio, L., Bordagaray, M., Barreda, R., & Ibeas, A. (2014). "A methodology to promote sustainable mobility in college campuses". *Transportation Research Procedia*, 3, 838–847. doi: 10.1016/j.trpro.2014.10.061
- [33] Vasconcelos L., Neto L., Seco A., Silva, A. (2014). "Validation of the surrogate safety assessment model for assessment of intersection safety". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2432(1), 1–9.
- [34] Wu J., Radwan E., Abou-Senna H. (2017): "Determine if VISSIM and SSAM could estimate pedestrian-vehicle conflicts at signalized intersections", *Journal of Transportation Safety & Security*
- [35] Huang F., Liu P., Yu H., Wang W. (2012). "Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections" *School of Transportation, Southeast University*
- [36] Essa M., Sayed T. (2016). "A comparison between PARAMICS and VISSIM in estimating automated field-measured traffic conflicts at signalized intersections" *Journal of Transportation Safety & Security*
- [37] Winnie D., Christine B., Serge P. H. (2014). "Traffic simulation and data: Validation methods and applications". Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- [38] Rafael S., Correia L., Lopes D., Bandeira J., Coelho M., Andrade M., Borrego C., Miranda A. (2020). "Autonomous vehicles opportunities for cities air quality, *Science of the Total Environment*", 712 -136546.
- [39] Relatório n.º MR.1354/09-NP -Relatório Mapa de Ruído- Revisão do Plano Diretor Municipal, abril 2013

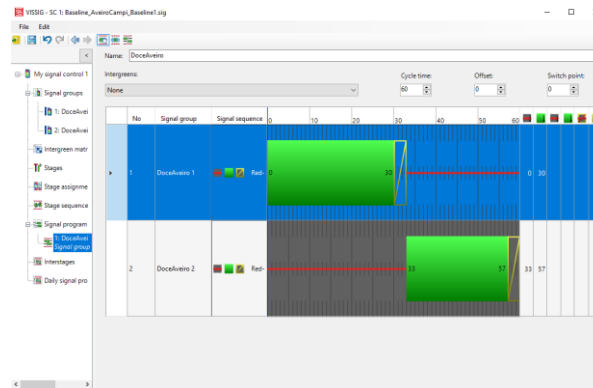
- [40] PTV, PTV VISSIM 2020 USER MANUAL, Karlsruhe, Alemanha: PTV, 2020.
- [41] Horários de autocarros urbanos de Aveiro, AveiroBus, Consultado em <https://www.aveirobus.pt/circuito-urbano> Acedido em 17 de abril de 2020
- [42] Horários de autocarros do município de Ílhavo, ÍlhavoIN. Consultado em <https://www.cm-ilhavo.pt/p/autocarro>. Acedido em 17 de abril de 2020
- [43] R. Dowling, A. Skabardonis e V. Alexiadis .(2004). “Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Software” Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Estados Unidos da América, vol. 3, p. 146
- [44] D. Winnie, B. Christine e S. P. (2014). “Traffic Simulation and Data: Validation Methods and Applications”, Florida, Estados Unidos da América: CRC Press, Taylor & Francis Group, ISBN 9781138075917
- [45] Anya, A., Roupail, N., Frey, H. C., Liu.B. (2013). “Method and Case Study for Quantifying Local Emissions Impacts of Transportation Improvement Project Involving Road Realignment and Conversion to Multilane Roundabout” em 92º Encontro Anual do Transportation Research Board, Washington, D.C., Estados Unidos da América
- [46] Badin F., Le Berr F., Briki H., Dabadie J-C., Petit M., Magand S., Condemine E. (2013). “Evaluation of EVs energy consumption influencing factors, driving conditions, auxiliaries use, driver's aggressiveness”. 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), pp. 1-12
- [47] ERSE. Portal ERSE - Informação de suporte aos comercializadores disponibilizada pela ERSE.
<http://www.erse.pt/pt/desempenhoambiental/rotulagemenergetica/informacaodesuporte/Paginas/default.aspx>, 2019.
- [48] EDP. Relatório Sustentabilidade EDP 2017. https://www.edp.com/sites/default/files/portal.com/relatorio_de_sustentabilidade_2017_pt.pdf
- [49] Federal Highway Administration report, Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report, FHWA-HRT-08-051. 2008
- [50] Hardwood D.W., Council F.M. (2000). “Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways”. Report No. FHWA-RD-99-207. Federal Highway Administration (FHWA): Washington, D.C.
- [51] Bared J.G., Kaiser E.I. (2001). “Advantages of Offset T-Intersections with Guidelines” Road Safety on Three Continents. 2001. Moscow, Russia: Swedish National Road and Transport Research Institute 2001
- [52] Wolshon B. (2004). Chapter 1, “Toolbox on Intersection Safety and Design”. Institute of Transportation Engineers (ITE): Washington, D.C.
- [53] Robinson B.W., Rodegerdts L., Scarborough W. (2000). “Roundabouts: An Informational Guide”. Report No. FHWA-RD-00-067. Federal Highway Administration (FHWA): Washington, D.C.

- [54] Stogios C., Saleh M., Ganji A., Tu R., Xu J., Roorda M. J., Hatzopoulou M. (2018). "Determining the Effects of Automated Vehicle Driving Behavior on Vehicle Emissions and Performance of an Urban Corridor," 97^o Encontro Anual do Transportation Research Board, Washington, D.C., Estados Unidos da América, Artigo:18-01741.
- [55] Zhao L., Sun J. (2013). "Simulation Framework for Vehicle Platooning and Car-following Behaviors Under Connected-vehicle Environment," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 96, pp. 913-924
- [56] Lownes N. E., Machemehl R. B. (2006). "VISSIM: A multi-parameter sensitivity analysis," *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, WSC*, Monterey, California, Estados Unidos da América
- [57] Lazar C., Tiganasu A., Caruntu C.F. (2018). "Arterial Intersection Improvement by Using Vehicle Platooning and Coordinated Start," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, nº 9, pp. 136-141
- [58] Fontes T., Fernandes P., Rodrigues H., Bandeira J., Pereira S., Khattak A., Coelho C. (2017). "Are HOV/eco-lanes a sustainable option to reducing emissions in a medium-sized European city?" *Transportation Research Part A: Policy and Practice* doi: 10.1016/j.tra.2014.03.002
- [59] Rehl K., Zankl C. (2018). "Digibus: results from the first self-driving shuttle trial on a public road in Austria", *European Transport Research Review*
- [60] INE - Estatísticas do Parque de Veículos Rodoviários, "Veículos rodoviários motorizados (N.º) por Tipo de veículo e Tipo de combustível; 2018", Consultado: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0007246&selTab=tab0&xlang=pt/ Acedido em 17 de maio de 2020
- [61] EMISIA. (2018). COPERT Countries data. From <http://emisias.com/products/copert-data>. Acedido em 18 de abril de 2020
- [62] Open Source SSAM User Manual. (2017). "New Global Systems for Intelligent Transportation Management"

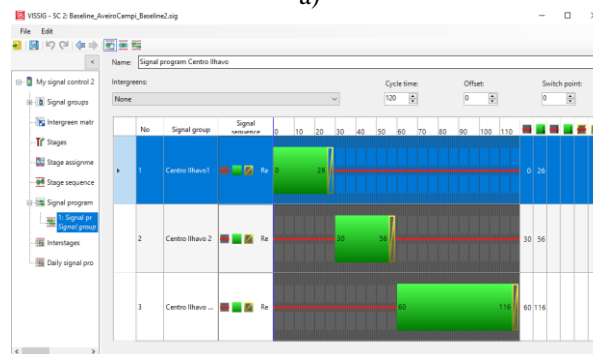
Anexos

Tabela A. 1 Coordenadas dos pontos de observação para recolha de volumes de tráfego

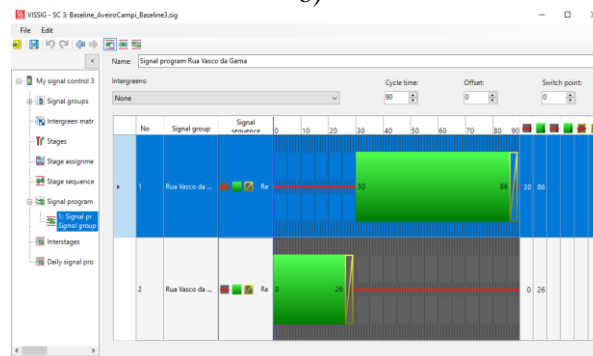
Ponto	Coordenadas	
	Latitude	Longitude
1	40,63782755	-8,65840673
2	40,63571073	-8,65549922
3	40,63515301	-8,6559391
4	40,6305283	-8,65377188
5	40,63437547	-8,65752697
6	40,63551532	-8,65796685
7	40,63156645	-8,65723729
8	40,62998683	-8,65493059
9	40,6300764	-8,65908265
10	40,63324373	-8,65556359
11	40,61577676	-8,66894245
12	40,61819554	-8,65509152
13	40,62290253	-8,65924358
14	40,62037806	-8,65615904
15	40,60654877	-8,65949571
16	40,60562835	-8,66279483
17	40,6013478	-8,66776228
18	40,60111971	-8,66804123
19	40,60673612	-8,67894173
20	40,60815338	-8,68441343
21	40,60691531	-8,67419958
22	40,61680292	-8,68447781
23	40,61052356	-8,66650164
24	40,62322012	-8,68619442
25	40,63049981	-8,68861914



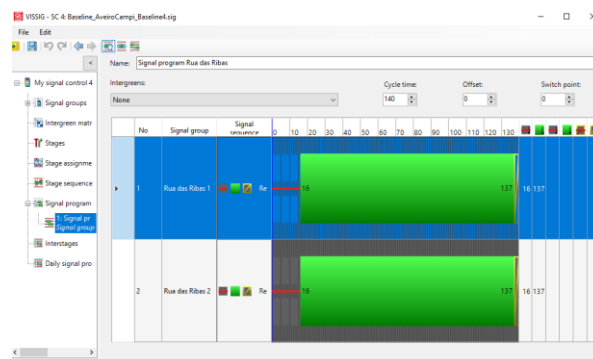
a)



b)



c)



d)

Figura A.1- Caracterização da temporização da sinalização luminosa: a) Junto à pastelaria Doce Aveiro, b) Av. 25 de Abril, Ílhavo, c) Rua Vasco da Gama, Ílhavo, d) Rua das Ribas, Ílhavo

Tabela A. 2- Resultados da calibração dos volumes de tráfego, período da manhã

Nó	Volume observado (vph)	Volume estimado (vph)	Diferença	Diferença refletiva	GEH
1	1337	1078	259	19%	7,5
2	180	208	28	16%	2,0
3	356	386	30	8%	1,6
4	104	179	75	72%	6,3
5	307	394	87	28%	4,6
6	1207	1069	138	11%	4,1
7	249	269	20	8%	1,2
8	254	259	5	2%	0,3
9	706	715	9	1%	0,3
10	521	393	128	25%	6,0
11	245	187	58	24%	3,9
12	140	156	16	11%	1,3
13	161	161	0	0%	0,0
14	127	188	61	48%	4,9
15	924	724	200	22%	7,0
16	470	396	74	16%	3,6
17	39	51	12	31%	1,8
18	176	181	5	3%	0,4
19	163	181	18	11%	1,4
20	83	63	20	24%	2,3
21	1124	988	136	12%	4,2
22	282	296	14	5%	0,8
23	491	545	54	11%	2,4
24	760	680	80	11%	3,0
25	576	528	48	8%	2,0
26	87	60	27	31%	3,1
27	463	567	104	22%	4,6
28	420	502	82	20%	3,8
29	382	330	52	14%	2,8
30	174	143	31	18%	2,5
31	182	149	33	18%	2,6
32	230	189	41	18%	2,8
33	135	180	45	33%	3,6
34	87	101	14	16%	1,4
35	36	28	8	22%	1,4
36	305	320	15	5%	0,8
37	95	74	21	22%	2,3
38	240	175	65	27%	4,5
39	308	300	8	3%	0,5
40	990	932	58	6%	1,9
41	486	567	81	17%	3,5
42	54	55	1	2%	0,1
43	44	112	68	155%	7,7
44	101	108	7	7%	0,7
45	420	434	14	3%	0,7
46	610	623	13	2%	0,5
47	435	642	207	48%	8,9
48	26	16	10	38%	2,2

Tabela A. 3- Resultados da calibração dos volumes de tráfego, período da manhã

Nó	Volume observado (vph)	Volume estimado (vph)	Diferença	Diferença refletiva	GEH
49	30	16	14	47%	2,9
50	5	0	5	100%	3,2
51	68	73	5	7%	0,6
52	6	0	6	100%	3,5
53	345	331	14	4%	0,8
54	103	180	77	75%	6,5
55	6	0	6	100%	3,5
56	158	144	14	9%	1,1
57	7	0	7	100%	3,7
58	174	159	15	9%	1,2
59	256	174	82	32%	5,6
60	158	174	16	10%	1,2
61	7	0	7	100%	3,7
62	153	144	9	6%	0,7
63	263	245	18	7%	1,1
64	1	0	1	100%	1,4
65	207	181	26	13%	1,9
66	179	156	23	13%	1,8
67	1	2	1	100%	0,8
68	133	124	9	7%	0,8
69	16	14	2	13%	0,5
70	260	211	49	19%	3,2
71	20	16	4	20%	0,9
72	600	559	41	7%	1,7
73	34	36	2	6%	0,3
74	30	42	12	40%	2,0
75	7	2	5	71%	2,4
76	36	38	2	6%	0,3
77	110	74	36	33%	3,8
78	10	27	17	170%	4,0
79	6	5	1	17%	0,4
80	6	0	6	100%	3,5
81	1	0	1	100%	1,4
82	6	4	2	33%	0,9
83	8	15	7	88%	2,1
84	335	296	39	12%	2,2
85	38	35	3	8%	0,5
86	41	42	1	2%	0,2
87	21	27	6	29%	1,2
88	1	0	1	100%	1,4
89	1	1	0	0%	0,0
90	105	82	23	22%	2,4
91	8	9	1	13%	0,3
92	3	5	2	67%	1,0
93	21	25	4	19%	0,8
94	5	4	1	20%	0,5
95	20	23	3	15%	0,6
96	2	3	1	50%	0,6
97	2	3	1	50%	0,6
98	53	82	29	55%	3,5

Tabela A. 4- Resultados da calibração dos volumes de tráfego, período da manhã

Nó	Volume observado (vph)	Volume estimado (vph)	Diferença	Diferença refletiva	GEH
99	20	52	32	160%	5,3
100	165	153	12	7%	1,0
101	45	39	6	13%	0,9
102	30	21	9	30%	1,8
103	3	0	3	100%	2,4
104	280	165	115	41%	7,7
105	280	287	7	3%	0,4
106	258	107	151	59%	11,2
107	383	455	72	19%	3,5
108	375	394	19	5%	1,0
109	274	272	2	1%	0,1
110	274	234	40	14%	2,5
111	363	356	7	2%	0,4
112	540	504	36	7%	1,6
113	310	371	62	20%	3,3
114	310	289	21	7%	1,2
115	229	286	58	25%	3,6
116	251	283	32	13%	2,0
117	50	43	7	14%	1,0
118	37	29	8	22%	1,4
119	133	147	14	11%	1,2
120	140	127	13	9%	1,1
121	169	143	26	15%	2,1
122	169	140	29	17%	2,3
123	623	702	79	13%	3,1
124	271	326	55	20%	3,2
125	353	397	44	12%	2,3
126	145	135	10	7%	0,8
127	34	31	3	9%	0,6
128	372	374	2	0%	0,1
129	252	332	80	32%	4,7
130	347	337	10	3%	0,6
131	180	229	49	27%	3,4
132	198	200	3	1%	0,2
133	198	165	33	16%	2,4
134	391	268	123	31%	6,8
135	391	322	69	18%	3,6
136	240	257	17	7%	1,1
137	130	129	1	1%	0,1
138	41	59	18	44%	2,5
139	41	23	18	44%	3,2
140	106	108	3	2%	0,2
141	106	90	16	15%	1,6

Tabela A. 5- Resultados da calibração dos volumes de tráfego, período da tarde

Nó	Volume observado (vph)	Volume estimado (vph)	Diferença	Diferença refletiva	GEH
1	501	512	11	2%	0,5
2	601	650	49	8%	1,9
3	49	57	8	16%	1,1
4	317	306	11	4%	0,6
5	585	631	46	8%	1,9
6	551	592	41	8%	1,7
7	225	280	55	24%	3,4
8	396	425	29	7%	1,4
9	591	631	40	7%	1,6
10	652	783	131	20%	4,9
11	128	121	7	5%	0,6
12	192	153	39	20%	3,0
13	189	209	20	11%	1,4
14	62	81	19	31%	2,2
15	759	748	11	1%	0,4
16	757	806	49	6%	1,8
17	139	31	108	78%	11,7
18	684	687	3	0%	0,1
19	783	750	33	4%	1,2
20	610	630	20	3%	0,8
21	159	56	103	65%	9,9
22	286	180	106	37%	6,9
23	174	135	39	22%	3,1
24	286	231	55	19%	3,4
25	126	137	11	9%	1,0
26	96	100	4	4%	0,4
27	191	199	8	4%	0,6
28	65	55	10	15%	1,3
29	104	100	4	4%	0,4
30	203	183	20	10%	1,4
31	645	709	64	10%	2,4
32	1161	908	253	22%	7,9
33	41	49	8	19%	1,1
34	55	76	21	39%	2,6
35	344	311	33	10%	1,8
36	203	188	15	7%	1,0
37	503	610	107	21%	4,6
38	607	715	108	18%	4,2
39	102	77	25	25%	2,6
40	76	86	10	13%	1,1
41	21	18	3	14%	0,7
42	141	128	13	9%	1,1
43	215	153	62	29%	4,6
44	30	22	8	27%	1,6
45	89	82	7	8%	0,8
46	410	442	32	8%	1,6
47	101	96	5	5%	0,5
48	24	21	3	13%	0,6
49	54	31	23	43%	3,5

Tabela A. 6- Resultados da calibração dos volumes de tráfego, período da tarde

Nó	Volume observado (vph)	Volume estimado (vph)	Diferença	Diferença refletiva	GEH
50	192	174	18	9%	1,3
51	55	53	2	4%	0,3
52	123	92	31	25%	3,0
53	273	252	21	8%	1,3
54	7	7	0	5%	0,1
55	41	27	14	34%	2,4
56	68	51	17	25%	2,2
57	258	253	5	2%	0,3
58	25	16	9	36%	2,0
59	53	51	2	4%	0,3
60	167	172	5	3%	0,4
61	13	16	3	23%	0,8
62	2	0	2	100%	2,0
63	16	14	2	13%	0,5
64	3	1	2	67%	1,4
65	1	3	2	200%	1,4
66	24	34	10	42%	1,9
67	64	63	1	2%	0,1
68	434	433	1	0%	0,0
69	87	86	1	1%	0,1
70	64	63	1	2%	0,1
71	228	205	23	10%	1,6
72	228	229	1	0%	0,1
73	424	390	34	8%	1,7
74	424	454	30	7%	1,4
75	378	444	66	18%	3,3
76	203	177	26	13%	1,9
77	298	302	5	2%	0,3
78	219	208	11	5%	0,8
79	328	311	17	5%	0,9
80	542	517	25	5%	1,1
81	361	412	51	14%	2,6
82	280	201	79	28%	5,1
83	339	359	20	6%	1,1
84	229	205	24	10%	1,6
85	323	322	1	0%	0,1
86	269	268	1	0%	0,1
87	276	275	1	0%	0,1
88	151	236	85	56%	6,1
89	183	214	31	17%	2,2
90	617	619	2	0%	0,1
91	265	375	110	42%	6,2
92	318	377	59	19%	3,2
93	388	639	251	65%	11,1
94	129	178	49	38%	3,9
95	240	139	101	42%	7,3
96	250	198	52	21%	3,4
97	374	408	34	9%	1,7
98	233	264	31	13%	2,0
99	350	372	22	6%	1,2

Tabela A. 7- Resultados da calibração dos volumes de tráfego, período da tarde

Nó	Volume observado (vph)	Volume estimado (vph)	Diferença	Diferença refletiva	GEH
100	179	179	0	0%	0,0
101	216	234	18	8%	1,2
102	499	508	9	2%	0,4
103	282	259	23	8%	1,4
104	129	161	32	24%	2,6
105	240	174	66	28%	4,6
106	483	456	27	6%	1,2
107	41	33	8	20%	1,3
108	95	100	5	5%	0,5
109	116	151	35	30%	3,0
110	356	356	0	0%	0,0
111	207	209	2	1%	0,1
112	61	44	17	28%	2,3
113	185	211	26	14%	1,8
114	200	175	25	13%	1,8

Tabela A. 8- Resultados da calibração dos tempos de viagem, período da manhã

Rota	Tempo médio observado (segundos)	Tempo medio estimado (segundos)	Diferença	Diferença relativa	P-value
1	187	181	6	-3%	0,732
2	251	248	3	-1%	0,928
3	241	237	3	-1%	0,851
4	199	189	9	-5%	0,843
5	112	112	0	0%	0,981
6	312	311	1	0%	0,987
7	352	365	-14	4%	0,748
8	91	90	1	-1%	0,931
9	217	217	0	0%	0,981
10	356	361	-5	1%	0,830
11	287	285	2	-1%	0,881
12	336	338	-2	1%	0,866
13	191	187	4	-2%	0,814
14	258	257	1	0%	0,934
15	236	234	2	-1%	0,890

Tabela A. 9- Resultados da calibração dos tempos de viagem, período da tarde

Rota	Tempo médio observado (segundos)	Tempo medio estimado (segundos)	Diferença	Diferença relativa	P-value
1	187	183	4	-2%	0,824
2	241	248	-7	3%	0,718
3	139	137	2	-1%	0,930
4	112	110	2	-2%	0,785
5	312	307	5	-2%	0,895
6	352	351	1	0%	0,976
7	72	73	-1	2%	0,825
8	222	223	-1	1%	0,895
9	443	437	6	-1%	0,730
10	285	283	3	-1%	0,891
11	336	336	0	0%	0,986
12	187	186	2	-1%	0,795
13	260	261	-1	0%	0,975
14	235	237	-2	1%	0,847
15	188	185	3	-2%	0,812
16	224	229	-5	2%	0,712
17	224	221	3	-1%	0,771
18	201	203	-2	1%	0,857
19	181	180	1	0%	0,894

Tabela A. 10 Tempo de início de rota dos autocarros na rede, período da manhã [54] [55]

	Tempo de início de rota dos autocarros na rede (segundos)						
Linha 1	600	660	2460	2700	2820	3540	
Linha 2	1140	2520					
Linha 3	2460						
Linha 4	840	2160					
Linha 5	0	120	600	1320	3540		
Linha 6	600	2700					
Linha 7	1140						
Linha 8	2120						
Linha 9	2000						
Linha 10	2500	3100					
Linha 11	2000	3000					
Tempo de início de rota dos Shuttles na rede (segundos)							
Sentido UA-PCI	900	1500	2100	2700	3300	3900	4500
Sentido PCI-UA	900	1500	2100	2700	3300	3900	4500

Tabela A. 11- Tempo de início de rota dos autocarros na rede, período da tarde [54] [55]

	Tempo de início de rota dos autocarros na rede (segundos)						
Linha 1	900	2400	4400				
Linha 2	2400						
Linha 3	900	2400	4400				
Linha 4	840	3900					
Linha 5	840	3900					
Linha 6	950	2400					
Linha 7	850						
Linha 8	950						
Linha 9	2490						
Linha 10	2400						
Linha 11	3000						
Tempo de início de rota dos Shuttles na rede (segundos)							
Sentido UA-PCI	900	1500	2100	2700	3300	3900	4500
Sentido PCI-UA	900	1500	2100	2700	3300	3900	4500

Tabela A. 12- Resultados da emissão de CO₂ (g) de cada cenário, período da manhã, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	3788381,71	3596571,04	3592384,42	3682718,47	3301418,05	3677557,93
2	3959860,29	3672251,60	3733800,86	3840359,79	3601398,41	3665714,47
3	3956467,61	3648925,41	3742300,49	3803033,68	3666744,92	3851241,40
4	3811215,21	3568808,43	3529847,38	3629484,33	3621884,48	3665678,37
5	3859265,38	3807802,87	3557446,96	3740684,89	3534243,70	5435703,98
6	3900847,72	3571218,30	3742590,57	3668511,83	3495360,82	3707799,90
7	3801404,76	3671235,61	5286828,88	3672407,63	3607126,61	4792775,37
8	3930482,34	3637688,89	3619981,50	3723116,75	3626711,02	5502660,27
9	3963964,62	3694533,74	3671609,51	3777773,48	3569819,49	3768557,26
10	3942362,39	3635845,10	3728506,16	3767106,13	3475481,48	5562450,81
Média	3891425,20	3890488,10	3820529,67	3730519,70	3550018,90	4363013,98
Desvio Padrão	66763,93	71160,75	59608,29	63849,70	60776,53	89922,84
P-Value	-----	0,9969	0,6751	0,0001	0,0001	0,0880

Tabela A. 13 - Resultados da emissão de CO₂ (g) de cada cenário, período da tarde, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	3502825,92	3494881,37	3553688,98	3486517,47	3490129,54	3899993,80
2	3507147,63	3501089,48	3530373,66	3519942,75	3423086,25	3615542,88
3	3501829,90	3453926,88	3598750,35	3529693,98	3565059,75	3548055,75
4	3655964,65	3529847,38	3574057,15	3464099,92	3434789,76	3456742,29
5	3611037,00	3573351,38	3441949,36	3430095,86	3431442,37	3467516,06
6	3560606,87	3611317,05	3387358,14	3439846,39	3518092,05	3583249,34
7	3594697,26	3451800,36	3484994,61	3722826,22	3481543,08	3523480,91
8	3687025,81	3472605,56	3475233,40	3434349,94	3464589,75	3517728,94
9	3403026,42	3542012,19	3471301,91	3514141,76	3445589,12	3611523,01
10	3403026,42	3493862,55	3570548,23	3466981,68	3519142,30	3529434,33
Média	3542718,79	3512469,42	3508825,58	3500849,60	3477346,40	3575326,73
Desvio Padrão	82138,39	49126,76	63999,61	81547,24	43949,32	119557,39
P-Value	-----	0,3962	0,3767	0,3209	0,0707	0,3372

*Células de sombreadas indicam que a diferença entre os resultados médios dos cenários alternativos e os resultados médios obtidos do cenário base foi estatisticamente significativa (p-value <0,05).

Tabela A. 14- Resultados da emissão de CO₂ grama por quilometro (g/km) de cada cenário, período da manhã, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	358,14	359,97	362,53	357,37	310,21	361,43
2	389,62	361,1	361,07	358,47	360,78	358,97
3	385,22	360,97	362,2	359,57	356,59	373,14
4	380,81	371,63	366,54	314,75	354,11	362,39
5	369,52	372,13	362,32	359,58	350,48	368,23
6	385,79	375,62	364,1	361,69	356,6	369,93
7	360,72	361,96	365,87	361,77	351,37	371,63
8	363,2	361,41	367,65	361,68	349,923	373,33
9	358,53	367,3	369,42	361,76	348,47	375,03
10	347,24	368,89	371,2	335,33	357,62	376,74
Média	369,87	366,09	365,29	353,19	349,62	369,08
Desvio Padrão	13,80	5,43	3,24	21,31	23,30	5,85
P-Value	-----	0,4544	0,3444	0,3588	0,0611	0,9680

Tabela A. 15- Resultados da emissão de CO₂ gramas por quilometro(g/km) de cada cenário, período da tarde, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	210,51	210,76	210,37	209,72	212,5	213,93
2	209,96	208,72	211,46	210,85	213,11	217,96
3	210,4	211,45	210,72	211,46	212,83	170,46
4	214,75	216,46	211,95	213,53	210,81	219,86
5	211,57	212,05	212,22	211,28	210,13	211,7
6	217,62	210,27	210,53	211,59	209,57	217,73
7	210,89	211,3	216,14	211,61	208,22	218,37
8	211,57	214,58	210,53	212,22	213,15	218,2
9	213,45	210,41	211,48	210,73	211,12	213,28
10	211,91	210,41	210,44	211,75	210,7	218,83
Média	212,26	211,64	211,58	211,47	211,21	212,03
Desvio Padrão	2,26	2,15	1,65	0,95	1,58	14,10
P-Value	-----	0,5576	0,4757	0,3469	0,2686	0,0001

*Células de sombreadas indicam que a diferença entre os resultados médios dos cenários alternativos e os resultados médios obtidos do cenário base foi estatisticamente significativa (p-value <0,05).

Tabela A. 16- Resultados da emissão de NOx (g) de cada cenário, período da manhã, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	7518,25	6951,03	8165,1	6957,2738	6641,51	6809,17
2	7783,23	7130,45	6915,8	7201,8811	6848,36	6957,27
3	7715,65	7172,22	7257,2	7102,2893	6796,17	7014,88
4	7651,41	8673,52	7121,8	6795,2687	6533,7	6671,91
5	8142	6799,52	6984,8	6903,055	6625,14	10678,84
6	7305,16	7066,88	6766,4	6840,9127	6712,17	7763,31
7	7725,24	10682,08	7060,5	6701,7594	6488,25	8512,18
8	7807,45	6827,92	6984	6859,3352	6725,87	10772,62
9	7745,48	6929,17	6889,4	7062,037	6919,32	7889,68
10	9857,2	7023,81	6866,3	7084,6945	6949,02	10818,52
Média	7925,11	7525,66	7101,13	6950,85	6723,95	8388,84
Desvio Padrão	274,90	171,50	178,44	150,09	147,64	352,58
P-Value	-----	0,3871	0,0050	0,0005	0,0001	0,6785

Tabela A. 17- Resultados da emissão NOx (g) de cada cenário, período da tarde, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	8528,78	8777,08	8509,3	8406,51	8509,55	8499,78
2	8572,49	8678,1	8560,7	8301,86	8563,63	8543,49
3	8566,85	8783,94	8599,7	8600,58	8600,58	8537,85
4	8769,63	8721,2	8378,6	8367,5	8221,44	8740,63
5	8758,11	8464,34	8335,3	8254,95	8285,18	8729,11
6	8739,25	8230,1	8463,7	8428,72	8452,88	8710,25
7	8757,23	8413,14	8338	8392,65	8306,03	8728,23
8	8874,42	8511,45	8365,8	8671,45	8323,23	8845,42
9	8540,18	8556,61	8662,4	8377,65	8474,44	8511,18
10	8540,18	8770,08	8408,4	8626,21	8273	8511,18
Média	8664,71	8590,60	8462,19	8442,80	8400,99	8635,71
Desvio Padrão	120,58	177,17	110,27	134,13	127,77	120,58
P-Value	-----	0,3133	0,0016	0,0017	0,0003	0,9877

*Células de sombreadas indicam que a diferença entre os resultados médios dos cenários alternativos e os resultados médios obtidos do cenário base foi estatisticamente significativa (p-value <0,05).

Tabela A. 18- Resultados da emissão de NOx gramas por quilometro(g/km) de cada cenário, período da manhã, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	0,6149	0,581	0,5061	0,5858	0,5436	0,5802
2	0,6638	0,5813	0,5974	0,581	0,5537	0,6802
3	0,6554	0,6703	0,5968	0,5811	0,5537	0,7802
4	0,647	0,5879	0,6035	0,5739	0,5529	0,5033
5	0,6388	0,6325	0,6053	0,5715	0,5541	0,7921
6	0,63	0,6434	0,5997	0,5679	0,5539	0,5924
7	0,622	0,5831	0,6045	0,5644	0,5537	0,5905
8	0,6135	0,5788	0,6058	0,5608	0,5535	0,5826
9	0,6083	0,5864	0,6071	0,5572	0,5533	0,5806
10	0,6001	0,5861	0,5986	0,5536	0,5531	0,6003
Média	0,6293	0,6030	0,5925	0,5697	0,5525	0,628
Desvio Padrão	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,09
P-Value	-----	0,0481	0,0058	0,0001	0,0001	0,7774

Tabela A. 19- Resultados da emissão de NOx por quilometro(g/km) de cada cenário, período da tarde, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	0,509	0,5015	0,5026	0,5001	0,4964	0,6885
2	0,5046	0,4988	0,4969	0,5051	0,5057	0,5025
3	0,5069	0,5072	0,5034	0,4982	0,499	0,4749
4	0,5080	0,5133	0,5064	0,5038	0,5107	0,5075
5	0,5001	0,5041	0,5001	0,5090	0,4982	0,5006
6	0,4995	0,5154	0,5001	0,5004	0,5011	0,5022
7	0,6871	0,5141	0,5012	0,5020	0,5108	0,5081
8	0,5158	0,5024	0,5137	0,5112	0,5039	0,5194
9	0,5004	0,4999	0,5023	0,5141	0,501	0,5043
10	0,4979	0,501	0,5023	0,4988	0,5008	0,5043
Média	0,5228	0,5057	0,5029	0,5042	0,5027	0,5211
Desvio Padrão	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06
P-Value	-----	0,3654	0,2910	0,3253	0,2883	0,3893

*Células de sombreadas indicam que a diferença entre os resultados médios dos cenários alternativos e os resultados médios obtidos do cenário base foi estatisticamente significativa (p-value <0,05).

Tabela A. 20- Resultados da emissão de CO (g) de cada cenário, período da manhã, com nível de significância de 5%

Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV
1	6944,38	6830	6686,33	6587,23	4870,37
2	6830,02	7093	6765,1	6887,99	6580,01
3	7224,97	7031,8	6738,71	6841,3	6585,12
4	6966,42	6778,1	6510,65	5202,75	6572,1
5	7077,84	6955	6910,02	6557,22	6401,34
6	7044,84	6857,4	6748,39	6879,71	6411,11
7	7848,54	6910,4	6791,29	8705,18	6546,37
8	8173,59	6927,1	6668,15	6706,69	6597,79
9	7105,81	6987,3	6834,58	6772,73	6547,27
10	8292,73	6975,9	7386,21	6845,12	6276,14
Média	7350,91	6934,60	6803,94	6798,59	6338,76
Desvio Padrão	113,82	90,26	218,75	194,51	199,63
P-Value	-----	0,0278	0,0088	0,0969	0,0005

Tabela A. 21- Resultados da emissão de CO (g) de cada cenário, período da tarde, com nível de significância de 5%

Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV
1	5217,61	5172,87	5292,07	5248,98	5174,49
2	5195,92	5171,75	5212,97	5105,26	5234,66
3	5218,82	5129,46	5326,88	5321,85	5256,76
4	5477,68	5202,75	5301,63	5109,16	5168,52
5	5372,78	5294,64	5080,44	5182,64	5124,95
6	5260,71	5391,05	5083,59	5318,69	5083,08
7	5335,19	5116,64	5211,77	5243,77	5441,78
8	5486,42	5194,12	5154,65	5140,65	5094,23
9	5046,59	5283,1	5131,71	5142,97	5250,52
10	5046,59	5284,28	5283,67	5197,13	5175,15
Média	5265,831	5224,066	5207,9	5201,11	5200,414
Desvio Padrão	146,76	81,96	87,26	75,86	99,09
P-Value	-----	0,4657	0,3225	0,2552	0,2823

*Células de sombreadas indicam que a diferença entre os resultados médios dos cenários alternativos e os resultados médios obtidos do cenário base foi estatisticamente significativa (p-value <0,05).

Tabela A. 22- Resultados da emissão de HC (g) de cada cenário, período da manhã, com nível de significância de 5%

Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV
1	12105,49	11976,17	12049	9539	11967,15
2	12048,66	12502,35	12266	11443,26	12289,33
3	11318,75	11759,66	11733	11755,03	11480,85
4	12073,72	9537,24	12388	12237,96	12153,74
5	13986,02	11763,3	11530	11716,5	11943,57
6	12097,78	11943,22	12309	11756,29	12368,82
7	14102,45	14259,4	11917	12111,33	12119,53
8	14313,32	11904,13	11525	11979,29	12079,64
9	11826,21	11821,09	11954	12231	12376,49
10	14463,16	11885,06	12161	12080,77	12911,88
Média	12833,56	11935,16	11983	11685,043	12169,1
Desvio Padrão	855,76	874,82	294,86	755,22	350,02
P-Value	-----	0,1049	0,0464	0,0225	0,1161

Tabela A. 23- Resultados da emissão de HC (g) de cada cenário, período da tarde, com nível de significância de 5%

Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV
1	11796,53	9507,08	9584,08	9685,67	9313,20
2	9835,68	9769,47	9547,04	9370,38	9376,17
3	9571,93	9798,21	9623,62	9304,01	9586,34
4	9748,08	9710,18	9537,24	9504,52	9075,36
5	9296,17	9576,13	9826,85	9636,58	9658,63
6	9449,42	9870,30	9836,15	9519,30	9667,51
7	9565,33	9603,24	9369,28	9520,76	10211,51
8	9513,81	9480,70	9400,99	12139,09	9034,02
9	9835,90	11858,37	9279,71	9790,90	11880,62
10	9741,46	11858,37	11830,29	9493,11	9408,01
Média	9835,43	10103,21	9783,52	9796,43	9721,14
Desvio Padrão	674,39	885,72	703,39	792,46	787,49
P-Value	-----	0,4798	0,8748	0,9117	0,7447

*Células de sombreadas indicam que a diferença entre os resultados médios dos cenários alternativos e os resultados médios obtidos do cenário base foi estatisticamente significativa (p-value <0,05).

Tabela A. 24- Resultados da velocidade média (km/h) de cada cenário, período da manhã, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	27,03	26,84	26,76	27,01	32,67	26,96
2	27,1	26,08	26,36	26,8	27,13	26,76
3	27,02	26,3	26,61	26,7	26,8	26,37
4	27,34	26,26	26,68	32,15	27,06	26,56
5	26,07	26,39	26,41	26,89	26,97	20,5
6	26,68	26,32	26,93	26,22	27,07	26,87
7	26,53	26,56	26,77	20,45	26,94	22,28
8	27,07	26,2	26,74	26,9	26,63	20,13
9	26,92	26,33	26,67	26,87	27,26	26,64
10	19,81	26,54	26,74	26,51	27,43	20,08
Média	26,157	26,382	26,667	26,65	27,596	24,315
Desvio Padrão	2,14	0,20	0,16	2,63	1,70	2,97
P-Value	-----	0,7574	0,4856	0,6681	0,1323	0,1488

Tabela A. 25- Resultados da velocidade média (km/h) de cada cenário, período da tarde, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	32,21	32,21	32,36	32,45	32,25	27,13
2	32,11	32,39	32,4	32,36	32,18	29,83
3	32,18	32,21	32,46	32,22	32,18	32,22
4	32,05	31,78	32,15	32,15	32,38	29,67
5	32,08	32,06	32,17	32,33	32,43	30,27
6	30,2	32,34	31,91	32,21	32,61	29,96
7	30,99	32,1	32,35	31,3	32,49	29,91
8	32,37	31,9	32,18	32,26	32,25	30,01
9	32,34	32,48	32,09	32,28	32,38	30,04
10	32,22	32,48	32,25	32,24	32,38	29,88
Média	31,875	32,195	32,232	32,18	32,353	29,892
Desvio Padrão	0,67	0,23	0,16	0,30	0,13	1,15
P-Value	-----	0,1918	0,1376	0,2302	0,0504	0,0003

*Células de sombreadas indicam que a diferença entre os resultados médios dos cenários alternativos e os resultados médios obtidos do cenário base foi estatisticamente significativa (p-value <0,05).

Tabela A. 26- Resultados do tempo médio de viagem (s) de cada cenário, período da manhã, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	184,75	175,36	180,35	173,77	192,76	179,47
2	194,9	181,64	190,51	176,1	173,55	180,35
3	192,78	183,49	185,54	177,58	181,67	189,59
4	189,16	203,9	179,57	175,78	176,08	182,6
5	187,16	176,62	181,55	184,44	173,88	228,29
6	189,76	182,92	176,68	170,97	171,97	179,43
7	186,08	222,51	179,51	177,08	177,83	235,34
8	192,01	177,56	180,74	174,06	181,14	241,84
9	196,66	178,05	186,27	175,13	176,18	184,59
10	192,83	183,93	183,79	193,65	170,51	253,91
Média	190,609	186,598	182,45	177,86	177,557	205,541
Desvio Padrão	3,69	14,23	3,86	7,58	6,13	28,77
P-Value	-----	0,4237	0,0002	0,1610	0,0001	0,1399

Tabela A. 27- Resultados do tempo médio de viagem (s) de cada cenário, período da tarde, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	207,65	206,78	202,29	204,28	205,68	215,48
2	207,23	206,59	202,24	204,08	185,56	210,77
3	212,22	203,84	202,27	206,64	206,64	215,31
4	212,63	203,9	203,01	203,7	182,36	214,04
5	209,27	205,92	203,63	203,58	182,02	214,36
6	205,33	208,78	201,8	193,5	183,81	222,79
7	212,19	206,16	215,82	189,52	200,58	216,34
8	207,19	204,81	200,88	202,12	179,73	215,85
9	207,68	209,17	204,47	194,32	182,83	207,71
10	209,72	205,11	201,85	193,21	190,28	205,71
Média	209,111	206,106	203,83	199,495	189,949	213,836
Desvio Padrão	2,40	1,73	4,11	5,81	9,86	4,57
P-Value	-----	0,0069	0,0037	0,0002	0,0001	0,0133

*Células de sombreadas indicam que a diferença entre os resultados médios dos cenários alternativos e os resultados médios obtidos do cenário base foi estatisticamente significativa (p-value <0,05)

Tabela A. 28 - Resultados de “time-to-collision” TTC (s) de cada cenário, período da manhã, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	1,31	1,37	1,38	1,39	1,31	1,34
2	1,34	1,40	1,37	1,33	1,43	1,36
3	1,35	1,32	1,35	1,39	1,39	1,34
4	1,37	1,39	1,39	1,32	1,35	1,38
5	1,39	1,37	1,36	1,36	1,38	1,33
6	1,29	1,38	1,37	1,39	1,41	1,33
7	1,39	1,38	1,36	1,41	1,38	1,35
8	1,37	1,35	1,34	1,38	1,41	1,39
9	1,29	1,37	1,35	1,40	1,36	1,38
10	1,35	1,36	1,34	1,34	1,38	1,36
Média	1,34	1,37	1,36	1,37	1,38	1,36
Desvio Padrão	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02
P-Value	-----	0,0743	0,1960	0,0868	0,0389	0,3742

Tabela A. 29 - Resultados de “time-to-collision” TTC (s) de cada cenário, período da tarde, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	1,44	1,58	1,55	1,57	1,49	1,39
2	1,59	1,63	1,59	1,51	1,57	1,53
3	1,52	1,43	1,52	1,59	1,56	1,46
4	1,57	1,47	1,57	1,52	1,40	1,51
5	1,61	1,57	1,52	1,45	1,54	1,52
6	1,43	1,56	1,47	1,50	1,54	1,45
7	1,59	1,45	1,56	1,62	1,51	1,51
8	1,59	1,56	1,46	1,51	1,64	1,45
9	1,45	1,53	1,55	1,58	1,59	1,52
10	1,50	1,53	1,54	1,56	1,55	1,54
Média	1,53	1,53	1,53	1,54	1,54	1,49
Desvio Padrão	0,06	0,06	0,04	0,05	0,06	0,05
P-Value	-----	0,9054	0,8830	0,6194	0,7166	0,1514

*Células de sombreadas indicam que a diferença entre os resultados médios dos cenários alternativos e os resultados médios obtidos do cenário base foi estatisticamente significativa (p-value <0,05)

Tabela A. 30 - Resultados de “post-encroachment time” PET (s) de cada cenário, período da manhã, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	1,15	1,26	1,22	1,26	1,29	1,17
2	1,15	1,18	1,15	1,24	1,25	1,21
3	1,15	1,23	1,18	1,18	1,27	1,22
4	1,11	1,31	1,22	1,18	1,24	1,28
5	1,16	1,17	1,24	1,18	1,28	1,07
6	1,18	1,15	1,30	1,22	1,12	1,15
7	1,16	1,16	1,11	1,27	1,25	1,20
8	1,15	1,20	1,27	1,41	1,22	1,07
9	1,12	1,18	1,14	1,34	1,27	1,13
10	1,15	1,34	1,32	1,33	1,17	1,14
Média	1,15	1,22	1,21	1,26	1,23	1,17
Desvio Padrão	0,02	0,06	0,07	0,08	0,05	0,06
P-Value	-----	0,0050	0,0087	0,0004	0,0001	0,4331

Tabela A. 31- Resultados de “post-encroachment time” PET (s) de cada cenário, período da tarde, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	1,29	1,27	1,24	1,27	1,28	1,15
2	1,24	1,19	1,22	1,31	1,30	1,18
3	1,24	1,24	1,25	1,25	1,32	1,19
4	1,20	1,32	1,29	1,25	1,29	1,15
5	1,25	1,18	1,31	1,25	1,33	1,10
6	1,27	1,16	1,20	1,29	1,17	1,18
7	1,25	1,17	1,21	1,14	1,30	1,23
8	1,24	1,21	1,19	1,28	1,27	1,10
9	1,21	1,19	1,24	1,21	1,32	1,16
10	1,24	1,35	1,22	1,20	1,22	1,17
Média	1,24	1,23	1,24	1,24	1,28	1,16
Desvio Padrão	0,02	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04
P-Value	-----	0,5388	0,6843	0,9112	0,0531	0,0000

*Células de sombreadas indicam que a diferença entre os resultados médios dos cenários alternativos e os resultados médios obtidos do cenário base foi estatisticamente significativa (p-value <0,05).

Tabela A. 32 Resultados do número de conflitos de passagem de cada cenário, período da manhã, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	2779	1938	2126	2672	2480	2090
2	2641	2330	2235	2207	2671	2463
3	2259	2809	2449	2738	2476	2509
4	2588	2150	1936	2760	2672	2476
5	2741	2446	2862	2667	2097	2240
6	2413	2452	3253	2495	2437	2363
7	2148	2690	2840	2387	2648	2476
8	2894	2448	2862	2694	2983	2478
9	2667	2665	2202	2415	2613	2772
10	2057	2225	2731	2411	1937	2122
Média	2519	2415	2550	2545	2501	2399
Desvio Padrão	270	252	399	177	285	193
P-Value	-----	0,4122	0,8496	0,8121	0,8965	0,2937

Tabela A. 33- Resultados do número de conflitos de passagem de cada cenário, período da tarde, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	944	831	764	846	761	661
2	941	771	689	654	819	722
3	718	781	746	880	728	645
4	907	719	538	883	796	723
5	1012	845	957	839	589	475
6	809	893	825	762	716	644
7	708	967	989	735	798	720
8	1060	863	952	853	866	776
9	919	991	810	743	793	703
10	981	766	917	755	500	441
Média	900	843	819	795	737	651
Desvio Padrão	113	84	134	72	106	104
P-Value	-----	0,2383	0,1809	0,0300	0,0054	0,0001

*Células de sombreadas indicam que a diferença entre os resultados médios dos cenários alternativos e os resultados médios obtidos do cenário base foi estatisticamente significativa (p-value <0,05).

Tabela A. 34 Resultados do número de conflitos de retaguarda de cada cenário, período da manhã, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	12457	10481	10784	11710	11827	14318
2	12120	13604	10822	10422	11211	14503
3	10392	10550	11133	9382	10136	12818
4	11516	11958	13284	11006	9853	11404
5	11674	10860	12296	12309	10869	13086
6	12038	13173	12220	10084	10488	13910
7	11313	12130	11706	12327	12091	13583
8	12299	11338	11949	11324	11953	13485
9	12559	12384	11438	10179	10243	15061
10	12751	12962	10639	11787	11288	14196
Média	11912	11944	11627	11053	10996	13636
Desvio Padrão	672	1056	792	956	763	980
P-Value	-----	0,9395	0,4213	0,0407	0,0146	0,0004

Tabela A. 35- Resultados do número de conflitos de retaguarda de cada cenário, período da tarde, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	8555	6444	6983	8418	8234	10296
2	8329	9573	7009	7133	7615	10492
3	7185	6520	7333	6089	6547	8795
4	7933	7925	9473	7721	6256	7387
5	8025	6829	8482	9023	7274	9074
6	8281	9147	8415	6794	6886	9889
7	7790	8100	7904	9036	8484	9571
8	8453	7299	8142	8036	8346	9467
9	8617	8350	7630	6883	6642	11043
10	8744	8926	6828	8489	7691	10175
Média	8191	7911	7820	7762	7397	9619
Desvio Padrão	445	1057	791	957	761	980
P-Value	-----	0,4736	0,2353	0,2383	0,0146	0,0009

*Células de sombreadas indicam que a diferença entre os resultados médios dos cenários alternativos e os resultados médios obtidos do cenário base foi estatisticamente significativa (p-value <0,05).

Tabela A. 36- Resultados do número de conflitos de mudança de via de cada cenário, período da manhã, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	1986	1963	1932	1364	1950	1837
2	1924	1560	2229	1738	1402	1995
3	2094	1738	1910	2061	1284	2140
4	2379	2027	2038	1745	1758	2091
5	1958	1852	1709	1339	1859	2113
6	1608	2110	2019	1968	1804	2079
7	1975	1819	1229	1894	2050	2131
8	1937	1665	1710	1830	1749	2443
9	2000	1801	1502	2193	2466	2022
10	2042	1647	1644	1712	1308	2369
Média	1990	1818	1792	1784	1763	2122
Desvio Padrão	179	166	278	260	345	166
P-Value	-----	0,0489	0,0889	0,0660	0,0962	0,1222

Tabela A. 37- Resultados do número de conflitos de mudança de via de cada cenário, período da manhã, com nível de significância de 5%

Cenário						
Run	Base	10% AV	20% AV	30% AV	50% AV	Shuttle
1	1124	1179	1214	911	1144	1559
2	1136	1003	1308	1067	854	1305
3	1173	1039	1166	1210	789	1182
4	1339	1182	1228	1082	1082	1440
5	1145	1112	1059	869	1077	1494
6	938	1281	1268	1233	1066	1469
7	1155	1143	865	1120	1206	1608
8	1115	1037	1062	1116	1038	1433
9	1143	1132	990	1270	1397	1771
10	1154	1016	1045	1086	832	1215
Média	1142	1112	1121	1096	1048	1448
Desvio Padrão	91	84	132	122	176	170
P-Value	-----	0,4808	0,6899	0,3776	0,1729	0,0002

*Células de sombreadas indicam que a diferença entre os resultados médios dos cenários alternativos e os resultados médios obtidos do cenário base foi estatisticamente significativa (p-value <0,05).