



**João Paulo Pinto
Teixeira**

**Sistemas genéricos de gestão de informação para
mobilidade inteligente**



**João Paulo Pinto
Teixeira**

**Sistemas genéricos de gestão de informação para
mobilidade inteligente**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, e do Doutor Jorge Filipe Marto Bandeira, Investigador de Pós-Doutoramento do Centro de Tecnologia Mecânica e Automação

Júri

Presidente

Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos
Professor Auxiliar, do Departamento de Engenharia Mecânica, da Universidade de Aveiro

Co-Orientador

Doutor Jorge Filipe Marto Bandeira
Bolseiro de Pós-Doutoramento, da fundação para a Ciência e Tecnologia, Universidade de Aveiro

Arguente

Professor Doutor João Paulo Silva Barraca
Professor Auxiliar, do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática, da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Este espaço é dedicado a todas as pessoas e entidades que contribuíram para a realização e concretização desta dissertação.

Em primeiro lugar quero agradecer à minha orientadora Professora Doutora Margarida Coelho pela orientação, colaboração e apoio constante para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu coorientador, Doutor Jorge Bandeira, um agradecimento muito especial pela ajuda na parte experimental, pela apresentação e esclarecimentos de metodologias relativas a esta temática e por todo o tempo dispensado.

Ao Eng.º. Paulo Fernandes um obrigado pela disponibilidade quer nos testes experimentais quer nos esclarecimentos de dúvidas.

Ao Doutor João Paulo Barraca um obrigado, quer pela disponibilidade, colaboração e disponibilização de diversos materiais e ferramentas para a obtenção de dados.

Aos meus pais e avós, ao meu irmão e à minha namorada, uma palavra muito especial de agradecimento, pela paciência, pela ajuda, pelos incentivos. Ao meu amigo José Diogo um agradecimento muito especial pelos apoios e ajudas nas áreas tecnológicas e de programação. Ao José Simões um obrigado pelo suporte prestado na minha vida pessoal.

Quero agradecer à Toyota Salvador Caetano, tanto pela disponibilização das viaturas como pela colaboração atempada a diversas solicitações efetuadas.

Este trabalho insere-se no âmbito do projeto @CRUISE (PTDC/EMS-TRA/0383/2014), financiado no âmbito do Projeto 9471 – Reforçar a Investigação, o Desenvolvimento Tecnológico e a Inovação (Projeto 9471 – RIDTI) e participado pelo Fundo Comunitário Europeu FEDER, e no âmbito do Projeto Estratégico UID-EMS-00481-2013.

Palavras-chave

ATMS, Congestionamento, ITS, base de dados, FCD

Resumo

O principal objetivo desta dissertação consiste no estudo, criação e implementação de um sistema genérico/conjunto de regras como base da expansibilidade configurável e reconfigurável de diferentes situações urbanas. A gestão e recolha de dados dinâmicos é um processo desafiante, principalmente num contexto de baixa penetração de dados flutuantes sobre veículos (FVD) e limitada disponibilidade de estações de monitorização de tráfego.

Neste trabalho, foram selecionados três segmentos de vias rodoviárias de uma cidade portuguesa de média dimensão (Aveiro) para recolher dados dinâmicos do veículo ao longo de vários cenários de tráfego. Simultaneamente, os volumes de tráfego foram gravados em tempo real. O principal objetivo desta experiência piloto foi avaliar como seria possível ler e prever os níveis de congestionamento de tráfego e emissões com informações limitadas e como devem ser geridos os dados de várias fontes de forma a correlacionar e lidar com esta informação em tempo real. Foi possível correlacionar simultaneamente vários conjuntos de dados, tais como valores de congestionamento, distribuição de modo da potência específica do veículo - VSP (que relaciona a dinâmica de um veículo com as suas emissões de poluentes), dados de tráfego Google e as emissões, de forma a antecipar o que acontece na infraestrutura rodoviária.

Os resultados preliminares sugerem que, em artérias urbanas, o tempo de viagem e os níveis de congestionamento podem ser indicadores fiáveis para a estimativa das emissões em tempo real. No entanto, em secções de artérias não urbanas, devido a uma maior variabilidade dos padrões de condução, a estimativa do desempenho do tráfego em tempo real é mais complexa. São igualmente discutidas as questões-chave relativas à implementação de uma plataforma para análise de dados num contexto urbano.

Keywords

ATMS, Traffic congestion, ITS, Database, FCD

Abstract

The main objective of this dissertation is the study, creation and implementation of a generic system / set of rules as the basis of the configurable and reconfigurable expansibility of different urban situations. The management and collection of dynamic data is a challenging process mainly in a context of low penetration of floating car data (FCD) and limited availability of traffic monitoring stations.

In this work, three road segments of a Portuguese medium-sized city (Aveiro) were selected to collect vehicle dynamic data over multiple scenarios of traffic demand. Simultaneously, traffic volumes were recorded in real time. The main objective of this pilot experiment was to assess how it would be possible to read and predict traffic congestion and emissions levels with limited information and how data from multiple sources should be managed in order to correlate and deal with this information in real time. It was possible to correlate simultaneously multiple data sets such as traffic congestion values, Vehicle Specific Power (VSP) modes distribution (which correlate vehicle dynamics with pollutant emissions), Google traffic data and emissions to anticipate what is happening in the road infrastructure.

Preliminary findings suggest that in urban arterials the travel time and congestion levels can be reliable indicators for the estimation of emissions in real time. However, in sections of rural arterials, due to the higher variability of driving patterns, the estimation of real-time traffic performance is more complex. Key issues towards the implementation of a platform for data analysis in an urban context are also discussed.

Índice

Índice das Figuras	i
Índice das Tabelas	ii
Lista de abreviaturas / Siglas	iii
1.Introdução	1
1.1.Motivação.....	1
1.2.Objetivos	8
1.3.Estrutura da dissertação	9
2.Revisão Bibliográfica	11
2.1. Sistemas inteligentes de transportes	11
2.2. Sistemas de comunicação	12
2.2.1 Comunicações V2V e V2I	13
2.2.2. Comunicações D2D	14
2.2.3 Plataformas de prototipagem.....	15
2.3. Floating Car Data	16
2.4. Síntese conclusiva	18
3.Metodologia e Métodos	19
3.1.Selecção da área de estudo	21
3.1.1.Caracterização dos trajetos e critérios de selecção	21
3.1.2. Rotas seleccionadas	24
3.2. Monitorização experimental	27
3.2.1. GNSS	28
3.2.2. Câmaras	29
3.3. Processamento de dados	29
3.3.1. Sistema de Visão	29
3.3.2. Correlação do volume de tráfego com o tempo de viagem	31
3.3.3. Equação de Fluidez	33
3.3.4. Equação de Identificação de nível de Congestionamento	34
3.4. Cálculo de Emissões	38
3.4.1. Metodologia VSP – Agrupamento de modos VSP.....	40
4. Discussão e Resultados	43
4.1. Emissões e Distribuição VSP.....	43
4.2. Estimativas de desempenhos de emissões e tráfego através de sistemas alternativos de tráfego	45
4.3. Comparação entre condutores	47
4.4. Estudo de variáveis descritivas para estimar emissões de veículos.....	48
4.5. Estudo dos modos VSP agregados para estimar emissões de veículos.....	55
4.5.1. Rotunda N109	55
4.5.2. Segmento 3-4 (figura10) N109.....	59

4.5.3. Avenida 25 Abril – Segmento 3-4	63
4.5.4. Avenida Universidade (Rota 3), comparação com emissões NOx	67
5. Conclusão e trabalhos futuros	69
Referências bibliográficas	75
Anexos.....	79
Anexo A – dados N109	79
Anexo B – Dados Avenida 25 Abril.....	85
Segmento 1-2 da figura 10 (ambas direcções).....	85
Segmento 2-3 da figura 10 (ambas direcções).....	91
Comparação entre dois condutores na Av. 25 de Abril.....	99
Anexo C – Dados Avenida Universidade	102

Índice das Figuras

Figura 1 - Evolução do consumo de combustíveis (tep) entre 1995 e 2014 em Portugal (Fonte: DGEC, 2014)	1
Figura 2 - Comparação dos consumos de 2013 entre Portugal e a EU: a) por combustível; b)_por setor de atividade (Fonte: INE, 2014)	2
Figura 3 - Consumo de energia por setor desde 1995 até 2014 em Portugal (Fonte: DGEC,2014)	3
Figura 4 - Variação do número de veículos ligeiros e pesados entre 2010 e 2014 (Fonte: INE,2014)	4
Figura 5 - Vendas de Veículos entre 2012 e 2014 (Fonte:ACAP,2014)	4
Figura 6 - Parque de veículos de passageiros por escalões de idade (Fonte: INE,2014)	5
Figura 7- Emissões de GEE por setor 2014 em Portugal (Fonte: DGEG,2014)	5
Figura 8 - Estrutura da dissertação	10
Figura 9- Visão geral da metodologia	20
Figura 10 – Mapa dos percursos selecionados	24
Figura 11 - BT-Q1000XT	28
Figura 12 - Relação linear na Rota 1 (segmento direção Sul-Norte, 750m)	31
Figura 13 - Relação linear na Rota 2	32
Figura 14 - Relação linear na Rota 3	32
Figura 15 - Relação Linear Rota 1	35
Figura 16 - Relação linear rota 2	35
Figura 17 - Relação linear Rota 3	35
Figura 18 - Intervalo linear entre Vmin e Vmax e intervalo linear entre valores de IC	37
Figura 19 - Taxas de emissão média modal para emissões CO ₂ , CO, NOx e HC após agregação dos modos VSP para veículos a gasóleo	41
Figura 20 - Taxas de emissão média modal para emissões CO ₂ , CO, NOx e HC após agregação dos modos VSP para veículos a gasolina	41
Figura 21 - comparação entre emissões de CO ₂ e tempo despendido nas agregações VSP para veículos a gasolina e respetivo erro padrão	43
Figura 22 - comparação entre emissões de CO ₂ e tempo despendido nas agregações VSP para veículos a gasóleo	45
Figura 23 - comparação do tempo de viagem observado (cima) com emissões CO ₂ (baixo) de acordo com diferentes níveis de informação de tráfego online (Google traffic) para rota 1 (esquerda) e rota 3 (direita)	46
Figura 24 - Comparação entre dois condutores (Rota 2) – a),c): condutor 1; b),d):condutor 2. a) e b) comparam velocidade média com emissões CO ₂ ; c) e d) comparam Fluidez com os agregados VSP	47
Figura 25 - Correlação linear entre emissões CO ₂ e tempo de viagem para a rota 1	49
Figura 26 - Correlação linear entre emissões de CO ₂ e tempo de viagem para a rota 3	49
Figura 27 - Correlação linear entre Vmax-Vmin e emissões CO ₂ para rota 1	50
Figura 28 - Correlação linear entre Vmax-Vmin e emissões CO ₂ para rota 3	50
Figura 29 - Correlação linear entre fluidez de trânsito e emissões CO ₂ para rota 1 (P-value=0.005206)	51
Figura 30 - Correlação linear entre fluidez de trânsito e emissões CO ₂ para rota 3 (P-value=0.007557)	51
Figura 31 - Correlação linear entre volume de tráfego e emissões CO ₂ para rota 1 (P-value=0.073364)	52
Figura 32 - Correlação linear entre volume de tráfego e emissões de CO ₂ para rota 3 (P-value=0.098434)	52
Figura 33 - Correlação linear entre a diferença de Vmax e Vmin e emissões NOx para a rota 1	53
Figura 34 - Correlação linear entre diferença de Vmax e Vmin e emissões NOx para a rota 3	53
Figura 35 - Correlação linear entre fluidez de Trânsito e emissões NOx	54
Figura 36 - Correlação linear entre agregados de Modo VSP e emissões CO ₂	56
Figura 37 - Correlação linear entre agregados de Modos VSP e emissões NOx	57
Figura 38 - Correlação linear entre agregados VSP e emissões CO ₂	59
Figura 39 - Correlação linear entre agregados VSP e emissões NOx	61
Figura 40 - Correlação linear entre agregados VSP e emissões CO ₂	63
Figura 41 - Correlação linear entre agregados VSP e emissões NOx	65
Figura 42 - Correlação linear entre os agregados VSP e emissões NOx	67
Figura 43 - Descrição genérica da plataforma a desenvolver	73
Figura A. 1 - Ponto Principal de filmagem na N109	79
Figura A. 2 - Imagem da localização da câmara nesta rota	86

Figura A. 3 - comparação de Fluidez entre os condutores.....	99
Figura A. 4 - soma das emissões de CO ₂ ao longo dos testes efetuados por cada condutor	99
Figura A. 5 - soma das emissões de NOx ao longo dos testes efetuados por cada condutor	100
Figura A. 6 - tempos despendidos nos agregados VSP pelos condutores.....	100
Figura A. 7 - comparação de fluidez com agregados VSP para condutor 1	101
Figura A. 8 - comparação de fluidez com agregados VSP para condutor 2	101
Figura A. 9 - volumes de trânsito nos testes de cada condutor (volume por hora – Vph)	102
Figura A. 10 - Posição da câmara para filmagens na rota 3	103

Índice das Tabelas

Tabela 1 - Distribuição de Tarefas	19
Tabela 2 - Descrição das vias	27
Tabela 3 - Algumas especificações do dispositivo	28
Tabela 4 - Modos VSP (Fonte: NCSU,2002)	40
Tabela A. 1 - Relação de velocidades e tempo de viagens com Fluidez e Identificação de congestionamento na rotunda.....	80
Tabela A. 2 - Relação de velocidades e tempo de viagens com Fluidez e Identificação de congestionamento num segmento da N109.....	81
Tabela A. 3 - Relação agregados VSP com Emissões na Rotunda.....	82
Tabela A. 4 - Relação agregados VSP com emissões no segmento	83
Tabela A. 5 - Relação emissões com fluidez, volume e diferença entre Vmax e Vmin	84
Tabela A. 6 - Relação dos tipos de velocidade e tempo de percurso com a Fluidez e Identificação de tráfego	86
Tabela A. 7 - Relação entre emissões e agregados VSP.....	89
Tabela A. 8 - Relação entre os tipos de velocidades, tempo de viagem, fluidez e identificação de congestionamento no segundo segmento desta via.....	92
Tabela A. 9 - Relação entre agregados VSP e emissões de poluentes.....	94
Tabela A. 10 - Relações do volume com os diferentes poluentes, fluidez e Vmx-Vmin	97
Tabela A. 11- Relação das diferentes velocidades com tempo de viagem, Fluidez e Identificação de congestionamento.....	103
Tabela A. 12 - Relação das diferentes emissões com agregados VSP.....	104
Tabela A. 13 - Relações de Volume com as variáveis de interesse	105

Lista de abreviaturas / Siglas

ACAP – Associação Automóvel de Portugal
AVCSS – Advanced Vehicle Control and Safety Systems
APTS – Advanced Public Transportation Systems
ASIC – Application Specific Integrated Circuits
ATIS – Advanced Traveller Information Systems
ATMS – Advanced Traffic Management System
Bs – Base Station
CDMA – Code Division Multiple Access
CO- Monóxido de Carbono
CO₂ – Dióxido de Carbono
D2D – Device to Device
DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia
DSRC – Dedicated Short Range Communications
EN109 – Estrada Nacional 109
FCD – Floating Car Data
FPGA – Field-Programmable Gate Array
GEE – Gases de Efeito de Estufa
GPRS – General Packet Radio System
GNSS – Global Navigation Satellite System
GPS- *Global positioning system* (Sistema global de posicionamento)
GSM – Global System for Mobile Communications
HC- Hidrocarbonetos
IC – Identificação de Nível de Congestionamento
INE – Instituto Nacional de Estatística
ITS-*Intelligent transportation systems* (Sistemas inteligentes de transportes)
JXTA – Juxtapose
N109 – Nacional 109
N235 – Nacional 235
NCSU: North Carolina State University
NO_x – Óxidos de azoto
OSGI – Open Services Gateway Initiative
P2P – Peer to Peer
RBs – Resource Blocks

RFID – Radio Frequency Identification
RSUs – Roadside Units
tep – tonelada equivalente de petróleo
TMC – Traffic Message Travel System
ton - tonelada
UE-União Europeia
UE28- 28 Estados da União Europeia
UMTS – Universal Mobile Telecommunication System
V2I – Vehicle to Infrastructure
V2V – Vehicle to Vehicle
VANETS – Vehicular ad hoc Networks
VMS – Virtual Memory System
VSP – Vehicle Specific Power
VPH – Volume por Hora

1.Introdução

1.1.Motivação

O impacto ambiental do setor energético traduz-se na relação deste com o consumo de combustíveis fósseis. É através do consumo destes combustíveis, nomeadamente petróleo que se geram níveis consideráveis de emissões de gases de efeito de estufa (diretamente relacionados com as alterações climáticas. Apesar de em 2014 ter havido um aumento no consumo da energia primária relativamente a 2013 sendo o petróleo o recurso mais consumido (46%, mais 2% que em 2013), até 2020, um dos objetivos de Portugal passa pela redução no consumo das energias primárias em 25%. A figura 1 compara os consumos totais de energias primárias em Portugal entre os anos de 1995 a 2014 [1, 2].

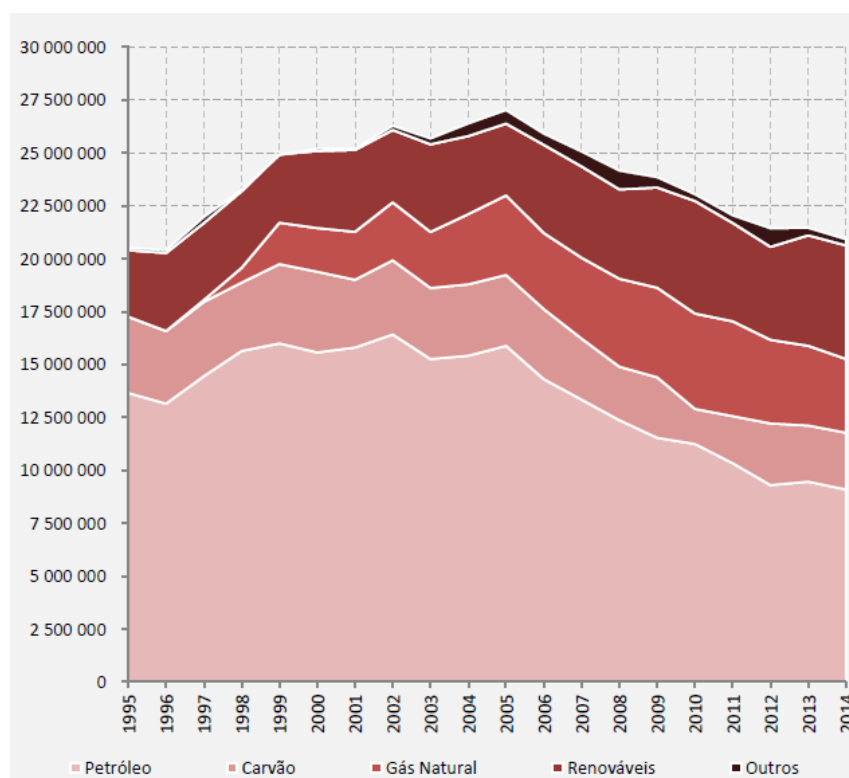
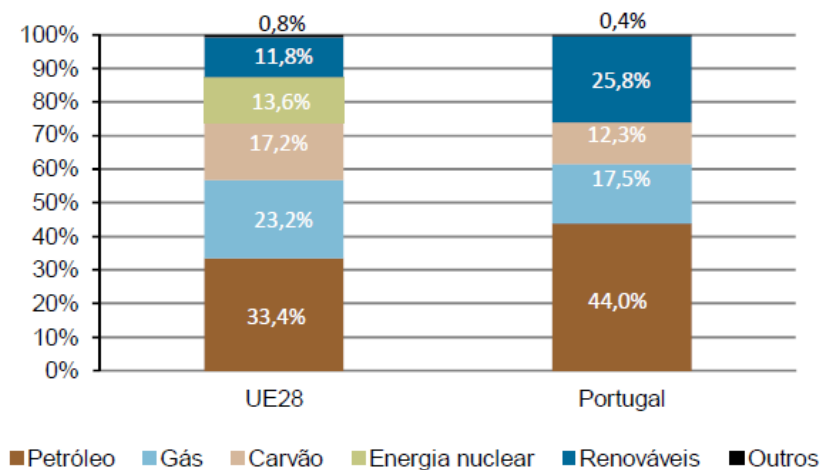


Figura 1 - Evolução do consumo de combustíveis (tep) entre 1995 e 2014 em Portugal (Fonte: DGEC, 2014)

Em comparação com os dados de consumo de energia primária cedidos pela UE28, de acordo com o ano de 2013, Portugal apresenta valores mais elevados no que diz respeito ao

consumo de petróleo, embora tenha diminuído os consumos nos outros setores [1, 2]. Efetuando comparações no consumo final das energias pelos diversos setores, verifica-se que o setor dos transportes, face a anos anteriores, continua a ser o setor com maior consumo energético. A figura 2 compara os consumos energéticos em Portugal e na União Europeia [1, 2].

a)



b)

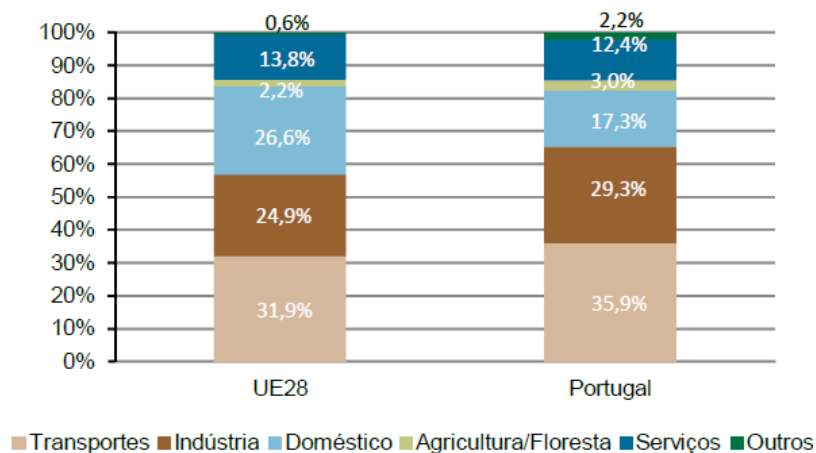


Figura 2 - Comparação dos consumos de 2013 entre Portugal e a EU: a) por combustível; b)_por setor de atividade (Fonte: INE, 2014)

É possível verificar o quão significativo é o setor dos transportes no que diz respeito ao impacto ambiental. Apesar de as emissões de GEE descerem 1% no setor energético, no ano de

2013 face a 2012, falta realizar uma efetiva redução do uso de combustíveis. A figura 3 demonstra as relações de consumos entre os vários setores [1] [2].

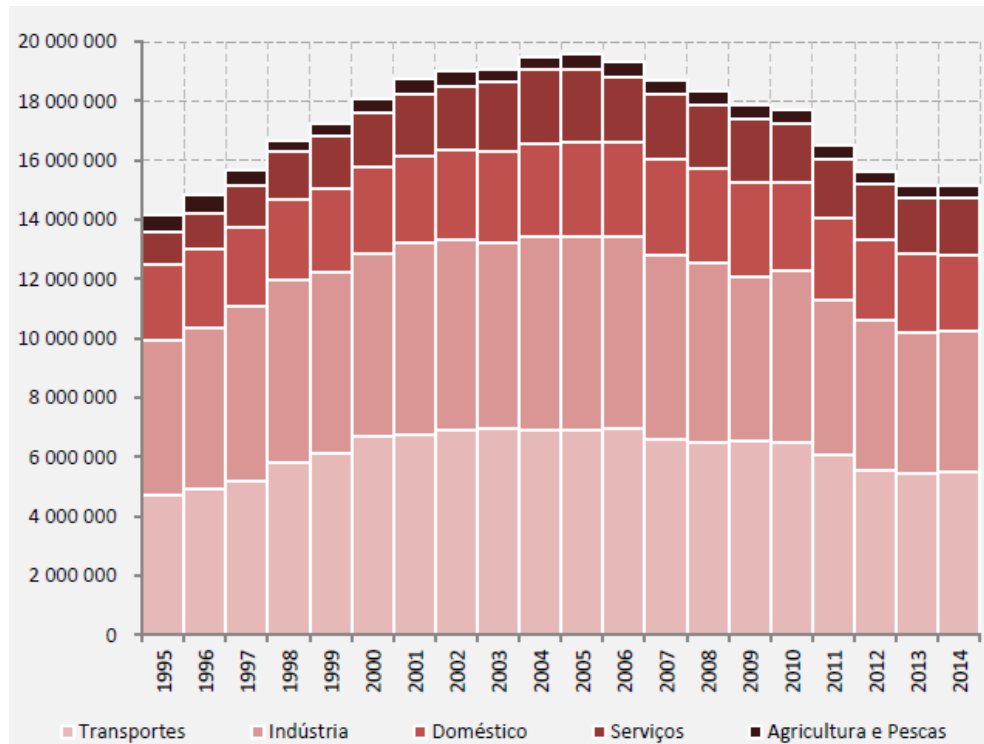


Figura 3 - Consumo de energia por setor desde 1995 até 2014 em Portugal (Fonte: DGEC,2014)

Como se pode ver no setor dos transportes a partir de 2012, o consumo de energias neste setor baixa em 2013, voltando a aumentar em 2014 (coincidentemente com a descida do preço de petróleo) [1, 2].

Para 2014, foram estimados perto de 6 milhões de veículos em circulação (ligeiros e pesados), refletindo um aumento de 8.5% relativamente a 2013. A figura 4 mostra a variação do parque automóvel de ligeiros e pesados nos últimos anos [1] [2].

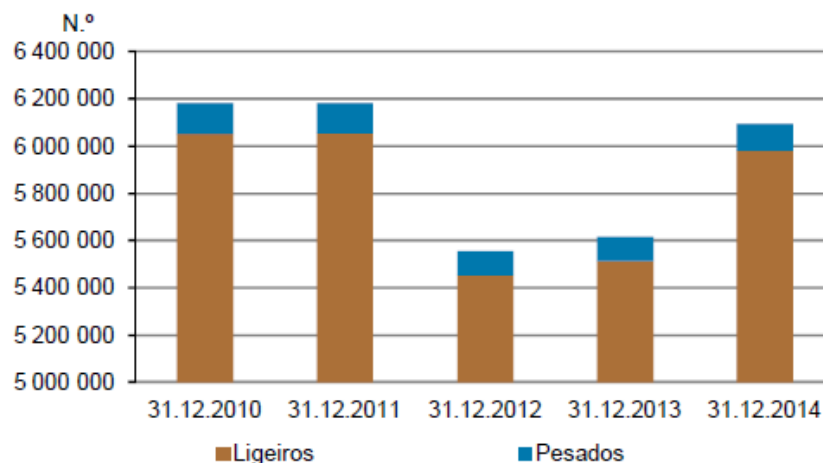
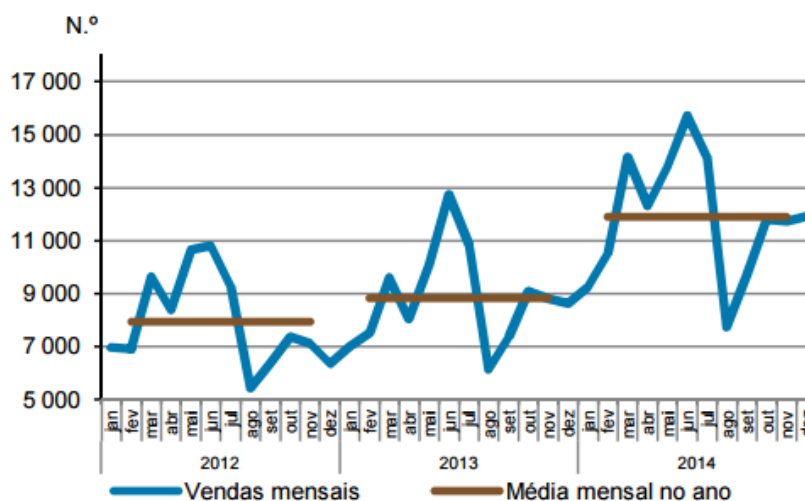


Figura 4 - Variação do número de veículos ligeiros e pesados entre 2010 e 2014 (Fonte: INE,2014)

Destaque-se que em 2014 a idade média dos veículos aumentou 0.7 anos, atingindo uma idade média de 12,2 anos. Havendo uma diminuição de 13% no parque de veículos ligeiros em circulação, com 2 a 5 anos, comparativamente ao ano de 2013, note-se que apesar dos recentes avanços tecnológicos, existem mais veículos com idades superiores a 5 anos a circular e não o oposto, apresentando consumos e emissões mais elevados. Supõe-se que seja o facto de o poder de compra das pessoas diminuir, que as leva a tomar menos atitudes em prol do ambiente. A figura 5 demonstra o número de vendas de Veículos entre 2012 e 2014 enquanto a figura 6 demonstra o número de veículos em circulação por escalão de idade [1-3].



Fonte: Associação Automóvel de Portugal (ACAP)

Figura 5 - Vendas de Veículos entre 2012 e 2014 (Fonte:ACAP,2014)

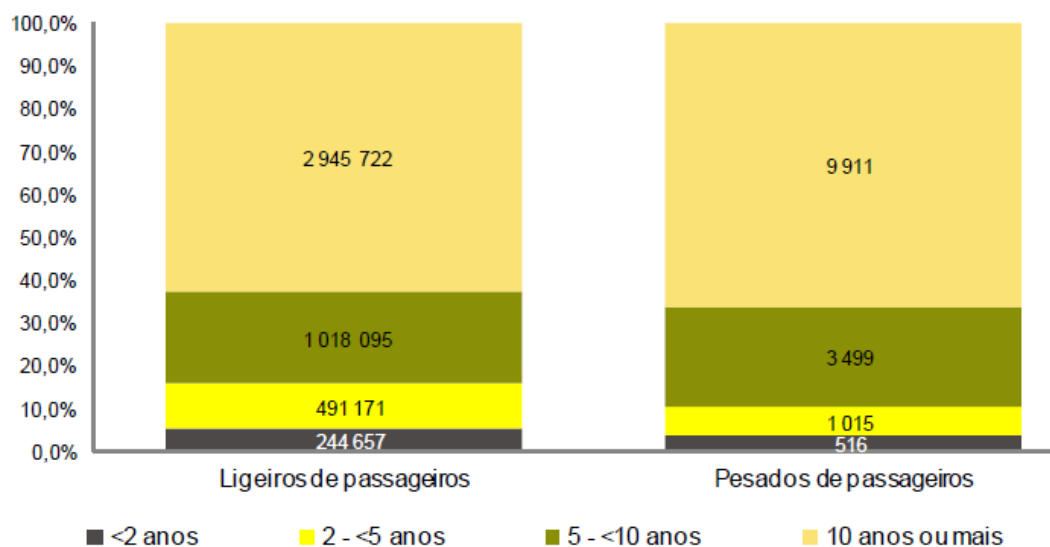


Figura 6 - Parque de veículos de passageiros por escalões de idade (Fonte: INE,2014)

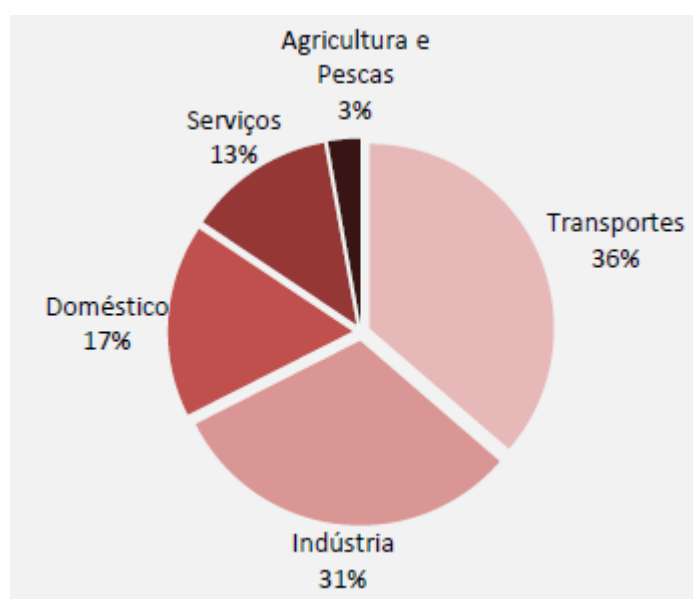


Figura 7- Emissões de GEE por setor 2014 em Portugal (Fonte: DGEG,2014)

O setor da indústria da energia (31%) e o setor dos transportes (36%) são as principais fontes emissoras de GEE. A figura 7 demonstra as emissões de GEE por setor no ano 2014. De realçar que no caso do segundo setor, o consumo do gasóleo teve um aumento positivo

relativamente a 2013 de 2,5%, representando 75% dos combustíveis consumidos, tendo o consumo de combustíveis no transporte rodoviário aumentado 2,0%. O problema do aumento de veículos nos centros urbanos torna-se problemático, em que associado ao facto de 70% dos veículos circularem apenas com o próprio condutor, o problema de congestionamento no trânsito torna-se evidente, contribuindo para causas problemáticas como questões ambientais (emissões de poluentes, ruído, stress, acidentes) e em casos extremos bloqueio de passagem a veículos prioritários. Apesar do grande desenvolvimento tecnológico no setor dos transportes, existe ainda uma grande discrepância entre este crescimento e o crescimento do próprio setor dos transportes, ou seja, este último estará a ter um crescimento maior que o tecnológico sendo que se verifica um aumento na taxa de número de carros de 198 veículos por 1000 habitantes para 454 veículos por 1000 habitantes [1,2,4,5].

Assim considere-se que os impactes de tráfego são cada vez mais graves, consumindo cada vez mais recursos e potencializando também perdas na economia, uma vez que o congestionamento, leva a um aumento dos consumos de combustíveis, aumento de poluição (redução da qualidade do ar especialmente dentro dos centros urbanos) e dificuldades na implementação de sistemas de transportes públicos [6].

Em 1980 surge a ideia de *ITS*, *Intelligent Transportation Systems* (originalmente *Intelligent Vehicle-Highway Systems*). O conceito de *ITS*, passa pela obtenção e tratamento de informação através de novas tecnologias de forma a melhorar a segurança, eficiência das redes de transportes, tanto para os bens, como para as pessoas. Estas tecnologias veem-se nos dias de hoje nos mais diversos sítios, desde portagens com funções de taxar ou ceder informação e avisos a nível da via, sistemas de navegação nos veículos e infraestruturas para melhor monitorizar e localizar a gestão de tráfego [7].

O Departamento dos Transportes dos Estados Unidos, reconheceu o potencial dos *ITS*, não só na melhoria da mobilidade e segurança, mas também na redução de consumo de combustíveis. O facto de as tecnologias terem estado e continuarem a evoluir e a expandir-se nas comunicações e tecnologias informáticas permite que os produtos/mecanismos usados nos *ITS*, sejam cada vez mais sofisticados, baratos e fiáveis, reduzindo também a necessidade de construir infraestruturas para estes fins [7].

Um dos grandes desafios nos sistemas inteligentes de transportes, é a coordenação dos dados recolhidos e a imposição de soluções na gestão de tráfego, devido sobretudo ao aumento de veículos nas cidades, tendo como consequência um grande aumento de dados devido aos enormes fluxos de trânsito existentes [7].

Infraestruturas rodoviárias mal preparadas, ineficientes sistemas de transportes públicos associados a planeamento urbano deficiente são casos óbvios potencializadores de congestionamento. É possível então notar a constante mutação no setor dos transportes, sendo particularmente desafiante recolher e tratar informação de diversas fontes em tempo real. A recolha de dados dinâmicos relativamente ao tráfego rodoviário torna-se então essencial, tal como a gestão dos mesmos, causados pela presença continuada de veículos sob diferentes regimes de velocidade. Ler e prever o congestionamento do tráfego e saber lidar com essas informações, manipulando as vias ou saber pontos exatos onde operar para minimizar os níveis de congestionamento e poluição, requer a criação de sistemas que permitam controlar e supervisionar todos os dados recolhidos e cuja implementação nas cidades seja facilitada. É de todo o interesse desenvolver sistemas cujas principais características sejam a reconfigurabilidade e conseqüente modularidade, a rápida transferência de informação e o máximo de autonomia possível na tomada de uma decisão, garantindo o uso de recursos já existentes para a transferência destes dados, minimizando os gastos nas construções de novas infraestruturas, tornando mais fácil e imediatos a aplicação e testes de sistemas associados ao conceito de mobilidade inteligente (*smart mobility*).

Para um bom e eficiente funcionamento dos sistemas inteligentes de transportes, comunicações *V2V (vehicular to vehicular)* e *V2I (vehicular to infrastructure)* têm que ser configuradas e otimizadas tendo em conta a coexistência e cooperação das mesmas [8].

A possibilidade da utilização de redes sem fios para a recolha de dados nos sistemas de transportes tem sido alvo de um interesse a nível mundial nos últimos anos, dado o potencial das suas aplicações e serviços. Uma solução muito popular e recente à recolha de dados dinâmicos é a utilização dos sistemas de comunicação das redes móveis, conhecido por *D2D (device to device)*. Estes sistemas são populares devido ao potencial que apresentam na recolha de dados dinâmicos, nas diversas redes de estradas e nós, devido essencialmente ao baixo custo e constante comunicação móvel, sem necessitar da intervenção de outras infraestruturas, no entanto a viabilidade destes sistemas ainda está a ser estudado [8].

O recente interesse nestes sistemas, deve-se essencialmente ao potencial de cooperação entre as diversas aplicações de recolha e análise de dados, conseguindo assim otimizar e assegurar uma melhor gestão de tráfego e aumento na segurança rodoviária. Alguns dos estudos a serem efetuados quanto à viabilidade destes recursos passam por assegurar o bom funcionamento entre as aplicações existentes dentro dos veículos e os centros de controlo dos serviços de emergência, serviços públicos e restantes operadores que intervêm nos sistemas de transportes. Estes sistemas, principalmente pelo facto de estarem em constante comunicação,

demonstram enormes potenciais no que diz respeito a melhoria de fluidez de trânsito, podendo também, através da informação disponibilizada atempadamente, reduzir acidentes rodoviários e a gravidade destes acidentes [9].

1.2. Objetivos

O principal objetivo desta dissertação consiste no estudo, criação e implementação de um sistema genérico/conjunto de regras como base da expansibilidade configurável e reconfigurável de diferentes situações urbanas: simulação de tempos de viagem, níveis de emissões, expansão e outras funcionalidades avançadas. Um passo fundamental é a melhoria da interoperabilidade entre os modelos de tráfego e novas fontes de dados, nomeadamente *Floating Car Data (FCD)* e sensores de desempenho de tráfego.

O primeiro objetivo específico consiste no desenvolvimento de uma estrutura dinâmica com base em sistemas de informação geográfica (ou software de análise de redes) contendo informação relativa ao desempenho de tráfego em tempo real e externalidades ambientais associadas. Posteriormente, são avaliadas e comparadas diversas estratégias de gestão de tráfego sustentável recorrendo a ferramentas de otimização de rede.

Assim, este trabalho divide-se essencialmente em duas fases. No que diz respeito à parte de análise de campo, é do interesse monitorizar experimentalmente o desempenho de viaturas em rotas e períodos do dia diferentes, mas utilizando os mesmos pontos de partida e chegada. Essa monitorização decorreu na cidade de Aveiro e compreendeu as seguintes tarefas:

- Recolha dos parâmetros dinâmicos do veículo através de um Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS),
- Utilização de câmaras para gravar vídeos aquando da condução do veículo, de forma a caracterizar o percurso e identificar diferentes ocorrências de tráfego,
- Utilização de câmaras estáticas em pontos específicos dos percursos (para averiguar a ocorrência de congestionamentos específicos) para monitorização de veículos e tráfego (de forma a complementar outros dados, estabelecer tempos e relacionar os nós),
- Utilização de um portátil para adquirir informação em tempo real do *Google traffic* e comparar essa informação à obtida em campo.

A segunda fase deste trabalho compreendeu a análise e correlação dos dados. Para associar os dados dinâmicos a consumos e emissões utilizou-se uma metodologia para cálculo de emissões baseada na Potência específica do Veículo (“Vehicle Specific Power” - VSP). Paralelamente a estas análises decorrerá o desenvolvimento da ferramenta de análise

multiobjectivo, tendo em conta todas as considerações analisadas/avaliadas aplicando a numérica aos dados recolhidos.

O objetivo final do trabalho consistiu em desenvolver uma estrutura dinâmica com base em sistemas de informação geográfica que contenham informações relacionadas com o desempenho do tráfego em tempo real e externalidades ambientais associadas. Portanto, as principais questões de pesquisa abordadas nesta dissertação são:

- Será que podemos prever com precisão as emissões de CO₂ e as emissões poluentes locais com FCD limitado?
- Como podem os dados de tráfego obtidos a partir de diferentes fontes serem usados em segmentos de estrada diferentes?
- Podemos confiar em dados de tráfego externos (e.g Google como um indicador qualitativo primário para prever o desempenho ambiental num determinado segmento da rede?

1.3.Estrutura da dissertação

A Dissertação de Mestrado apresentada é dividida em 5 capítulos para uma melhor perceção do trabalho efetuado. No primeiro capítulo expõe-se a introdução, motivação e objetivos da presente Dissertação. O segundo capítulo demonstra a revisão bibliográfica efetuada para a concretização desta dissertação no âmbito de sistemas genéricos de gestão de informação para mobilidade inteligente. O terceiro capítulo apresenta toda a metodologia para a obtenção e tratamento de dados e restantes métodos utilizados para o desenvolvimento da dissertação. O quarto capítulo apresentará a discussão dos resultados obtidos. O quinto e último capítulo apresenta as conclusões relativamente a este projeto e sugestões para possíveis desenvolvimentos de trabalhos futuros. Na figura 8 é demonstrado um fluxograma discriminando cada um dos capítulos.

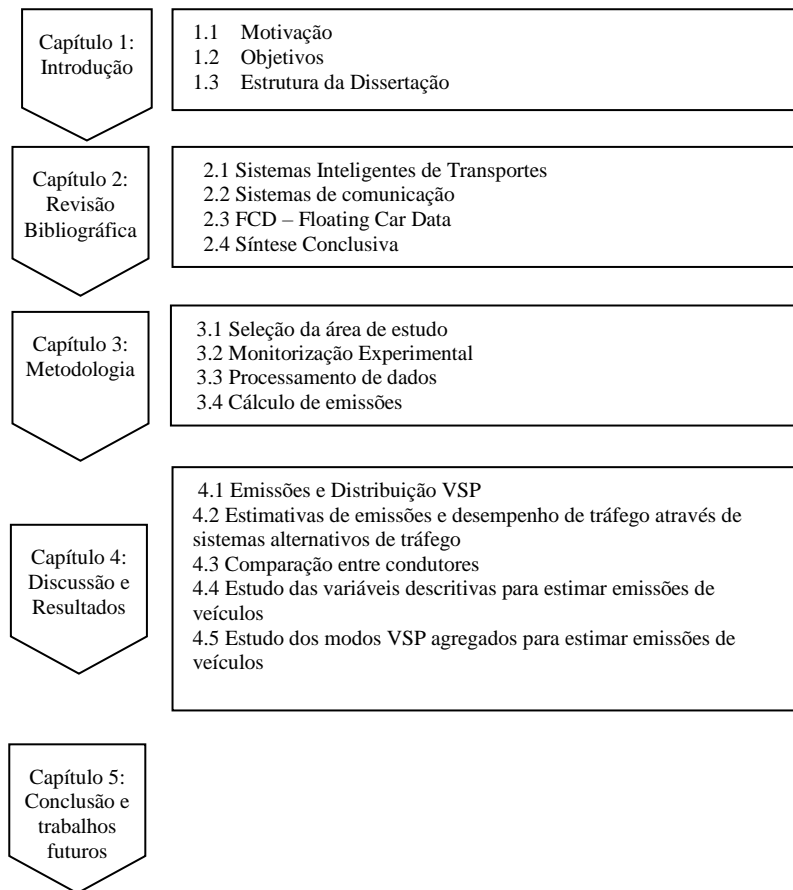


Figura 8 - Estrutura da dissertação

2.Revisão Bibliográfica

Neste capítulo serão abordados temas no âmbito da presente Dissertação. As áreas nas quais este capítulo se foca essencialmente são Sistemas inteligentes de transportes, tipos de sistemas de comunicação, monitorização de tráfego, plataformas de prototipagem e dados flutuantes sobre veículos.

2.1. Sistemas inteligentes de transportes

Este tipo de tecnologia tem como objetivo o melhoramento de parâmetros de segurança, redução de acidentes no trânsito, melhorias no congestionamento, leitura e análise de dados das redes de transportes em tempo real, aumento da eficiência de tempo de viagem.

A monitorização de veículos e rotas são agora possíveis dados os avanços tecnológicos nas áreas computacionais e redes de comunicação. Estes sistemas inteligentes visam a recolha de informação através de sensores e outros equipamentos pertencentes à estrutura do veículo de forma a conseguir fornecer informações que possibilitem maiores eficiências e segurança nos sistemas de transportes e torná-los mais amigo do ambiente.

Uma das problemáticas nestes sistemas é a dificuldade de partilha de dados e cooperação entre eles. Sistemas distribuídos são definidos como sistemas compostos por várias unidades de serviço que comunicam entre si, de forma a executarem uma diversidade de tarefas, contrariando assim os sistemas centralizados. Idealmente tende-se a querer partilhar diversos tipos de informação: congestionamentos, acidentes, relacionamento destes com consumos de combustível e emissões entre outros. É dada ênfase, por diversos autores, à importância da criação de uma plataforma modular, de forma a poder avaliar diferentes impactes relacionados com transportes (poluentes locais, ruído, segurança) [10,11].

Na construção de sistemas inteligentes de transportes, devido à complexidade e variáveis a tratar, são apresentadas muitas áreas de tratamento, nomeadamente aplicações orientadas como *ATIS* (Advanced Vehicle Control and Safety Systems), *APTS* (Advanced Public Transportation Systems) ou *ATMS* (Advanced Traffic Management System). Outras áreas são mais vocacionadas para a orientação tecnológica como *AVCSS* (Advanced Vehicle Control and Safety Systems), sendo que outras, dedicam-se às questões relacionadas com a dificuldade de implementação de *ITS* incluindo fator humano, problemas institucionais e legais, sendo que estes últimos se apresentam como as áreas mais difíceis de operar em *ITS*, uma vez

que um dos principais obstáculos destas tecnologias a nível social será a invasão de privacidade das pessoas [12,13].

2.2. Sistemas de comunicação

O aumento do uso de sistemas GNSS, o aumento na instalação de *Road Side Units* – *RSUs* (dispositivo localizado na berma da estrada que fornece suporte à conectividade à passagem de veículos), como também as comunicações entre os veículos e as infraestruturas utilizadas nos setores dos transportes são cruciais para o êxito nas aplicações utilizadas em cenários rodoviários, conseguindo estes sistemas, suportar as conexões entre veículos. As comunicações *V2V* ainda são consideradas por muitos investigadores como o protocolo convencional *ad hoc* para redes veiculares (*VANETS*) e a mais viável para implementações em redes rodoviárias curtas [14-17].

Devido às rápidas mudanças na topologia das redes, como a altura e alterações de velocidade dos veículos aliado à distribuição escassa de veículos ou completa desconexão entre estes, os veículos nem sempre providenciam conexões fiáveis para aplicações *ITS*, demonstrando no entanto serem ideais como complemento de comunicações *V2I*, uma vez que facilitam e demonstram uma aptidão para processamento de elevadas taxas de dados [18].

Apesar da maioria do trabalho existente se concentrar ou em comunicações *V2V* ou em comunicações *V2I*, cada vez mais os investigadores consideram a junção das comunicações *V2V* e *V2I*, de forma a aperfeiçoar o desempenho nas redes rodoviárias, tendo já sido demonstrado que se consegue melhorias consideráveis nas redes rodoviárias explorando a junção destes tipos de comunicações ao invés do uso deles a nível individual [15,17]. Apesar de se considerar que arquiteturas de comunicações que integrem convenientemente protocolos *V2V* e *V2I* sejam a chave para o sucesso da próxima geração *ITS*, quando se considera a junção destes protocolos, surgem problemas a nível do espectro e partilha de informação. Como resposta a este problema surge um protocolo de comunicações: *D2D*. Pode-se definir este protocolo como ‘a comunicação entre dois usuários numa proximidade que usam uma ligação direta entre dois equipamentos de forma a ignorar’ a *base station (BS)* [13,19,20].

Como os utilizadores *D2D* utilizam bandas sem licença para as comunicações *D2D*, estas transmissões encontram-se maioritariamente *inband* de forma que estes mesmo utilizadores comunicam no mesmo espectro móvel que as estações base. A esquemática *inband* é classificada em duas categorias: *underlay inband* (em que as ligações *D2D* conseguem aceder ao espectro ocupado pelas redes móveis, podendo interferir com estas, ou seja, reutilizam os

blocos de recursos (*RBs – resource blocks*) que estão disponíveis aos utilizadores das redes móveis, sendo que estas continuam disponíveis para os utilizadores de redes móveis) e *overlay inband* (em que as comunicações *D2D* se sobrepõem aos *Rbs* dedicados) [19].

2.2.1 Comunicações V2V e V2I

Comunicações *V2I* designam as comunicações entre o veículo e uma infraestrutura que se encontre na própria estrada, como por exemplo portagens, sendo utilizado como principais tecnologias *DSRC* (baseadas no protocolo IEEE 802.11a, cuja normalização foi planeada para atuar em aplicações rodoviárias até um alcance de 1000m), redes infravermelhos e sem fios. Para além das tecnologias *DSRC* (*dedicated short range communication*) para permitir comunicações entre veículos ou entre veículos e infraestruturas, também protocolos bluetooth são utilizados, utilizando bandas de 2.4 Ghz, ao contrário dos *DSRC* que utilizam bandas de 5.9Ghz. No entanto os protocolos Bluetooth são apenas fiáveis até velocidades de 80 km/h e distâncias de até 80m, sendo que levam até 3 segundos até iniciar comunicação. Como este protocolo requer uma comunicação master-slave, muitas vezes o master ou pode estar a comunicar com outro slave ou recusar a comunicação [21]. Nos Sistemas inteligentes dos transportes, foi desenvolvido um sistema para definir um conjunto de protocolos de comunicação sem fios, o *CALM* (*Continuous Air Interface for Long and Medium Range*). Alguns tipos de sistemas/padrões suportados pelo *CALM*: comunicações infra-vermelhos, *GSM*, *GPRS*, *UMTS*, sistemas sem fios em bandas de 60 Ghz. Através da utilização de diferentes protocolos num mesmo sistema uniforme, promove uma maior flexibilidade e redundância melhorando assim o desempenho das aplicações [22]. Relativamente a comunicações *V2V*, retratam as comunicações entre os veículos, que dependem de *VANETS*, ou seja, aos próprios veículos são aplicadas tecnologias de controlo, sendo estes próprios uma rede. Exemplos destas tecnologias pode ser *platooning* em que os veículos seguem de perto outros veículos, recebendo informação a nível da aceleração e direção do veículo que seguem através de redes sem fios, ou sistemas de informação de tráfego, que através dos sistemas de navegação dos veículos comunicam possíveis obstáculos [21-25].

Comunicações *V2V* são ainda hoje consideradas o protocolo *ad hoc* para redes rodoviárias, sendo ainda um dos principais objetos de estudos nos tempos presentes, uma vez que comunicações *V2I*, já são desenvolvidas como soluções comerciais. Ao contrário das comunicações *V2I* que usam redes móveis nas suas aplicações, as comunicações *V2V* dependem apenas de *VANETS*, ou seja redes que não dependam de infraestruturas pré-

existentes. Num estudo, foi avaliada uma arquitetura de comunicação em que se unificam as comunicações *V2V* e *V2I* baseadas em redes móveis [26]. Para se efetuar esta experiência foi desenvolvido uma plataforma quer a nível de hardware e de software, tendo também sido desenvolvido um veículo. Foi desenvolvida uma infraestrutura de forma a estar nos lados da estrada para testar a arquitetura do sistema. O veículo foi desenvolvido com o propósito de ter tudo o que um carro normal tem, tendo sido acrescentado pelos fabricantes, preparações para a este se poder acrescentar sensores como um giroscópio, acelerómetro e *GPS*. Na rua foi implementado um servidor que transmitia para outro servidor que se encontrava no laboratório dos investigadores. Foi utilizado um transmissor de rede móvel no veículo, que permitisse conexão de dados *GPRS* e *UMTS* e dois portáteis para facilitar na propagação de mensagem. Foi implementado um determinado software no sistema *on-board (OSGI)* de forma a poderem-se instalar aplicações, fazer atualizações ou eliminar mediante as necessidades. Desenvolveu-se também um mediador para fazer a interação e conexão do próprio carro às redes *P2P* (cada nó da rede funciona tanto como cliente como servidor, de forma a permitir partilha de dados sem a utilização de um servidor central) criadas pelos veículos e dispositivos nas bermas da estrada. Foi ainda criada uma aplicação de segurança para testar a viabilidade da arquitetura de comunicação. O sistema foi testado numa zona fechada no Campus de Espinardo na faculdade de Murcia e numa autoestrada próxima [26].

A rede móvel foi usada na plataforma proposta devido ao facto de ser considerada a tecnologia existente de comunicação sem fios mais genérica. A parte inovadora deste projeto terá sido o próprio sistema desenvolvido (*JXTA*) para as comunicações *P2P*, que permite a propagação de mensagens entre veículos e entre as infraestruturas e os veículos em ambas as direções *uplink* e *downlink*. Estes testes demonstraram a viabilidade das soluções propostas, com um atraso entre mensagens de 800 ms tendo sido efetuados mais estudos nesta área [26].

2.2.2. Comunicações *D2D*

Foi estudado em 2015 pela primeira vez a viabilidade *D2D* para *ITS* baseado em ambos os recursos de *D2D* e a natureza das redes rodoviárias [27]. Foram propostos também novos métodos necessários de forma a tornarem a tecnologia *D2D* prática e vantajosa para *ITS*. Para estudarem a viabilidade do *D2D*, investigaram primeiro a viabilidade da integração *V2V* e *V2I* operando as ligações *V2V* como suporte às ligações *D2D*, sendo que primeiro providenciam uma visão geral de tecnologias *D2D* nas redes móveis. Depois destes primeiros passos

verificam os benefícios de *D2D* nas redes rodoviárias com as suas próprias características a nível de canais e distribuição de veículos, propondo assim um modelo *D2D* para os ambientes estudados, que inclui interferências nas coordenadas aproximadas, alocação de recursos baseado no posicionamento do veículo e um quadro de programação de transmissão explorando a cooperação entre os *RSUs* vizinhos. Os resultados finais deste projeto demonstram a viabilidade e potencial da tecnologia *D2D* como um capacitador de comunicações e interconexões. [27]

Durante o procedimento deste projeto (D2D for Intelligent Transportation Systems: a feasibility study) duas questões foram tomadas em consideração. Uma vez que é necessário saber se este modo de operação induz ou não algum ganho e quanto, a primeira questão é se se deve usar tecnologia *D2D* ou não. Os parâmetros a tomar em consideração para tomar uma decisão relativamente à questão anterior serão então as duas principais diferenças entre as redes rodoviárias e as redes móveis: a distribuição espacial entre os veículos poderá ser muito diferente da dos equipamentos utilizados na rede móvel, uma vez que a geometria das ruas condiciona a movimentação dos veículos; as características dos canais que proporcionam uma mobilidade superior aos veículos nas redes rodoviárias que aos peões nas redes móveis. A segunda questão passa pelo estabelecimento de quantas ligações *D2D* se devem ter, uma vez que a coexistência de múltiplas ligações *D2D* poderá introduzir interferências que poderão prejudicar a eficiência de espectro aquando do uso do modo *D2D* como suporte às comunicações [27].

2.2.3 Plataformas de prototipagem

Plataformas de prototipagem procuram converter o *input* (ordens/comandos) num sistema de hardware ou software específico. Portanto, a arquitetura do sistema real para ser emulada, o sistema como um todo, incluindo circuitos integrados de aplicação específica (ASIC) são 'rearranjados' a um ambiente programável de hardware que consiste em microprocessadores, memórias e diferentes módulos IP (FPGAs) [28-30].

No que diz respeito à arquitetura de uma plataforma, cada processador pode incluir uma memória que armazena as informações de ligação de uma rede lógica, uma memória de dados que armazena os valores lógicos e uma unidade que avalia funções lógicas. Ao longo da simulação, os processadores usam as informações armazenadas na memória para acederem e atualizar os valores dos sinais armazenados na memória de dados [29-31].

Uma rede de qualquer tipo com a capacidade de processamento pode estabelecer a comunicação entre vários dispositivos, permitindo a troca de dados entre os programas e sistemas. Ao longo dos anos, tem sido desenvolvido uma variedade de protocolos com base na: distância, consumo de energia, largura de banda, etc., de forma a otimizar os requisitos de cada rede. O protocolo WiFi tem sido utilizado em cenários de localização e mapeamento, bem como para a interligação de veículos robóticos, em que a intensidade do sinal recebido por um router é usada para estimar a posição do veículo [32-34].

2.3. Floating Car Data

Sistemas inteligentes de transporte visam incorporar todos os tipos de tecnologias que possibilitem a monitorização dos veículos e condições de tráfego, tal como suas consequências, propondo sistemas de comunicação entre eles. Ao longo dos anos foram efetuados muitos estudos e propostas, de forma a se encontrar os objetivos pretendidos pelos *ITS*. Sistemas de Visão, são uma dessas propostas, apresentando vantagens como fácil manutenção e grande flexibilidade no que diz respeito à monitorização de trânsito. Para estimar os parâmetros de tráfego desejáveis, os sistemas de Visão assentam sobretudo em três grandes parâmetros: deteção de veículo, rastreio e classificação. Para a maioria dos casos assume-se a câmara estática, detetando-se os veículos através de diferenciação das imagens [9].

Floating Car Data (FCD) surge como um método de recolha de dados em grande escala para definir a velocidade de fluidez do trânsito, conseguindo assimilar informação como localização, velocidade, direção e tempo. Esta informação pode ser retirada dos *smartphones* dos condutores, ou seja, é um método que necessita da conectividade dos *smartphones* ou outros sistemas de navegação como GPS (*GSM, CDMA, UMTS, GPRS*), não requerendo nenhum tipo de equipamento especial. As vantagens sobre os outros métodos incidem na oferta de maior cobertura nas redes de estradas, no facto de serem mais económicos que o uso de sensores/câmaras convencionais, serem mais flexível (não necessitando da construção de infraestruturas tanto nas cidades como nos veículos) [35-37].

Os sistemas *FCD* possibilita cálculos representativos de velocidades de condução típicos para dias da semana idênticos permitindo identificar possíveis ‘constrangimentos’ e serem usados na avaliação de gestões estratégicas [35-37].

É apresentado um estudo, semi-automático, dividido em 4 fases, que se baseia na recolha de dados não tratados do *FCD*, provenientes de um fornecedor de dados do trânsito. Na

primeira fase do desenvolvimento de um projeto, pretendia-se conseguir calcular a velocidade dos carros através da localização e da variação de tempo. Para isso através de um sistema de mensagem de tráfego (*TMC*), conseguiu-se georreferenciar o local em que o veículo se encontra (*Location-code-list*) numa base de dados, ou seja, em pequenos segmentos de estrada, guarda-se a localização e tempo. A segunda fase pretende a criação de um algoritmo de forma a identificar os segmentos de estrada a serem percorridos e direção. A terceira fase baseia-se nos tratamentos de dados de forma a dar significado aos dados analisados. A quarta e última fase pretende determinar um nível de calibração dos dados, ou seja, identificar os pontos de maior congestionamento de forma a fazer previsões para semanas inteiras [35].

O *FCD*, como foi possível verificar, permite criar padrões e estudar padrões de congestionamento. É realçada a dificuldade de tratamento dos dados para a criação de padrões, referindo o tamanho enorme da própria base de dados, tal como a complexidade e dinâmicas dos fenómenos de tráfego. É apresentado então um método de análise multidimensional baseado no ‘*data cube*’. Ao contrário dos métodos tradicionais que se baseiam em dados estatísticos de trânsito, é pretendido que o tratamento de dados se dê através de agregações de diferentes níveis/dimensões. Ao invés de se distribuir a informação em linhas e colunas, o ‘*data cube*’ organiza os dados tomando em atenção todos os possíveis cruzamentos dos mesmos, mediante hierarquias de agregação pré-estabelecidas. Um exemplo deste processo será: considerando uma base de dados histórica e multidimensional, ao dar-se uma dimensão particular (e.g., “volume”) e algumas dimensões de interesse (e.g., “localização”, “hora”, “dia”) o ‘*data cube*’ devolve todas as possíveis combinações das dimensões com respeito às dimensões de interesse, incluindo assim agregações de dimensão 0 (e.g. “ volume total”), uma dimensão (e.g. “ volume total por localização”, “volume total por horas”, “volume total por dia”), ou duas dimensões (e.g. “ volume total por dia e horas”) até n dimensões [38].

Um novo modelo de emissões desenvolvido para diversos segmentos de uma rede foi construído baseado nos comportamentos de condução dos condutores e modelos de emissões em “*Link-based emission model for eco routing*”. O estudo começa por fazer medições de tráfego em tempo real, obtendo informação sobre nível de congestionamento do trânsito, tempo de viagem, condições do piso do segmento de forma a utilizar estes dados para analisar o estado das estradas [39]. É procurado analisar as diferentes atividades de condução, assumindo que os padrões de condução, como variações de acelerações e velocidades, para além dos níveis de congestionamento têm um impacto fundamental nas emissões. Em conduções moderadas de congestionamento as acelerações têm mais influência e nas menos moderadas será a velocidade. Durante dois anos, para o desenvolvimento deste teste juntou-se mais de 200 horas de dados em tempo real. A segunda fase passa pela modelação do modelo de emissão em

estudo. Foram correlacionados os diversos dados de padrões de condução tendo em atenção valores anormais devido a erros de posicionamento GPS, filtrando assim todos os resultados que ‘fugissem’ das gamas de valores pré-estabelecidas/esperadas, sendo que muitas das vezes, o posicionamento GPS aparecia fora das rotas testadas, apresentando no entanto as direções corretas [39]. Para a caracterização dos padrões de condução foi utilizado o modelo VSP e o Engine Stress, sendo que os dados foram agrupados consoante os segmentos a que pertenciam (6 ao todo). Foi reconhecido pelos autores dificuldade em estudar todos os atributos possíveis num conjunto de dados, tendo sido analisados os tipos de estradas, comprimento, a largura, as taxas aplicadas e a velocidade média, sendo o algoritmo PART utilizado para classificar os segmentos (utiliza um algoritmo – C4.5 – para criar uma árvore de decisão, particionando o conjunto de amostras em subconjuntos, em que o atributo com maior ganho de informação normalizado é escolhido para tomar a decisão). O modelo desenvolvido tem uma eficácia moderada (tendo um erro de 20%) necessitando de mais trabalho para melhorar o seu desempenho. Segundo os autores a informação sobre a rede de estradas foi limitada sendo necessário mais atributos para relacionar os estados das estradas com os padrões de condução. São necessários modelos preditivos, de forma a fornecerem uma melhor opção de rota, não se baseando só nas presentes condições de tráfego mas nas futuras também [39].

2.4. Síntese conclusiva

Atendendo à revisão bibliográfica conclui-se que, embora tenha havido um forte desenvolvimento tecnológico, problemas legais e institucionais podem adiar a completa implementação destas aplicações. Alguns estudos demonstraram as melhores formas de como recolher dados ou sugerir a aplicação de modelos matemáticos para descrever conflitos de tráfego, geralmente nos cruzamentos. No entanto, há uma falta de pesquisa sobre a implementação de sistemas modulares, ou seja, com a possibilidade de imposição de regras, permitindo a leitura de quantidades maciças de dados processados. Há também uma falta de sistemas flexíveis para apoiar esta informação dinâmica e modelos matemáticos capazes de definir de forma fidedigna o que está a acontecer numa rota com ou sem informações de volume de tráfego e com o objetivo final de determinar o desempenho ao nível das emissões (CO₂ e de poluentes locais) em tempo real.

3. Metodologia e Métodos

Neste capítulo descreve-se a metodologia, bem como os métodos utilizados, de forma a cumprir os objetivos propostos para esta Dissertação. De forma a melhor compreender a metodologia de trabalho desta dissertação apresenta-se um cronograma (Tabela 2) e um fluxograma (Figura 9).

Tabela 1 - Distribuição de Tarefas

Tarefa	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
1	■	■								
2	■	■								
3			■	■	■	■				
4			■	■		■	■	■		
5								■	■	
6		■	■	■		■	■	■	■	■

Tarefa 1: Revisão Bibliográfica. O primeiro passo à concretização desta Dissertação passou pela leitura de documentos relativos a esta área, de forma a recolher-se o máximo de informação sólida e fidedigna.

Tarefa 2: Seleção da área de estudo. Esta fase paralela à leitura de documentos consistiu na preparação e escolha dos locais onde se farão estudos para aquisição de dados.

Tarefa 3: Medição de dinâmica e recolha de dados de tráfego. Aquisição de dados necessária para posteriormente serem tratados de forma a melhor compreender a dinâmica do tráfego e os relacionamentos entre os diversos tipos de informação de forma a criar a plataforma de prototipagem. Estas medições dividiram-se em duas fases: uma entre Abril e Maio e a segunda entre Junho e Julho.

Tarefa 4: Aplicação numérica correlacionando os dados de dinâmica e medidas de desempenho de tráfego.

Tarefa 5: Otimização e correção de erros das diversas funções desenvolvidas. O tratamento e estudo destes dados permitiu decidir a melhor maneira de relacionar estes dados de forma a se conseguir estruturar a criação da plataforma modular que se pretende.

Tarefa 6: Escrita da Dissertação e submissão de um artigo para uma conferência internacional de transportes.

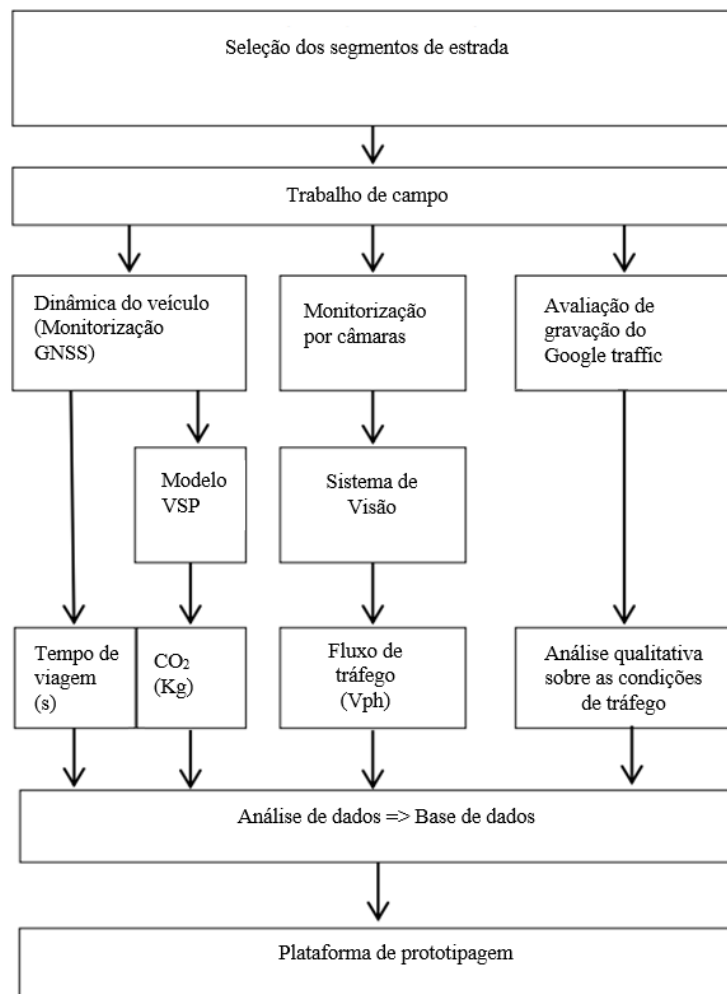


Figura 9- Visão geral da metodologia

3.1. Selecção da área de estudo

3.1.1. Caracterização dos trajetos e critérios de seleção

Tomou-se em linha de conta que para este projeto deveriam ser selecionados trajetos que permitam monitorizar diferentes características de tráfego, nomeadamente congestionamento e densidade.

Uma vez que o uso de *FCD* será recorrente para a análise de dados, é importante a divisão dos diversos trajetos em troços, uma vez que o comportamento dos veículos não é o mesmo ao longo de um trajeto. De forma a obter os dados dinâmicos essenciais para uma posterior análise, é necessário recorrer a critérios na seleção das vias, que garantam uma recolha coerente e fidedigna. Os critérios necessários a uma recolha de dados ideais assentam numa caracterização dos elementos constituintes do objeto de estudo e do que o rodeia. A escolha e definição dos trajetos, de forma a possibilitar a obtenção de um maior e variado número de dados, foi tida em conta, com base na premissa que o tipo de condução varia de condutor para condutor, dependendo deste o consumo e emissões do próprio veículo, ou seja, à maneira como o condutor reage a todas as ocorrências nas vias. Assim, a escolha dos trajetos recaiu nos seguintes critérios: seleção de trajetos com diferentes características ao nível da infraestrutura (capacidade, número de vias, tipo e função de via) e ao nível da variabilidade de procura (ocorrência de congestionamento) que associados a determinadas atividades nas zonas circundantes podem ter grande impacto na fluidez de trânsito, conseqüentemente, na emissão de poluentes e qualidade do ar. Estes parâmetros são quantificados através de informação recolhida durante a fase experimental de monitorização. De uma forma mais pormenorizada e com atenção ao facto da possibilidade da divisão dos trajetos em troços, uma vez que no mesmo trajeto podem existir zonas com características bastante distintas, os critérios caracterizadores dos projetos são os seguintes:

- Distância (não selecionar trajetos com mais de 1.5km de distância para uma maior recolha de dados e possibilidade de comparação e correlação dos mesmos);

- Tipo de atividade na zona:

- Comércio/serviços;

- Industrial;

- Residencial;

- Escolas;

- Residencial;
- Tipo de via;
- Limite de velocidade;
- Intersecções e semaforizações;
- Excesso de estacionamento, nomeadamente em 2ª fila;
- Densidade de peões;

Os testes realizados inserem-se num estudo piloto visando explorar novas metodologias para alocar diferentes atributos de desempenho de tráfego aos vários segmentos de uma rede. O objetivo final será usar posteriormente estes atributos (ex. velocidade, emissões) em algoritmos de otimização e de alocação de tráfego sustentável. Deste modo complementa-se à seleção destes trajetos, a divisão em vários segmentos da rede, (arcos conectando duas intersecções) de forma a adquirir os dados de forma mais eficiente e entender melhor todos os processos ocorrentes ao longo do trajeto. De forma a facilitar o processo de alocação de dados GPS aos vários segmentos de estrada, foi desenvolvido uma função em Matlab para fazer essa seleção de dados.

Foram necessárias duas câmaras para a avaliação dos trajetos. Uma encontrava-se dentro do veículo de forma a melhor identificar a dinâmica de fluidez de veículos ao longo dos percursos, verificando os diferentes pontos onde haja interferências no trânsito. A outra câmara esteve estática, encontrando-se em pontos de intersecção nos percursos de forma a se poder fazer contagem de veículos identificando assim variações no trajeto dos próprios (número de veículos que seguem na rota a ser estudada e número de veículos que saem dessa rota), comparando esses dados com os dados dinâmicos relativamente ao que acontece ao longo do percurso pré-determinado de forma a poder-se aferir o comportamento dinâmico no percurso a estudar.

Foi também usado um computador portátil, de forma a aceder e captar informação do *Google Traffic* durante o tempo de percurso, para se comparar os dados em tempo real do *Google* àqueles captados ao longo do trajeto. Apesar de se poder usar uma ferramenta fixa, como um desktop, optou-se por uma portátil para durante a concretização do trajeto se poder também verificar determinadas ocorrências e facilmente seleccionar e nomear os diversos acontecimentos, para melhor analisar os dados posteriormente. Como foi necessário acesso à rede web, utilizou-se um equipamento com acesso a uma rede móvel (*smartphone*) para

partilhar o acesso à rede com o portátil. Nos primeiros testes de campo foram necessárias quatro pessoas para concretizar o levantamento dos dados experimentais. Uma para conduzir o veículo, outra para levar o portátil e verificar as modificações nas ocorrências, uma para filmar com a câmara estática e outra para marcar os pontos de interesse no dispositivo GNSS. Nos segundos testes de campo, foram necessárias entre duas a três pessoas. Uma pessoa para filmar com a câmara estática e responsabilizar-se pelo portátil que captava as ocorrências pelo Google Traffic, e outra para conduzir marcando apenas os pontos de interesse no GNSS. Sempre que possível tentou-se ter um terceiro elemento para conduzir um segundo veículo de forma a incrementar o número de amostras, e comparar as variações entre condutores, possibilitando também obter mais dados relativamente à dinâmica da via num menor espaço de tempo. Praticou-se uma condução dentro dos limites do código da estrada, e acompanhando a fluidez de tráfego predominante.

3.1.2. Rotas selecionadas

Na figura 10 é demonstrado o mapa dos três percursos estudados.



A) trajeto N109



B) Trajeto Av. 25 de Abril



C) Trajeto Av. da Universidade

Figura 10 – Mapa dos percursos selecionados

O trajeto A foi selecionado essencialmente por se tratar de um troço da Nacional 109, que serve como circunvalação à cidade de Aveiro, encontrando-se nela uma das rotundas mais movimentadas da cidade. Esta rota foi dividida em 3 segmentos. O segmento de 1 a 2 (figura 10), caracterizado por uma difícil entrada na N109 por parte de quem vem de Esgueira, em que a entrada para a N109 coincide com a entrada da estação de combustível desse lado. O segmento de 2 a 3 representa a rotunda, onde muitas vezes ocorre congestionamento, sendo esta um dos principais pontos de entrada e saída da cidade. O segmento de 3 a 4 demonstra a saída da rotunda, representando o percurso inverso efetuado entre 1 e 2. O percurso Norte-Sul da N109 foi analisado com mais detalhe por causa da presença de mais flutuações nos níveis de congestionamento neste troço.

O trajeto B é uma rota urbana, com 2 vias, localizada no centro da cidade perto de duas escolas e áreas residenciais. Outro fator que levou à escolha desta rota foi por se localizar nesta rua uma estação de qualidade do ar, que permitirá futuros estudos de correlação entre as estatísticas de dinâmica de tráfego e concentração das emissões de poluentes no ar. Esta rota foi dividida em 2 segmentos, fazendo-se em cada, dois trajetos. De 1 para 2, faz-se o trajeto entre a rotunda da Sé de Aveiro e a primeira intersecção semaforizada que junto a uma das escolas secundárias. O segundo segmento começa nesses semáforos até a um cruzamento que se segue à segunda escola secundária. Este troço termina noutra intersecção com semáforos.

O trajeto C conecta a rotunda do Hospital de Aveiro até à N109. Neste percurso encontram-se as principais entradas para a Universidade de Aveiro, duas das principais saídas de Aveiro (acesso ao nó das pirâmides a norte e a Sul, a N109 e a N235), as duas entradas para o Hospital, um semáforo e uma estação de serviço. Apesar de ser uma artéria muito movimentada, ao longo dos vários testes, não se conseguiu tirar grandes conclusões relativamente aos dados, uma vez que não foi possível encontrar grande variação na fluidez de trânsito.

Após prévias circulações nas vias para definir um modelo de calibração de condução, definindo assim velocidades médias e tempos de viagem nos diferentes segmentos, em que o condutor não seria condicionado nem pelos semáforos, nem pelo trânsito, definiu-se as seguintes condições para os respetivos segmentos:

- Trajeto A – Rotunda: tempo de circulação na rotunda sem condicionamentos de 20 segundos a uma velocidade média de 35km/h, distância de 200 metros;

- Trajeto A – segmentos de reta ambas as direções: tempo de circulação sem condicionamentos de 35 segundos a uma velocidade média de 75km/h, distância de 750m;

- Trajeto B – segmento rotunda até escola José Estevão: tempo de circulação sem condicionamento de 25 segundos a uma velocidade média de 35 km/h, distância de 230m;

- Trajeto B – segmento de escola José Estevão até cruzamento a seguir à escola Dr. Mário Sacramento: tempo de circulação sem condicionamento de 60 segundos a uma velocidade média de 35km/h, distância de 550m;

- Trajeto C – Rota da Avenida da Universidade: tempo de circulação sem condicionamento de 120 segundos a uma velocidade média de 45km/h, distância de 1400m.

Em todas as rotas os testes foram feitos nas horas em que haveria potencialmente maior variação da fluidez de trânsito, sendo esses intervalos de tempo: 8:30 – 9:30; 12:30 – 13:30; 16:00-17:00; 18:00 – 19:00. Em todos os testes esteve bom tempo com céu limpo. Na tabela seguinte pode-se ver certas características das rotas. Na rota 1 foram efetuados 45 testes e uma distância total de 40.5 km; na rota 2 foram efetuadas 70 medições perfazendo um total de 59.5 km; na rota 3 efetuaram-se 34 medições perfazendo um total de 47.6 km. Relativamente ao tempo de filmagens, na Rota 1 obteve-se um total de 150 minutos de filmagem tal como na Rota 2. Na Rota 3 obteve-se um total de 100 minutos de filmagens. A tabela 2 descreve as características fundamentais de cada troço, nº de viagens e ambiente envolvente.

Tabela 2 - Descrição das vias

Rotas	Comprimento(m)	Tipo de estrada	Nº de vias	Interseções	Qmax (vph)	Q (vph)	Dados Google Traffic	Nº de viagens	Ambiente envolvente
Rota1	900m	Nacional	4	2 rotundas 3 interseções	2880	1218	Sim	45	2 estações de combustível
Rota2	850m	Estrada urbana	2	1 rotunda, 2 interseções, 2 sinais luminosos,	1582	1068	Não	70	2 escolas secundárias, 2 sinais luminosos,4 paragens de autocarros, 6 passadeiras
Rota3	1400m	Avenida Urbana	4	1 rotunda, 3 interseções	779	577	Sim	34	1 Universidade, 1 Hospital, 2 1 estação de combustível, 1 sinal luminoso

3.2. Monitorização experimental

Relativamente à aquisição de dados, o primeiro passo a tomar foi a seleção da área de estudo e a configuração da rede a simular para o estudo piloto. O segundo passo inclui todas as tarefas relacionadas com as condições de monitorização de tráfego. O objetivo desta tarefa passa por obter um conjunto de resultados e correlações preliminares (volumes de tráfego, dinâmica dos veículos, emissões) para incluir na base de dados que alimentará a plataforma de prototipagem. Os dados de tempo de viagem foram retirados diretamente de um Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS). Neste trabalho como se pretende obter dados com informação limitada, não se optou pela utilização de um OBD (On-Board Diagnostic). Os volumes de tráfego foram obtidos a partir de filmagens aplicando um sistema de visão para contagem de veículos. Adicionalmente foram testados serviços de dados alternativos como indicadores complementares para prever o desempenho de tráfego e emissões de dióxido de carbono (CO₂) nos segmentos de rede estudados. Neste contexto foi desenvolvido um algoritmo para gravar informação qualitativa de tráfego fornecida pelo Google *maps* com uma frequência de um minuto durante os testes práticos.

O desenvolvimento da plataforma de prototipagem foi feito de forma paralela a todos os procedimentos executados ao longo desta dissertação.

3.2.1. GNSS

Para se conseguir obter dados dinâmicos é indispensável a utilização de um Dispositivo recetor de *GNSS* uma vez que este tem a capacidade de gravar velocidades e localizações segundo a segundo, como também permite visualizar o posicionamento atual. Mediante o software a utilizar, este dispositivo instalado no veículo também permite a visualização das coordenadas e de todos os pontos demais gravados para análise.

O dispositivo utilizado foi o BT-Q1000XT da Qstarz.



Figura 11 - BT-Q1000XT

A tabela 3 demonstra algumas das especificações do dispositivo utilizado.

Tabela 3 - Algumas especificações do dispositivo

Altitude	<18000
Velocidade	<515 m/s
Aceleração	<4 m/s
Frequência	1 Hz (pode ir de 1 a 5 Hz)
Erro	Máximo de 60 metros

3.2.2. Câmaras

Para a análise de dados dinâmicos foi considerado relevante o uso de uma câmara de filmar. A necessidade do uso de uma câmara durante a condução traduz-se no facto de comparar a densidade de veículos a utilizar a via ao longo dos percursos escolhidos, e para ajudar a entender pontos de maior congestionamento, registados pelo equipamento recetor de GNSS. Serviu também como registo ótico das viagens de forma a poder entender e comparar todos os acontecimentos e fatores relacionados aos ambientes de maior congestionamento.

Como elemento complementar a esta dissertação, é interessante o uso de uma câmara estática para contagem de veículos num determinado número de nós, para associado aos outros dados recolhidos conseguir-se estabelecer uma possível relação entre os dados de dinâmica, emissões e o volume de tráfego

3.3. Processamento de dados

3.3.1. Sistema de Visão

De forma complementar ao estudo e devido à falta de equipamentos de monitorização de tráfego, foi desenvolvida uma solução de baixo custo para fornecer informações sobre o nível de tráfego em tempo real. Este sistema serviu somente para dar apoio na monitorização de tráfego, não necessitando de grandes capacidades de processamento sendo que deve ser terminado e aprimorado posteriormente a esta dissertação, de forma a complementar-se ao sistema de gestão de informação dinâmica. A contagem de veículos em duas rotas foi efetuada com o suporte deste sistema, sendo que numa das rotas, a rota da Av. 25 Abril optou-se por uma contagem manual, uma vez que não foi possível colocar a câmara num local adequado. Na avenida da Universidade, dada a sobreposição de veículos (mau posicionamento da câmara) também a contagem teve de ser efetuada de forma manual, uma vez que o erro na contagem de veículos era grande. É importante aferir a importância do posicionamento da câmara para uma boa contagem de veículos. A mudança das condições de luminosidade também provaram ser um desafio a um bom funcionamento do sistema de Visão. Relativamente à contagem na N109, o erro de contagem variou entre o 1% e os 5% mediante o posicionamento da câmara (esse erro deve-se sobretudo à maneira como a câmara captava a sobreposição de veículos mediante o seu posicionamento).

O código do Sistema de Visão possui a seguinte lógica de funcionamento:

1) Leitura de vídeo.

2) Ciclo "while" processa a leitura do vídeo, binarização das imagens e a contagem de veículos. Esse ciclo só pára quando o vídeo termina, ou se parado manualmente.

3) Dentro do ciclo 'while' começa a etapa de computação de resposta dos sistemas dinâmicos. De seguida é 'escrita' uma imagem de cada etapa num arquivo predefinido. A imagem é lida no formato binário (0 e 1) passando de seguida a tons de cinza e aplicando um filtro de média.

4) Binarização da imagem. É feita através de um algoritmo que usa uma escala em cinza apresentada no histograma desejado para equilibrar a imagem binarizada.

5) Início do processo de contagem de veículos. É feita a leitura de uma imagem previamente binarizada e sem tráfego da rota pretendida, que será 'lida' no formato binário, Esta imagem será constantemente comparada com cada figura binarizado do vídeo.

6) Criação de uma nova imagem baseada em 5) com o que não é comum a ambas as imagens. Valores acima de 1, que significam igualdade de pontos nas imagens adicionadas, são forçados a zero. Valores abaixo de 1 também são forçados a ir a zero, deixando apenas os valores iguais a 1 - pixels que não são comuns para as imagens.

7) Sequência de funções para a limpeza do ruído na imagem.

8) Contagem de veículos. Uma área em que a imagem vai ser analisada, por exemplo, a cada segundo, é definida. Se a soma de pixels brancos nesta área é maior do que o estabelecido, um veículo é contabilizado, caso contrário, não é. Prevê-se uma característica que diferencia a passagem de um veículo em andamento de um veículo estacionário (exemplo congestionamento).

9) Contador para reinício do ciclo.

Saliente-se que o algoritmo ainda carece de desenvolvimento futuro, nomeadamente no que diz respeito à diferenciação do tipo de veículos. Necessita ainda de alguns aperfeiçoamentos relacionados com mudanças drásticas nas condições de iluminação.

3.3.2. Correlação do volume de tráfego com o tempo de viagem

Durante os ensaios, foi notado que a diferença entre os tempos de cada viagem, muitas das vezes não dependia do volume de tráfego. Existem diversos fatores ao longo das faixas de rodagem, que variam mediante os próprios locais (veículos estacionados, paragens de autocarros, acidentes, peões a atravessar a via, semáforos etc). Um dos motivos pelo qual se repetiram os ensaios, foi o facto de uma das viagens não ter sido executada pelo mesmo condutor que havia executado as outras. Relativamente ao volume de tráfego não existiam quase diferenças nenhuma, no entanto os restantes dados recolhidos apresentavam diferenças significativas. Esta variação de dados entre condutores não seria de todo determinante, se nesta fase não fosse preciso validar e testar certos pressupostos, podendo levar assim a conclusões falaciosas. Foi necessário repetir os ensaios e tomou-se a decisão de sempre que possível existir mais que um condutor a realizar o mesmo trajeto às mesmas horas, pois para além de se manter o mesmo condutor nas diferentes rotas, consegue-se comparar diferentes tipos de dados, permitindo uma afinação das ferramentas desenvolvidas para os diferentes casos. As figuras 12 a figura 14 demonstram regressões lineares de alguns testes efetuados, entre o volume de tráfego e o tempo de viagem.

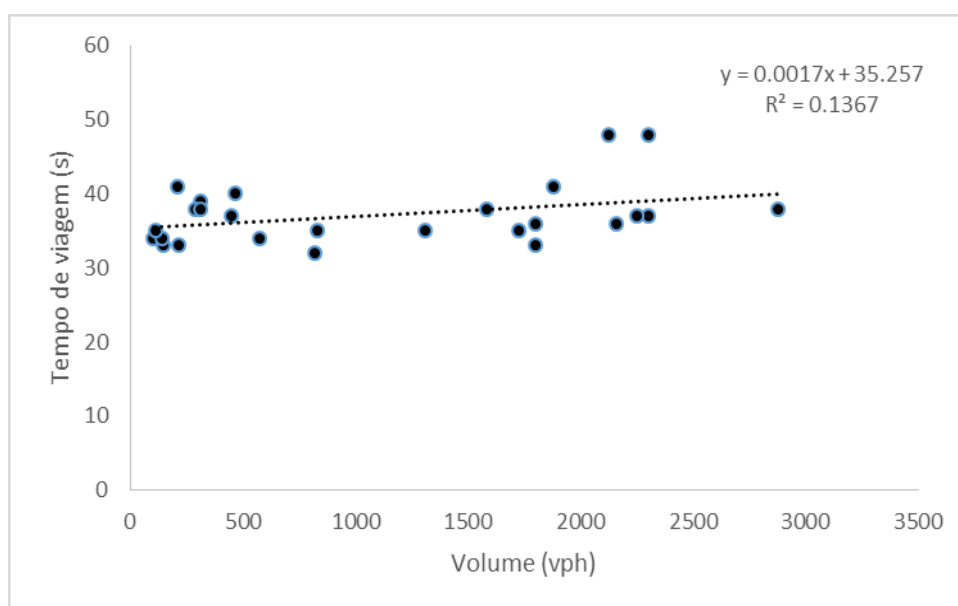


Figura 12 - Relação linear na Rota 1 (segmento direção Sul-Norte, 750m)

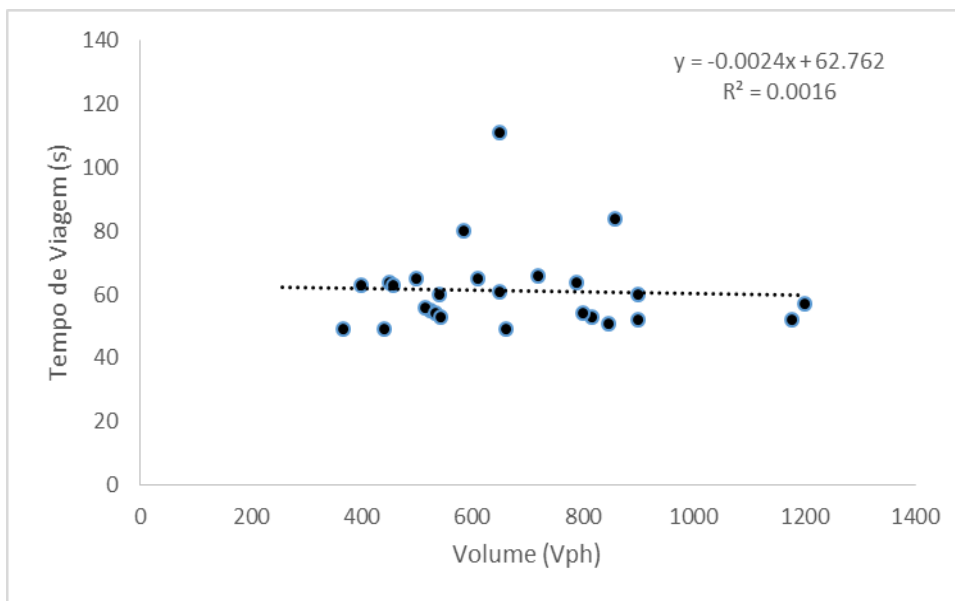


Figura 13 - Relação linear na Rota 2

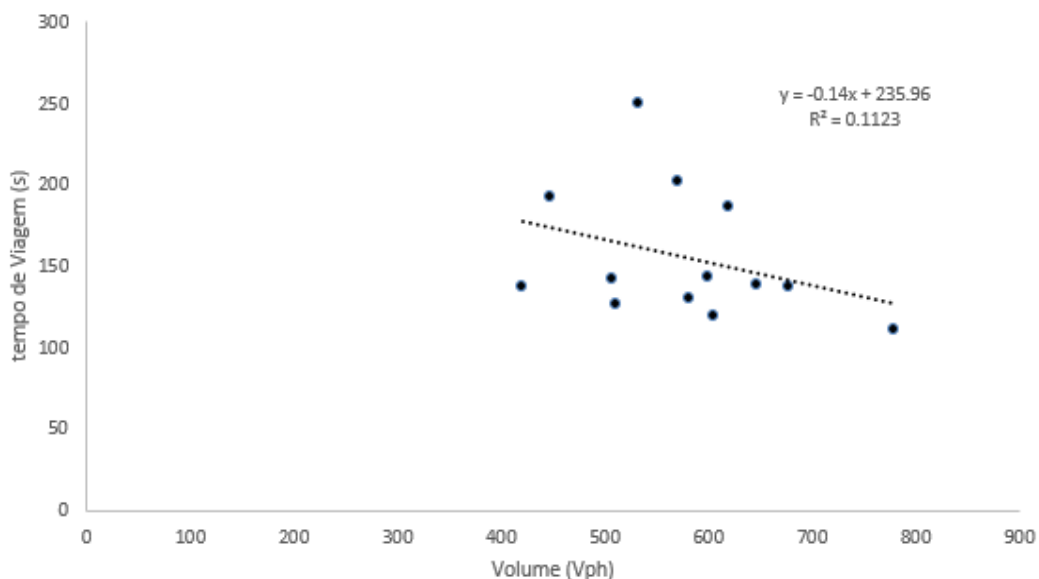


Figura 14 - Relação linear na Rota 3

Foi com base nestes dados que se começou a dar uma maior importância ao tipo de condução de cada condutor. Torna-se de extrema relevância que para o desenvolvimento deste sistema de tratamento de informação em tempo real, se tome considerações para a construção de um sistema modular não só no sentido físico de construção ou programação, mas também de análise de dados. É necessário desenvolver outras funções independentes e complementares à

monitorização de veículos. Foi com essa ideia em mente, que se analisaram vários tipos de dados exaustivamente e se desenvolveram determinadas equações de forma a conseguir-se ter informação, relativamente aos acontecimentos que decorrem nos segmentos de estrada e conseguir atribuir e distinguir as causas responsáveis aos dados que serão obtidos e visualizados de forma a mais fácil e corretas serem as tomadas de decisões (ficando subentendido que também o próprio sistema terá de suportar esse tipo de informação relativamente à atribuição de causas e tomadas de decisão).

3.3.3. Equação de Fluidez

A futura Base de Dados a incluir na plataforma de prototipagem deverá ter incorporado um conjunto de funções, capaz de descrever o estado do tráfego, a fim de prever possíveis causas de congestionamento, determinar o grau de fluidez de trânsito e possíveis causas para a sua variação e propor sistemas avançados de gestão do tráfego (ATMS). Neste ensaio piloto, uma equação para definir as condições de fluidez de tráfego existentes foi desenvolvida (Eq. 1). O propósito desta equação é permitir uma comparação com os resultados apresentados pelo *Google Traffic* e também para servir como um objeto adicional para explorar possíveis relações com as distribuições VSP (recolhidas a partir de FCD) com as emissões em vários níveis de congestionamento. Este indicador pode também ser utilizado quando, por razões de perda de sinal do GNSS ou falha de transmissão de dados, não pode ser utilizado o perfil completo de velocidade (por exemplo a cada segundo).

$$X = \ln\left(\frac{\Delta T}{\Delta Tr}\right) \times \left(\frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\text{med}}}\right)$$

Equação 1 - Fluidez de trânsito

As variáveis presentes na equação 1 são:

- X: é adimensional e quantifica o nível de fluidez de tráfego. Se for negativo, isto significa que a secção apresenta uma velocidade mais baixa do que a fluidez de tráfego em condições de escoamento livre. Se positivo significa que o condutor andou em excesso de velocidade, pois levou menos tempo a percorrer o percurso que o suposto respeitando os limites de velocidade impostos. No caso de valores entre 0 e -0.7, a fluidez de tráfego é lenta, no entanto, não representa grandes atrasos na via, muito menos possibilidades de

congestionamentos. Para valores iguais a -1.5 o tempo de viagem pode ser 2 vezes maior comparado ao tempo de viagem em condições de fluidez livre. Os valores positivos não serão considerados, pois valores acima de 0.2 significam que o veículo está em excesso de velocidade.

- $\ln\left(\frac{\Delta T}{\Delta T_r}\right)$: Esta parte da função fornece o sinal positivo ou negativo da mesma. ΔT é o tempo que um veículo leva para cobrir uma secção específica em condições de fluidez livre. ΔT_r é o tempo real que o veículo leva para cobrir o segmento de estrada. No caso de o denominador ser maior que o numerador (o veículo leva mais tempo), um valor negativo para o resultado da função será atribuído. Este logaritmo também serve para limitar os valores da função entre 0 e 1,5 (positivo ou negativo) e para determinar os valores superiores a 1,5 - casos extremos de congestionamento de tráfego;

- $\left(\frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\text{med}}}\right)$: Relaciona a velocidade máxima (V_{\max}) alcançada numa rota com a velocidade mínima (V_{\min}) e a velocidade média (V_{med}). Esta relação serve para definir um intervalo de valores, de forma a incrementar a percepção das condições de tráfego. Neste caso, os valores, tipicamente, variam de 0 a 12, existindo portanto, a necessidade de ter de limitar a gama de valores para atribuir significado.

3.3.4. Equação de Identificação de nível de Congestionamento

Apesar da equação de fluidez apresentada no capítulo anterior, esta não tem a capacidade de definir se a variação de fluidez se deve a um maior volume de veículos ou não, ou seja equação é dependente do tempo e da velocidade mas não do volume de tráfego. Como se pode ver nas seguintes figuras que representam alguns testes efetuados a equação da variação de fluidez não aparenta estar correlacionada com o volume.

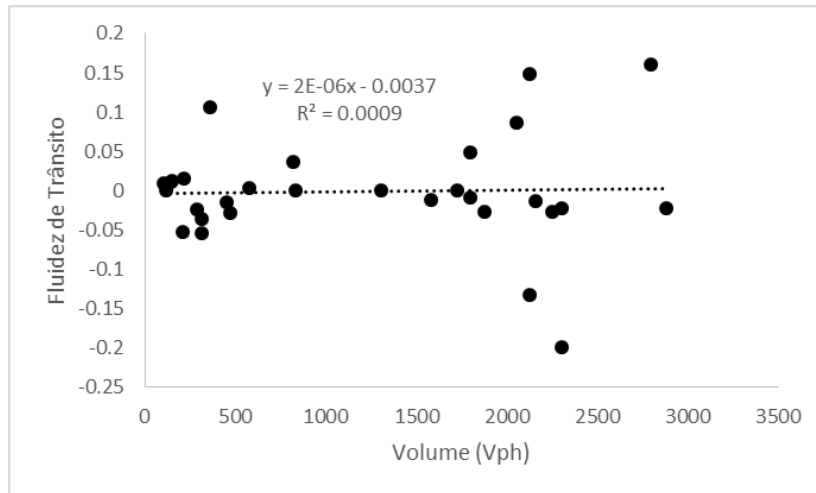


Figura 15 - Relação Linear Rota 1

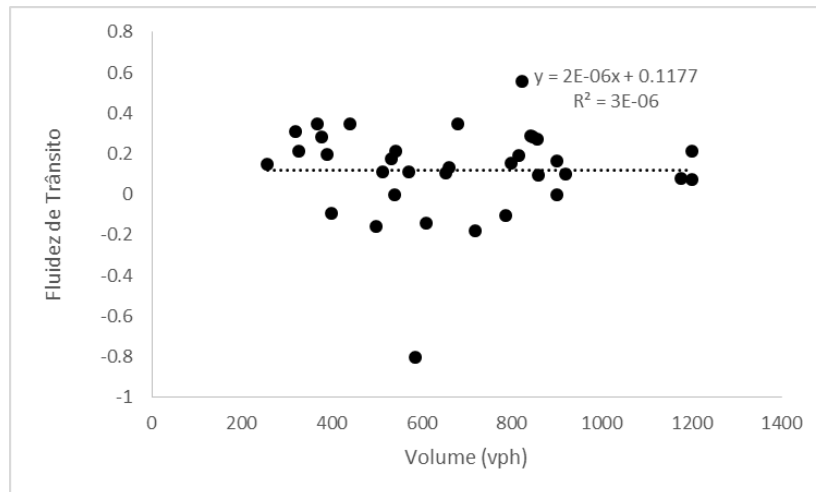


Figura 16 - Relação linear rota 2

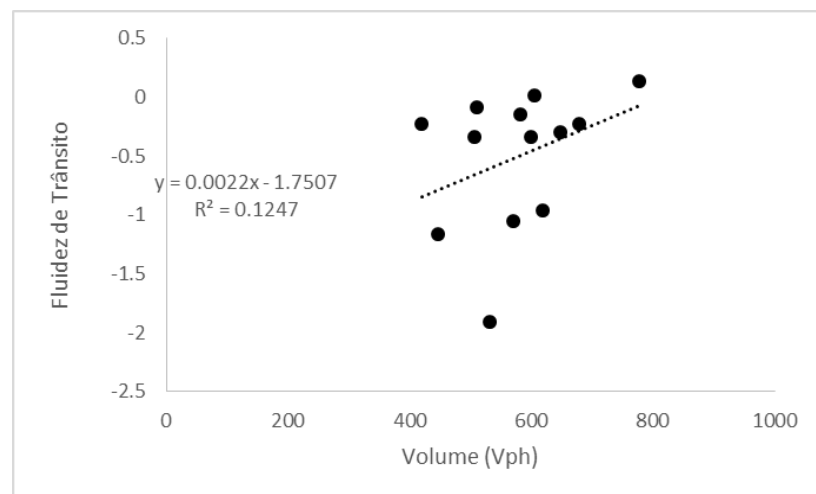


Figura 17 - Relação linear Rota 3

Apesar de se ser possível definir a fluidez, não é possível ainda identificar a existência de tráfego. Efetivamente o tempo de viagem pode ser condicionado por factores como o estilo de condução de cada condutor, como outras condicionantes próprias de cada segmento de estrada, como semáforos, passadeiras ou intersecções. No entanto, a localização das câmaras será um motivo também para a relação não linear entre as variáveis previamente referidas (fluidez e tempo de viagem). Apesar da selecção dos locais ter sido feita com o cuidado de conseguir obter o máximo de informação dos segmentos de estrada, a realidade é que as câmaras só conseguem visualizar os veículos nos próprios locais, ou seja, o cálculo de volume só prevê um 'IN' e um 'OUT' do segmento, não considerando outras alterações à fluidez durante cada segmento (semáforos, outras intersecções, veículos estacionados, passadeiras). Tendo em consideração a futura criação de um sistema genérico de informação para mobilidade inteligente, não é viável a instalação de câmaras em todos os sítios possíveis para monitorizar trânsito, quer por questões de logística, financiamento e invasão de privacidade. Realça-se mais uma vez a necessidade da criação de funções independentes para este sistema, de forma a ser possível tratar dados heurísticos, com vista à obtenção de resultados o mais próximos à realidade. Foi desenvolvida a equação 2 para identificação de trânsito em que:

- IC: Identificação de congestionamento, dando como resultado valores entre 0 e 1;
- Vmax: Velocidade máxima;
- Vmin: Velocidade mínima;
- Vmed: Velocidade média.

$$IC = \frac{V_{\max} - V_{\text{med}}}{V_{\max} - V_{\min}}$$

Equação 2 - Identificação de Trânsito

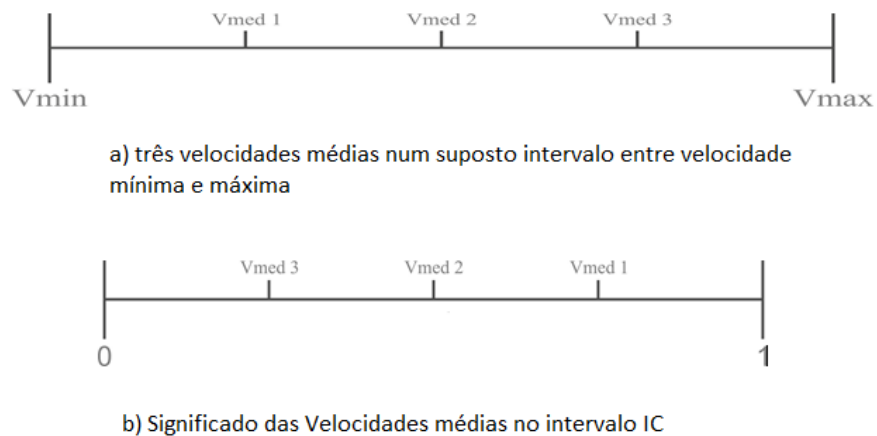


Figura 18 - Intervalo linear entre V_{min} e V_{max} e intervalo linear entre valores de IC

Interpretando IC, valores mais próximos a 1, tendem a significar que no segmento de estrada estudado terão sido praticadas velocidades mais baixas, ou seja, maiores interrupções na condução enquanto valores próximos a zero, velocidades mais altas com menores interrupções foram praticadas. É reconhecido pelo autor que mais testes devem ser feitos com a utilização desta equação, principalmente testes em tempo real, uma vez que ainda não se conseguiu atribuir significado a todas as variações de intervalos desta equação. No entanto, através da interligação desta equação à equação de fluidez, determinados eventos foram notados:

- Valores de fluidez entre 0 e -0.3:

- Valores de IC tendem a indicar que apesar de a velocidade média ser próxima à velocidade mínima ou máxima, a velocidade mínima foi elevada, ou seja para além de fluidez ser próximo ao ideal, sem trânsito, a viagem terá sido sem interrupções. Os dados de volume de tráfego captado pelas câmaras também são baixos para estes casos.

- Valores de fluidez entre -0.3 e -0.7

- De uma forma geral existe um aumento no volume de tráfego. A variação de valores de IC traduz o mesmo que para valores entre 0 e -0.3. No intervalo de -0.3 a -0.7 notou-se, que a variação de IC é mais influenciada pelas alterações nas velocidades mínimas praticadas que as médias. O aumento ou diminuição de IC, nestes intervalos, retrata principalmente mudanças nas velocidades mínimas praticadas pelo condutor, sendo estas acima de 2 m/s. Como também se pode comprovar pelo volume, estas variações advém

essencialmente ou do tipo de condução do condutor, ou delimitações impostas pelo tráfego circundante, uma vez que o veículo nunca para, não existindo ainda assim casos de congestionamento.

- Valores de fluidez entre -0.7 e -1

- A velocidade mínima continua a ser a mais afetada. Valores de IC maiores que 0.46 demonstram que a condução é delimitada pelo tráfego envolvente, não havendo casos de congestionamento.

-Valores de fluidez menores que -1

- Neste intervalo, a Velocidade máxima começa a ser a mais afetada. Apesar de se necessitar de mais dados para estes valores foi possível notar o seguinte:

- Intervalos de fluidez entre -1 e -1.3, valores de IC maiores que 0.43 são fortes indicadores de presença de tráfego;

- Intervalos de fluidez menores que -1.3, valores de IC maiores que 0.39 são indicadores de presença de tráfego e congestionamento.

É necessário ainda definir melhor os valores de IC e a sua interligação com a equação de fluidez e os volumes captados na câmara, no entanto, na grande maioria dos casos estudados, foi possível comprovar estes acontecimentos.

3.4. Cálculo de Emissões

Foi utilizado um modelo microscópico de emissões com base na potência específica do veículo (VSP). Este modelo reflete a comparação dos diversos comportamentos de condução no consumo de combustível e emissões de veículos (CO₂, CO, NO_x e HC). É um modelo que tem provado ser muito eficaz, tanto no cálculo das emissões de veículos ligeiros a gasolina como carros a diesel. Os valores de VSP (tipicamente variando de -2 a mais de 39 kW / ton) representam a potência necessária para o motor com base na inclinação da estrada, a aerodinâmica, a energia cinética e a fricção ao movimento. Períodos de emissões elevadas são visíveis durante os tempos

em que ocorrem elevadas acelerações e/ou velocidades, ocorrendo em períodos de tempo muito curtos.

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

Equação 3 - Cálculo VSP

- VSP = Potência específica do veículo (kW/ton);

-v= Velocidade instantânea (m/s)

-a = Aceleração instantânea (m/s²)

-grade = inclinação instantânea da estrada (±%)

Numa segunda etapa, os valores VSP foram categorizados em 14 modos com um fator de emissão específico para o CO₂, CO, NOx e emissões de hidrocarbonetos (HC). Em seguida, o número de segundos gastos em cada modo VSP foi multiplicado pela respetiva taxa de emissão modal e soma-se todos os modos, para obter as emissões totais (eq. 4) [40,41].

$$RE_i = \sum_{j=1}^{14} EF_{ij} \times t_{ij}$$

Equação 4 - total emissões do poluente

Onde:

RE_i = Total das emissões do poluente i gerado em cada teste (g);

EF_{ij} = Fator de emissão para a fonte de poluente i (NOx, CO₂, CO, HC) para o modo VSP j (1, 2, 3 ... 14) (g / s);

T_{ij} = Tempo gasto no modo VSP j em cada série (s).

Após análise e tratamento dos dados, para cada trajeto é esperado conseguir-se estabelecer perfis de [Velocidade|Aceleração]/Emissões de Poluentes, como estabelecer as relações de congestionamento nos diferentes percursos e diferentes horas do percurso ao relacionar as velocidades médias registadas, tempo dos percursos, consumos e emissões.

3.4.1. Metodologia VSP – Agrupamento de modos VSP

Com base no capítulo anterior, é importante referir que cada VSP é calculado segundo a segundo, sendo que as correspondentes taxas de emissões e consumos de combustíveis estão categorizadas em 14 modos, como se poderá ver na tabela seguinte.

Tabela 4 - Modos VSP (Fonte: NCSU,2002)

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

Pelo que se pôde visualizar durante os ensaios, e segundo os ensaios realizados na dissertação de Almeida et al (2010), até ao modo VSP2, são retratados valores típicos de desacelerações ou de percursos em descida, sendo que o modo VSP3 representa as emissões em situações de paragem ou velocidade constante. Os primeiros dois modos, para veículos a gasolina apresentam taxas de emissão superiores individualmente relativamente ao modo VSP3, sendo que nos veículos a gasóleo são menores, como se poderá ver nas tabelas das emissões demonstradas em anexo (sendo que no caso do CO₂, NO_x e HCs, os modos VSP1 e VSP2 apresentam em conjunto valores superiores ao modo VSP3). De um modo geral valores para os modos VSP4 e superiores tendem a indicar valores linearmente crescentes de VSP [42].

Analisando as taxas modais ao longo dos 14 modos e prevendo a construção do sistema genérico de informação, é de notar que para trabalhar os diversos tipos de dados, com base em 14 modos de distribuição pode levar a um sistema mais pesado e a um elevado volume de informação, principalmente para uma fase inicial de projeto.

Tomando em atenção as análises previamente efetuadas relativamente aos modos VSP, e por observações efetuadas durante os ensaios, foi decidido agrupar os modos VSP em 3 tipos: VSP1 a VSP3; VSP4 a VSP6 e modos superiores a VSP7. As próximas 2 figuras demonstram as taxas de emissão média modal para os 4 tipos de emissões após agregação dos modos VSP.

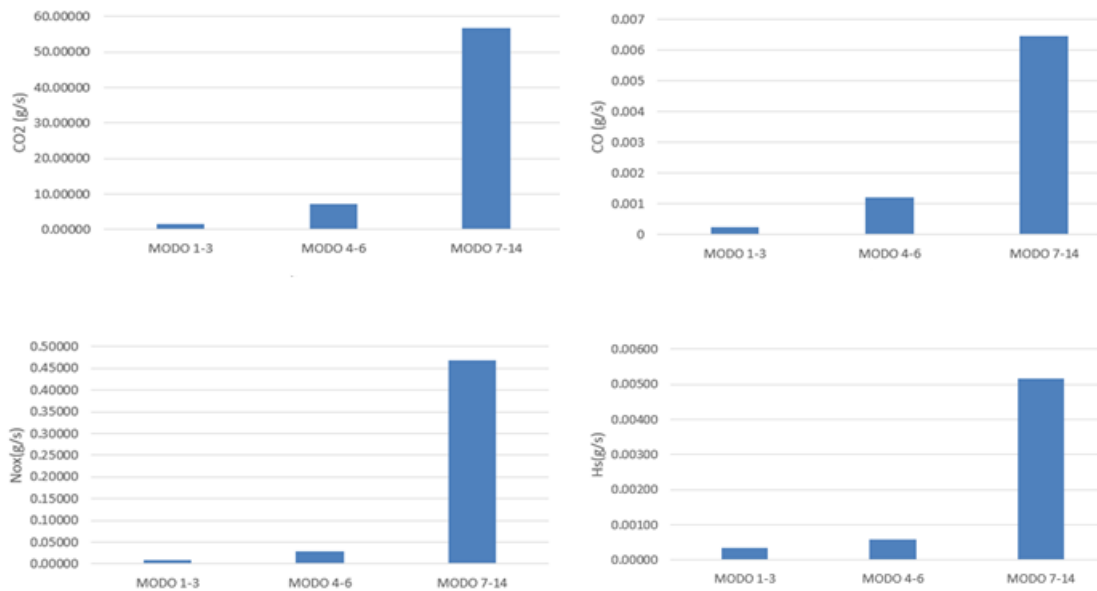


Figura 19 - Taxas de emissão média modal para emissões CO₂, CO, NO_x e HC após agregação dos modos VSP para veículos a gasóleo

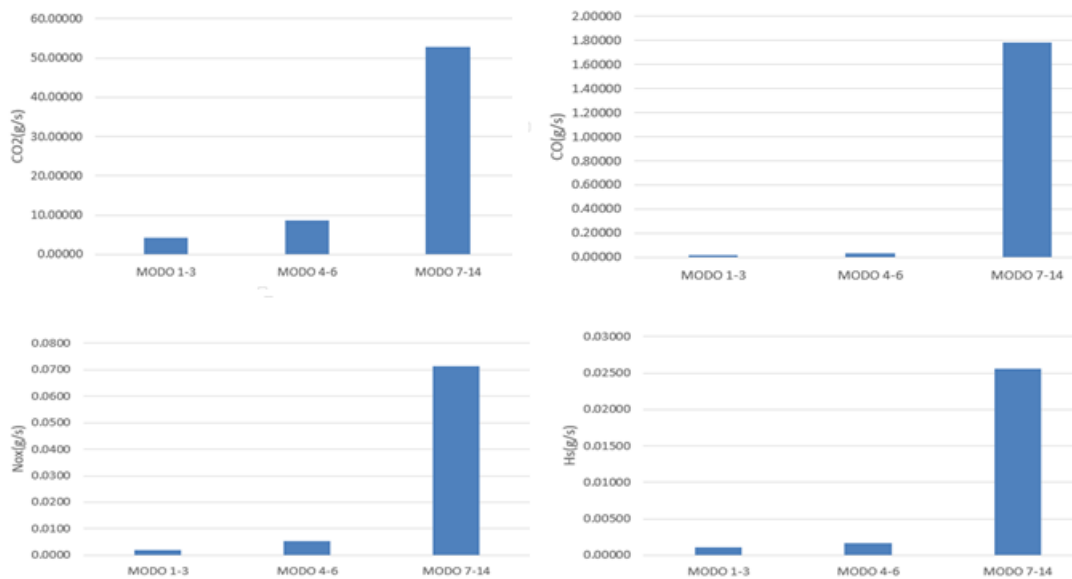


Figura 20 - Taxas de emissão média modal para emissões CO₂, CO, NO_x e HC após agregação dos modos VSP para veículos a gasolina

É possível verificar que a variação da taxa de emissão média para os 4 tipos de emissões e dois tipos de combustíveis, tem o mesmo tipo de variação nos modos agrupados como nos 14 modos. Pode-se aferir o seguinte:

- Desde o modo VSP1 até o modo VSP3, são representadas situações de desacelerações, acelerações e situações STOP&GO em singularidades de tráfego, como cruzamentos, rotundas, engarrafamentos etc;

- Desde o modo VSP4 até o modo VSP6 são representadas essencialmente situações de condução em que o veículo leva para chegar à sua velocidade cruzeiro, incluindo acelerações suaves ou desacelerações suaves (como largar o pé do acelerador em vez de travar);

- Modos VSP superiores ao modo VSP7 correspondem às maiores e mais fortes acelerações geralmente em velocidades acima de 7 m/s.

Existem dois motivos principais para a agregação dos modos VSP, sendo esses a diminuição de dados a tratar sem pôr em causa a informação obtida após processamento dos mesmos, e através desta metodologia, conseguir ter mais um meio de identificação no segmento de estrada a analisar causas de possíveis congestionamento e em que parte do segmento.

4. Discussão e Resultados

O principal objetivo desta experiência piloto foi identificar as variáveis-chave para o desenvolvimento de funções avançadas de desempenho baseado nos diferentes segmentos para caracterizar o desempenho ambiental e de tráfego da rede rodoviária.

Neste capítulo, os dados a serem analisados são a distribuição de modos VSP, o nível de congestionamento, velocidade média, tempo de viagem e emissões de CO₂ e NO_x.

4.1. Emissões e Distribuição VSP

O gráfico apresentado na Figura 3 relaciona as emissões de CO₂ para os veículos a diesel e gasolina com os Modos VSP. Os valores apresentados representam a média de cada variável para cada teste.

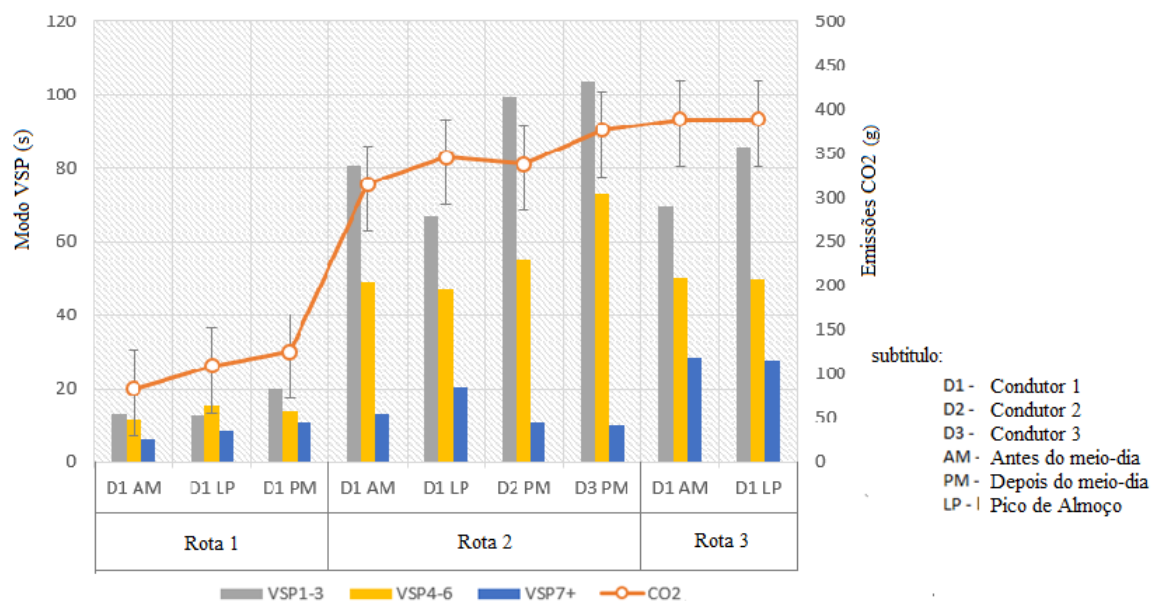


Figura 21 - comparação entre emissões de CO₂ e tempo despendido nas agregações VSP para veículos a gasolina e respetivo erro padrão

Como foi referido anteriormente os modos VSP foram agregados em três grupos: o somatório do tempo despendido de VSP1 para VSP3, de VSP4 para VSP6 e de VSP7 a VSP14. É importante referir a diferença de distâncias entre as rotas, uma vez que estas podem afetar os

valores quer dos agregados VSP, mas sobretudo das emissões pois com uma distância maior, mais tempo o veículo circula (assumindo as mesmas velocidades) e mais emissões ocorrem.

Comparando a rota2 (avenida 25 Abril) e a rota 3 (avenida da universidade), é possível reparar na influência que a agregação de modos VSP7-VSP14 tem, tal como observado nos gráficos das taxas modais apresentadas anteriormente. É possível notar emissões de CO₂ semelhantes entre a rota 3 e rota 2, sendo que no caso da rota 3 terá sido o tempo que o condutor despendeu nos modos VSP7-VSP14, os maiores responsáveis por estas emissões, enquanto na rota 2, as emissões terão sido mais influenciadas pelo tempo despendido entre VSP1-VSP3. Comparando D3 PM da rota 2 e D1 LP por exemplo, é perceptível que no caso do primeiro, o condutor passou mais tempo em situações de STOP&GO, sendo demonstrado o contrário no segundo caso, em que o condutor passou mais tempo a praticar velocidades superiores. É possível reparar uma fluidez de tráfego mais lento na rota 2 de uma forma geral ao longo de todos os testes efetuados que na rota 3.

De uma forma semelhante, a rota 2 (D1LP) teve emissões de CO₂ mais elevadas do que D1AM. Embora D1AM apresente uma fluidez de tráfego mais lento, durante o período da manhã o condutor mostrou um comportamento mais suave de condução, quando comparado com D1LP que apresentou uma condução mais agressiva (agregado VSP7-VSP14 maior demonstrando mais uma vez a influência deste agregado de modos VSP nas emissões). Comparando D2PM e D3 PM (rota 2), testes efetuados no mesmo espaço temporal por condutores diferentes, não há diferenças estatisticamente significativas, tirando o tempo passado nos primeiros dois agregados VSP, que influenciaram as emissões VSP. Fora do ambiente urbano da estrada, as emissões de CO₂ tendem a ser menores, como resultado de menos congestionamento e inexistência de semáforos. Deve ser enfatizado que na rota3 o número de testes foi menor por causa das obras rodoviárias que decorriam tornando impossível a recolha de dados de forma contínua.

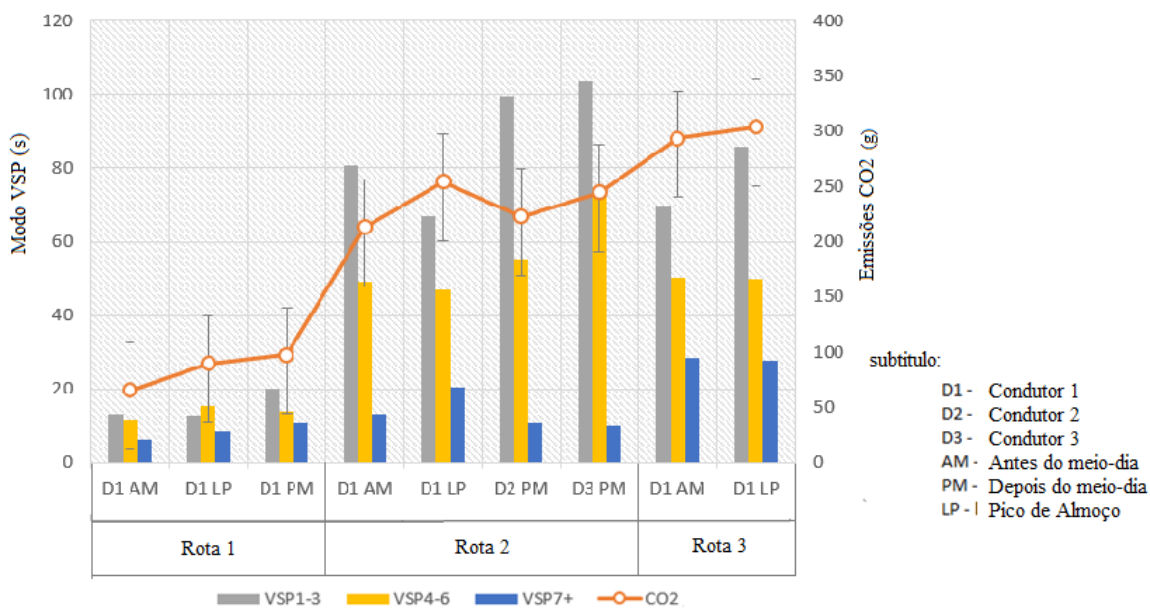


Figura 22 - comparação entre emissões de CO₂ e tempo despendido nas agregações VSP para veículos a gasóleo

Analisando os mesmos dados, para emissões de CO₂ para veículos a Gasóleo, nota-se as mesmas ocorrências nas diferentes rotas. Comparando entre 2 e 3 ou 3 e 1 (rotas) nota-se a influência que o agregado dos modos VSP7-VSP14 tem nas emissões de CO₂.

4.2. Estimativas de desempenhos de emissões e tráfego através de sistemas alternativos de tráfego

A fim de avaliar se as informações públicas fornecidas por outros serviços podem complementar a estimativa de tráfego e desempenho de emissões, a informação qualitativa sobre os níveis de tráfego oferecido pelo Google traffic foi comparado com dados empíricos sobre o tempo de viagem e emissões estimadas.

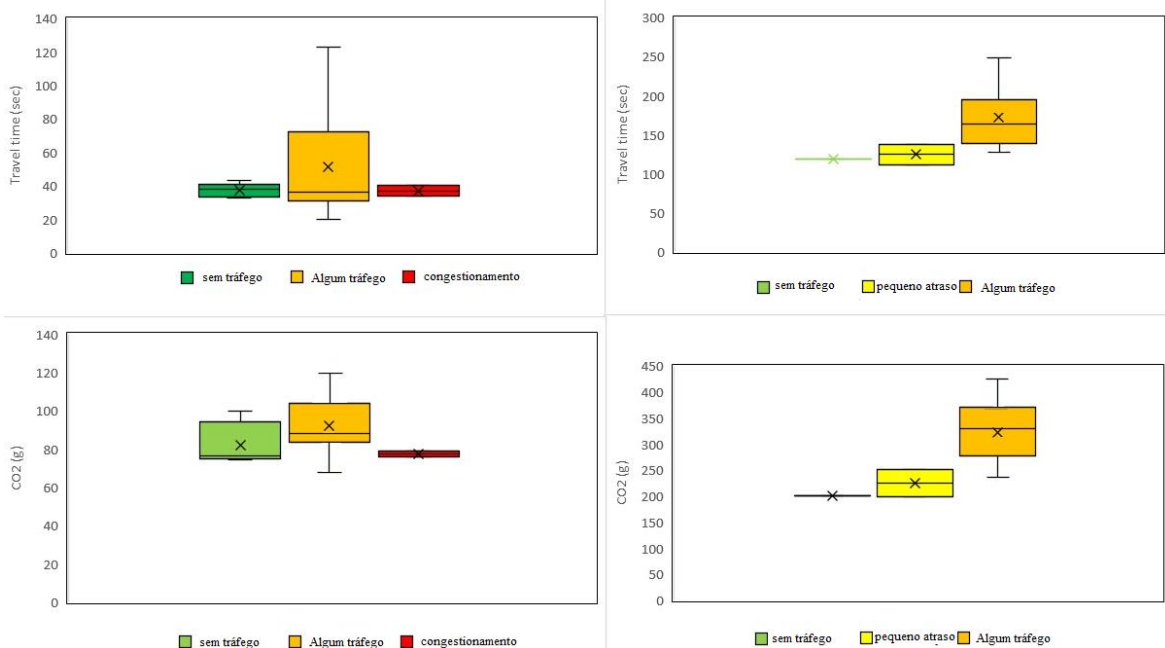


Figura 23 - comparação do tempo de viagem observado (cima) com emissões CO₂ (baixo) de acordo com diferentes níveis de informação de tráfego online (Google traffic) para rota 1 (esquerda) e rota 3 (direita)

A Figura 23 mostra que a precisão dos resultados em termos de tempo de viagem varia consideravelmente, dependendo da localização. Relativamente à figura, as cruces representam a média, a linha no meio da caixa a mediana e os segmentos de reta vertical representam o valor mínimo e máximo dos intervalos (e tudo o que está dentro da caixa, representa 50% dos valores). Enquanto na rota 2 (N109) não é possível estabelecer uma relação evidente entre os dados qualitativos do Google (apresenta um código 3 cores: verde - amarelo - vermelho alaranjado) e o tempo real de viagem, no caso da rota 3 repara-se que os testes realizados durante a ocorrência de tráfego mostrou cor laranja no Google maps, em que o tempo de viagem é consideravelmente maior do que nos testes realizados quando as informações de trânsito neste segmento foram mostradas como amarelo e verde. O mesmo padrão também é verdadeiro para as emissões. Pode-se ver que as emissões de CO₂ são também consideravelmente mais elevada nas informações de trânsito com cor laranja. No entanto, na Rota 1, não é possível estabelecer um padrão claro entre as emissões e o Google traffic.

4.3. Comparação entre condutores

A figura 24 compara a velocidade média com emissões CO₂, a fluidez de trânsito com os modos de distribuição VSP entre dois condutores. Também é possível relacionar acontecimentos entre os diferentes gráficos para cada teste (velocidade média vs emissões com distribuição VSP fluidez de trânsito).

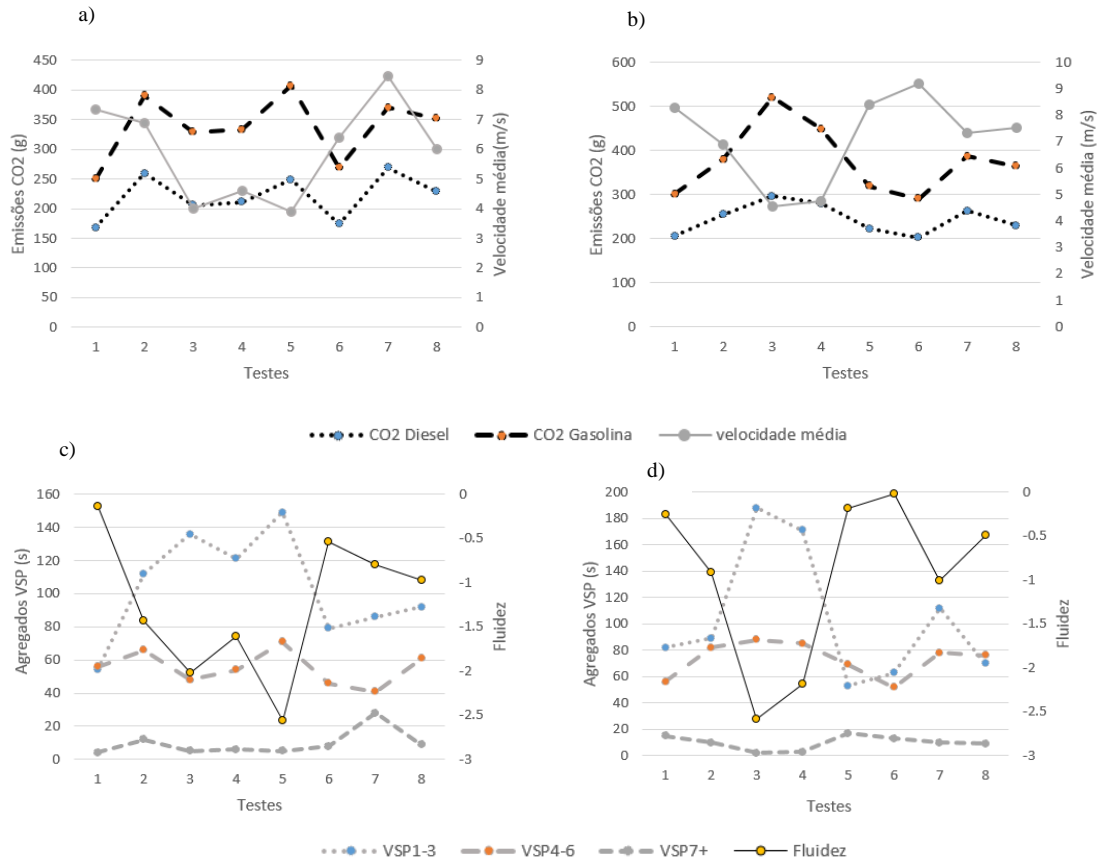


Figura 24 - Comparação entre dois condutores (Rota 2) – a),c): condutor 1; b),d):condutor 2. a) e b) comparam velocidade média com emissões CO₂; c) e d) comparam Fluidez com os agregados VSP

É possível observar nos gráficos que relacionam a distribuição dos modos VSP com fluidez de tráfego, que nos níveis mais elevados de fluidez é onde os condutores despendem mais tempo no modo VSP1-VSP3 (a partir desde momento, nas análises de gráficos, valores positivos de fluidez de trânsito não serão considerados, sendo somente tratados os valores negativos. Quanto mais afastado de zero estiver esse valor, será referido como níveis mais elevados de fluidez, e valores de fluidez mais próximos de zero serão referidos como valores de fluidez menores). Comparando os motoristas, o condutor 2 teve casos em que passou menos tempo entre VSP1-VSP3, e mais no VSP4-VSP6, tal como VSP7-VSP14 gerando maiores

emissões de CO₂, como por exemplo no teste 6, em comparação com o condutor1. Existem testes que apresentam quase o mesmo tempo despendido em VSP1-VSP3 como VSP4-VSP6 mas somente com esta informação, só é possível ver que os condutores passam mais tempo com desacelerações fortes e acelerações ou desacelerações suaves. No entanto, se o valor de fluidez é superior a 1,5 (tal como no ensaio 3 de ambos os condutores) significa que o fluxo de tráfego foi mais lento e a velocidade foi condicionada pelo restante tráfego, mas não é possível só com isso prever a existência de congestionamento. Analisando o teste 3 de ambos os condutores, ambos apresentaram valores de fluidez superiores a -2 (sendo -2 no condutor 1 e -2.5 no condutor 2), no entanto o condutor 2, apesar de apresentar maiores emissões, e mais tempo despendido nos modos VSP1-VSP3 e VSP4-VSP6, também apresenta uma velocidade média praticada superior.

Valores acima de -1.2 têm demonstrado na maioria dos testes, a existência de alguma acumulação de tráfego, no entanto sem ser ao longo de todo o segmento estudado, mais em determinados locais do segmento (exemplo de proximidade de uma rotunda com uma fila de 6 veículos). Um exemplo interessante desta situação é se em condições semelhantes, o condutor despendeu mais tempo em VSP7-VSP14, tendo diminuído ou não seu tempo em VSP4-VSP6 (como no condutor 1 ensaio 2 e 7). Nestas situações, é possível prever a ocorrência tanto de congestionamento numa zona restrita e situação livre de fluidez na restante parte do segmento.

4.4. Estudo de variáveis descritivas para estimar emissões de veículos

De forma a avaliar em que circunstâncias as emissões dos veículos podem ser estimadas com diferentes fontes de dados, as figuras 26 a 31 exploram relações lineares entre o congestionamento do tráfego, tempo de viagem, fluidez de tráfego, emissões de CO₂ e NOx respetivamente.

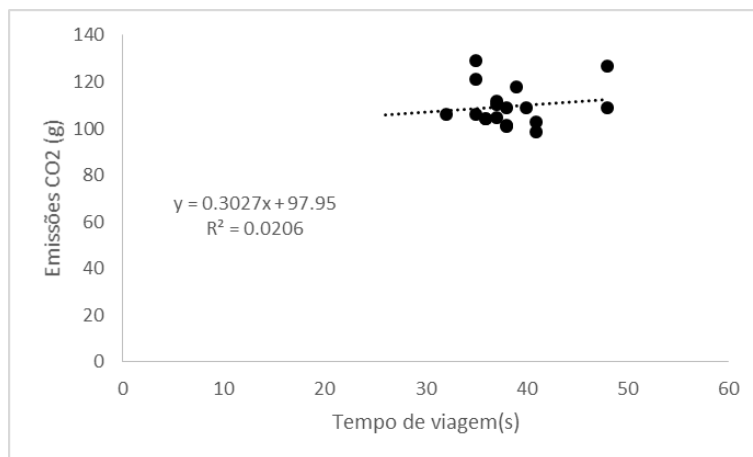


Figura 25 - Correlação linear entre emissões CO₂ e tempo de viagem para a rota 1

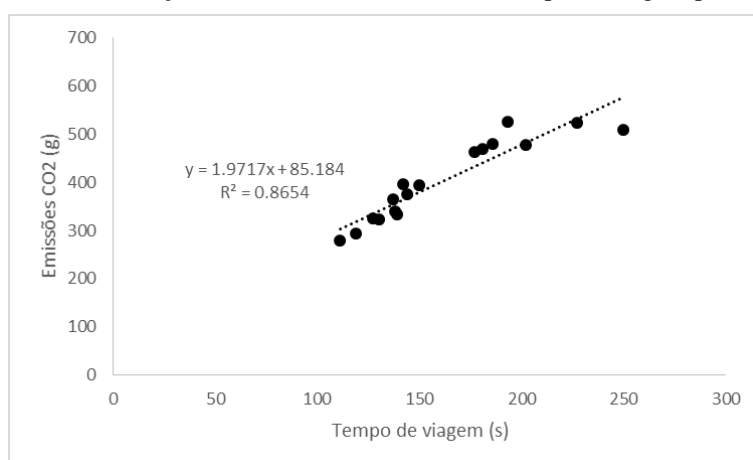


Figura 26 - Correlação linear entre emissões de CO₂ e tempo de viagem para a rota 3

Comparando diretamente a rota 1 (P-value=0.002837) e rota 3 percebe-se que na avenida urbana o tempo de viagem é o fator mais importante e pode explicar mais de 86% (P-value=0.000895) das variações das emissões de CO₂. No entanto, na via arterial este fator demonstra não estar correlacionado com as mesmas variações, o que significa que na EN 109 o comportamento do condutor assume uma maior relevância.

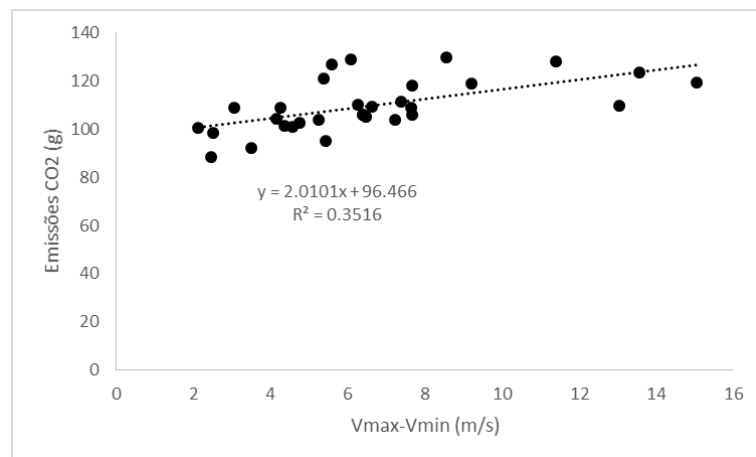


Figura 27 - Correlação linear entre Vmax-Vmin e emissões CO₂ para rota 1

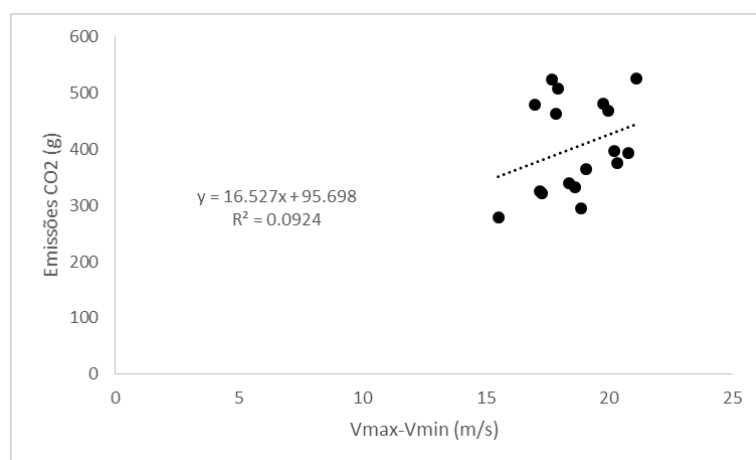


Figura 28 - Correlação linear entre Vmax-Vmin e emissões CO₂ para rota 3

Correlacionando a diferença entre a Velocidade máxima e mínima e as emissões de CO₂, verifica-se que este fator pode justificar até 35% (P-value=0.000123) das variações das emissões de CO₂ na EN 109 enquanto na via urbana este fator não demonstra ter influência significativa (P-value=0.013534). Como verificado no caso anterior, na rota 1, o comportamento do condutor influencia mais as emissões nesta via que o tempo de viagem em si. É possível notar que quanto menor a diferença entre a velocidade máxima e a velocidade mínima menor as emissões de CO₂. Notou-se também ao longo dos ensaios, que casos em que a velocidade mínima é maior do que 1 m/s emissões de CO₂ tendem a diminuir.

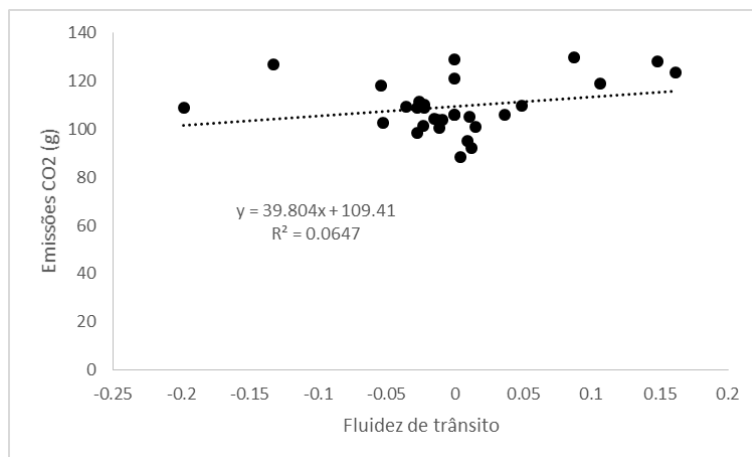


Figura 29 - Correlação linear entre fluidez de trânsito e emissões CO₂ para rota 1 (P-value=0.005206)

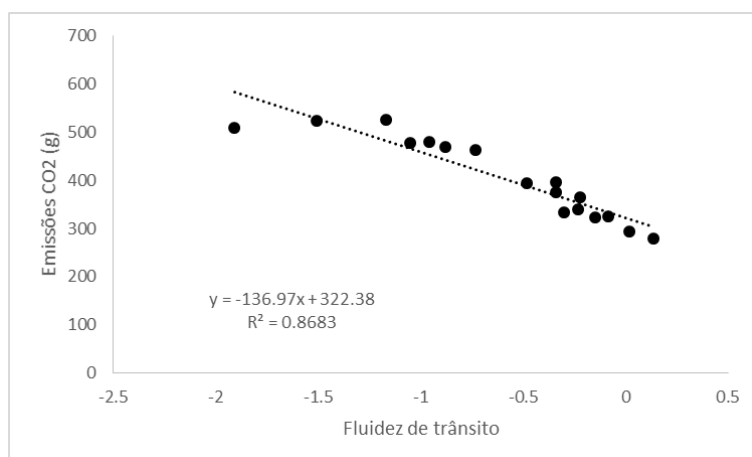


Figura 30 - Correlação linear entre fluidez de trânsito e emissões CO₂ para rota 3 (P-value=0.007557)

A equação de fluidez de trânsito dá uma percepção razoável do que acontece com emissões de CO₂ na estrada urbana, mas falha quando se trata de emissões de CO₂ em estradas nacionais. Um desses motivos, pelo que já se visualizou, deve-se essencialmente ao comportamento do condutor. No caso da rota 3, notou-se que é despendido mais tempo no agregado VSP1-VSP3 que nos restantes agregado, sendo que a reação de condução difere de condutor para condutor, uma vez que ao veículo são impostas um maior número de situações de paragens e arranques sucessivos (“para-arranca”), desacelerações e acelerações. Apesar do agregado VSP1-VSP3 não ser o que mais influencia as emissões de CO₂, não deixa de ser, no caso da rota3, o responsável por um maior número de emissões. No entanto, com base nestas relações e associando modo VSP (figura 23) com o algoritmo de fluidez de trânsito, é esperado chegar a uma melhor compreensão sobre o comportamento das emissões de CO₂, ou seja, antecipar se as emissões são geradas principalmente durante situações de paragens e arranques

sucessivos ou causadas pelo comportamento de condução agressiva durante situações de não congestionamento.

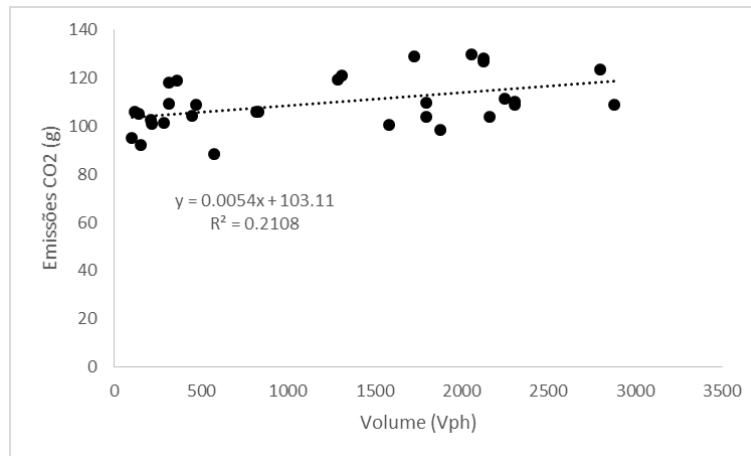


Figura 31 - Correlação linear entre volume de tráfego e emissões CO₂ para rota 1 (P-value=0.073364)

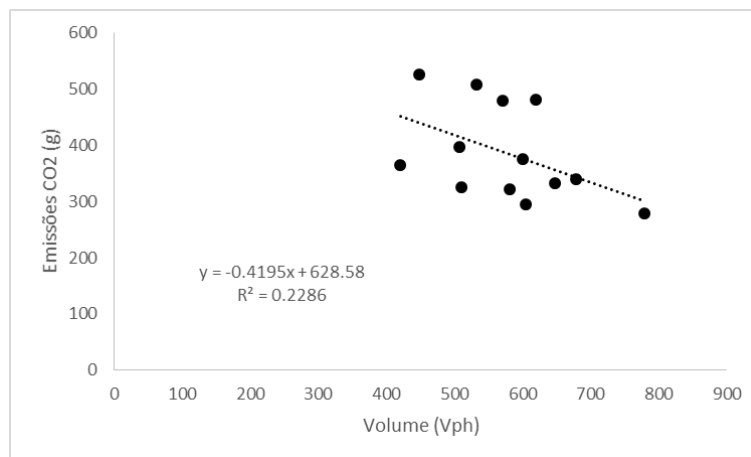


Figura 32 - Correlação linear entre volume de tráfego e emissões de CO₂ para rota 3 (P-value=0.098434)

O volume de tráfego apresenta um comportamento diferente nos dois tipos de rota. Intuitivamente, maiores volumes de tráfego deve levar a um aumento das emissões, mas isso pode não ser o caso se uma fluidez mais compacta implicar um perfil de velocidade mais estável ou o tempo em que os semáforos estão verdes é adaptado para atender uma maior demanda. No entanto, tendo em conta a variação de fluidez de tráfego observados, verificou-se que esta variável não pode explicar adequadamente a variação nas emissões. No entanto, o conhecimento do volume é ainda importante para extrapolar os impactos de toda a frota que circula no segmento.

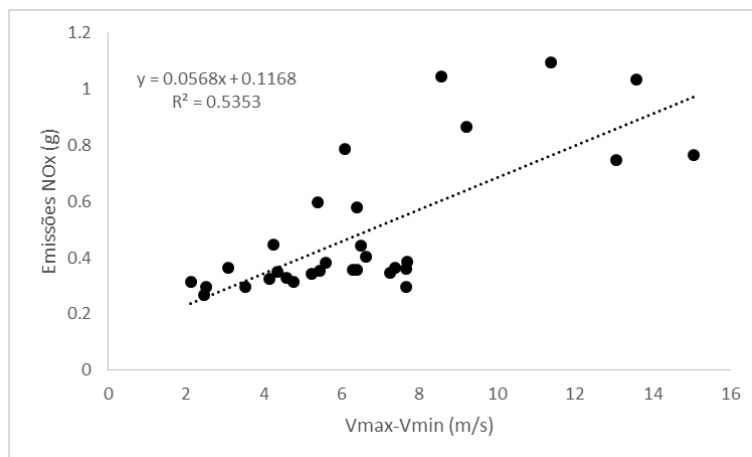


Figura 33 - Correlação linear entre a diferença de Vmax e Vmin e emissões NOx para a rota 1

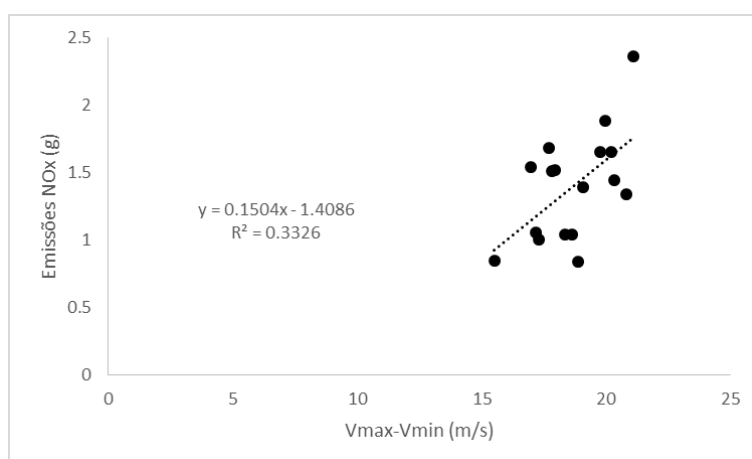


Figura 34 - Correlação linear entre diferença de Vmax e Vmin e emissões NOx para a rota 3

Em ambas as rotas (urbana e nacional), a diferença entre Velocidade máxima e mínima apresenta comportamentos semelhantes relativamente às emissões de NOx. No caso da rota 1, justifica até 53% (P-value=2.92E-06) das situações. No caso da rota 3 justifica até 33% (P-value=0.011138). Apesar dos valores de correlação baixos, consegue-se perceber a influência da variação de velocidade no comportamento das emissões de NOx, sendo que para valores de diferenças tipicamente mais elevados maiores as emissões.

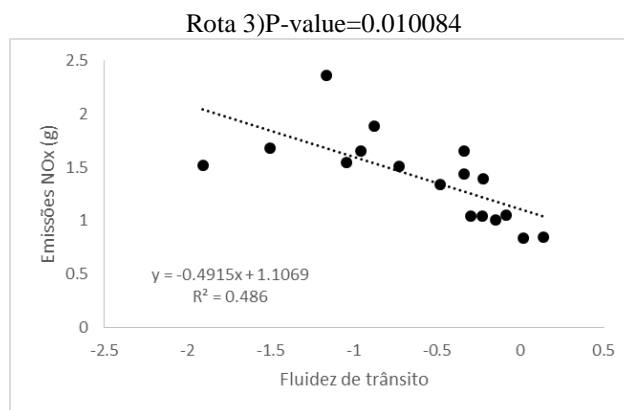
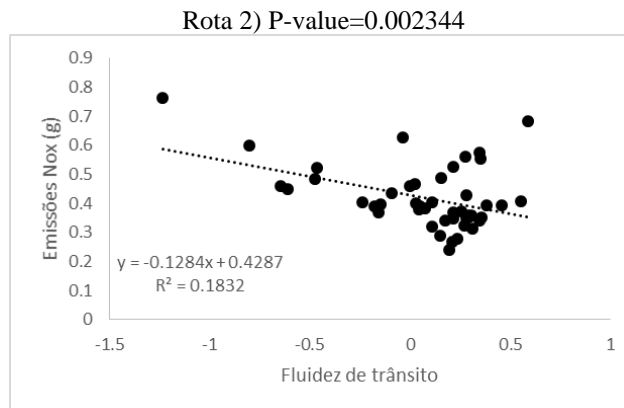
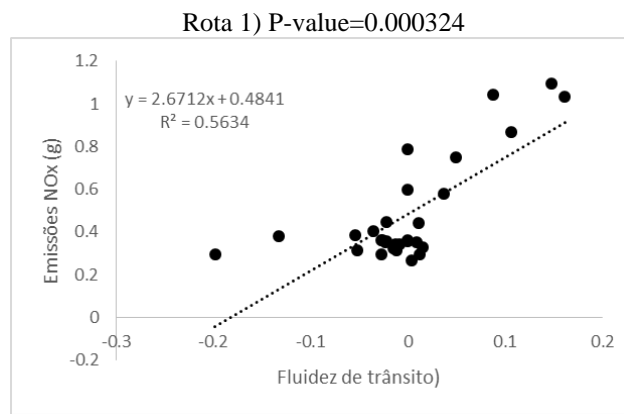


Figura 35 - Correlação linear entre fluidez de Trânsito e emissões NOx

É possível reparar que o comportamento não é igual em todas as rotas. Enquanto na rota 3 as emissões de NO_x diminuem para valores de fluidez positivos, nas outras a tendência é aumentar. Por motivos previamente descritos, torna-se difícil encontrar uma justificação para estes casos quer na rota 1 quer na rota 3, uma vez que no caso da rota 1, o tipo de condução do condutor não é tão afetado pela fluidez de trânsito. Uma possível explicação poderá ser o tipo de estrada, uma vez que na rota 1 haverá tendência à prática de maiores acelerações e velocidades na ausência de veículos, enquanto na rota 2, quer pela existência de semáforos, curvas e cruzamentos, o veículo apesar de sofrer aumentos de velocidades e acelerações não

serão tão significativas como na rota 1. Apesar de na rota 2 não ser possível explicar a variabilidade nas emissões esta rota é semelhante à rota 3, no entanto apresenta comportamentos semelhantes à rota 1. O facto de ser uma rota com mais interrupções que a rota 3, leva a um maior número de acelerações, nomeadamente dentro do agregado VSP1-VSP3.

No que diz respeito a poluentes locais, para estas variações, verificou-se uma maior variedade nos níveis de emissões quando comparados com emissões de CO₂, que estão associada a uma maior dependência do estilo de condução. A diferença entre a velocidade máxima e a velocidade mínima foi identificada como a melhor variável estudada para explicar a variação das emissões de NO_x.

Como mostrado nas últimas 7 figuras, as funções de desempenho para os diferentes segmentos de estrada, especialmente no contexto rural podem não ser baseada em correlações lineares simples. Na verdade, para cada segmento de rede será necessário estabelecer funções *ad hoc* tendo em consideração os fatores mais relevantes e as informações disponíveis.

4.5. Estudo dos modos VSP agregados para estimar emissões de veículos

Nesta análise, serão apresentados apenas os resultados relativamente a veículos de combustível Diesel. Nos testes efetuados a veículos a gasolina, os resultados foram idênticos com valores de correlação similares. Estes casos de estudo servem para entender melhor o comportamento dos veículos nos casos previamente apresentados e analisar as correlações lineares entre os agregados VSP e as emissões de CO₂ e NO_x.

4.5.1. Rotunda N109

A figura 31 demonstra regressões lineares entre os 3 agregados de modo VSP e as emissões de CO₂ na rotunda da N109.

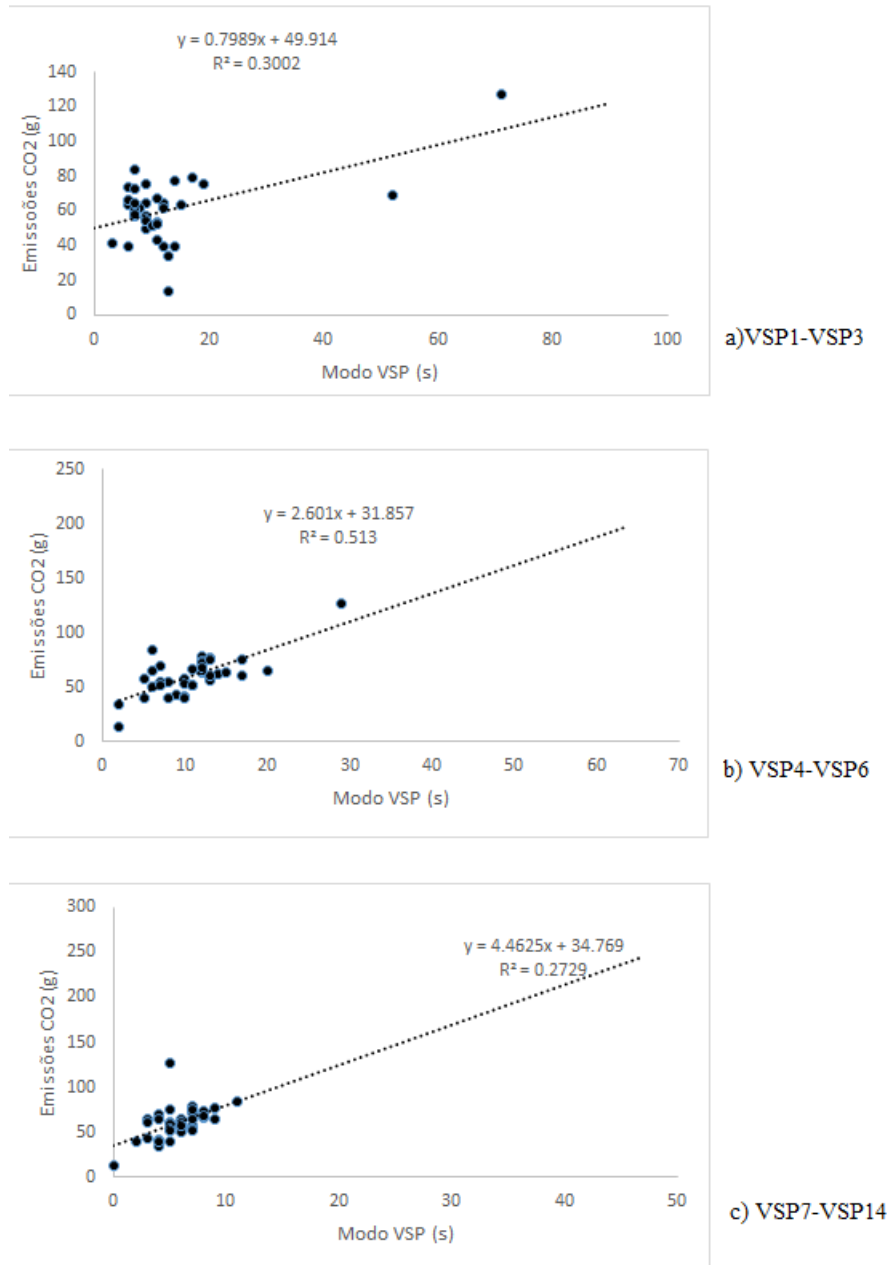


Figura 36 - Correlação linear entre agregados de Modo VSP e emissões CO₂

O tempo dispendido nos modos VSP1-VSP3, na rotunda, pode justifica até 30% (P-value=0.000125) das variações de emissões de CO₂. Apesar da rotunda se encontrar na Nacional 109, é o ponto onde congestionamento ou constrangimentos costumam mais acontecer nesta rota, estando o veículo mais sujeito a situações de paragens e arranques sucessivos.

O modo VSP4-VSP6 justifica até 51% (P-value = 3.18E-17) das variações de emissões de CO₂. Na análise das taxas de emissões modais, pôde-se verificar que quanto maior o modo

VSP maior a sua influência em todas as emissões. Ao longo deste trabalho também se verificou que a quantidade de emissões emitida depende sobretudo do tempo que se passa em cada modo. Analisando a figura 31, o agregado VSP7-VSP14 justificam 27% (P-value=0.000676) aproximadamente das emissões. Estas correlações também são esperadas não só por causa da análise das taxas modais, mas porque dado o tamanho e localização desta rotunda, existindo menos trânsito a circular na rotunda é possível depender mais tempo nos modos VSP4-VSP6.

A figura 32, relaciona os mesmos agregados VSP com as emissões de NO_x na rotunda da N109.

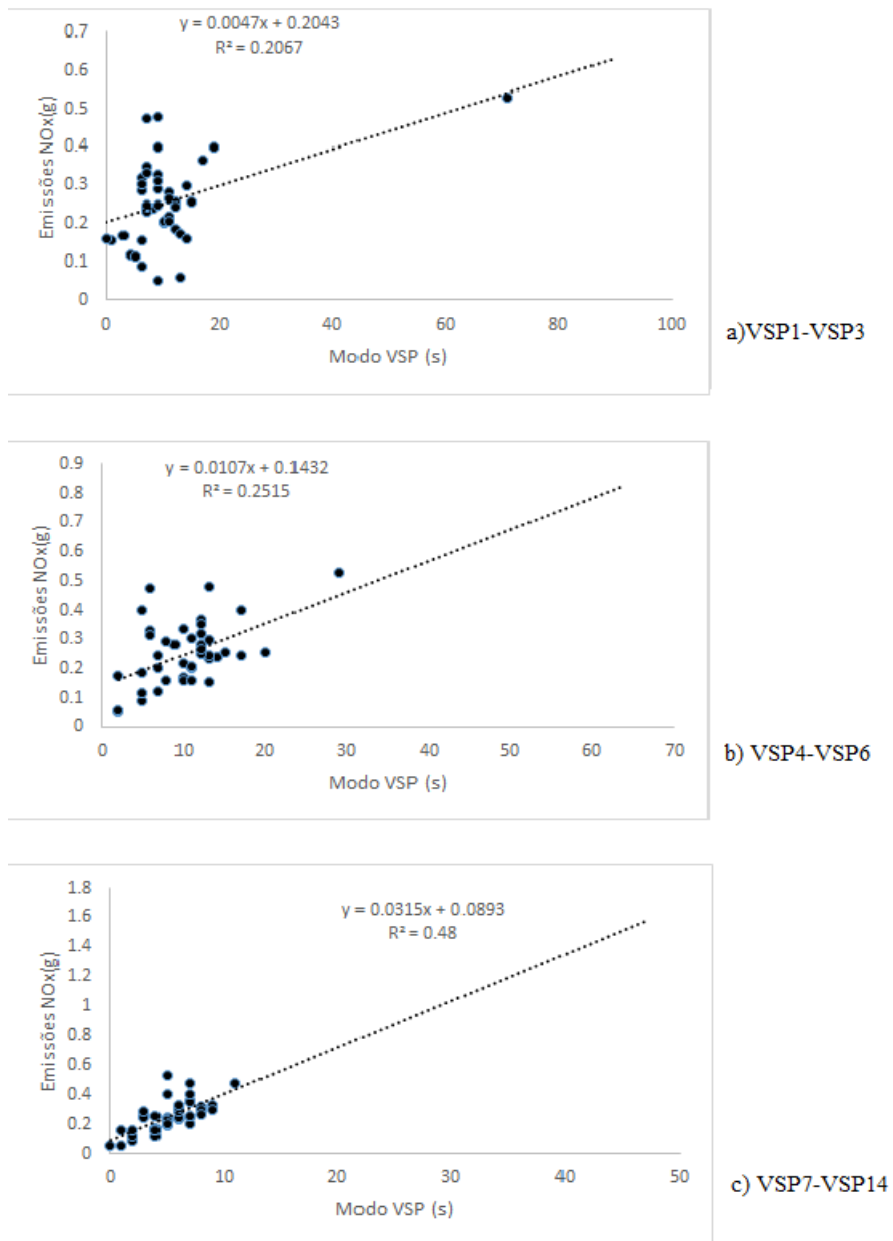


Figura 37 - Correlação linear entre agregados de Modos VSP e emissões NO_x

Relativamente ao NO_x, o agregado VSP1-3, justifica até 20% (P-value=0.011313) das emissões.

A variabilidade nas emissões de NO_x, podem ser justificadas até 27% (P-value=0.010033) no caso do agregado VSP4-6, e até 48% no caso do agregado VSP7-14 (P-value=0.000162). Mais uma vez, interligando esta informação com a análise das taxas modais e com o tempo despendido em cada modo VSP, pode-se aferir que foram menos as vezes que o condutor passou por fases de congestionamento na rotunda, ou caso tenha passado, nunca em todo o segmento da rotunda sendo somente a jusante da rotunda (durante os testes, dado o percurso do veículo, aquando os casos de congestionamento, estes só aconteciam entre ¼ a metade da rotunda).

4.5.2. Segmento 3-4 (figura10) N109

A próxima figura mostra uma regressão linear no segmento 3-4 da N109 entre os agregados VSP e as emissões CO₂.

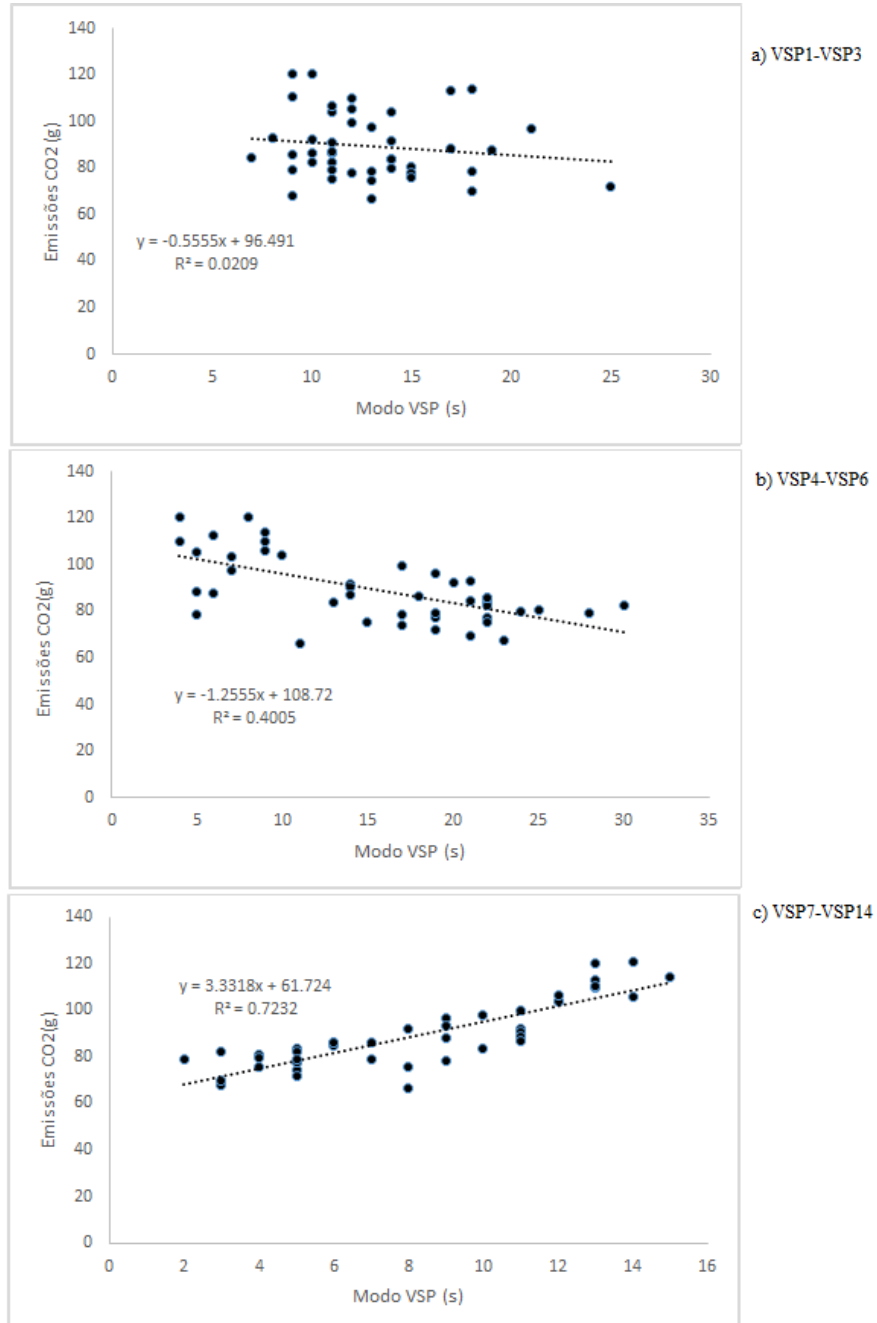


Figura 38 - Correlação linear entre agregados VSP e emissões CO₂

No segmento de reta estudado, o agregado VSP1-VSP3 não influencia as emissões de CO₂ (2%; P-value=9.77E-05). Este acontecimento era esperado, uma vez que nestes segmentos estudados, nunca o condutor passou por fases de STOP&GO, baixas velocidades ou

desacelerações, acontecendo só quando saía da via e num curto espaço de tempo, tendo despendido pouco tempo de condução neste agregado.

O agregado VSP4-6 justifica até 40% (P-value=0.037023) das emissões de CO₂, enquanto o agregado VSP7-14 explica até 72% (P-value =5.24E-05) da variabilidade nas emissões. De notar os diferentes comportamentos nas duas situações. Relativamente ao agregado VSP4-6, pode-se justificar a relação da mesma forma que em VSP1-3. Apesar do tempo despendido neste agregado ser maior que em VSP1-3, no tipo de condução praticado, o condutor terá despendido tempo neste agregado como forma ‘passageira’, pois a distância das vias de saída ou entrada da Nacional 109, para além de serem curtas, dado o enquadramento delas obrigam a acelerações e desacelerações súbitas, notando-se um menor tempo despendido nos primeiros 6 modos VSP. O agregado VSP7-14 demonstra o pouco congestionamento existente nesta via, mostrando que foi possível ao condutor praticar velocidades mais elevadas. A figura seguinte correlaciona os agregados VSP com as emissões NOx no mesmo segmento de estrada

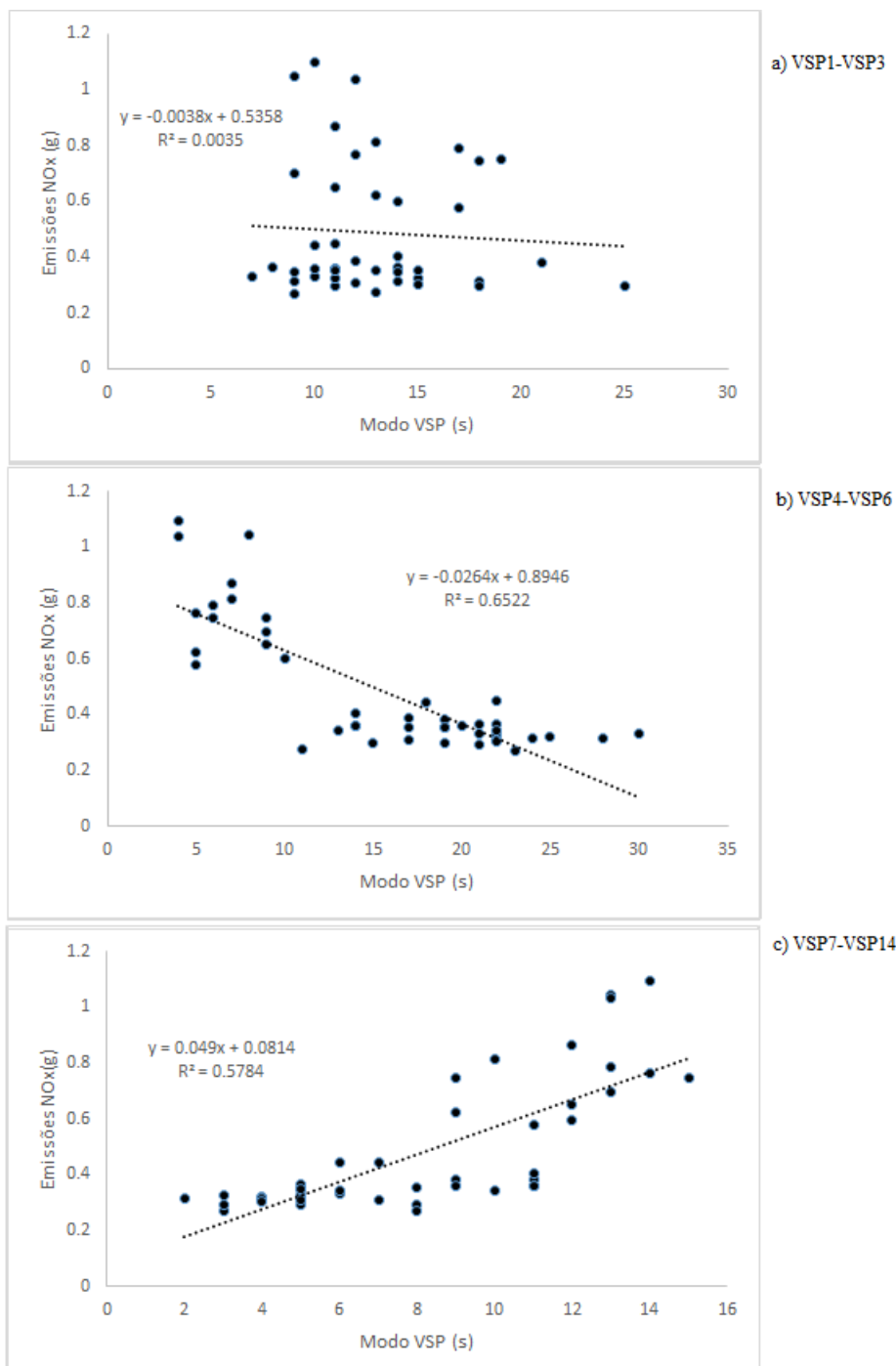


Figura 39 - Correlação linear entre agregados VSP e emissões NO_x

É visível nesta figura a pouca influência que o agregado VSP1-3 tem nas emissões de NO_x ao longo deste trajeto.

Nota-se que o agregado VSP4-6 influencia até 65% (P-value=0.006919) a variação das emissões de NO_x enquanto o agregado VSP7-14 pode ajudar a explicar até 57% (P-value=0.017047) da sua variabilidade. Mais uma vez nota-se no agregado VSP4-6 que quanto menor o tempo que se passa nele maiores as emissões de NO_x, ou seja quanto menor o tempo

passado neste agregado, maior a aceleração efetuada, traduzindo-se em maiores consumos e maiores emissões.

4.5.3. Avenida 25 Abril – Segmento 3-4

A fig. 40 demonstra a correlação linear entre os agregados VSP e as emissões CO₂ para a Av. 25 de Abril.

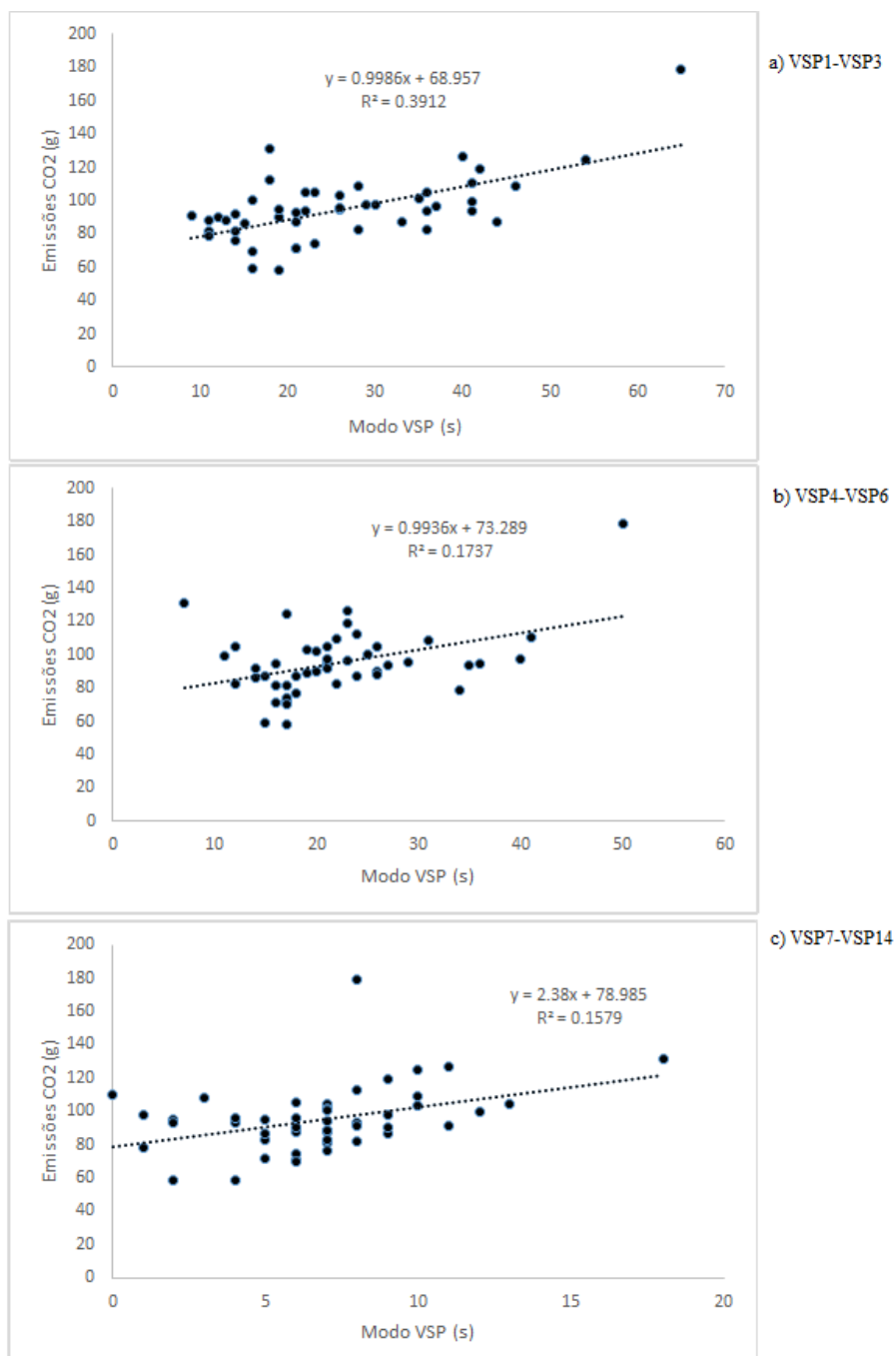


Figura 40 - Correlação linear entre agregados VSP e emissões CO₂

O agregado VSP1-VSP3 justifica até 39% (P-value=6.91E-06) das emissões de CO₂. Era esperada uma correlação linear melhor, pelas análises efetuadas ao longo do trabalho, uma vez

que foi despendido mais tempo a conduzir dentro deste agregado de modos. No entanto, a agregação de modos VSP continua a ser válida, pois ela serve não só para complementar outros dados como entender as variações a que o veículo é sujeito.

Analisando a correlação entre o agregado VSP4-6, este justifica menos de 18% (P-value=0.00641) da variação das emissões de CO₂ produzidas neste segmento da rede. Esta diminuição de valores comparativamente a VSP1-3 era esperada, uma vez que nesta rota, o tempo despendido nos modos VSP4-14 seriam menores que nos modos VSP1-3, apesar dos anteriores terem mais influência nas emissões.

O agregado de modos VSP7-14, consegue justificar até 15% (P-value=3.63E-08) das emissões. Como referido anteriormente, esta descida de valores era esperada. O comportamento crescente nos três agregados é também esperado, uma vez que situações de acelerações abruptas como na N109 são mais difíceis de acontecer.

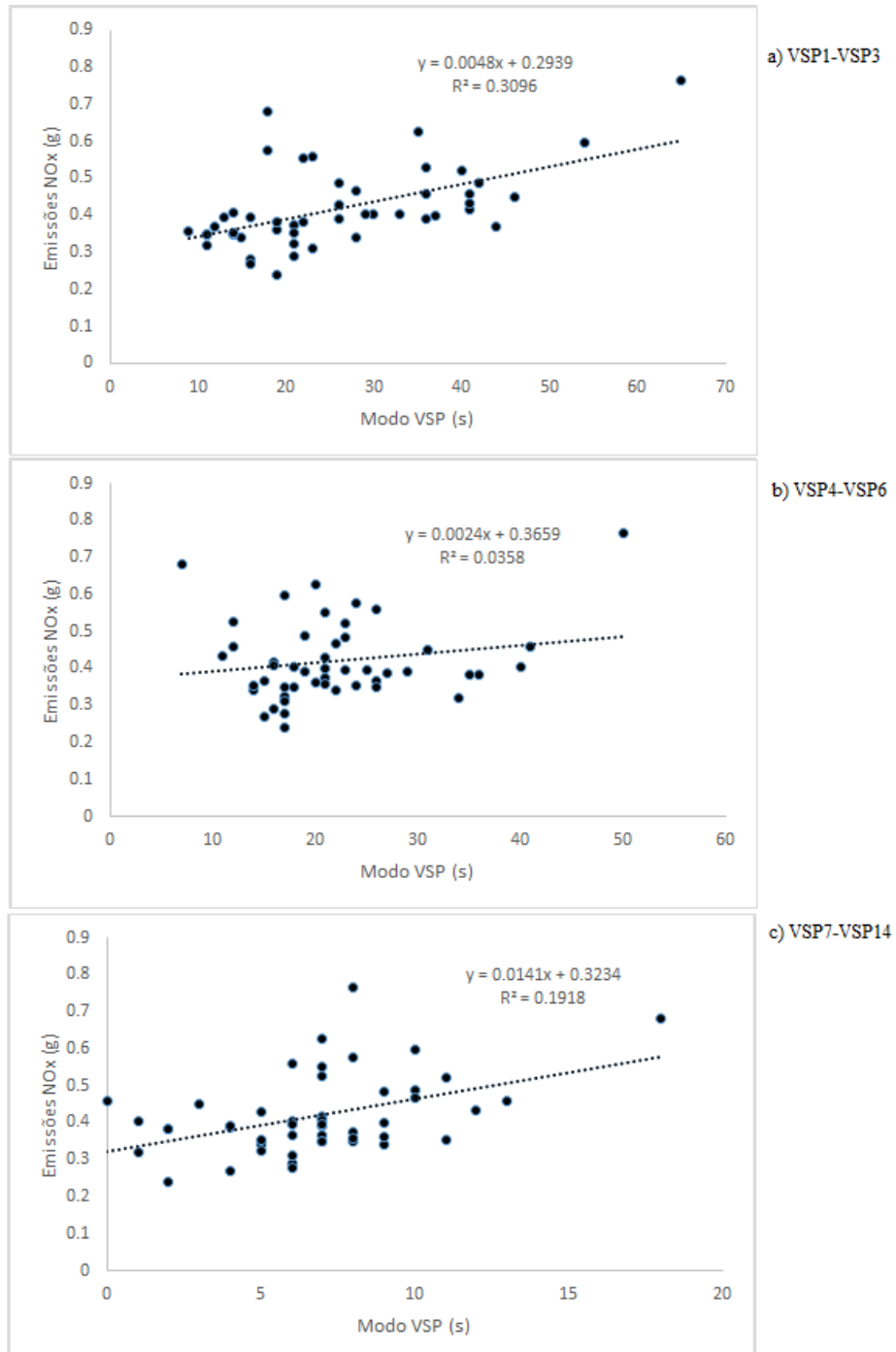


Figura 41 - Correlação linear entre agregados VSP e emissões NOx

O agregado VSP1-3 justifica até 30% (P-value=6.95E-07) da variabilidade nas emissões de NOx enquanto o agregado VSP4-6 tem uma influência negligenciável. É possível ver que na maioria dos casos, comparativamente à N109, o tempo despendido no modo VSP4-6 (P-value =0.000583) é maior, exigindo do veículo menos acelerações súbitas que têm como consequência maiores emissões de NOx.

O agregado VSP7-14 justifica 19% (P-value=6.92E-06) das emissões de NOx.

É necessário tomar certas considerações a estas análises: a tipologia da rota obriga a vários tipos de condução, fazendo com que o comportamento do veículo dependa essencialmente da reacção do condutor aos envolventes – fluidez de trânsito, estacionamento, peões etc. Foram feitas certas análises para esta rota comparando o tempo de concretização da rota com as emissões, demonstrando uma pequena melhoria nas correlações lineares. Também é preciso notar, que os agregados VSP para este tipo de rota, provavelmente tenham de ser rearranjados, uma vez que, no agregado VSP7-VSP14 o veículo passe mais tempo nos primeiros modos VSP que nos últimos.

4.5.4. Avenida Universidade (Rota 3), comparação com emissões NOx

Foi analisado anteriormente, que esta rota, na correlação linear entre a fluidez de trânsito e emissões NOx, apresenta comportamentos diferentes que a rota 1 e a rota 2.

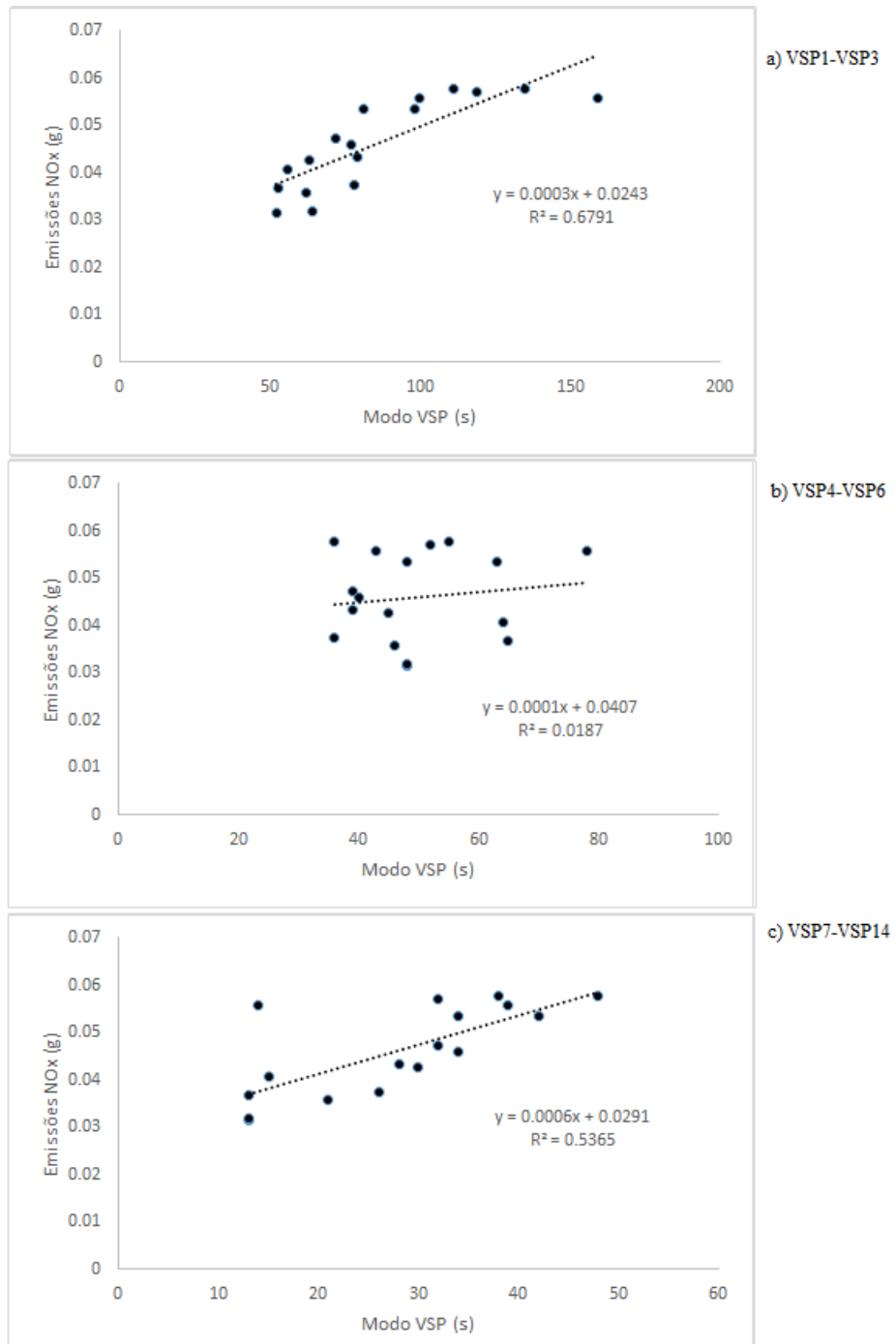


Figura 42 - Correlação linear entre os agregados VSP e emissões NOx

Comparativamente à Avenida 25 de Abril, nos agregados VSP1-3 o comportamento em ambas as rotas é idêntico, apesar de que nesta rota o agregado VSP1-3 justifica até 67% (P-value=4.97E-05) das emissões de NOx. Comparando o tempo passado neste agregado VSP, o condutor despende mais tempo nesta rota que na anterior. Apesar de nesta rota também existir uma rotunda e um semáforo, o condutor ao longo da rota deparou-se com menos veículos que na rota 2, tendo uma condução mais fluida, sendo que num dos finais da rota, encontra-se um cruzamento de entrada à N109, no qual o condutor numa curta distância passava mais tempo em situações de STOP&GO, com maior inclinações que na rota 2 e até na rota 1, justificando assim o tempo despendido no agregado VSP1-3.

O agregado VSP4-6 (P-value=0.164092) não têm influência significativa a nível da variação de emissões produzidas de NOx. De notar que o veículo passa mais tempo neste agregado nesta rota que na rota 2 ou 1, ou seja, até atingir a velocidade cruzeiro, o condutor efectuou acelerações suaves, não sendo o tempo despendido neste modo o principal causador de emissões.

O agregado VSP7-14 justifica 53% (P-value=0.019589) das emissões. Como foi referido anteriormente, tirando a entrada/saída da rotunda, semáforo e entrada para a N109, ao longo do percurso não houve eventualidades próximas a congestionamentos, sendo o Volume de tráfego baixo, para o número de vias em cada faixa.

Na análise efetuada anteriormente, visualizou-se que para valores de fluidez de trânsito positivos ou próximos a zero, menores as emissões de NOx e para valores de fluidez mais negativos maiores emissões. Nesta rota o condutor passou mais tempo nos agregados VSP1-3 e agregados VSP4-6, ou seja, no caso do agregado VSP1-3, este reflete casos mais demorados de fluidez de trânsito, tendo sido neste intervalo de tempo que terão havido mais emissões de NOx. Efetivamente o facto de o condutor despende tempo no agregado VSP7-14 retrata situações de pouco trânsito nas vias, valores de fluidez positivos e próximos a zero, sendo que este agregado justifica mais de metade das emissões. No entanto, o facto de mais tempo ser passado no agregado VSP4-6, significa que mais tempo se demorou a atingir as velocidades próprias do agregado VSP7-14, havendo menores emissões de NOx, sendo este um motivo para a relação entre a fluidez de trânsito e as emissões de NOx.

5. Conclusão e trabalhos futuros

Neste capítulo promove-se uma avaliação e comparação dos objetivos propostos com os resultados obtidos. Será também feita uma análise das principais conclusões e do que não se conseguiu realizar no desenvolvimento desta dissertação e que poderá constituir futuros trabalhos a realizar.

O trabalho realizado nesta Dissertação de Mestrado teve como principal objetivo avaliar a possibilidade de ler e prever o congestionamento do tráfego e do desempenho ambiental com uma penetração de FCD limitada e aproveitando dados de tráfego a partir de múltiplas fontes. Para atingir este objetivo foram definidas metas a atingir com base no objetivo principal destacando-se:

- A seleção de três vias distintas no distrito de Aveiro tendo por base certos pressupostos;
- A caracterização dessas vias através de gravação de vídeo dos volumes de tráfego e registos no decurso das monitorizações;
- Análise de dados obtidos a partir de diversos condutores para comparação de dados;
- Desenvolvimento de técnicas para obtenção e tratamento de dados como um sistema de Visão para contagem de veículos, uma equação para categorizar a fluidez de trânsito, uma equação para definir a ocorrência ou não de congestionamento;
- Utilização e adaptação de metodologias existentes para o cálculo de emissões de poluentes, como a metodologia VSP;
- Obtenção, correlação e simplificação de dados visando a construção de uma plataforma de informação, de forma a trabalhar a correlação dos diferentes tipos de dados sem pôr em causa o tratamento dos dados ou o processamento da plataforma numa fase inicial como a agregação dos modos VSP;

- Correlação dos dados de forma a visar de que forma se deve obter e tratar a informação na plataforma a desenvolver.

Com o desenvolvimento deste trabalho, as conclusões retiradas da análise dos resultados, que serão apresentadas na conferência internacional (Transportation Research Board Annual Meeting) TRB2017, a decorrer em Washington DC em Janeiro de 2017, são as seguintes:

- A utilização do Google traffic como indicador complementar para prever o desempenho de tráfego, possibilitou verificar que em estradas Nacionais/periferia que os dados qualitativos tendem a ser um indicador fiável de tráfego relativamente ao tempo de viagem observado e também na estimativa das emissões. No entanto em estradas urbanas, centros de cidade, existe uma grande variação de emissões, como também de tempo de viagem, o que impede a utilização desta fonte de informação;
- A equação de fluidez desenvolvida categoriza corretamente as condições com que o tráfego flui mas não as suas causas;
- Em segmentos urbanos o conhecimento sobre o tempo de viagem pode permitir antecipar o nível de emissões dos veículos, sendo que, noutros segmentos, este tipo de informação necessita de ser complementada com outros parâmetros relacionados com o comportamento individual de cada condutor;
- A equação de fluidez permite antecipar o nível de emissões CO₂ dos veículos em segmentos urbanos;
- A diferença entre a velocidade máxima e a velocidade mínima praticada num segmento ou intervalo de tempo permite antecipar o nível de emissões de NOx nos tipos de vias estudados, necessitando de outros parâmetros para complementar essa informação;
- A agregação dos modos VSP aparenta ser o melhor método para complementar a informação disponibilizada pelo tratamento dos restantes dados. A variação das agregações com os diferentes tipos de rotas e emissões (NOx e CO₂ neste caso) é muito estável, não se desviando daquilo que seria previsto através da análise das taxas modais. Estes tipos de agregações, correlacionados com os dados corretos, permite obter uma descrição dos diferentes acontecimentos que ocorrem nos

segmentos em monitorização, permitindo o desenvolvimento de uma plataforma modular do ponto de vista de análise de dados FCD;

- O volume de tráfego, apesar de não ter sido o fator que possibilite explicar a variabilidade nas emissões individuais, continua a ser necessário também como meio de informação complementar na análise de dados e para estimar os impactos produzidos pelo conjunto de veículos a circular em cada segmento;
- A monitorização do volume de tráfego mostrou-se limitada como meio de fonte de dados primária, uma vez que com a colocação de uma só câmara se torna impossível prever toda a dinâmica das vias em análise;
- A dinâmica nas vias selecionadas, ao longo dos vários testes, não apresentou diferenças significativas, sendo que este trabalho careceu de uma maior variedade de informação para validar as hipóteses testadas

De uma forma geral, através da leitura de dados GPS, e correlação desses dados é possível descrever o que está a acontecer na infraestrutura rodoviária e minimizar o erro na estimativa de impactes ambientais. Além disso, a correlação correta dos modos VSP, com algoritmos de congestionamento e com emissões de CO₂ pode ser obtida, permitindo uma melhor compreensão do estilo de condução e o seu impacte nas emissões. Adicionalmente, espera-se que, após um longo período de aquisição de dados, seja possível desenvolver funções ad-hoc para cada segmento, além de aplicar algoritmos com métodos de aprendizagem automáticos para relacionar os volumes de tráfego / FCD e os impactes ambientais associados. Isto aumentaria a possibilidade de modularidade do sistema já que a informação GPS e os volumes de tráfego poderão vir de fontes separadas referentes aos mesmos eventos.

Uma vez que esta dissertação é caracterizada por uma forte componente prática, foram encontradas certas dificuldades ao longo da realização da mesma, apesar da atempada organização da fase experimental como: disponibilidade limitada da viatura, condições climáticas desfavoráveis, necessidade de carregamento das baterias das câmaras de filmagem, carregamento do GPS e memória do mesmo. Outras dificuldades no decorrer desta dissertação passaram pelo tratamento de dados incorretos numa primeira fase de testes, impossibilidade de utilização do sistema de visão nos primeiros testes devido às horas de menos luminosidade (esperou-se pelo horário de Verão – mudança de hora) e o tratamento e correlação de inúmeros tipos de dados.

A continuação deste trabalho ou outro de temática semelhante poderá ser realizado, procurando desenvolver certas questões relacionadas com a dissertação, como aprimorar e completar/otimizar individualmente cada função/ferramenta criada no decorrer deste trabalho. Sugerem-se, assim, os seguintes aspetos que poderão ser melhorados/desenvolvidos num futuro trabalho:

- Realização dos mesmos testes em segmentos com maior variabilidade na procura e fontes de dados adicionais;
- Desenvolvimento da base de dados e respetiva incorporação na plataforma modular;
- Teste da plataforma e a base de dados em tempo real;
- Melhoria do sistema de visão desenvolvido, de forma a identificar os diferentes tipos de veículos, binarizar os diferentes tons de cor para os mesmos tons cinzentos independentemente da luz existente na imagem, acrescentar outras funções relevantes que não ponham em causa a capacidade de processamento do sistema;
- Desenvolvimento de uma plataforma GNSS que trabalhe diretamente com a plataforma criada;
- Melhoria e otimização da equação de identificação de tráfego, categorizando e definindo os diferentes tipos de intervalo;
- Realização de mais testes com as agregações de modos VSP e verificar e prever possíveis diferentes formas de as agregar mediante a tipologia das vias a estudar;

A base de dados em fase de desenvolvimento baseia-se no conceito de "data cube" em que os dados são organizados em hierarquias de agregação. A base de dados deve conter um conjunto de dados estatísticos e vincular o desempenho base de forma a permitir uma fácil integração com algoritmos de otimização e ferramentas de apoio à decisão interligados com a plataforma de prototipagem. O sistema em desenvolvimento é modular, o que significa que se uma parte deixa de funcionar temporariamente ou precisa de uma atualização, todo o sistema

continuará a funcionar, sendo apenas um nodo que fica inoperacional. Na figura 2a) um esquema das operações da base de dados é mostrado. Essencialmente, a base de dados deve ser preparada e configurada para ser usada por investigadores e técnicos ligados às infraestruturas do setor dos transportes. Na figura 2b), os círculos referenciados pelos números são sinais de trânsito locais que serão monitorizados em tempo real (com base em FCD e / ou dados de vídeo) – linhas continuas na imagem. Onde a plataforma não está disponível, a avaliação de desempenho desses segmentos será feita tendo por base informação histórica / estatística e algoritmos inteligentes (linhas tracejadas). O objetivo é que o sistema ainda possa funcionar se um elemento (por exemplo 2 ou 5) não está operacional. A Figura 20) mostra um esquema de como a relação entre a plataforma e a base de dados deve funcionar. Em 1) envia posição por satélite do GNSS para a plataforma instalada num veículo. A plataforma localizada dentro do veículo envia os dados para a plataforma estática (2) sempre que estiver dentro do alcance. Esta plataforma envia os dados para os servidores (3). Se uma câmara de vídeo está instalada, esta pode enviar para a plataforma vídeos de transmissão em direto para o servidor, em que o sistema de visão será utilizado para estimar a fluidez de trânsito em tempo real. A plataforma final será também capaz de interagir com infraestruturas rodoviárias e veículos, ou seja, deverá permitir comunicações V2I e V2V. O sistema será integrado num sistema de prototipagem denominado por "Dech", que significa "hardware decomplicate". A principal vantagem é que cada módulo é um elemento de uma rede flexível. O protocolo será *opensource* significando que os módulos podem ser desenvolvidos por qualquer pessoa com acesso à plataforma.

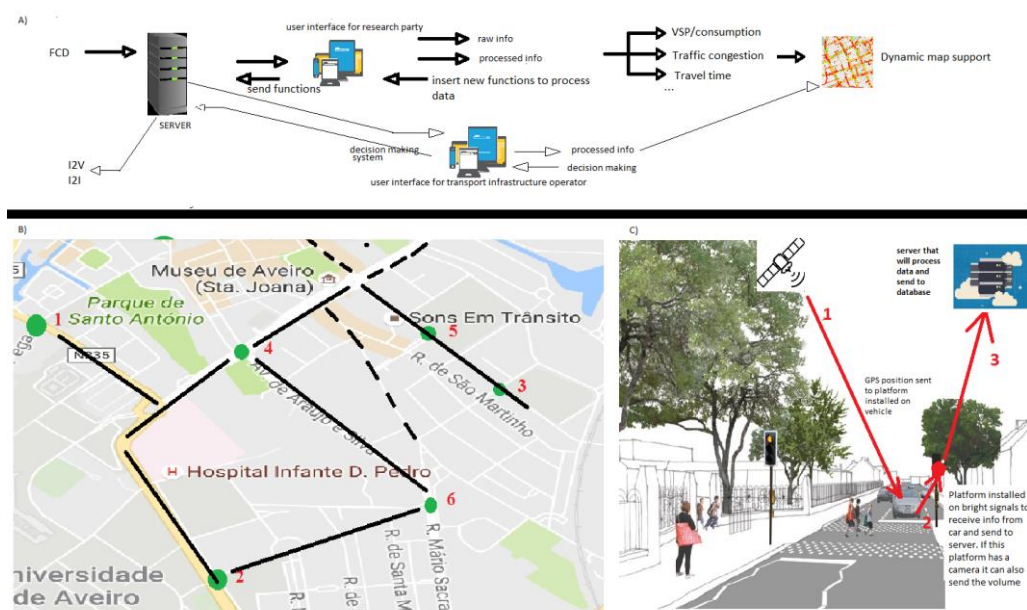


Figura 43 - Descrição genérica da plataforma a desenvolver

É importante referir uma condicionante que acompanhará sempre e paralelamente este tipo de projetos/trabalhos e que diz respeito à privacidade dos dados. Este tipo de plataformas poderá colidir com os direitos de privacidade das pessoas nos termos atuais, sendo este um dos principais fatores limitante a este tipo de projetos. Deixa-se em aberto a questão de comparar e estudar a utilização de FCD com base na plataforma estando esta instalada no próprio veículo ao invés da utilização de smartphones, tendo por base a criação de uma estrutura em que o vendedor do veículo desconhece a plataforma instalada no mesmo, e quem monitoriza a plataforma desconhece de que veículo se trata, conhecendo apenas o tipo de combustível e características mecânicas, bem como a localização sendo necessário avaliar os impactes dessa escolha em termos de requisitos de criptografia de dados.

Referências bibliográficas

- [1] Instituto Nacional de Estatísticas. Estatísticas do Ambiente 2014
- [2] Instituto Nacional de Estatísticas. Estatísticas dos Transportes e Comunicações 2014
- [3] ACAP, 2016, Estatísticas parque automóvel. Disponível em <http://www.acap.pt/pt/pagina/36/estat%C3%ADsticas/>, acessado a 02/02/2016
- [4] European Commission, E. (2014). *EU Transport in Figures. Statistical Pocketbook 2014* (p. 148).
- [5] Schmidt, L., Nave, J.G., Sousa, D., 2005. O Automóvel: Usos e Desusos do Transporte Individual. Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa, Lisboa
- [6] Alena, E., Sagberg, F., Hagman, R., "Effects of route guidance variable message signs (VMS) on driver behaviour." *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 10.6 (2007): 447-457.
- [7] Weiland, R. J., & Purser, L. B. (2000). *Intelligent Transportation Systems. Transportation in the New Millennium*, 3. <http://trid.trb.org/view.aspx?id=639268> acessado a 12/02/2016
- [8] Muhammad, A., Ferreira, J., Fonseca, J., eds. *Intelligent Transportation Systems: Dependable Vehicular Communications for Improved Road Safety*. Vol. 52. Springer, 2016.
- [9] Hsieh, J., Yu, S., Chen, Y., Hu, W., An automatic traffic surveillance system for vehicle tracking and classification, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 7, No. 2, 175-187, 2006
- [10] Muhammad, A., Ferreira, J., Fonseca, J., "Introduction to Intelligent Transportation Systems." *Intelligent Transportation Systems*. Springer International Publishing, 2016.
- [11] Bandeira, J., "Road traffic information platform for energy and emissions savings." *Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro* (2013).

- [12] Figueiredo, L., Jesus, I., Machado, J., Ferreira, J., Carvalho, L., "Towards the development of intelligent transportation systems." *Intelligent Transportation Systems*. Vol. 88. 2001.
- [13] Lin, X., Andrews, J., Ghosh, A., Ratasuk, R., "An overview of 3GPP device-to-device proximity services." *Communications Magazine, IEEE* 52.4 (2014): 40-48.
- [14] Barrachina, J., Garrido, P., Fogue, M., Martinez, F., Cano, J., Calafate, C., Manzoni, P., "Road side unit deployment: A density-based approach." *Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE* 5.3 (2013): 30-39.
- [15] Booyesen, J., Serali Z., Rooyen, G., "Survey of media access control protocols for vehicular ad hoc networks." *Communications, IET* 5.11 (2011): 1619-1631.
- [16] Boangoat, J., Ekici, E., "Location-and delay-aware cross-layer communication in V2I multihop vehicular networks." *Communications Magazine, IEEE* 47.11 (2009): 112-118.
- [17] Jeong, Y., Chong, J., Shin, H., Win, M., "Intervehicle communication: Cox-fox modeling." *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on* 31.9 (2013): 418-433.
- [18] Dressler, F., Kargl, F., Ott, J., Tonguz, O., Wischof, L., "Research challenges in intervehicular communication: lessons of the 2010 Dagstuhl Seminar." *Communications Magazine, IEEE* 49.5 (2011): 158-164.
- [19] A. Asadi, Q. Wang, and V. Mancuso, "A survey on device-to-device communication in cellular networks," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 16, no. 4, pp. 1801–1819, 2014.
- [20] Lederman, J., Taylor, B., Garrett, M., "A private matter: the implications of privacy regulations for intelligent transportation systems." *Transportation Planning and Technology* (2016): 1-21.
- [21] Biswas, S., Tatchikou, R., Dion, F., "Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety." *IEEE communications magazine* 44.1 (2006): 74-82.
- [22] Akbar, M., Rasheed, A., Qayyum, A., "VANET architectures and protocol stacks: a survey." *International Workshop on Communication Technologies for Vehicles*. Springer Berlin Heidelberg, 2011.

- [23] Úbeda, B., Toledo, R., Jordan, J., Montes, S., A theoretical and practical analysis of GNSS based road pricing systems, considering the EGNOS/SISNeT contributions, in: NAVITEC 2004, Noordwijk, 2004.
- [24] Blum, J., Eskandarian, A., Hoffman, L., Challenges of intervehicle ad hoc networks, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 5 (4) (2004) 347–351.
- [25] Zanjireh, M. M., & Larijani, H. (2015, May). A Survey on Centralised and Distributed Clustering Routing Algorithms for WSNs. In *2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)* (pp. 1-6). IEEE.
- [26] Santa, J., Gómez-Skarmeta, A., Sánchez-Artigas, M., "Architecture and evaluation of a unified V2V and V2I communication system based on cellular networks." *Computer Communications* 31.12 (2008): 2850-2861.
- [27] Cheng, X., Liuqing Y. Xia S.. "D2D for intelligent transportation systems: A feasibility study." *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on* 16.4 (2015): 1784-1793.
- [28] A. Kirschbaum and M. Glesner. Rapid Prototyping of Communication Architecture. In *Proceedings of the 8th International Workshop on Rapid System Prototyping (RSP)*, pages 136-141, 1997
- [29] H. Krupnova and G. Saucier. FPGA-Based Emulation: Industrial and Custom Prototyping Solutions. In *Proceedings of Field Programmable Logic and Applications (FPL)*, pages 68–77, August 2000.
- [30] M. Glesner and A. Kirschbaum. State-of-the-Art in Rapid Prototyping. In *Proc. XI Brazilian Symposium on Integrated Circuit Design*, pages 60–65, September 1998.
- [31] M. Denneau. The Yorktown simulation engine. In *Proc. of the 19th Design Automation Conference (DAC)*, 1982.
- [32] F. Ducattele, G. A. Di Caro, C. Pincioli, F. Mondada, and L. Gambardella, "Communication assisted navigation in robotic swarms: Self-organization and cooperation," *Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2011 IEEE/RSJ 2011.
- [33] P. Mirowski, R. Palaniappan, and T.K. Ho, "Depth camera SLAM on a low-cost WiFi mapping robot," *Technologies for Practical Robot Applications (TePRA)*, 2012

- [34] A. Gil-Pinto, P. Fraisse, and R.Zapata, "Wireless Reception Signal Strength for Relative Positioning in a Vehicle Robot Formation," *Robotics Symposium, 2006. LARS '06.*, 2006.
- [35] Axer, Steffen, and Bernhard Friedrich. "Level of service estimation based on low-frequency floating car data." *Transportation Research Procedia* 3 (2014): 1051-1058.
- [36] Fiosina, J., Maksims F., Müller, J., "Mining the traffic cloud: Data analysis and optimization strategies for cloud-based cooperative mobility management." *Management Intelligent Systems*. Springer International Publishing, 2013. 25-
- [37] Shawe-Taylor, J., Tijl De Bie, Cristianini, N., "Data mining, data fusion and information management."32.
- [38] Xu, L., Yang Y., Qingquan L., "Identifying urban traffic congestion pattern from historical floating car data." *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 96 (2013): 2084-2095.
- [39] Kang, J., Ma, T., Ma, F., Huang, J., 2011. Link-based emission model for eco routing. In *ITS Telecommunications (ITST), 2011 11th International Conference on* (pp. 207-212). IEEE.
- [40] Frey, H.C., Roupail, N.M., Zhai, H., 2006. Speed and Facility-Specific Emission Estimates for On-Road LightDuty Vehicles based on Real-World Speed Profiles. *Transportation Research Record* 1987, 128 - 137.
- [41] Coelho, M.C., Frey, H.C., Roupail, N.M., Zhai, H., Pelkmans, L., 2009. Assessing methods for comparing emissions from gasoline and diesel light-duty vehicles on microscale measurements. *Transportation Research Part D* 14, 91 - 99.
- [42] Almeida, T., 2010. Monitorização experimental de Rotas Alternativas Para Veículos. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Aveiro,152 pp.
- [43] NCSU, 2002. Methodology for Developing Modal Emission Rates for EPA's Multi-scale Motor Vehicle & Equipment Emission System. Publication EPA 420-R-02-027. North Carolina State University for US Environmental Protection Agency, Ann Harbor
- [44] Yitian, W., Zixuan, P., Keming, W., Xiaolin, S., Baozhen, S., and Tao, F.T., 2015. Research on urban road congestion pricing strategy considering carbon dioxide emissions. *Sustainability*, Vol. 7, No. 8, p.10534-.ISSN 2071-1050

Anexos

Anexo A – dados N109



Figura A. 1 - Ponto Principal de filmagem na N109

Tabela A. 1 - Relação de velocidades e tempo de viagens com Fluidez e Identificação de congestionamento na rotunda

Tempo de viagem (s)	Vmax (m/s)	Vmed (m/s)	Vmin (m/s)	Fluidez	IC
63	10.11	1.20	0.01	1.00	0.88
23	15.19	11.17	9.21	-0.07	0.67
35	12.73	7.28	0.12	-0.96	0.43
26	12.05	9.99	5.18	-0.18	0.29
25	14.16	10.44	4.73	-0.20	0.39
24	12.82	10.54	6.62	-0.10	0.36
23	14.40	10.25	5.88	-0.11	0.48
25	11.88	9.73	7.28	-0.10	0.46
23	15.86	10.50	5.04	-0.14	0.49
25	12.57	10.09	6.92	-0.12	0.43
24	14.60	10.00	5.87	-0.15	0.52
35	13.21	7.75	0.23	-0.93	0.42
33	11.30	8.12	0.61	-0.66	0.30
34	11.72	7.73	0.24	-0.79	0.35
31	10.66	8.33	0.42	-0.54	0.23
14	10.48	9.04	5.64	0.19	0.30
12	12.21	10.78	9.38	0.13	0.51
104	10.42	2.62	0.01	-6.56	0.75
11	12.24	9.84	7.20	0.31	0.48
25	12.39	8.65	3.86	-0.22	0.44
28	13.60	8.30	2.23	-0.46	0.47
40	12.71	6.42	0.97	-1.27	0.54
21	11.29	6.19	1.76	-0.08	0.54
20	12.90	8.62	5.68	0.00	0.59
18	12.36	10.72	9.20	0.03	0.52
22	12.57	9.55	7.54	-0.05	0.60
22	11.91	8.73	3.80	-0.09	0.39
20	11.73	8.06	5.65	0.00	0.60
22	13.80	9.32	6.10	-0.08	0.58
11	10.70	9.20	6.33	0.28	0.34
200	23.83	12.14	0.24	-4.47	0.50

14	11.71	9.35	5.12	0.25	0.36
23	12.60	9.81	6.81	-0.08	0.48
22	11.76	7.97	2.27	-0.11	0.40
25	13.95	9.42	3.62	-0.25	0.44
25	12.02	9.92	7.22	-0.11	0.44
25	12.16	9.90	7.87	-0.10	0.53
16	11.59	10.42	8.01	0.08	0.33
20	6.34	2.24	0.01	0.00	0.65
25	9.85	3.62	0.02	-0.61	0.63
26	11.67	9.43	5.66	-0.17	0.37
17	10.91	7.21	0.08	0.24	0.34
14	12.61	10.06	5.66	0.25	0.37

Tabela A. 2 - Relação de velocidades e tempo de viagens com Fluidez e Identificação de congestionamento num segmento da N109

Tempo a percorrer a via (s)	Vmax (m/s)	Vmed (m/s)	Vmin (m/s)	Fluidez	IC
39	18.25	15.48	10.57	-0.05	0.36
34	19.13	17.13	13.71	0.01	0.37
43	14.96	13.64	10.25	-0.07	0.28
38	17.08	15.44	12.73	-0.02	0.38
33	18.45	17.38	14.94	0.01	0.30
40	16.39	14.85	13.32	-0.03	0.50
34	19.43	17.47	12.94	0.01	0.30
38	17.48	15.46	10.85	-0.04	0.30
34	18.26	17.24	15.80	0.00	0.42
37	17.24	15.58	13.10	-0.01	0.40
36	19.53	16.90	13.86	-0.01	0.46
33	18.82	17.51	14.24	0.02	0.29
41	15.46	14.33	10.71	-0.05	0.24
35	18.70	16.76	12.31	0.00	0.30
42	15.13	14.05	11.04	-0.05	0.27
41	17.19	12.80	9.14	-0.10	0.55
29	19.53	16.99	14.42	0.06	0.50
35	18.52	15.32	13.14	0.00	0.59
35	19.45	16.88	13.37	0.00	0.42
20	24.72	17.60	9.68	0.48	0.47
29	20.48	16.30	11.26	0.11	0.45
29	21.41	18.46	12.85	0.09	0.35
33	23.14	15.61	10.09	0.05	0.58
28	26.26	18.76	12.69	0.16	0.55
27	23.51	19.92	12.13	0.15	0.32
32	18.57	15.57	12.18	0.04	0.47

26	22.43	19.22	16.53	0.09	0.54
31	21.92	18.07	11.08	0.07	0.36
30	21.58	18.57	12.54	0.08	0.33
41	15.98	14.26	11.91	-0.05	0.42
36	18.15	16.58	12.91	-0.01	0.30
41	15.75	14.42	13.25	-0.03	0.53
48	15.34	13.33	9.74	-0.13	0.36
38	16.29	15.29	14.16	-0.01	0.47
37	17.63	15.77	11.36	-0.02	0.30
38	16.69	15.58	12.44	-0.02	0.26
37	17.78	15.77	10.40	-0.03	0.27
36	17.92	16.05	10.69	-0.01	0.26
48	15.60	12.19	7.94	-0.20	0.44
250	16.79	15.22	11.77	-0.65	0.31
35	19.46	16.87	11.80	0.00	0.34
40	16.58	14.59	12.61	-0.04	0.50

Tabela A. 3 - Relação agregados VSP com Emissões na Rotunda

CO ₂ DIESEL (g)	NOx Diesel (g)	CO ₂ gasolina (g)	NOx gasoline (g)	VSP1-3 (s)	VSP4-6 (s)	VSP7-14 (s)
69.13	0.29	98.13	0.04	52.00	7.00	4.00
64.56	0.33	76.93	0.07	9.00	6.00	9.00
78.76	0.37	99.39	0.08	17.00	12.00	7.00
61.30	0.24	75.60	0.05	8.00	14.00	5.00
73.45	0.32	84.66	0.06	6.00	12.00	8.00
58.40	0.24	72.55	0.05	7.00	13.00	5.00
63.85	0.28	74.60	0.05	6.00	12.00	6.00
56.75	0.23	70.83	0.05	7.00	13.00	6.00
83.89	0.47	89.95	0.08	7.00	6.00	11.00
60.49	0.25	74.38	0.05	7.00	13.00	6.00
66.48	0.30	78.84	0.06	6.00	11.00	8.00
77.11	0.30	95.63	0.06	14.00	13.00	9.00
63.74	0.26	85.89	0.05	15.00	15.00	4.00
64.36	0.26	87.31	0.05	12.00	20.00	3.00
61.23	0.24	80.89	0.05	12.00	17.00	3.00
30.57	0.12	40.65	0.03	4.00	7.00	4.00
22.36	0.09	31.80	0.02	6.00	5.00	2.00
127.22	0.53	194.31	0.10	71.00	29.00	5.00
11.24	0.05	22.86	0.01	9.00	2.00	1.00

72.36	0.35	83.60	0.07	7.00	12.00	7.00
75.34	0.48	91.55	0.08	9.00	13.00	7.00
75.55	0.40	101.18	0.07	19.00	17.00	5.00
39.90	0.19	53.30	0.04	12.00	5.00	5.00
57.06	0.40	69.34	0.07	9.00	5.00	7.00
33.95	0.17	46.86	0.03	13.00	2.00	4.00
43.55	0.28	62.00	0.05	11.00	9.00	3.00
54.93	0.29	66.38	0.05	9.00	8.00	6.00
49.93	0.31	63.30	0.05	9.00	6.00	6.00
54.01	0.25	64.32	0.05	9.00	7.00	7.00
26.78	0.12	35.04	0.03	5.00	5.00	2.00
491.39	3.08	614.30	0.55	90.00	64.00	47.00
40.20	0.16	46.39	0.03	1.00	13.00	1.00
51.54	0.20	67.31	0.05	10.00	7.00	7.00
57.92	0.33	70.82	0.06	7.00	10.00	6.00
64.68	0.25	75.64	0.05	7.00	12.00	7.00
51.52	0.20	69.22	0.05	10.00	11.00	5.00
53.21	0.22	69.43	0.05	11.00	10.00	5.00
40.90	0.17	49.57	0.03	3.00	10.00	4.00
13.17	0.06	23.78	0.01	13.00	2.00	0.00
39.42	0.16	55.15	0.03	14.00	10.00	2.00
52.35	0.21	67.29	0.04	11.00	11.00	5.00
39.82	0.16	51.02	0.03	6.00	8.00	4.00

Tabela A. 4 - Relação agregados VSP com emissões no segmento

CO ₂ Diesel (g)	NOx Diesel (g)	CO ₂ gasolina (g)	NOx gasolina (g)	VSP1-3 (s)	VSP4-6 (s)	VSP7-14 (s)
99.53	0.38	118.03	0.08	12.00	17.00	11.00
74.35	0.35	95.32	0.07	13.00	17.00	5.00
80.78	0.32	108.42	0.07	15.00	25.00	4.00
77.63	0.35	101.32	0.07	15.00	19.00	5.00
75.48	0.30	92.43	0.06	11.00	15.00	8.00
83.81	0.36	109.15	0.07	14.00	22.00	5.00
86.26	0.44	105.21	0.08	10.00	18.00	7.00
91.86	0.40	109.38	0.08	14.00	14.00	11.00
67.74	0.27	88.30	0.05	9.00	23.00	3.00
82.31	0.32	104.60	0.07	11.00	22.00	5.00
66.51	0.27	83.31	0.06	13.00	11.00	8.00
84.54	0.33	101.19	0.07	7.00	21.00	6.00

79.65	0.31	102.89	0.06	14.00	24.00	4.00
90.69	0.36	106.22	0.07	11.00	14.00	11.00
82.47	0.33	110.56	0.07	10.00	30.00	3.00
113.97	0.74	135.91	0.13	18.00	9.00	15.00
97.56	0.81	113.72	0.13	13.00	7.00	10.00
104.03	0.60	120.94	0.11	14.00	10.00	12.00
112.94	0.79	128.94	0.13	17.00	6.00	13.00
105.41	0.77	119.47	0.13	12.00	5.00	14.00
103.78	0.87	119.07	0.13	11.00	7.00	12.00
120.35	1.04	130.00	0.15	9.00	8.00	13.00
87.99	0.75	109.81	0.11	19.00	6.00	9.00
109.94	1.04	123.79	0.15	12.00	4.00	13.00
120.59	1.10	128.21	0.16	10.00	4.00	14.00
88.59	0.58	105.97	0.10	17.00	5.00	11.00
78.54	0.62	94.39	0.10	13.00	5.00	9.00
106.43	0.65	118.19	0.12	11.00	9.00	12.00
110.31	0.70	118.40	0.12	9.00	9.00	13.00
78.63	0.31	104.33	0.06	18.00	17.00	7.00
85.92	0.34	104.04	0.07	9.00	22.00	6.00
69.81	0.29	98.56	0.06	18.00	21.00	3.00
96.56	0.38	127.01	0.08	21.00	19.00	9.00
79.06	0.31	100.73	0.06	9.00	28.00	2.00
92.10	0.36	110.33	0.07	10.00	20.00	8.00
86.10	0.45	108.95	0.08	11.00	22.00	6.00
93.10	0.36	111.60	0.07	8.00	21.00	9.00
83.70	0.35	104.05	0.07	14.00	13.00	10.00
72.02	0.30	109.15	0.06	25.00	19.00	5.00

Tabela A. 5 - Relação emissões com fluidez, volume e diferença entre Vmax e Vmin

Volume (vph)	CO ₂ Diesel (g)	NOx Diesel (g)	CO ₂ gasolina (g)	NOx gasolina (g)	Fluidez	Vmax-Vmin (m/s)
313.04	99.53	0.38	118.03	0.08	-0.05	7.68
102.86	74.35	0.35	95.32	0.07	0.01	5.42
288.00	77.63	0.35	101.32	0.07	-0.02	4.36
150.00	75.48	0.30	92.43	0.06	0.01	3.51
469.57	83.81	0.36	109.15	0.07	-0.03	3.07
144.00	86.26	0.44	105.21	0.08	0.01	6.49
313.04	91.86	0.40	109.38	0.08	-0.04	6.63

576.00	67.74	0.27	88.30	0.05	0.00	2.46
450.00	82.31	0.32	104.60	0.07	-0.01	4.15
218.18	84.54	0.33	101.19	0.07	0.02	4.58
211.76	79.65	0.31	102.89	0.06	-0.05	4.75
116.13	90.69	0.36	106.22	0.07	0.00	6.39
1309.09	104.03	0.60	120.94	0.11	0.00	5.39
1728.00	112.94	0.79	128.94	0.13	0.00	6.08
1285.71	105.41	0.77	119.47	0.13	0.48	15.05
360.00	103.78	0.87	119.07	0.13	0.11	9.22
2057.14	120.35	1.04	130.00	0.15	0.09	8.56
1800.00	87.99	0.75	109.81	0.11	0.05	13.05
2800.00	109.94	1.04	123.79	0.15	0.16	13.57
2127.27	120.59	1.10	128.21	0.16	0.15	11.39
818.18	88.59	0.58	105.97	0.10	0.04	6.38
1800.00	85.92	0.34	104.04	0.07	-0.01	5.24
1878.26	69.81	0.29	98.56	0.06	-0.03	2.50
2127.27	96.56	0.38	127.01	0.08	-0.13	5.59
1584.00	79.06	0.31	100.73	0.06	-0.01	2.12
2304.00	92.10	0.36	110.33	0.07	-0.02	6.28
2880.00	86.10	0.45	108.95	0.08	-0.02	4.25
2250.00	93.10	0.36	111.60	0.07	-0.03	7.38
2160.00	83.70	0.35	104.05	0.07	-0.01	7.24
2304.00	72.02	0.30	109.15	0.06	-0.20	7.65
830.77	86.96	0.36	106.01	0.08	0.00	7.67

Anexo B – Dados Avenida 25 Abril

Segmento 1-2 da figura 10 (ambas direções)

Neste segmento o volume não foi aplicado, porque devido ao local onde a câmara se encontrava não permitia a utilização correta do programa de Visão e não permite tirar relações muito coerentes entre os dois segmentos da via, devido às muitas inconstâncias existentes ao longo dela. Nas tentativas de cálculo de volume e correlação. Este tipo de teste sugere-se fazer no futuro em tempo real.



Figura A. 2 - Imagem da localização da câmara nesta rota

Tabela A. 6 - Relação dos tipos de velocidade e tempo de percurso com a Fluidez e Identificação de tráfego

Tempo a percorrer a via (s)	Vmax (m/s)	Vmed (m/s)	Vmin (m/s)	Fluidez	IC
28.00	10.32	7.61	3.65	-0.09	0.41
100.00	6.72	1.61	0.02	-5.74	0.76
153.00	8.13	1.29	0.02	-11.36	0.84
57.00	8.70	4.03	0.20	-1.72	0.55
26.00	11.16	8.45	4.89	-0.02	0.43
20.00	11.49	10.34	5.65	0.13	0.20
43.00	8.02	5.17	0.62	-0.77	0.39
19.00	12.98	11.03	6.22	0.17	0.29

26.00	12.52	8.28	0.65	-0.04	0.36
182.00	10.68	1.26	0.02	-16.78	0.88
98.00	6.86	1.84	0.08	-5.01	0.74
23.00	11.93	9.08	2.44	0.10	0.30
40.00	9.55	5.15	0.20	-0.84	0.47
37.00	10.84	6.03	2.65	-0.52	0.59
16.00	14.68	12.49	7.82	0.25	0.32
19.00	14.65	10.84	0.58	0.37	0.27
18.00	14.34	11.34	2.68	0.35	0.26
23.00	13.28	8.40	2.04	0.12	0.43
33.00	9.51	5.59	0.21	-0.45	0.42
82.00	9.20	2.37	0.09	-4.53	0.75
40.00	15.77	5.57	0.99	-1.23	0.69
28.00	10.14	6.98	1.08	-0.14	0.35
32.00	10.27	5.80	0.67	-0.40	0.47
23.00	10.68	8.14	2.66	0.09	0.32
41.00	12.58	6.22	0.74	-0.93	0.54
20.00	12.98	10.19	4.52	0.19	0.33
45.00	7.83	4.86	2.49	-0.64	0.56
35.00	8.43	5.94	1.17	-0.40	0.34
50.00	12.03	5.17	0.01	-1.59	0.57
31.00	11.48	7.32	2.27	-0.26	0.45
50.00	8.89	4.56	0.04	-1.33	0.49
97.00	6.25	2.00	0.01	-4.20	0.68
30.00	10.15	7.93	3.86	-0.14	0.35
55.00	9.99	3.87	0.01	-2.01	0.61
23.00	11.22	9.01	3.34	0.08	0.28
28.00	10.22	7.65	0.50	-0.13	0.26
23.00	13.00	8.70	0.55	0.13	0.35
26.00	10.18	8.06	5.26	-0.02	0.43
28.00	11.21	4.83	0.12	-0.24	0.58
32.00	14.15	7.67	0.01	-0.44	0.46
27.00	13.79	8.33	0.36	-0.11	0.41
38.00	8.99	5.84	0.92	-0.57	0.39
66.00	9.77	3.48	0.01	-2.70	0.64
46.00	9.48	4.65	0.03	-1.22	0.51
35.00	10.25	6.03	0.02	-0.56	0.41
25.00	11.99	8.32	6.05	0.01	0.62
30.00	9.95	7.28	1.85	-0.19	0.33
35.00	12.33	6.27	0.02	-0.65	0.49
37.00	10.58	5.82	0.14	-0.69	0.46

35.00	10.82	6.19	0.36	-0.55	0.44
26.00	11.39	8.48	2.98	-0.03	0.35
22.00	11.04	9.47	7.32	0.05	0.42
21.00	11.33	9.94	7.41	0.07	0.35
20.00	11.65	9.78	4.52	0.17	0.26
21.00	11.47	9.53	6.41	0.10	0.38
36.00	9.28	4.85	0.38	-0.65	0.50
24.00	8.92	6.65	4.08	0.04	0.47
25.00	10.93	8.32	3.22	0.01	0.34
23.00	11.99	9.15	5.85	0.06	0.46
18.00	12.48	10.55	7.28	0.17	0.37
31.00	11.46	6.95	3.21	-0.25	0.55
27.00	10.18	8.29	5.61	-0.04	0.41
39.00	12.12	4.88	0.11	-1.07	0.60
27.00	9.82	7.83	5.74	-0.04	0.49
23.00	10.86	8.78	6.85	0.04	0.52
26.00	12.16	8.58	2.51	-0.04	0.37
20.00	11.12	7.94	2.72	0.24	0.38
31.00	9.07	6.02	4.01	-0.17	0.60
28.00	13.76	6.67	0.31	-0.21	0.53
49.00	8.25	2.98	0.05	-1.83	0.64
14.00	13.17	12.28	11.10	0.10	0.43
48.00	12.22	4.62	0.19	-1.68	0.63
23.00	14.62	8.75	4.42	0.11	0.58
25.00	11.96	7.17	2.67	0.01	0.52
58.00	8.12	3.21	0.29	-2.03	0.63
30.00	12.10	6.81	2.90	-0.24	0.57
153.00	7.56	1.10	0.01	-12.42	0.86
34.00	9.84	6.19	0.38	-0.46	0.39
42.00	9.80	5.09	0.02	-0.98	0.48
28.00	9.35	7.95	3.67	-0.08	0.25
44.00	6.29	4.56	2.97	-0.41	0.52
30.00	9.74	7.24	4.67	-0.12	0.49
61.00	11.19	3.85	0.01	-2.57	0.66
36.00	8.52	6.22	2.77	-0.33	0.40
47.00	11.51	4.43	0.04	-1.61	0.62
64.00	10.00	2.96	0.18	-3.09	0.72
31.00	8.85	7.02	5.86	-0.09	0.61
40.00	10.36	5.58	0.02	-0.86	0.46
43.00	10.87	5.31	0.00	-1.09	0.51
30.00	9.48	7.35	4.26	-0.12	0.41

59.00	10.22	3.77	0.00	-2.31	0.63
37.00	8.71	6.13	0.47	-0.52	0.31
63.00	8.20	3.53	0.00	-2.13	0.57
61.00	10.43	3.67	0.00	-2.51	0.65
61.00	8.54	3.71	0.00	-2.03	0.57
31.00	8.97	6.98	4.55	-0.13	0.45

Tabela A. 7 - Relação entre emissões e agregados VSP

CO ₂ Diesel (g)	NOx Diesel (g)	CO ₂ gasolina (g)	NOx gasoline (g)	VSP1-3 (s)	VSP4-6 (s)	VSP7-14 (s)
51.86	0.21	72.23	0.04	9.00	19.00	1.00
84.65	0.37	147.69	0.06	85.00	16.00	0.00
121.45	0.55	209.52	0.08	138.00	16.00	0.00
54.84	0.24	97.03	0.05	43.00	14.00	1.00
34.65	0.15	59.22	0.03	15.00	11.00	1.00
23.97	0.10	42.53	0.02	9.00	12.00	0.00
52.11	0.22	86.76	0.05	24.00	20.00	0.00
23.78	0.10	42.05	0.02	14.00	5.00	1.00
22.54	0.10	49.54	0.03	21.00	5.00	1.00
134.54	0.61	242.61	0.09	174.00	9.00	0.00
79.93	0.35	139.14	0.05	85.00	14.00	0.00
21.12	0.10	44.12	0.02	16.00	8.00	0.00
38.16	0.16	70.58	0.03	26.00	15.00	0.00
41.76	0.18	75.42	0.04	24.00	13.00	1.00
30.12	0.12	43.04	0.03	10.00	4.00	3.00
23.78	0.10	43.19	0.03	16.00	1.00	3.00
25.00	0.11	41.81	0.03	13.00	4.00	2.00
35.18	0.22	55.41	0.04	17.00	4.00	3.00
47.55	0.19	73.70	0.04	21.00	12.00	2.00
82.30	0.41	135.18	0.07	72.00	7.00	4.00
58.11	0.39	89.25	0.07	26.00	13.00	2.00
29.02	0.13	55.89	0.03	20.00	8.00	1.00
38.69	0.17	64.55	0.03	24.00	9.00	1.00
28.16	0.12	50.81	0.03	11.00	13.00	0.00
57.88	0.24	88.39	0.05	23.00	18.00	1.00
40.83	0.17	57.64	0.04	8.00	11.00	3.00
52.28	0.22	90.96	0.05	29.00	16.00	2.00

46.19	0.19	76.14	0.04	18.00	16.00	2.00
61.82	0.26	98.07	0.05	34.00	14.00	3.00
43.13	0.18	67.56	0.04	17.00	15.00	0.00
52.15	0.22	90.70	0.04	31.00	20.00	0.00
89.56	0.39	151.99	0.06	75.00	23.00	0.00
42.67	0.18	66.24	0.04	15.00	14.00	2.00
59.13	0.25	101.80	0.05	38.00	17.00	1.00
32.90	0.14	52.90	0.03	12.00	10.00	2.00
36.93	0.15	57.26	0.03	19.00	9.00	1.00
40.72	0.17	58.42	0.03	9.00	14.00	1.00
26.30	0.12	51.74	0.03	17.00	10.00	0.00
123.59	0.52	181.65	0.10	47.00	31.00	6.00
40.60	0.17	66.45	0.04	18.00	13.00	2.00
52.21	0.21	69.01	0.04	12.00	13.00	3.00
42.68	0.18	73.79	0.04	20.00	19.00	0.00
67.92	0.29	112.08	0.05	48.00	18.00	1.00
46.79	0.20	83.19	0.04	30.00	17.00	0.00
42.79	0.18	71.24	0.04	19.00	17.00	0.00
23.77	0.11	47.04	0.02	17.00	9.00	0.00
31.56	0.14	60.17	0.03	22.00	9.00	0.00
52.02	0.21	78.13	0.04	16.00	19.00	1.00
50.61	0.25	77.53	0.05	23.00	11.00	3.00
58.86	0.24	84.35	0.05	16.00	16.00	3.00
57.50	0.30	72.97	0.05	7.00	18.00	2.00
39.05	0.16	54.80	0.03	5.00	17.00	1.00
45.77	0.18	58.48	0.04	2.00	19.00	1.00
47.55	0.19	58.41	0.04	2.00	16.00	3.00
49.49	0.19	61.13	0.04	8.00	10.00	4.00
56.38	0.23	81.13	0.05	17.00	17.00	3.00
47.19	0.22	62.23	0.04	8.00	16.00	1.00
52.00	0.20	67.17	0.04	8.00	13.00	5.00
50.42	0.20	62.36	0.04	7.00	14.00	3.00
45.38	0.18	54.23	0.03	3.00	12.00	4.00
57.80	0.23	78.74	0.05	10.00	20.00	2.00
40.88	0.17	62.68	0.03	9.00	19.00	0.00
64.08	0.26	85.81	0.05	20.00	20.00	0.00
37.02	0.16	58.10	0.03	17.00	10.00	1.00
43.93	0.18	59.54	0.03	7.00	17.00	0.00
56.58	0.30	74.07	0.06	11.00	11.00	5.00
44.10	0.17	56.98	0.04	5.00	14.00	2.00
44.52	0.18	70.51	0.04	12.00	20.00	0.00

57.61	0.30	72.88	0.06	17.00	7.00	5.00
59.59	0.25	93.27	0.05	34.00	16.00	0.00
32.28	0.13	41.24	0.03	5.00	6.00	4.00
64.82	0.27	97.45	0.05	31.00	15.00	3.00
62.37	0.24	74.05	0.05	3.00	16.00	5.00
52.43	0.27	65.88	0.05	10.00	13.00	3.00
60.47	0.27	102.05	0.05	43.00	14.00	2.00
53.15	0.23	74.65	0.05	16.00	11.00	4.00
130.42	0.58	206.56	0.07	136.00	18.00	0.00
48.46	0.20	76.02	0.04	19.00	15.00	1.00
63.21	0.26	91.41	0.05	22.00	20.00	1.00
42.55	0.17	63.52	0.04	13.00	15.00	1.00
45.07	0.19	77.15	0.04	28.00	17.00	0.00
46.67	0.19	70.01	0.04	14.00	16.00	1.00
84.10	0.35	120.70	0.06	37.00	22.00	3.00
48.30	0.20	78.14	0.04	16.00	21.00	0.00
68.76	0.28	92.78	0.05	27.00	19.00	2.00
82.43	0.35	121.30	0.06	42.00	21.00	2.00
41.21	0.17	63.62	0.03	12.00	20.00	0.00
59.29	0.24	85.53	0.05	23.00	15.00	3.00
69.12	0.28	97.02	0.05	20.00	20.00	4.00
32.82	0.14	57.91	0.03	19.00	11.00	1.00
77.89	0.33	112.61	0.06	40.00	17.00	3.00
50.51	0.21	80.29	0.04	14.00	24.00	0.00
75.98	0.32	117.73	0.06	41.00	21.00	2.00
84.51	0.35	116.88	0.06	43.00	14.00	5.00
70.25	0.30	109.70	0.05	37.00	25.00	0.00
41.31	0.17	66.70	0.04	14.00	18.00	0.00

Segmento 2-3 da figura 10 (ambas direcções)

Neste segmento já foi possível o cálculo de Volume.

Tabela A. 8 - Relação entre os tipos de velocidades, tempo de viagem, fluidez e identificação de congestionamento no segundo segmento desta via

Tempo a percorrer a via (s)	Vmax (m/s)	Vmed (m/s)	Vmin (m/s)	Fluidez	IC
63.00	14.52	7.43	0.03	-2.00	0.49
51.00	16.26	9.36	0.05	-1.41	0.43
66.00	13.67	7.23	0.03	-2.02	0.47
42.00	15.34	11.94	10.39	-0.26	0.69
56.00	14.29	8.65	0.27	-1.47	0.40
54.00	14.26	8.47	0.29	-1.43	0.41
42.00	15.85	11.50	7.05	-0.47	0.49
37.00	16.50	12.22	7.71	-0.35	0.49
80.00	15.98	5.70	0.10	-3.52	0.65
37.00	15.67	13.11	10.34	-0.20	0.48
65.00	14.50	7.45	0.03	-2.05	0.49
63.00	15.31	7.90	0.08	-1.97	0.49
45.00	15.18	10.55	3.72	-0.75	0.40
47.00	15.92	9.79	4.33	-0.87	0.53
49.00	15.88	9.96	3.25	-0.98	0.47
73.00	15.68	6.44	0.03	-2.85	0.59
38.00	15.89	12.15	9.62	-0.27	0.60
33.00	14.11	12.11	9.83	-0.13	0.47
54.00	13.69	8.23	1.58	-1.28	0.45
35.00	16.65	10.82	5.49	-0.45	0.52
60.00	15.41	7.37	0.23	-2.01	0.53
38.00	16.06	11.74	8.85	-0.32	0.60
49.00	18.06	10.17	0.52	-1.33	0.45
49.00	18.01	9.47	1.85	-1.32	0.53
53.00	14.82	8.26	0.54	-1.47	0.46
54.00	24.89	9.17	0.78	-2.29	0.65
59.00	14.23	8.47	1.01	-1.49	0.44
42.00	20.06	11.68	0.79	-1.02	0.43
122.00	13.63	7.81	0.03	-2.93	0.43
49.00	15.06	9.49	1.10	-1.14	0.40
43.00	15.78	11.32	8.50	-0.41	0.61
79.00	14.12	6.37	0.01	-2.77	0.55
59.00	14.75	7.66	0.51	-1.78	0.50
65.00	13.34	7.26	0.02	-1.94	0.46
58.00	11.80	7.85	0.31	-1.38	0.34
38.00	16.07	11.74	4.32	-0.52	0.37
61.00	16.22	7.46	0.36	-2.11	0.55

35.00	17.60	12.78	9.13	-0.29	0.57
69.00	12.37	7.29	0.01	-1.89	0.41
47.00	16.71	10.65	0.06	-1.14	0.36
43.00	16.13	11.67	8.51	-0.42	0.59
81.00	13.39	6.20	0.00	-2.75	0.54
38.00	17.61	13.31	8.91	-0.34	0.49
56.00	12.50	8.83	3.22	-0.95	0.40
37.00	17.69	13.53	9.05	-0.31	0.48
45.00	13.00	11.07	8.76	-0.26	0.46
58.00	14.12	8.70	2.97	-1.21	0.49
73.00	16.57	6.95	0.00	-2.79	0.58
107.00	13.65	4.42	0.32	-2.61	0.69
57.00	12.90	8.59	0.44	-0.34	0.35
65.00	13.50	7.74	0.01	-0.64	0.43
46.00	13.47	10.91	9.55	-0.01	0.65
47.00	12.58	10.69	8.29	-0.02	0.44
45.00	13.67	11.15	5.43	0.00	0.31
49.00	13.23	10.43	6.32	-0.06	0.41
44.00	12.92	11.33	8.98	0.01	0.40
52.00	12.84	9.75	7.56	-0.08	0.59
64.00	13.14	7.93	0.58	-0.56	0.41
44.00	13.20	11.14	9.25	0.01	0.52
52.00	14.12	9.40	3.35	-0.17	0.44
60.00	13.91	8.15	1.60	-0.43	0.47
53.00	15.59	9.49	1.10	-0.25	0.42
38.00	14.70	13.06	10.55	0.05	0.39
53.00	13.36	9.25	0.31	-0.23	0.32
115.00	13.57	3.24	0.00	-3.93	0.76
111.00	10.57	2.51	0.06	-3.78	0.77
61.00	14.37	7.43	0.96	-0.55	0.52
84.00	13.18	5.27	0.34	-1.52	0.62
43.00	16.89	11.50	7.54	0.04	0.58
55.00	15.96	8.98	2.25	-0.31	0.51
64.00	16.45	7.36	0.04	-0.79	0.55
63.00	17.09	7.10	2.24	-0.70	0.67
43.00	19.74	11.00	1.09	0.08	0.47
57.00	13.53	8.58	4.61	-0.25	0.56
90.00	13.00	5.35	0.18	-1.66	0.60
70.00	19.84	7.41	0.04	-1.18	0.63
25.00	18.75	12.10	6.64	0.59	0.55
64.00	13.30	7.89	0.02	-0.59	0.41

88.00	14.41	5.88	0.06	-1.64	0.59
102.00	13.87	5.02	0.00	-2.26	0.64
138.00	13.70	3.83	0.00	-4.01	0.72
133.00	13.19	3.78	0.00	-3.78	0.71
78.00	15.02	6.60	0.00	-1.25	0.56
60.00	14.81	8.16	0.06	-0.52	0.45
140.00	13.79	6.24	0.31	-2.45	0.56
40.00	14.72	12.51	10.78	0.04	0.56
79.00	15.23	6.45	0.00	-1.33	0.58
93.00	17.68	5.52	0.00	-2.32	0.69
171.00	14.42	3.03	0.00	-6.35	0.79
170.00	14.32	3.03	0.00	-6.29	0.79
53.00	16.99	9.42	0.13	-0.29	0.45
41.00	15.21	12.03	9.13	0.05	0.52
41.00	14.90	12.19	10.25	0.04	0.58
77.00	15.08	6.58	0.01	-1.23	0.56

Tabela A. 9 - Relação entre agregados VSP e emissões de poluentes

CO ₂ Diesel (g)	NOx Diesel (g)	CO ₂ gasolina (g)	NOx gasolina (g)	VSP1-3 (s)	VSP4-6 (s)	VSP7-14 (s)
94.21	0.41	136.33	0.08	41.00	16.00	7.00
94.76	0.43	131.91	0.09	26.00	21.00	5.00
93.49	0.39	141.70	0.08	36.00	27.00	4.00
71.16	0.29	101.72	0.06	21.00	16.00	6.00
87.19	0.40	128.43	0.08	33.00	18.00	6.00
82.38	0.34	124.76	0.07	28.00	22.00	5.00
71.80	0.32	106.07	0.07	21.00	17.00	5.00
86.56	0.34	106.69	0.07	15.00	14.00	9.00
124.80	0.60	176.52	0.11	54.00	17.00	10.00
58.42	0.24	87.85	0.05	19.00	17.00	2.00
87.52	0.37	134.58	0.08	44.00	15.00	7.00
99.64	0.43	143.29	0.09	41.00	11.00	12.00
73.98	0.31	108.83	0.07	23.00	17.00	6.00
90.38	0.36	122.11	0.08	19.00	20.00	9.00
92.95	0.37	129.18	0.08	21.00	21.00	8.00
118.98	0.49	161.39	0.10	42.00	23.00	9.00
70.00	0.28	96.82	0.06	16.00	17.00	6.00
58.90	0.27	84.68	0.05	16.00	15.00	4.00
103.31	0.49	138.36	0.10	26.00	19.00	10.00

81.30	0.41	103.34	0.08	14.00	16.00	7.00
104.65	0.46	145.48	0.10	36.00	12.00	13.00
76.58	0.35	101.90	0.07	14.00	18.00	7.00
104.68	0.55	137.86	0.10	22.00	21.00	7.00
112.56	0.58	141.72	0.11	18.00	24.00	8.00
82.53	0.53	128.54	0.10	36.00	12.00	7.00
105.20	0.56	142.13	0.10	23.00	26.00	6.00
109.16	0.47	148.10	0.10	28.00	22.00	10.00
131.13	0.68	148.88	0.13	18.00	7.00	18.00
178.93	0.76	270.37	0.16	65.00	50.00	8.00
87.04	0.35	123.44	0.08	21.00	24.00	5.00
90.13	0.37	115.75	0.07	12.00	26.00	6.00
108.35	0.45	162.41	0.09	46.00	31.00	3.00
97.43	0.40	140.27	0.09	30.00	21.00	9.00
96.27	0.40	143.50	0.08	37.00	23.00	6.00
95.74	0.39	138.52	0.08	26.00	29.00	4.00
88.73	0.39	113.45	0.08	13.00	19.00	7.00
101.70	0.63	147.66	0.11	35.00	20.00	7.00
81.91	0.35	102.22	0.07	11.00	17.00	8.00
97.83	0.41	149.81	0.08	29.00	40.00	1.00
100.14	0.40	128.13	0.08	16.00	25.00	7.00
88.23	0.35	115.05	0.07	11.00	26.00	7.00
110.39	0.46	166.75	0.09	41.00	41.00	0.00
91.56	0.35	112.60	0.08	14.00	14.00	11.00
94.64	0.38	134.78	0.08	19.00	36.00	2.00
91.38	0.36	111.75	0.08	9.00	21.00	8.00
78.51	0.32	111.90	0.06	11.00	34.00	1.00
93.43	0.38	137.57	0.08	22.00	35.00	2.00
126.65	0.52	167.00	0.10	40.00	23.00	11.00
124.58	0.54	196.00	0.10	73.00	32.00	3.00
86.82	0.36	132.61	0.08	30.00	23.00	5.00
94.04	0.39	138.29	0.08	38.00	21.00	7.00
67.65	0.28	103.79	0.06	22.00	24.00	1.00
72.04	0.30	108.43	0.06	24.00	21.00	3.00
71.47	0.29	107.98	0.06	20.00	23.00	3.00
84.54	0.34	121.81	0.07	20.00	27.00	3.00
77.76	0.31	111.31	0.07	16.00	25.00	4.00
79.24	0.33	119.97	0.07	26.00	25.00	2.00
87.69	0.37	141.43	0.08	33.00	32.00	0.00
73.79	0.30	104.89	0.06	20.00	23.00	2.00
86.56	0.35	124.10	0.07	22.00	26.00	5.00

94.42	0.40	142.21	0.09	31.00	24.00	6.00
105.50	0.43	139.39	0.09	25.00	16.00	13.00
81.29	0.32	107.64	0.07	16.00	16.00	7.00
101.10	0.41	138.02	0.09	24.00	21.00	9.00
100.12	0.45	175.05	0.07	99.00	14.00	3.00
83.42	0.36	129.31	0.07	84.00	23.00	6.00
115.04	0.49	173.37	0.10	35.00	23.00	4.00
98.79	0.53	125.48	0.10	52.00	28.00	5.00
105.95	0.54	147.32	0.11	20.00	15.00	9.00
112.37	0.52	155.09	0.10	25.00	25.00	7.00
102.05	0.67	148.92	0.11	33.00	25.00	7.00
99.32	0.68	130.27	0.12	37.00	23.00	4.00
91.90	0.38	136.96	0.08	24.00	9.00	11.00
123.15	0.65	192.12	0.13	27.00	23.00	8.00
116.40	0.78	167.07	0.13	60.00	24.00	7.00
56.60	0.44	76.71	0.07	45.00	19.00	7.00
86.30	0.36	135.04	0.07	14.00	7.00	5.00
106.70	0.45	165.07	0.09	36.00	26.00	3.00
112.66	0.49	182.45	0.09	60.00	26.00	3.00
152.32	0.65	243.65	0.12	76.00	23.00	4.00
134.08	0.57	226.50	0.11	100.00	36.00	3.00
96.38	0.43	152.09	0.08	97.00	36.00	1.00
89.96	0.38	132.99	0.08	52.00	22.00	5.00
192.34	1.02	306.57	0.20	39.00	12.00	10.00
90.41	0.37	132.92	0.08	84.00	48.00	9.00
88.73	0.38	142.63	0.07	18.00	19.00	4.00
135.13	0.62	195.20	0.11	56.00	22.00	2.00
172.29	0.75	283.70	0.13	53.00	35.00	6.00
173.74	0.75	274.98	0.12	122.00	49.00	1.00
96.17	0.40	133.82	0.08	126.00	43.00	2.00
70.81	0.29	102.00	0.06	21.00	25.00	8.00
62.73	0.26	94.83	0.05	14.00	27.00	1.00
105.38	0.44	163.93	0.09	20.00	20.00	2.00
106.91	0.45	139.46	0.09	41.00	34.00	3.00

Tabela A. 10 - Relações do volume com os diferentes poluentes, fluidez e Vmx-Vmin

Volume (vph)	CO ₂ Diesel (g)	NOx Diesel (g)	CO ₂ gasolina (g)	NOx gasoline (g)	Fluidez	Vmax-Vmin (m/s)
847.06	94.76	0.43	131.91	0.09	-1.41	16.21
720.00	93.49	0.39	141.70	0.08	-2.02	13.63
257.14	71.16	0.29	101.72	0.06	-0.26	4.95
514.29	87.19	0.40	128.43	0.08	-1.47	14.02
533.33	82.38	0.34	124.76	0.07	-1.43	13.97
857.14	71.80	0.32	106.07	0.07	-0.47	8.81
681.08	86.56	0.34	106.69	0.07	-0.35	8.79
585.00	124.80	0.60	176.52	0.11	-3.52	15.88
389.19	58.42	0.24	87.85	0.05	-0.20	5.34
498.46	87.52	0.37	134.58	0.08	-2.05	14.47
400.00	99.64	0.43	143.29	0.09	-1.97	15.23
320.00	73.98	0.31	108.83	0.07	-0.75	11.46
842.55	90.38	0.36	122.11	0.08	-0.87	11.59
327.27	58.90	0.27	84.68	0.05	-0.13	4.28
800.00	103.31	0.49	138.36	0.10	-1.28	12.11
822.86	81.30	0.41	103.34	0.08	-0.45	11.17
540.00	104.65	0.46	145.48	0.10	-2.01	15.17
378.95	76.58	0.35	101.90	0.07	-0.32	7.22
367.35	104.68	0.55	137.86	0.10	-1.33	17.55
440.82	112.56	0.58	141.72	0.11	-1.32	16.15
543.40	82.53	0.53	128.54	0.10	-1.47	14.29
1200.00	86.82	0.36	132.61	0.08	-0.34	12.46
609.23	94.04	0.39	138.29	0.08	-0.64	13.49
860.87	67.65	0.28	103.79	0.06	-0.01	3.92
919.15	72.04	0.30	108.43	0.06	-0.02	4.30
1200.00	71.47	0.29	107.98	0.06	0.00	8.24
661.22	84.54	0.34	121.81	0.07	-0.06	6.91
654.55	77.76	0.31	111.31	0.07	0.01	3.94
1176.92	79.24	0.33	119.97	0.07	-0.08	5.27
787.50	87.69	0.37	141.43	0.08	-0.56	12.55
572.73	73.79	0.30	104.89	0.06	0.01	3.95
900.00	86.56	0.35	124.10	0.07	-0.17	10.77
900.00	94.42	0.40	142.21	0.09	-0.43	12.31
815.09	105.50	0.43	139.39	0.09	-0.25	14.48
648.65	115.04	0.49	173.37	0.10	-3.78	10.51
649.18	98.79	0.53	125.48	0.10	-0.55	13.41
857.14	105.95	0.54	147.32	0.11	-1.52	12.85
586.05	112.37	0.52	155.09	0.10	0.04	9.35

523.64	102.05	0.67	148.92	0.11	-0.31	13.71
450.00	99.32	0.68	130.27	0.12	-0.79	16.41
457.14	91.90	0.38	136.96	0.08	-0.70	14.86
669.77	123.15	0.65	192.12	0.13	0.08	18.65
442.62	178.93	0.76	270.37	0.16	-2.93	13.60
440.82	87.04	0.35	123.44	0.08	-1.14	13.96
837.21	90.13	0.37	115.75	0.07	-0.41	7.28
774.68	108.35	0.45	162.41	0.09	-2.77	14.12
793.22	97.43	0.40	140.27	0.09	-1.78	14.24
664.62	96.27	0.40	143.50	0.08	-1.94	13.32
186.21	95.74	0.39	138.52	0.08	-1.38	11.50
678.26	97.83	0.41	149.81	0.08	-1.89	12.36
459.57	100.14	0.40	128.13	0.08	-1.14	16.65
837.21	88.23	0.35	115.05	0.07	-0.42	7.62
755.56	110.39	0.46	166.75	0.09	-2.75	13.39
1326.32	91.56	0.35	112.60	0.08	-0.34	8.70
1092.86	94.64	0.38	134.78	0.08	-0.95	9.29
393.75	106.70	0.45	165.07	0.09	-0.59	13.28
450.00	112.66	0.49	182.45	0.09	-1.64	14.35
529.41	152.32	0.65	243.65	0.12	-2.26	13.86
365.22	134.08	0.57	226.50	0.11	-4.01	13.70
514.29	96.38	0.43	152.09	0.08	-3.78	13.19
369.23	89.96	0.38	132.99	0.08	-1.25	15.02
270.00	88.73	0.38	142.63	0.07	0.04	3.94
364.56	135.13	0.62	195.20	0.11	-1.33	15.23
425.81	172.29	0.75	283.70	0.13	-2.32	17.68
715.79	173.74	0.75	274.98	0.12	-6.35	14.42
423.53	96.17	0.40	133.82	0.08	-6.29	14.32
407.55	70.81	0.29	102.00	0.06	-0.29	16.87

Comparação entre dois condutores na Av. 25 de Abril



Figura A. 3 - comparação de Fluidez entre os condutores

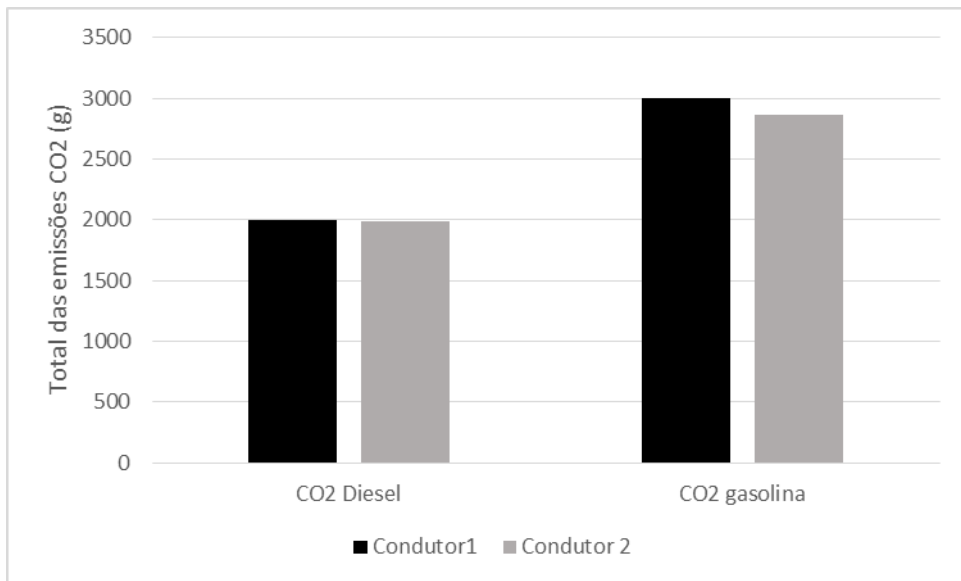


Figura A. 4 - soma das emissões de CO₂ ao longo dos testes efetuados por cada condutor

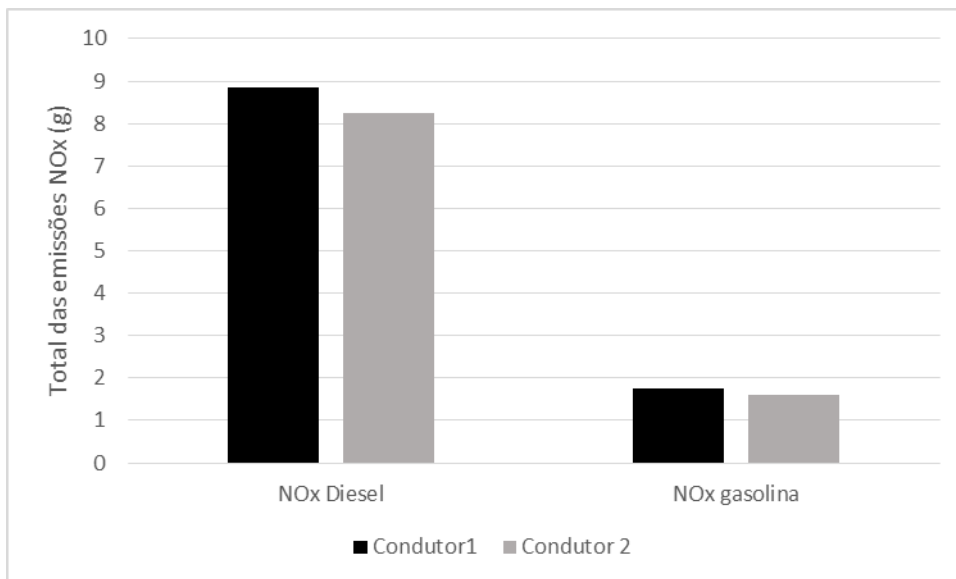


Figura A. 5 - soma das emissões de NOx ao longo dos testes efetuados por cada condutor

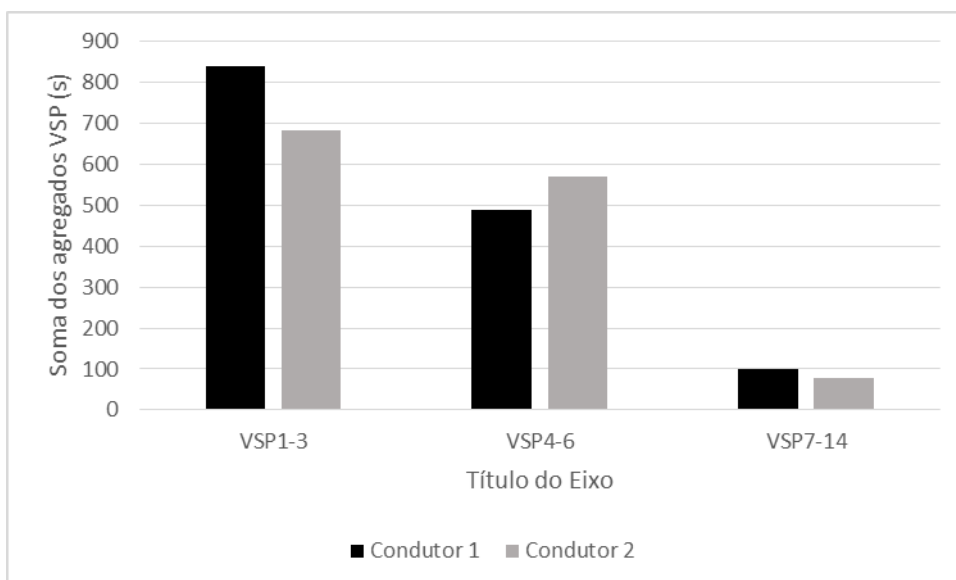


Figura A. 6 - tempos despendidos nos agregados VSP pelos condutores

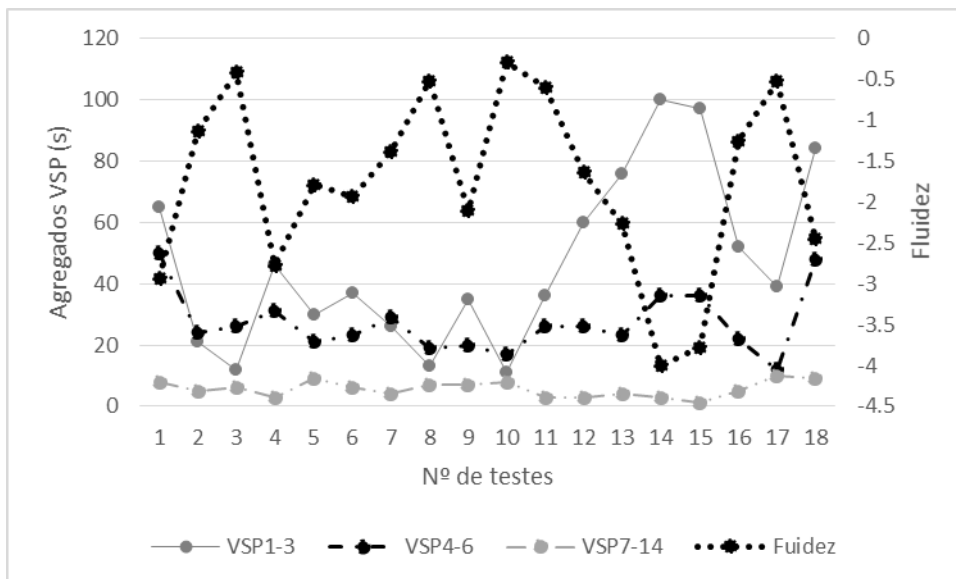


Figura A. 7 - comparação de fluidez com agregados VSP para condutor 1

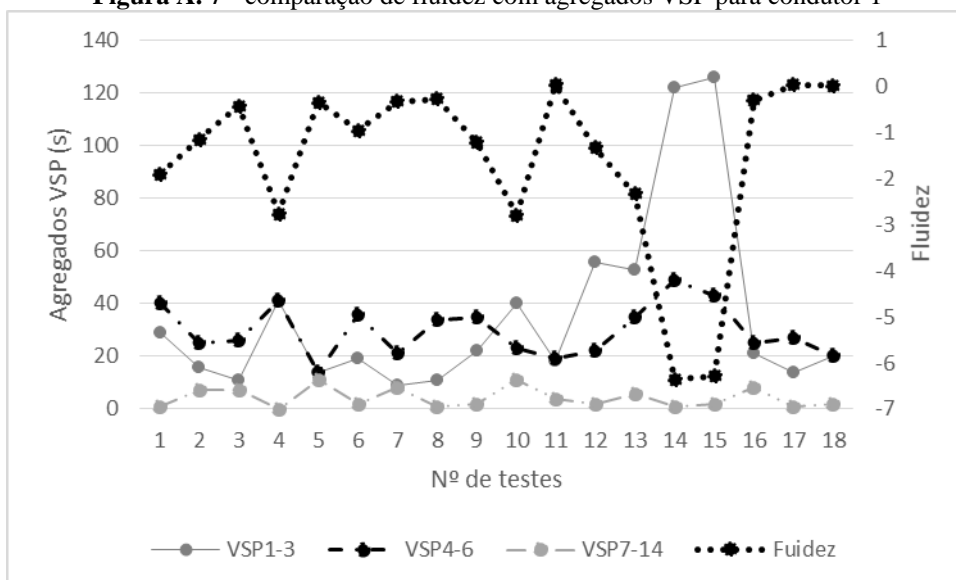


Figura A. 8 - comparação de fluidez com agregados VSP para condutor 2

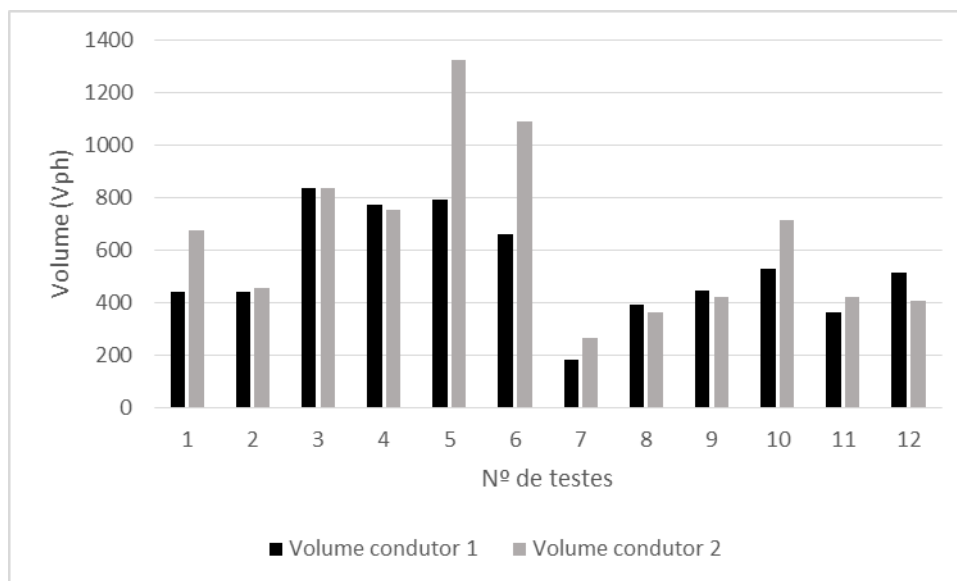


Figura A. 9 - volumes de trânsito nos testes de cada condutor (volume por hora – Vph)

Anexo C – Dados Avenida Universidade

A avenida da Universidade não foi dividida em segmentos, pois os testes efetuados, não mostraram grandes mudanças nas dinâmicas de tráfego previstas, e dado a realização de obras numa parte da via, não foi possível analisá-la como planeado.



Figura A. 10 - Posição da câmara para filmagens na rota 3

Tabela A. 11- Relação das diferentes velocidades com tempo de viagem, Fluidez e Identificação de congestionamento

Tempo a percorrer a via (s)	Vmax (m/s)	Vmed (m/s)	Vmin (m/s)	Fluidez	IC
130	21.32	13.23	0.83	-0.12	0.39
157	20.36	12.31	0.93	-0.42	0.41
170	18.19	8.86	0.00	-0.71	0.51
136	20.95	15.09	0.76	-0.17	0.29
211	21.20	11.95	0.04	-1.00	0.44
235	20.16	9.40	0.03	-1.44	0.53
144	22.12	10.40	0.02	-0.39	0.53
113	20.13	14.28	5.39	0.06	0.40
140	21.25	10.77	0.02	-0.30	0.49
114	21.68	13.14	5.67	0.06	0.53
173	18.44	10.01	0.04	-0.67	0.46
112	20.82	13.28	1.55	0.10	0.39
150	20.93	11.61	1.32	-0.38	0.48
114	21.96	12.95	2.31	0.08	0.46
140	21.35	10.80	0.07	-0.30	0.50

168	22.32	10.43	0.01	-0.72	0.53
99	21.94	15.08	7.37	0.19	0.47
139	18.64	9.13	0.01	-0.30	0.51
130	17.80	9.39	0.51	-0.15	0.49
250	17.95	6.90	0.00	-1.91	0.62
111	16.30	8.74	0.79	0.14	0.49
119	19.30	9.23	0.42	0.02	0.53
138	18.40	11.17	0.03	-0.23	0.39
144	20.35	10.92	0.00	-0.34	0.46
137	19.09	11.36	0.01	-0.22	0.41
193	21.12	8.59	0.02	-1.17	0.59
202	17.00	8.44	0.00	-1.05	0.50
142	20.25	10.03	0.02	-0.34	0.51
186	19.78	9.03	0.00	-0.96	0.54
127	17.53	11.27	0.35	-0.09	0.36
177	17.87	9.49	0.03	-0.73	0.47
181	19.98	9.33	0.00	-0.88	0.53
150	20.80	9.66	0.00	-0.48	0.54
227	17.69	7.49	0.00	-1.51	0.58

Tabela A. 12 - Relação das diferentes emissões com agregados VSP

CO ₂ Diesel (g)	NOx Diesel (g)	CO ₂ gasolina (g)	NOx gasoline (g)	VSP1-3 (s)	VSP4-6 (s)	VSP7-14 (s)
249.30	0.04	332.99	1.65	78.00	36.00	26.00
234.81	0.04	322.31	1.58	53.00	65.00	13.00
343.56	0.06	508.61	2.51	159.00	78.00	14.00
197.73	0.03	278.58	1.34	52.00	48.00	13.00
201.18	0.03	294.86	1.31	64.00	48.00	13.00
251.71	0.04	339.45	1.57	56.00	64.00	15.00
286.48	0.04	375.48	3.17	79.00	39.00	28.00
286.93	0.04	364.84	2.96	63.00	45.00	30.00
424.59	0.06	527.00	6.51	111.00	36.00	48.00
357.57	0.06	479.07	2.46	119.00	52.00	32.00
316.49	0.05	396.46	3.94	72.00	39.00	32.00
369.81	0.05	480.97	3.18	98.00	48.00	42.00
233.51	0.04	325.06	2.33	62.00	46.00	21.00

350.46	0.05	463.09	2.47	81.00	63.00	34.00
369.95	0.06	469.26	3.64	100.00	43.00	39.00
308.07	0.05	393.42	2.22	77.00	40.00	34.00
384.16	0.06	524.88	2.81	135.00	55.00	38.00
249.30	0.04	332.99	1.65	78.00	36.00	26.00
234.81	0.04	322.31	1.58	53.00	65.00	13.00
343.56	0.06	508.61	2.51	159.00	78.00	14.00
197.73	0.03	278.58	1.34	52.00	48.00	13.00
201.18	0.03	294.86	1.31	64.00	48.00	13.00
251.71	0.04	339.45	1.57	56.00	64.00	15.00
286.48	0.04	375.48	3.17	79.00	39.00	28.00
286.93	0.04	364.84	2.96	63.00	45.00	30.00
424.59	0.06	527.00	6.51	111.00	36.00	48.00
357.57	0.06	479.07	2.46	119.00	52.00	32.00
316.49	0.05	396.46	3.94	72.00	39.00	32.00
369.81	0.05	480.97	3.18	98.00	48.00	42.00
233.51	0.04	325.06	2.33	62.00	46.00	21.00
350.46	0.05	463.09	2.47	81.00	63.00	34.00
369.95	0.06	469.26	3.64	100.00	43.00	39.00
308.07	0.05	393.42	2.22	77.00	40.00	34.00
384.16	0.06	524.88	2.81	135.00	55.00	38.00

Tabela A. 13 - Relações de Volume com as variáveis de interesse

Volume (Vph)	CO ₂ Diesel (g)	NOx Diesel (g)	CO ₂ gasolina (g)	NOx gasoline (g)	Fluidez	Vmax-Vmin (m/s)
647.48	249.30	1.04	332.99	0.22	-0.30	18.63
581.54	234.81	1.01	322.31	0.20	-0.15	17.28
532.80	343.56	1.52	508.61	0.29	-1.91	17.95
778.38	197.73	0.85	278.58	0.18	0.14	15.52
605.04	201.18	0.84	294.86	0.18	0.02	18.88
678.26	251.71	1.04	339.45	0.21	-0.23	18.37
600.00	286.48	1.44	375.48	0.28	-0.34	20.34
420.44	286.93	1.39	364.84	0.26	-0.22	19.09
447.67	424.59	2.36	527.00	0.43	-1.17	21.10
570.30	357.57	1.55	479.07	0.31	-1.05	16.99
507.04	316.49	1.65	396.46	0.31	-0.34	20.23
619.35	369.81	1.66	480.97	0.34	-0.96	19.77
510.24	233.51	1.05	325.06	0.22	-0.09	17.18

