



**M** 2021

# **QUALIDADE DO AR INTERIOR NO HABITÁCULO DE VEÍCULOS: CARACTERIZAÇÃO E SOLUÇÕES DE MELHORIA**

**ANTÓNIO JOSÉ DE SOUSA PINTO**  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA  
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM  
ENGENHARIA QUÍMICA

# Mestrado Integrado em Engenharia Química

## Qualidade do ar interior no habitáculo de veículos: caracterização e soluções de melhoria

### Dissertação de Mestrado

de

**António José de Sousa Pinto**

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

LEPABE - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia



Orientador na FEUP: **Doutora Sofia Isabel Vieira de Sousa**

---

Coorientador na FEUP: **Doutor Pedro Tiago Barbosa da Silva Branco**



julho de 2021

## Agradecimentos

Embora uma tese seja, pela sua finalidade académica, um trabalho individual, há contributos de natureza diversa que não podem e nem devem deixar de ser realçados. Por essa razão, desejo expressar os meus sinceros agradecimentos:

À Doutora Sofia Sousa, por acreditar em mim e no meu trabalho, pela ajuda incansável e disponibilidade total, mas, sobretudo pela maior orientação que me dá na vida com sua amizade incondicional.

Ao Doutor Pedro Branco pelo seu valioso contributo e disponibilidade. Foi um prazer ter a oportunidade de trabalhar com ele.

Ao meu amigo Ricardo Brito pela ajuda e pelo apoio que me deu neste trajeto.

À Francisca, à Carmo e ao João Rodrigo pela compreensão.

À Ângela Mota por me ter incentivado a realizar este trabalho e por gostar tanto de mim quanto eu gosto dela.

Este trabalho foi financiado por: Financiamento Base - UIDB/00511/2020 da Unidade de Investigação - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia - LEPABE - financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

## Resumo

As preocupações com a qualidade do ar no interior do habitáculo dos veículos têm vindo a aumentar, uma vez que este é um microambiente confinado onde muitas vezes o tipo de ventilação não é adequado, levando à acumulação de poluentes com riscos elevados para a saúde humana. Com vista a apresentar soluções de melhoria e para complementar a literatura, este estudo teve como principal objetivo caracterizar a qualidade do ar interior no habitáculo de veículos. Pretendeu ainda avaliar a influência de vários fatores, nomeadamente a intensidade e tipo de tráfego, o tipo de ventilação utilizada, e a condução/estacionamento em parques de estacionamento fechados.

Realizaram-se 40 viagens com 4 veículos a gasóleo, de anos de construção e normas ambientais europeias de emissões diferentes, em condições que permitiram estudar o efeito dos principais fatores que influenciam a QAI no habitáculo de veículos. Foram medidas as concentrações de COV, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> e de PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> e P<sub>Totais</sub>, e mantido um “log book” rigoroso com os principais dados das viagens.

Os poluentes existentes no habitáculo dos veículos tiveram origens variadas, incluindo fontes exteriores ao veículo, como é o caso das partículas em suspensão, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, e parte dos COV e CO<sub>2</sub>, e fontes interiores, como é o caso do O<sub>3</sub> e parte dos COV e CO<sub>2</sub>. No caso dos poluentes com origem no exterior do veículo, as concentrações observadas no interior do habitáculo estão diretamente relacionadas com o meio onde o veículo circula, pelo que fatores como o tipo e intensidade do tráfego, o tipo de ventilação utilizada e condução/estacionamento num parque de estacionamento influenciam significativamente. Já no que diz respeito às concentrações dos poluentes com origem no interior do habitáculo, o tipo de ventilação utilizado é o fator com maior contributo.

Com base nos resultados obtidos concluiu-se que ventilação que favoreça a entrada de poluentes com fontes de emissão no exterior do veículo (janela aberta e ventilação mecânica sem recirculação do ar) não devem ser utilizadas em zonas com grande intensidade de tráfego ou quando se viaja perto de veículos com elevadas taxas de emissão de poluentes. Nestes casos, deve-se optar por ventilação mecânica com recirculação de ar ou janelas fechadas, sem ventilação. Por outro lado, quando se viaja em zonas com baixa intensidade de tráfego a abertura de janelas é uma boa opção para renovar o ar no habitáculo e reduzir a concentração de poluentes cuja formação ocorre dentro do habitáculo. Conclui-se ainda que é necessário ter especial atenção à circulação e/ou estacionamento do veículo em parques de estacionamento fechados, pois leva a uma subida rápida da concentração de vários poluentes, mantendo-se a mesma elevada mesmo quando o veículo está estacionado. Concluiu-se igualmente que existe formação de O<sub>3</sub> no habitáculo na presença de picos de concentração de NO<sub>2</sub> e/ou COV, desde que exista a incidência de radiação solar no habitáculo.

Tendo em consideração o tempo que a população passa no interior de veículos, estes podem constituir uma parte significativa da exposição à poluição do ar. Torna-se, por isso, importante continuar a estudar os efeitos de alguns fatores que influenciam a QAI nos habitáculos e criar ferramentas com vista à proteção da saúde humana.

**Palavras Chave (Tema):** Qualidade do Ar Interior, veículo, habitáculo, ventilação, tráfego

## Abstract

Concerns about air quality inside the vehicle cabin have been increasing, as this is a confined microenvironment where often the type of ventilation is not adequate, leading to the accumulation of pollutants with high risks to human health. In order to present improvement solutions and to complement the literature, this study had as main objective to characterize the indoor air quality (IAQ) in the vehicle cabin. It also aimed to evaluate the influence of several factors, namely the intensity and type of traffic, the type of ventilation used, and driving/parking in enclosed parking garages.

Forty trips were performed with 4 diesel vehicles of different years of construction and European emission standards, under conditions that allowed studying the main factors that influence the IAQ on the vehicle cabin. The concentrations of VOC, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> and PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and TSP were measured, and a detailed logbook with the main trip information was built.

The air pollutants in the vehicle cabin had varied origins, including sources outside the vehicle, such as suspended particles, CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and part of VOC and CO<sub>2</sub>, and indoor sources, such as O<sub>3</sub> and part of VOC and CO<sub>2</sub>. In the case of pollutants from outside the vehicle, their concentrations were directly related to the environment where the vehicle circulated, so factors such as the type and intensity of traffic, the type of ventilation used, and driving/parking in a parking garage significantly influenced it. Concerning the concentrations of pollutants originated inside the cabin, the type of ventilation used was the factor with the greatest contribution.

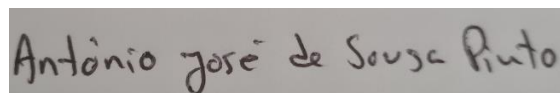
Based on the results obtained, it was concluded that ventilation favouring the entry of pollutants with emission sources outside the vehicle (opened window and mechanical ventilation without air recirculation) should not be used in areas with high traffic intensity or when travelling near vehicles with high pollutants' emission rates. In these cases, mechanical ventilation should be used with air recirculation or closed windows without ventilation. On the other hand, when travelling in areas with low traffic intensity, opening windows is a good option to renew the air in the cabin and reduce the concentration of pollutants whose formation occurs inside the cabin. It was also concluded that it is necessary to pay special attention to the circulation and/or parking of the vehicle in enclosed parking garages, as it leads to a rapid increase in the concentration of various pollutants, keeping the same value even when the vehicle is parked. It was also concluded that O<sub>3</sub> formation occurred in the cabin in the presence of NO<sub>2</sub> and/or VOC peaks, as long as there is an incidence of solar radiation in the cabin.

Considering the time that population spends inside vehicles, they can constitute a significant part of exposure to air pollution. It is therefore important to continue studying the effects of some factors that influence IAQ in cabins and to create tools to protect human health.

**Keywords (Theme):** Indoor Air Quality, Vehicle, Cabin, Ventilation, Traffic

## Declaração

António José de Sousa Pinto declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

A rectangular box containing a handwritten signature in dark ink. The signature reads "António José de Sousa Pinto" in a cursive script.

*Porto, 4 de Julho de 2021*

# Índice

|       |                                                                                                        |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Introdução .....                                                                                       | 1  |
| 1.1   | Enquadramento e apresentação do projeto .....                                                          | 1  |
| 1.2   | Contributos do Trabalho .....                                                                          | 2  |
| 1.3   | Organização da dissertação .....                                                                       | 2  |
| 2     | Contexto e Estado da Arte .....                                                                        | 4  |
| 2.1   | Qualidade do ar e saúde humana .....                                                                   | 4  |
| 2.2   | Qualidade do ar interior .....                                                                         | 5  |
| 2.3   | Qualidade do ar no interior de habitáculos de veículos .....                                           | 6  |
| 2.4   | Principais fatores que influenciam a concentração de poluentes do ar no interior dos habitáculos ..... | 8  |
| 2.4.1 | <i>Ventilação</i> .....                                                                                | 8  |
| 2.4.2 | <i>Intensidade e tipo de tráfego</i> .....                                                             | 9  |
| 2.4.3 | <i>Tipo e idade do veículo</i> .....                                                                   | 10 |
| 2.4.4 | <i>Circulação em parques de estacionamento e garagens fechadas</i> .....                               | 11 |
| 2.4.5 | <i>Outros fatores</i> .....                                                                            | 11 |
| 2.5   | - Estado da Arte .....                                                                                 | 11 |
| 3     | Metodologia .....                                                                                      | 18 |
| 3.1   | Descrição das viagens .....                                                                            | 18 |
| 3.2   | Veículos utilizados .....                                                                              | 20 |
| 3.3   | Recolha de dados .....                                                                                 | 21 |
| 3.4   | Análise de dados .....                                                                                 | 23 |
| 4     | Resultados e Discussão .....                                                                           | 24 |
| 4.1   | Efeito do veículo .....                                                                                | 24 |
| 4.2   | Tipo e intensidade do tráfego .....                                                                    | 30 |
| 4.3   | Efeito do parque de estacionamento fechado .....                                                       | 35 |
| 4.4   | Efeito da Ventilação .....                                                                             | 37 |
| 4.4.1 | <i>Janela aberta</i> .....                                                                             | 39 |
| 4.4.2 | <i>Ventilação mecânica e ar condicionado sem recirculação</i> .....                                    | 41 |

|       |                                                                                                                                                                                        |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.4.3 | <i>Ventilação com recirculação</i> .....                                                                                                                                               | 42 |
| 4.4.4 | <i>Sem ventilação e com as janelas fechadas</i> .....                                                                                                                                  | 42 |
| 4.5   | <i>Relação O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> e COV no interior do habitáculo</i> .....                                                                                                     | 43 |
| 5     | <i>Conclusão</i> .....                                                                                                                                                                 | 46 |
| 5.1   | <i>Principais conclusões e trabalho futuro</i> .....                                                                                                                                   | 46 |
| 5.2   | <i>Apreciação Final</i> .....                                                                                                                                                          | 48 |
|       | <i>Referências</i> .....                                                                                                                                                               | 49 |
|       | <i>Apêndice A</i> .....                                                                                                                                                                | 52 |
|       | <i>Apêndice B</i> .....                                                                                                                                                                | 53 |
|       | <i>Efeito do Veículo Utilizado</i> .....                                                                                                                                               | 53 |
|       | <i>Efeito da circulação/estacionamento em parque de estacionamento fechado</i> .....                                                                                                   | 59 |
|       | <i>Apêndice C</i> .....                                                                                                                                                                | 60 |
|       | <i>Efeito do Veículo utilizado</i> .....                                                                                                                                               | 60 |
|       | <i>Efeito da intensidade do tráfego</i> .....                                                                                                                                          | 64 |
|       | <i>Efeito da circulação/estacionamento em parques de estacionamento fechados</i> .....                                                                                                 | 65 |
|       | <i>Efeito da ventilação</i> .....                                                                                                                                                      | 66 |
|       | <i>Apêndice D</i> .....                                                                                                                                                                | 68 |
|       | <i>Diagrama de extremos e quartis representando todas as viagens realizadas por cada veículo com o objetivo de determinar o efeito do veículo utilizado na QAI do habitáculo</i> ..... | 68 |

## Lista de Figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Representação esquemática dos poluentes normalmente encontrados no interior de habitáculos e da forma como entram e circulam no mesmo, adaptado de (Xu et al., 2016) .....                                                                                                                                               | 7  |
| Figura 2 - Equipamentos utilizados na medição da concentração dos Poluentes Gasosos e Partículas Suspensas monitorizados neste estudo. A - GrayWolf ADVANCEDSENSE BE; B - TSI DustTrack™ DRX 8534 Aerossol Monitor .....                                                                                                            | 21 |
| Figura 3 - Mapa da Viagem V29A.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 22 |
| Figura 4 - Rota típica de uma viagem entre Mindelo e Perafita .....                                                                                                                                                                                                                                                                 | 24 |
| Figura 5 - Diagramas de extremos e quartis, representando todas as viagens efetuadas por cada um dos veículos utilizados para a determinação do efeito do veículo utilizado: (a) CO; (b) CO <sub>2</sub> ; (c) NO <sub>2</sub> ; (d) COVT; (e) PM <sub>2,5</sub> .....                                                              | 27 |
| Figura 6 - Exemplo de viagem realizada para a análise do efeito da intensidade do tráfego na concentração de poluentes no habitáculo dos veículos utilizados para esta análise (V29A). .....                                                                                                                                        | 31 |
| Figura 7 - Perfis de concentrações dos poluentes gasosos e particulados para cada uma das viagens consideradas nesta análise: (a) COVT; (b) CO; (c) CO <sub>2</sub> ; (d) NO <sub>2</sub> ; (e) O <sub>3</sub> ; (f) PM <sub>1</sub> ; (g) PM <sub>2,5</sub> ; (h) PM <sub>10</sub> ; (i) P <sub>Totais</sub> .....                 | 32 |
| Figura 8 - Perfis de concentrações dos Poluentes Gasosos detetados nesta viagem: (a) COV; (b) CO; (c) CO <sub>2</sub> ; (d) NO <sub>2</sub> ; (e) O <sub>3</sub> ; (f) PM <sub>2,5</sub> ; (g) P <sub>Totais</sub> .....                                                                                                            | 36 |
| Figura 9 - Exemplo de Viagem realizada para a análise do efeito do tipo de ventilação utilizado na concentração de poluentes no habitáculo dos veículos utilizados.....                                                                                                                                                             | 38 |
| Figura 10 - Perfis de concentração de cada um dos poluentes gasosos em cada uma das viagens desta análise (a) COV, (b) CO, (c) CO <sub>2</sub> , (d) NO <sub>2</sub> , (e) O <sub>3</sub> , (f) SO <sub>2</sub> , (g) PM <sub>1</sub> , (h) PM <sub>2,5</sub> , (i) PM <sub>10</sub> , (j) P <sub>Totais</sub> .....                | 38 |
| Figura 11 - Perfis de concentrações de O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , e COV nas viagens onde foi detetada a presença de O <sub>3</sub> no habitáculo dos veículos; (a) - V1A, (b) - V2A, (c) - V3A, (d) - V5A, (e) - V12A, (f) - V13A, (g) - V19E, (h) - V23A, (i) - V27C, (j) - V31B, (k) - V32E, (l) - V33E, (m) - V39E ..... | 44 |

|                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura A1 - Exemplo de "log book", no caso em questão realizado para a viagem V32E utilizada na determinação da influência do tráfego na QAI no habitáculo de veículos .....                                                            | 52 |
| Figura B1 - Perfis de Concentrações do CO nas viagens de "Ida" (à esquerda) e de "Volta" (à direita) para cada um dos veículos utilizados: (a) e (b) - Veículo A, (c) e (d) - Veículo B, (e) e (f) - Veículo E.....                     | 53 |
| Figura B2 - Perfis de Concentrações do CO <sub>2</sub> nas viagens de "Ida" (à esquerda) e de "Volta" (à direita) para cada um dos veículos utilizados (a) e (b) - Veículo A, (c) e (d) - Veículo B, (d) e (e) - Veículo E .....        | 54 |
| Figura B3 - Perfis de Concentrações de COV nas viagens de "Ida" (à esquerda) e de "Volta" (à direita) para cada um dos veículos utilizados (a) e (b) - Veículo A, (c) e (d) - Veículo B, (d) e (e) - Veículo E .....                    | 55 |
| Figura B4 - Perfis de Concentrações do NO <sub>2</sub> nas viagens de "Ida" (à esquerda) e de "Volta" (à direita) para cada um dos veículos utilizados (a) e (b) - Veículo A, (c) e (d) - Veículo B, (d) e (e) - Veículo E .....        | 56 |
| Figura B5 - Perfis de Concentrações de O <sub>3</sub> nas viagens de "Ida" (à esquerda) e de "Volta" (à direita) para cada um dos veículos utilizados (a) e (b) - Veículo A, (c) e (d) - Veículo B, (d) e (e) - Veículo E .....         | 57 |
| Figura B6 - Perfis de Concentrações de PM nas viagens de "Ida" (à esquerda) e de "Volta" (à direita) para cada um dos veículos utilizados (a) e (b) - Veículo A, (c) e (d) - Veículo B, (d) e (e) - Veículo E .....                     | 58 |
| Figura B7 - Perfis de concentrações das PM <sub>1</sub> e P <sub>Totais</sub> nas viagens efetuadas para determinação da influência da circulação/estacionamento em parque de estacionamento fechado .....                              | 59 |
| Figura D1 - Diagrama de extremos e quartis representando todas as viagens realizadas por cada veículo com o objetivo de determinar o efeito do veículo utilizado na QAI do habitáculo; (a) PM <sub>1</sub> ; (b) PM <sub>10</sub> ..... | 68 |
| Figura D2 - Diagrama de extremos e quartis representando todas as viagens realizadas por cada veículo com o objetivo de determinar o efeito do veículo utilizado na QAI do habitáculo: P <sub>Totais</sub> .....                        | 69 |

## Lista de Tabelas

|                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Diretrizes para as concentrações máximas de partículas em suspensão ( $PM_{10}$ e $PM_{2,5}$ ), ozono ( $O_3$ ), dióxido de azoto ( $NO_2$ ) e dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) propostas pela OMS em 2005.....              | 5  |
| Tabela 2 - Lista dos Veículos utilizados neste estudo e respectivas características ....                                                                                                                                             | 20 |
| Tabela 3 - Valores de emissões máximas permitidas por cada uma das Normas Ambientais Europeias “Euro Stage” .....                                                                                                                    | 20 |
| Tabela 4 - Métodos de amostragem e características técnicas do TSI DustTrack™ DRX 8534 Aerossol Monitor .....                                                                                                                        | 21 |
| Tabela 5 -Características técnicas do GrayWolf ADVANCEDSENSE BE Aerossol Monitor .....                                                                                                                                               | 22 |
| Tabela 6 - Valores de referência utilizados para comparação com as concentrações medidas.....                                                                                                                                        | 23 |
| Tabela 7 - Razões mínimas, médias, máximas e valores das medianas entre as concentrações de $PM_1$ e $PM_{2,5}$ , de $PM_{2,5}$ e $PM_{10}$ e de $PM_{10}$ e $P_{Totais}$ em cada uma das viagens tidas em conta nesta análise ..... | 25 |
| Tabela 8 - Razões mínimas, médias, máximas e valores das medianas entre as concentrações de $PM_1$ e $PM_{2,5}$ , de $PM_{2,5}$ e $PM_{10}$ e de $PM_{10}$ e $P_{Totais}$ .....                                                      | 31 |
| Tabela 9 - Razões entre as concentrações de $PM_1$ e $PM_{2,5}$ , de $PM_{2,5}$ e $PM_{10}$ e de $PM_{10}$ e $P_{Totais}$ e respetivos valores mínimos, médio e máximos e valores das medianas dessas razões .....                   | 38 |
| Tabela C1 - Concentrações Médias, Mediana de Concentrações, Valores Mínimos de Concentração e Valores Máximos de Concentração para as Poluentes Gasosos medidos em cada uma das viagens de “Ida .....                                | 60 |
| Tabela C2 - Concentrações Médias, Mediana de Concentrações, Valores Mínimos de Concentração e Valores Máximos de Concentração para as Poluentes Gasosos em cada uma das viagens de “Volta.....                                       | 61 |
| Tabela C3 - Concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações, para cada um dos tipos de Partículas em Suspensão em cada uma das viagens de “Ida” .....                                                       | 62 |
| Tabela C4 - Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações, para cada um dos tipos de Partículas em Suspensão em cada uma das viagens de “Volta” .....                                         | 63 |
| Tabela C5 - Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações, para cada um dos poluentes gasosos medidos em cada uma das viagens                                                                 |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| tidas em conta para a análise do efeito da intensidade do tráfego na concentração de poluentes no habitáculo de veículos .....                                                                                                                                                                                      | 64 |
| Tabela C6 - Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações, para cada uma das frações de PM em cada uma das viagens tidas em conta para a análise do efeito da intensidade do tráfego na concentração de poluentes no habitáculo de veículos .....                            | 64 |
| Tabela C7 - Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações, para cada um dos poluentes gasosos, em cada uma das viagens tidas em conta para a análise do efeito da circulação/estacionamento num parque de estacionamento fechado .....                                       | 65 |
| Tabela C8 - Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações, para cada uma das frações de PM, em cada uma das viagens tidas em conta para a análise do efeito da circulação/estacionamento num parque de estacionamento fechado .....                                          | 65 |
| Tabela C9 - Valores das concentrações médias mínimas e máximas e das medianas das concentrações de COV, CO e CO <sub>2</sub> em cada uma das viagens tidas em conta para a análise do efeito do tipo de ventilação utilizado na concentração de poluentes no habitáculo de veículos.....                            | 66 |
| Tabela C10 - Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações de NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> e O <sub>3</sub> em cada uma das viagens tidas em conta para a análise do efeito do tipo de ventilação utilizado na concentração de poluentes no habitáculo de veículos..... | 66 |
| Tabela C11- Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações de PM <sub>1</sub> e PM <sub>2,5</sub> em cada uma das viagens tidas em conta para a análise do efeito do tipo de ventilação utilizado na concentração de poluentes no habitáculo de veículos.....                 | 67 |
| Tabela C12 - Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações de PM <sub>10</sub> e P <sub>Totais</sub> em cada uma das viagens tidas em conta para a análise do efeito do tipo de ventilação utilizado na concentração de poluentes no habitáculo de veículos.....             | 67 |

## Notação e Glossário

**A/C** Ar Condicionado

**ACAP** Associação do Comércio Automóvel de Portugal

**APA** Agência Portuguesa do Ambiente

**BC** Negro de Carbono

**COV** Compostos Orgânicos Voláteis

**DRE** Diário da República Eletrónico

**GPS** Global Positioning System

**OMS** Organização Mundial de Saúde

**PM** Partículas em suspensão

**PM<sub>1</sub>** Partículas em suspensão de diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 1 µm

**PM<sub>10</sub>** Partículas em suspensão de diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 10 µm

**PM<sub>2,5</sub>** Partículas em suspensão de diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 2,5 µm

**PM<sub>4</sub>** Partículas em suspensão de diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 4 µm

**P<sub>Totais</sub>** Partículas em suspensão totais

**QAI** Qualidade do Ar Interior

**UFP** Partículas ultrafinas

**USEPA** United States Environmental Protection Agency

**VnX** Viagem n (n de 1 a 40) no veículo X (X de A a E)

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento e apresentação do projeto

A presente Dissertação foi desenvolvida em ambiente académico, no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Química, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, dedicada ao estudo da QAI de veículos automóveis.

O aumento do uso do veículo agrava significativamente a poluição atmosférica urbana. As emissões de tráfego libertadas pelos veículos contêm substâncias nocivas, como o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), os óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>), os hidrocarbonetos (HC) e as partículas em suspensão (PM), que têm um grande impacto na saúde pública.

O automóvel particular continua a ser o meio de locomoção mais utilizado na União Europeia. Em Portugal, 57,3 % das distâncias percorridas em meio urbano pela população são efetuadas num automóvel enquanto condutor, e 11,2 % dessas distâncias são percorridas em automóveis particulares enquanto passageiro. (EUROSTAT, 2021).

Embora as pessoas passem apenas cerca de 5,5 % em média do tempo diário em automóveis, os riscos para a saúde associados à qualidade do ar no habitáculo dos veículos são elevados para alguns poluentes. Têm sido reportadas concentrações de partículas nos habitáculos dos veículos na gama de 100 000 a 500 000 partículas/cm<sup>3</sup> (Xu et al., 2018). Estas concentrações são superiores às medidas para o ar ambiente (exterior), implicando elevados níveis de exposição a PM dentro dos habitáculos dos veículos. As concentrações de compostos orgânicos voláteis (COV) podem também representar riscos elevados para a saúde humana. Embora as concentrações de COV no interior dos veículos possam variar com diferentes fatores do habitáculo e da condução, as concentrações médias de COV numa cabine de um veículo podem ser muito superiores aos níveis ambientes normais (Xu et al., 2018).

Assim, durante o tempo de deslocação, os condutores e passageiros podem estar expostos a curtos períodos de concentrações elevadas de poluentes atmosféricos, quer provenientes de fontes móveis circundantes, quer provenientes de emissões do interior do veículo.

Por estas razões, torna-se fundamental estudar a QAI dentro destes espaços confinados de forma a compreender as suas fontes para posteriormente definir ações de mitigação que permitam reduzir os níveis de exposição da população a poluentes com efeitos prejudiciais para a saúde.

## 1.2 Contributos do Trabalho

Pelo que se sabe, até à data, não foi realizado nenhum estudo que analisasse os principais fatores que podem influenciar a qualidade do ar no interior dos habitáculos de veículos, com a elaboração de um “log book” detalhado (onde esteja descrito com rigor o tipo de ventilação utilizado, a intensidade do tráfego, e eventuais cruzamentos com fontes externas de poluição). Com o intuito de colmatar esta limitação, a presente dissertação apresenta o estudo realizado através de 40 viagens devidamente registadas em GPS, em 4 veículos diferentes, que foram realizadas com o objetivo de estudar o efeito dos que, na opinião generalizada dos estudos analisados, são os principais fatores que influenciam a concentração de diferentes poluentes gasosos, nomeadamente CO, CO<sub>2</sub>, dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e ozono (O<sub>3</sub>), e de PM de diferentes tamanhos (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> e P<sub>Totais</sub>).

Para completar o conhecimento existente nesta área e colmatar algumas das falhas identificadas em trabalhos previamente desenvolvidos, o presente estudo teve como principal objetivo caracterizar a QAI no habitáculo de veículos. Especificamente, este estudo pretendeu também: i) quantificar a concentração de poluentes atmosféricos no interior do habitáculo de veículos; ii) avaliar a influência de diversos fatores internos e externos ao veículo na QAI do habitáculo; iii) recolher dados que poderão contribuir para a definição de valores máximos de concentração de poluentes atmosféricos no interior de habitáculos de veículos, com vista à criação futura de orientações para a proteção da saúde humana, e/ou para a criação de um sistema de certificação da QAI em habitáculos. Este trabalho pretende contribuir ainda para aumentar o conhecimento científico nesta área, e desta forma melhorar a QAI no habitáculo de veículos automóveis, diminuindo a exposição dos ocupantes a poluentes com comprovados efeitos nefastos na saúde.

O autor desta dissertação foi responsável pela pesquisa bibliográfica, pelo planeamento e execução da metodologia experimental aplicada, pela análise de resultados e respetiva discussão, sempre sob a supervisão dos orientadores desta dissertação.

## 1.3 Organização da dissertação

O presente documento está dividido em cinco capítulos principais, apresentando-se de seguida uma breve contextualização dos assuntos e conteúdos abordados.

O Capítulo 1 introduz de forma sucinta o tema, explicando qual o enquadramento do mesmo, a estratégia, objetivos e contributos do trabalho, bem como a estrutura do presente documento.

O Capítulo 2 apresenta a contextualização do problema, explicando a importância e relevância do mesmo na atualidade, e detalhando os riscos para a saúde da crescente exposição a poluentes nocivos dentro do habitáculo de veículos automóveis e os fatores que contribuem para a degradação da QAI do habitáculo de veículos. Neste capítulo é ainda apresentada uma análise dos trabalhos existentes nesta área, constituindo o Estado da Arte.

O Capítulo 3 expõe a metodologia utilizada para a realização da presente dissertação, explicando a abordagem escolhida, quer em termos dos veículos e trajetos selecionados, quer apresentando os equipamentos utilizados para fazer a medição dos poluentes no habitáculo dos veículos. Neste capítulo é ainda apresentada a forma como os dados obtidos foram tratados e analisados.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos bem como a sua respetiva discussão, nomeadamente os resultados da análise estatística aos dados obtidos durante as medições efetuadas, analisando-se a importância dos efeitos do veículo em que se circula, a quantidade e tipo de tráfego que circula nas imediações do veículo, o tipo de ventilação utilizado e a circulação/estacionamento dentro de um parque fechado.

No Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e algumas considerações finais sobre aspetos que podem, no futuro, melhorar a QAI no habitáculo dos veículos.

## 2 Contexto e Estado da Arte

### 2.1 Qualidade do ar e saúde humana

Em geral, a poluição do ar refere-se à libertação de poluentes no ar que são prejudiciais para o meio ambiente e para a saúde humana. É a emissão de ingredientes tóxicos para a atmosfera por fontes antropogénicas (maioritariamente relacionadas com o tráfego de veículos motorizados, como por exemplo a abrasão dos pneus e gases de exaustão) ou por fontes naturais. O efeito na saúde humana da exposição à poluição do ar tem sido extensivamente estudado ao longo de décadas, evidenciando que a poluição do ar é uma causa fundamental no aumento da mortalidade e morbilidade da população mundial (Xu et al., 2016).

De facto, a Organização Mundial de Saúde (OMS) estimou que a poluição do ar, tanto em meio urbano como em meio rural, foi a causa de 4,2 milhões de mortes prematuras a nível mundial no ano de 2016. Esta mortalidade foi devida à exposição a partículas em suspensão com diâmetro aerodinâmico igual ou inferior a 2,5 micrómetros ( $PM_{2,5}$ ), que são causadoras de cancro e doenças respiratórias e cardiovasculares (OMS, 2018).

Em 2005 a OMS publicou um documento que estabelece diretrizes para as concentrações máximas no ar ambiente dos principais poluentes que implicam risco para a saúde humana, nomeadamente PM,  $O_3$ ,  $NO_2$  e  $SO_2$  (OMS, 2005). No que diz respeito à legislação nacional, o regime da avaliação e gestão da qualidade do ar ambiente é definido pelo Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro na sua atual redação (APA, 2021), que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva 2008/50/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de maio de 2008, relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa, e a Diretiva 2004/107/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de dezembro de 2004, relativa ao arsénio, ao cádmio, ao mercúrio, ao níquel e aos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos no ar ambiente (DRE, 2021).

A Tabela 1 mostra as diretrizes publicadas pela OMS no referido documento e também os valores limite definidos pela Diretiva Europeia da Qualidade do Ar.

*Tabela 1 - Diretrizes para as concentrações máximas de partículas em suspensão ( $PM_{10}$  e  $PM_{2,5}$ ), ozono ( $O_3$ ), dióxido de azoto ( $NO_2$ ) e dióxido de enxofre ( $SO_2$ ) propostas pela OMS em 2005*

| Diretiva Europeia de Qualidade do Ar |                          |                                              |                                                                                  | Diretrizes OMS               |                            |
|--------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Poluente                             | Média                    | Objetivo, natureza legal e concentração      | Comentários                                                                      | Concentração                 | Comentários                |
| $PM_{2,5}$                           | Horária                  |                                              |                                                                                  | 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  | 99º Percentil (3 dias/ano) |
| $PM_{2,5}$                           | Anual                    | Valor Limite, 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$    |                                                                                  | 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  |                            |
| $PM_{10}$                            | Horária                  | Valor Limite, 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$    | A não exceder mais de 35 dias por ano                                            | 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  | 99º Percentil (3 dias/ano) |
| $PM_{10}$                            | Anual                    | Valor Limite, 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$    |                                                                                  | 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  |                            |
| $O_3$                                | Média de 8 horas diárias | Valor Objetivo, 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | a não exceder mais de 25 dias, em média, por ano civil, num período de três anos | 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                            |
| $NO_2$                               | Horária                  | Valor Limite, 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$   | A não exceder mais de 18 vezes por ano civil                                     | 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                            |
| $NO_2$                               | Anual                    | Valor Limite, 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$    |                                                                                  | 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  |                            |
| $SO_2$                               | Diária                   | Valor Limite, 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$   | a não exceder mais de 3 vezes por ano civil                                      | 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  | Média 24 horas             |
| $SO_2$                               | Horário                  | Valor Limite, 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$   | a não exceder mais de 24 vezes por ano civil                                     |                              |                            |
| $SO_2$                               | Média de 10 minutos      |                                              |                                                                                  | 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ |                            |

OMS - Organização Mundial de Saúde

## 2.2 Qualidade do ar interior

Segundo a Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos (USEPA) a QAI refere-se à qualidade do ar no interior e ao redor de edifícios e espaços confinados e está diretamente relacionada com a saúde e o conforto dos respetivos ocupantes (USEPA, 2021).

As preocupações associadas aos efeitos da qualidade do ar na saúde pública têm geralmente em conta a poluição atmosférica no exterior dos edifícios. Apesar disso, os habitantes de países desenvolvidos passam, em média, aproximadamente 90 % do tempo em espaços interiores: nas suas casas, nos locais de trabalho, em zonas comerciais e de lazer no interior de edifícios, em transportes públicos, dentro dos seus automóveis, entre outros, sendo que estudos recentes demonstraram que alguns poluentes com efeitos nefastos para a saúde podem existir em maiores concentrações em espaços fechados do que no exterior (AEA, 2021). Tem havido, por isso uma crescente preocupação com a QAI por parte da comunidade científica e da sociedade.

As principais fontes de poluição do ar interior incluem processos de combustão com petróleo, gás, querosene, carvão e madeira, emissões dos materiais de construção, decoração e móveis (tanto novos como já deteriorados), amianto, têxteis e alcatifas, painéis de parede, aglomerados, conservantes de madeira, tintas, e outros solventes, aerossóis, produtos de limpeza e desinfetantes, repelentes e ambientadores,

armazenamento de combustíveis e produtos de manutenção automóvel, roupas lavadas a seco, aquecimento central, iluminação e sistemas de refrigeração e humidificação (Sá, 2016). Outra fonte muito importante de poluição do ar interior é o fumo do tabaco (USEPA, 2021). Estima-se que, anualmente, morram 1,2 milhões de não fumadores devido à exposição ao fumo de tabaco em espaços fechados (OMS, 2020).

De uma forma similar ao que se passa no interior de edifícios, o microambiente constituído pelo habitáculo de um veículo automóvel constitui por si só uma fonte significativa de vários poluentes do ar, tais como PM, COV, CO e NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, óxidos de Enxofre (SO<sub>x</sub>) e O<sub>3</sub> (Galatsis et al., 2006; Heo et al., 2019; Xu et al., 2016). No entanto, a qualidade do ar no interior do habitáculo dos veículos é normalmente pior do que a qualidade do ar tipicamente encontrada no interior de casas ou em locais de trabalho, o que não é surpreendente, visto que os veículos estão em contacto próximo com outros veículos que são fontes significativas de poluição (Galatsis et al., 2006).

## **2.3 Qualidade do ar no interior de habitáculos de veículos**

O tráfego automóvel tornou-se uma das principais fontes de poluentes do ar nas cidades e, estando já a maioria da população mundial a habitar em cidades, os efeitos de respirar gases e partículas provenientes dos sistemas de exaustão dos veículos tornou-se uma das maiores fontes de problemas de saúde relacionadas com questões ambientais (Moreno et al., 2019). Assim como é problemático no ar ambiente, a poluição do tráfego automóvel pode também representar um problema no ar interior do habitáculo dos veículos. O automóvel particular continua a ser o meio de locomoção mais utilizado na União Europeia, sendo que em Portugal 57,3 % das distâncias percorridas em meio urbano pela população são feitas num automóvel enquanto condutor, e 11,2 % em automóveis particulares enquanto passageiro (EUROSTAT, 2021).

As fontes dos poluentes do ar interior do habitáculo de veículos automóveis podem ser externas ao habitáculo, do próprio habitáculo, ou simultaneamente do exterior e do interior do mesmo. Exemplos de poluentes que têm a sua fonte no exterior do habitáculo são as PM, o CO, o NO<sub>x</sub>, o SO<sub>x</sub>, uma parte significativa dos COV e uma parte pouco expressiva do CO<sub>2</sub> (Heo et al., 2019; Xu et al., 2016), tendo esses poluentes a sua origem, por exemplo, na combustão incompleta dos combustíveis, na volatilização de combustível não queimado, na libertação de óleo lubrificante e de partículas libertadas pelos travões dos automóveis aquando da travagem (Heo et al., 2019;

Moreno et al., 2019). Os poluentes que têm a sua fonte de emissão no exterior do habitáculo, entram no mesmo maioritariamente através dos sistemas de ventilação, das janelas e por infiltrações de ar exterior no habitáculo, que acontecem principalmente quando este se encontra em andamento e devido ao habitáculo não ser completamente estanque permitindo infiltração mesmo com a ventilação desligada e as janelas fechadas (Galatsis et al., 2006; Moreno et al., 2019; Xu et al., 2016).

Os COV e o CO<sub>2</sub>, para além de serem provenientes do ar exterior que entra no habitáculo dos veículos podem ter a sua origem maioritariamente no interior, sendo que no caso dos COV podem ser originados por ambientadores, partes de plástico, têxteis e outros revestimentos utilizadas na construção do interior dos veículos, bem como tintas, colas, vedantes, entre outros. O CO<sub>2</sub> formado no interior do habitáculo do veículo tem sobretudo como fonte de emissão a respiração do(s) passageiro(s) (Faber et al., 2013; Galatsis et al., 2006; Heo et al., 2019; Moreno et al., 2019; Szczurek et al., 2015; Xu et al., 2016; Zulauf et al., 2019). O O<sub>3</sub> é o exemplo de um poluente gasoso que pode ter a sua origem no interior do habitáculo dos veículos sendo originado por reações fotoquímicas envolvendo NO<sub>2</sub>, sendo os COVs igualmente um importante percussor na formação de O<sub>3</sub> (Heo et al., 2019; Monte et al., 2017).

A Figura 1, mostra a representação esquemática dos poluentes normalmente encontrados no interior do habitáculo dos veículos, as suas fontes e a dinâmica do seu transporte sob diferentes formas de ventilação do habitáculo do veículo (Xu et al., 2016).

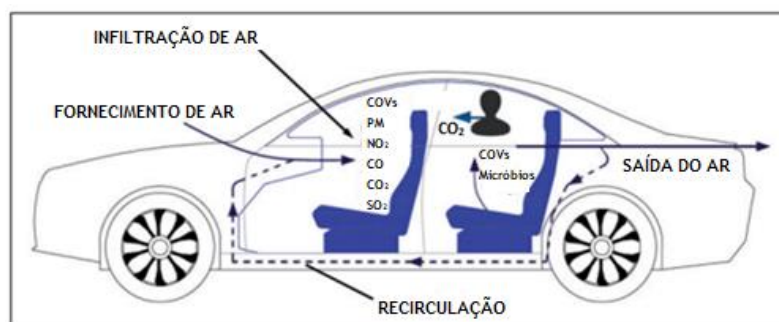


Figura 1 - Representação esquemática dos poluentes normalmente encontrados no interior de habitáculos e da forma como entram e circulam no mesmo, adaptado de (Xu et al., 2016)

## **2.4 Principais fatores que influenciam a concentração de poluentes do ar no interior dos habitáculos**

### **2.4.1 Ventilação**

A ventilação do habitáculo é o processo de troca de ar entre o habitáculo e o exterior e tem um efeito importante na dinâmica de transporte dos poluentes, quer provenientes da atmosfera exterior, quer provenientes de emissões do interior do próprio habitáculo (Xu et al., 2016). Os métodos utilizados para realizar a ventilação do habitáculo na generalidade dos veículos (excluindo carros descapotáveis e com tetos de abrir) incluem a ventilação natural através da abertura de janelas, e a ventilação mecânica através do sistema de ventilação mecânica ou do sistema de ar condicionado (A/C), sendo que nos últimos dois existe ainda a hipótese de fazer a recirculação do ar no habitáculo, evitando a entrada de ar exterior. Contudo, mesmo quando os veículos viajam com as janelas fechadas e sem ventilação mecânica ligada, ar proveniente do exterior tende a infiltrar-se no interior do habitáculo através de defeitos nos vedantes, buracos ou outras falhas no isolamento do mesmo, sendo a quantidade de ar que entra no habitáculo tanto maior quanto maior a velocidade a que o veículo circula (Esber et al., 2013; Galatsis et al., 2006; Moreno et al., 2019; Xu et al., 2016).

O tipo de ventilação utilizado influencia a concentração de poluentes dentro do habitáculo. Assim, no caso dos poluentes que têm origem no exterior do veículo, a abertura da janela como meio de ventilação do habitáculo provoca um aumento da sua concentração dentro do habitáculo, uma vez que a concentração de poluentes no interior do habitáculo tende rapidamente para o equilíbrio com a concentração deste poluente no ar exterior (Xu et al., 2016). Por outro lado, a utilização do veículo com as janelas fechadas e com a ventilação mecânica desligada tende a diminuir (não a eliminar totalmente devido às infiltrações de ar no habitáculo do veículo) a taxa de aumento da concentração dos poluentes com origem no exterior do veículo. No caso dos poluentes com origem maioritariamente no interior do habitáculo do veículo, a ventilação (natural ou mecânica) tem um efeito inverso, ou seja, maior ventilação (abrindo janelas ou ligando o sistema de ventilação mecânico ou A/C) provoca uma diminuição na concentração desses poluentes no interior do habitáculo, enquanto a ausência de ventilação (janelas fechadas ou ventilação mecânica desligada) provoca um aumento dessa concentração (Heo et al, 2019; Moreno et al, 2019).

A utilização da ventilação mecânica do veículo, incluindo o sistema do A/C, pode ocorrer de duas formas: i) com recirculação do ar no habitáculo; e ii) sem recirculação do ar no habitáculo. Quando a ventilação é feita com o sistema de ventilação mecânica

ou com o sistema de A/C sem recirculação do ar, a concentração dos poluentes com origem no exterior tende a aumentar no interior do habitáculo, uma vez que o sistema está a introduzir ar exterior no habitáculo. No caso das PM, devido à passagem por um sistema de filtragem do ar (filtro do habitáculo e/ou filtro do habitáculo), apesar de haver um aumento da concentração no habitáculo, o valor dessa concentração continuará a ser inferior ao valor da concentração de PM no ar exterior (Chan e Chung, 2003; Heo et al., 2019). No caso dos poluentes com origem no interior do habitáculo, este tipo de ventilação diminui a sua concentração (Moreno et al., 2019).

Por outro lado, quando a ventilação mecânica é feita apenas com recirculação do ar, a concentração de poluentes com origem no exterior tende a não ser tão elevada quanto a atingida sem recirculação do ar ou mesmo em ventilação natural, uma vez que a quantidade de ar exterior que entra no habitáculo é apenas fruto de infiltrações de ar através de falhas no isolamento existentes no mesmo. No caso específico das PM, pode ocorrer uma redução significativa da sua concentração no habitáculo (podendo ser da ordem dos 25 %) quando a recirculação do ar é ligada, uma vez que as partículas tendem a aderir às tubagens por onde essa recirculação de ar é feita (Heo et al., 2019). O uso do modo recirculação do ar provoca um aumento da concentração dos poluentes originados no interior do veículo (Moreno et al., 2019).

#### ***2.4.2 Intensidade e tipo de tráfego***

Em ambientes urbanos, os automóveis são uma das fontes mais significativas de emissão de poluentes atmosféricos (Heo et al., 2019). Assim, pode afirmar-se que, em ambientes urbanos, o maior pico diário de exposição a esses poluentes acontece normalmente em estradas com grande intensidade de tráfego automóvel (Leavey et al., 2017). De facto, quer a intensidade do tráfego, quer a proximidade do veículo a outros veículos são fatores preponderantes para a concentração de poluentes no ambiente exterior ao veículo (Leavey et al., 2017; Szczurek et al., 2015), sendo que um aumento na concentração de poluentes no ambiente exterior ao veículo pode levar, pelo efeito da ventilação, ao aumento da concentração de poluentes no interior do mesmo. Deste modo, a concentração no habitáculo de poluentes provenientes de fontes de emissão externas resulta da conjugação entre a ventilação e o ambiente em que o veículo circula (Chan e Chung, 2003). A intensidade do tráfego, e outros fatores como o tipo de condução (aceleração/ralenti), a velocidade do veículo, e a proximidade a outros veículos têm sido reportados como fatores que influenciam a

concentração de poluentes no meio exterior circundante ao veículo (Leavey et al., 2017), influenciando consequentemente a qualidade do ar no interior do habitáculo.

### **2.4.3 Tipo e idade do veículo**

Também o tipo e idade do veículo podem influenciar a concentração de poluentes no habitáculo. A presença de COV em carros novos está essencialmente relacionada com emissões originadas em materiais que são utilizados nos acabamentos do interior dos habitáculos, nomeadamente plásticos, borrachas, fibras sintéticas, espumas, ou peles artificiais, sendo esses compostos responsáveis pelo cheiro típico de um carro novo (Faber et al., 2013; Moreno et al., 2019). Com o decorrer do tempo a concentração de COV no habitáculo dos veículos tende a baixar drasticamente não sendo, no entanto, nunca reduzida a zero (Faber et al., 2013; Xu et al., 2016).

Segundo a Associação do Comércio Automóvel de Portugal (ACAP), a idade média do parque automóvel existente em Portugal é de 12,6 anos, havendo por isso uma gama de idades dos veículos em circulação em Portugal bastante elevada (ACAP, 2019). Ao longo dos últimos 28 anos houve uma alteração sucessiva das normas ambientais europeias que regulamentam as emissões dos veículos na União Europeia (Euro Stage), no sentido de impor limites cada vez mais restritivos, pelo que é de esperar que a idade dos veículos em circulação tenha uma influência importante, quer na quantidade de poluentes que entram no habitáculo dos veículos que têm como fonte outros veículos que circulam na proximidade, quer por fenómenos de auto poluição provocados pelo próprio veículo em utilização. De facto, segundo Leavey et al.(2017), o facto de um parque automóvel ser constituído por veículos com mais de 10 anos faz com que existam potenciais consequências ambientais e para a saúde da população, uma vez que veículos mais antigos tendem a gerar emissões de poluentes superiores, quer por terem sido construídos numa altura em que as normas de emissões eram mais permissivas, quer pela deterioração dos sistemas de controlo de emissões do próprio veículo, quer ainda pelo aumento da presença de impurezas no óleo de lubrificação do motor ou pelo desgaste dos componentes mecânicos do veículo.

Para além da idade, outro fator que influencia a concentração de poluentes dentro do habitáculo dos veículos é o tipo de motorização que equipa o veículo (motor elétrico ou de combustão) e, no caso dos motores de combustão, o tipo de combustível utilizado. De facto, comparando a concentração de poluentes como o CO, o Negro de Carbono (*Black Carbon*, em inglês) e o tamanho das partículas em suspensão encontradas no habitáculo de um veículo a gásóleo com veículos movidos a outro tipo

de motor e/ou combustível, observa-se que a componente de auto poluição num automóvel a gasóleo é superior (Moreno et al., 2019).

#### ***2.4.4 Circulação em parques de estacionamento e garagens fechadas***

Os parques de estacionamento fechados e as garagens de casas ou edifícios de apartamento são pontos onde a concentração de poluentes provenientes de emissões de veículos é mais elevada devido não só à sua natureza fechada, mas também à fraca ventilação favorecendo a acumulação desses poluentes (Kim et al., 2007; Zhao et al., 2017). Como foi referido anteriormente, a concentração dos poluentes no interior do habitáculo é, em parte (particularmente no caso dos poluentes cuja principal fonte de emissão está no exterior do habitáculo do veículo) consequência do meio onde o veículo circula (Chan e Chung, 2003) pelo que, naturalmente, a circulação e estacionamento de veículos dentro de parques de estacionamento e garagens fechados é um fator que tem grande influência na concentração de alguns poluentes no habitáculo dos veículos, como por exemplo o CO, o NO<sub>2</sub> e as PM.

#### ***2.4.5 Outros fatores***

Para além dos fatores referidos anteriormente, existem inúmeros outros mais específicos que podem influenciar a QAI no habitáculo de veículos, tais como o uso de ambientadores (Moreno et al., 2019) e o uso de álcool gel para desinfeção das mãos (Barnes et al., 2018) ambos causadores do aumento da concentração de COV, e o fumo de tabaco que é uma fonte relevante de PM, entre muitos outros poluentes (Xu et al., 2016; Bolte et al. 2008).

### **2.5 - Estado da Arte**

A revisão bibliográfica que se segue teve como objetivo reportar estudos sobre a caracterização da QAI em habitáculos de veículos. Globalmente, a pesquisa bibliográfica foi realizada recorrendo a bases de dados on-line como Scopus, Science Direct, PubMed e Google Scholar, bem como páginas de entidades oficiais nacionais e internacionais usando os termos “car cabin air quality”, “car cabin pollutants”, “IAC vehicles”, “IAC car cabin”, “Car indoor air pollution”, “Car cabin ventilation”, “Car indoor pollutants concentration”, “Air quality inside vehicles”, “Vehicle Interior air Quality”, “Vehicle interior air pollution”, “QAI no habitáculo de veículos”, “Poluição

ar interior veículos”. Embora não tenha sido estabelecido nenhum critério restritivo para limitar o idioma dos artigos, foram considerados apenas os documentos publicados em inglês ou português.

Ao longo dos últimos anos têm sido realizados alguns estudos, ainda que em número limitado, sobre a QAI nos habitáculos de veículos automóveis, sendo que esses estudos se focam sobretudo em determinar as concentrações de alguns poluentes no habitáculo dos automóveis, as causas que potenciam o aumento dessas concentrações e encontrar soluções que possam mitigar esse aumento de concentração de poluentes e, consequentemente, melhorar a QAI no interior do habitáculo dos veículos.

De acordo com os resultados da pesquisa efetuada, o estudo mais antigo encontrado com relevância para esta análise (Chan e Chung. (2003) foi realizado em Hong Kong e mediu a concentração de NO, NO<sub>2</sub>, e CO no interior e no exterior de um veículo que realizou 80 viagens em 4 rotas distintas classificadas pelos autores como viagens típicas casa-trabalho, tendo sido registadas as condições (intensidade do tráfego e tipo de ambiente) em que circulava o veículo. Este estudo teve como principal objetivo estabelecer a relação entre a concentração de poluentes no exterior e no interior do veículo, tendo em conta a variação do tipo de ventilação utilizada. Os principais resultados e/ou conclusões obtidos foram que a relação entre a concentração de poluentes no exterior e no interior do habitáculo dos veículos não depende apenas do tipo de ventilação utilizado, mas também do ambiente em que o veículo circula, dos níveis de poluição nos dois ambientes e também da taxa de troca de ar entre esses eles. Neste sentido, concluíram que, apesar de se considerar que a utilização do sistema de A/C pode ser funcionar como um filtro para os poluentes com origem no exterior do habitáculo, deve ser tido em conta que esse sistema está constantemente a introduzir ar exterior poluído nesse ambiente fechado, pelo que é aconselhável variar o tipo de ventilação utilizado em função do ambiente em que se circula. Concretamente, concluíram que se deve utilizar a abertura das janelas como meio de circulação do ar em zonas com menor intensidade de tráfego. Como principal limitação deste trabalho pode-se identificar a não medição de concentração poluentes gasosos importantes no habitáculo, como o CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ou O<sub>3</sub>, nem PM. Para além disto, neste estudo foi utilizado apenas um tipo de veículo, não podendo desta forma estudar o efeito que a utilização de diferentes tipos de veículos pode ter na relação entre concentração de poluentes no exterior e no interior dos habitáculos. Também não foi possível identificar como efetuaram o registo do tipo de ventilação em cada momento da viagem. Ademais, o facto de só terem realizado recolhas de amostras do ar a cada três minutos limitou análise da influência da ventilação na variação das concentrações

de poluentes no interior do habitáculo, sobretudo quando se viaja com a janela aberta, uma vez que nessas condições o equilíbrio entre as concentrações de poluentes no ar interior e exterior é quase instantâneo. Por fim, o facto de apenas terem efetuado viagens típicas entre casa e o trabalho também limitou a abrangência deste trabalho.

Leavey et al. (2017) tiveram uma abordagem semelhante, propondo-se a comparar as concentrações de poluentes no exterior e no interior dos habitáculos de veículos, utilizando diferentes tipos de ventilação. Tinham ainda como objetivo estudar quando é que os ocupantes dos veículos que fazem a viagem entre casa e o trabalho estão expostos a maiores concentrações de poluentes, e encontrar formas de minimizar essa exposição. Um aspeto relevante desse estudo prende-se com o maior número de poluentes analisados em comparação com o trabalho realizado por Chan e Cheng. (2003), incluindo CO, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2,5</sub>, e Partículas Ultrafinas (UFP). À semelhança do que foi realizado por Chan e Cheng. (2003), nesse estudo foram feitas apenas viagens típicas entre casa e o trabalho (foram selecionadas duas rotas distintas entre os arredores de St. Louis e o campus da Washington University, também situada em St. Louis, Estados Unidos da América), sendo que ali foram utilizados dois veículos distintos. O registo da viagem foi feito com precisão, utilizando um sistema de GPS e uma câmara de filmar localizada na parte frontal do veículo, o que permitiu *a posteriori* verificar a causa das variações observadas nas concentrações de poluentes. No entanto, não fizeram um registo da ventilação utilizada a cada momento, tendo optado por verificar periodicamente que tipo de ventilação estava a ser utilizado (num mínimo de 12 vezes por viagem). Leavey et al. (2017) concluíram que os ocupantes dos veículos foram expostos a maiores concentrações de poluentes quando viajavam com as janelas abertas, e que as concentrações de poluentes no ar exterior e o tipo de ventilação utilizado foram as principais causas de variação de poluentes no habitáculo dos veículos. Verificaram também que, quando os veículos viajavam com as janelas abertas, as concentrações de poluentes no interior do habitáculo eram muito semelhantes às do exterior, não se verificando quando os veículos circulavam com as janelas fechadas utilizando o sistema de ventilação mecânica do habitáculo. Observaram ainda que, utilizando ventilação mecânica, o aumento da concentração de poluentes no interior do habitáculo foi mais suave e acontecia mais lentamente do que com a ventilação natural (janela aberta). Como principais limitações deste estudo pode-se apontar o facto de não terem medido as concentrações de COV, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>, e terem apenas efetuado viagens típicas entre casa e trabalho. Para além disso, o método de registo do tipo de ventilação utilizado parece ter sido impreciso. Também

teria sido interessante terem estudado o efeito do tráfego e da ventilação separadamente, fazendo algumas viagens com um tipo de ventilação fixo.

Barnes et. al. (2018) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar em que circunstâncias os ocupantes dos veículos que fazem a viagem entre a casa e o trabalho estão expostos a maiores concentrações de poluentes, e encontrar formas de minimizar a exposição dos ocupantes dos veículo a esses poluentes. Para isso mediram as concentrações de  $PM_{0,3}$ ,  $PM_{2,5}$ , CO,  $CO_2$ , COV, e também bactérias e fungos, no habitáculo de 51 veículos que realizaram viagens típicas de cerca de 30 minutos entre casa e o trabalho em trajetos selecionados pelos condutores em Hong Kong. Todos os veículos utilizaram o A/C como meio de ventilação do habitáculo, variando apenas o facto da utilização ou não da recirculação de ar. Neste estudo também foram feitas medições com o veículo ao ralenti. O registo das condições da viagem foi realizado pelos condutores do veículo através do preenchimento de um questionário. Como principais resultados, observaram que, com o modo de recirculação do ar ligado, foi possível reduzir a concentração de PM no interior do habitáculo, aumentando, no entanto, a concentração de  $CO_2$ , COVs e  $NO_2$  devido, segundo os autores, à fraca taxa de renovação de ar nos veículos. Como forma de minimizar a exposição dos ocupantes do veículo a poluentes e/ou microrganismos do ar, os autores deste trabalho indicaram que o interior do habitáculo do veículo deve ser mantido limpo e seco de forma a diminuir a contaminação por bactérias e/ou fungos, e que é importante realizar a limpeza e manutenção dos filtros do A/C e verificar periodicamente a existência de fugas no sistema de escape, diminuindo assim a concentração de poluentes no habitáculo dos veículos. Barnes et al. (2018) concluíram que quando o veículo é deixado a trabalhar ao ralenti com a ventilação utilizando o A/C existe uma grande acumulação de COV no habitáculo. Relativamente às limitações deste estudo, talvez a mais importante será o facto do registo das condições da viagem ter sido feito através do preenchimento de um questionário baseado nas próprias perceções de cada condutor, o que pode causar grande incerteza na fiabilidade desses dados. Para além disso, não foram medidas as concentrações de  $NO_2$ ,  $SO_2$  e  $O_3$ , o que representa mais uma limitação neste estudo. Por fim, o facto de o tipo de ventilação não ter variado também constitui uma limitação à quantidade e qualidade dos dados obtidos.

Moreno et al. (2019) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar a QAI nos habitáculos de táxis a operar na zona metropolitana de Barcelona. Para isso mediram a concentração de  $PM_{10}$ , CO,  $CO_2$ , Negro de Carbono e COV, analisando também a composição química inorgânica das  $PM_{10}$ , o número e tamanho de UFP e área superficial depositada nos pulmões (*Lung Deposited Surface Area, em Inglês*) das partículas nos

habitáculos dos mesmos táxis. Durante quatro meses, dois táxis foram equipados com equipamentos de medição dos poluentes indicados e circularam diariamente durante 6 horas na cidade de Barcelona. Os taxistas anotaram fatores que podiam influenciar a concentração de poluentes no interior dos táxis, nomeadamente a existência de ambientadores, o tipo de ventilação e a distância percorrida, sendo que o número de passageiros por viagem não fez parte desse registo. Um dos veículos utilizados diariamente era movido a gasóleo, enquanto o outro era movido a gasolina ou a energia elétrica, de forma a poder analisar diferenças no tipo de veículo utilizado. Para monitorizar as viagens utilizaram os dados do GPS instalado em cada um dos veículos. No que diz respeito aos resultados obtidos, observaram que a abertura das janelas possibilita a entrada de poluentes com origem no exterior do habitáculo, enquanto que a utilização do sistema de ventilação do veículo ou do A/C provoca um aumento da concentração dos poluentes com origem no interior do habitáculo. Observaram igualmente que os valores de CO variavam muito, sendo, no entanto, superiores nos veículos movidos a gasóleo. Observaram ainda que as UFP detetadas no interior destes veículos tinham um tamanho superior às das UFP detetadas nos restantes veículos. Por fim, observaram igualmente que a taxa de auto poluição dos veículos movidos a gasóleo era superior à dos restantes veículos. Outro fator que os autores deste trabalho observaram que influenciou a concentração de poluentes com origem no exterior do habitáculo no interior do mesmo foi a velocidade de circulação do veículo, uma vez que veículos que circulavam em autoestrada apresentavam maiores concentrações de poluentes do ar no habitáculo quando circulavam com as janelas fechadas do que quando circulavam na cidade (a velocidades bastante inferiores) igualmente com as janelas fechadas. Moreno et al. (2019) atribuíram esta diferença de concentrações à maior taxa de infiltração de ar no habitáculo fruto da maior velocidade de circulação do mesmo. Relativamente aos poluentes com origem no interior do veículo, observaram que as concentrações de CO<sub>2</sub> aumentaram significativamente quando os táxis circulavam com as janelas fechadas. Relativamente a limitações apresentadas por este estudo, tendo em conta a análise que foi feita sobre a influência do tipo de ventilação utilizada na concentração de poluentes no interior do habitáculo, o facto do registo das condições de ventilação ter sido feito pelos próprios taxistas pode ter limitado a fiabilidade dos dados obtidos. Além disso, não ter sido registado o número de passageiros/ocupantes em cada viagem, indicando igualmente a hora do início e do fim da mesma, dificultou na análise e interpretação das variações das concentrações de CO<sub>2</sub>.

Russi (2019) realizou um estudo com o objetivo de avaliar a QAI em viagens entre casa e o trabalho, tendo para esse efeito realizado viagens em automóveis, autocarros e comboios na zona de Lisboa. Este estudo inclui medições das concentrações de poluentes gasosos (CO, CO<sub>2</sub>, COV e formaldeído) e PM (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>4</sub> e PM<sub>10</sub>), em 3 automóveis com tipos de motorização diferente (gasóleo, gasolina e elétrico), que realizaram a mesma viagem entre Moscavide e o Instituto Superior Técnico (distância aproximada de 8 km) utilizando três tipos distintos de ventilação do habitáculo: ventilação mecânica sem A/C, ventilação mecânica com A/C ligado (em ambos os casos sem recirculação de ar e com as janelas completamente fechadas) e ventilação desligada. Nas viagens realizadas em autocarros e em comboios, as viagens foram efetuadas com as janelas fechadas. Para além do efeito da ventilação também foi estudada a influência da limpeza do habitáculo e o efeito do tipo de motorização do veículo na QAI do interior do habitáculo. Relativamente ao efeito da utilização de veículos com diferentes motorizações, aquele estudo não observou que existisse qualquer influência do tipo de motorização do veículo na concentração dos poluentes acima referidos. No que diz respeito à limpeza do habitáculo, no caso das PM, o estudo não conseguiu determinar se o facto de limpar o habitáculo tem influência na concentração deste poluente, sendo que no caso do CO e do CO<sub>2</sub>, observou que a limpeza do habitáculo não tem qualquer efeito na concentração destes poluentes dentro do habitáculo dos veículos. No caso dos COV, os produtos utilizados para a limpeza do habitáculo influenciaram a concentração deste poluente. No que diz respeito ao efeito da ventilação, o facto de não ter sido feito um registo das condições de tráfego ao redor do veículo dificultou a análise dos resultados no que aos poluentes com origem no exterior do habitáculo diz respeito, uma vez que a concentração desses poluentes no interior do habitáculo depende de não só do tipo de ventilação utilizada, mas também da sua concentração no meio exterior. Este estudo observou ainda que a concentração de CO<sub>2</sub> aumentou significativamente quando não foi utilizado qualquer meio de ventilação do habitáculo, uma vez que sendo a principal fonte de emissão deste poluente a respiração dos ocupantes do veículo, a diminuição da taxa de renovação de ar no habitáculo levou a uma acumulação deste poluente no seu interior.

Assim, a presente dissertação pretendeu ser um complemento aos trabalhos existentes nesta área, tendo-se tentado colmatar as falhas identificadas, nomeadamente através de: i) um registo minucioso de todas as condições da viagem, para melhor se entender as causas das variações dos poluentes no interior do habitáculo dos veículos; ii) a introdução de novas condições de viagem ainda não estudadas previamente, como a realização de viagens mais longas e/ou a circulação/estacionamento num parque de

estacionamento fechado; iii) a avaliação, em simultâneo, de um conjunto alargado de poluentes do ar interior, incluindo poluentes gasosos e diferentes frações de PM. Desta forma, foi possível obter um conjunto de resultados mais abrangente do que os obtidos em estudos anteriores que se focaram em trajetos mais específicos, nomeadamente trajetos urbanos e trajetos típicos entre casa e trabalho.

## 3 Metodologia

### 3.1 Descrição das viagens

Para a realização deste estudo foram realizadas 40 viagens, entre o dia 16/02/2021 e o dia 16/04/2021, em 4 veículos distintos, todos a gasóleo. Destas, foram selecionadas 26 viagens por serem as mais adequadas para a determinação da influência do veículo utilizado, da intensidade do tráfego, do tipo de ventilação e da condução/estacionamento em parque de estacionamento fechado, na QAI do habitáculo de veículos.

Para determinar a **influência do veículo utilizado** na QAI do habitáculo, realizaram-se 21 viagens com uma rota curta e fixa, utilizando o mesmo tipo de ventilação (ventilação sem (A/C) e sem recirculação de ar no habitáculo do veículo). O trajeto de ida e volta entre Mindelo e Perafita (cerca de 15km) foi escolhido por não apresentar diferenças significativas na intensidade de tráfego ao longo do dia, o que permitiu fazer viagens em horas diferentes sem que isso afetasse as condições em que as medições eram efetuadas. Para além de normalmente esse trajeto não apresentar variações significativas na intensidade do tráfego, o facto de se viver um período de confinamento devido à pandemia por COVID-19 permitiu otimizar ainda mais essa estabilidade na intensidade do tráfego ao longo do dia. O trajeto selecionado para esta parte do estudo incluiu a circulação em estradas suburbanas, estradas urbanas e autoestrada por forma a avaliar as concentrações de poluentes em cada um dos veículos utilizados em diferentes tipos de estradas. Para além disso, em algumas viagens optou-se por deixar os veículos ao ralenti, ao ar livre e numa garagem fechada, para notar eventuais diferenças substanciais na concentração de poluentes nos diferentes veículos que neste caso seriam fruto de auto poluição. Para facilitar o tratamento e análise dos dados, as viagens feitas no sentido Mindelo-Perafita foram identificadas como sendo viagens de “Ida” e as viagens feitas no sentido Perafita-Mindelo como sendo viagens de “Volta”.

Para determinar a **influência da intensidade de tráfego** na QAI do habitáculo, realizaram-se 4 viagens (em dois veículos diferentes) em trajetos efetuados em algumas das principais artérias de tráfego de acesso à cidade do Porto (A28, Avenida AEP, VCI, A3, A4, VRI e A41). De forma a melhor demonstrar a importância que a intensidade do tráfego automóvel tem na QAI no habitáculo dos veículos, as viagens foram efetuadas a horas diferentes para contabilizar intensidades de tráfego distintas. Duas das viagens realizaram-se numa altura em que, devido às normas do confinamento

imposto devido à pandemia por COVID-19, a intensidade do tráfego foi muito baixa, enquanto as outras duas foram realizadas a uma sexta-feira (dia em que, por norma, a intensidade de tráfego automóvel é mais elevada nas vias consideradas), tendo sido uma delas realizada inclusive em plena “hora de ponta” de forma a potenciar a exposição do veículo a grande intensidade de tráfego.

Para determinar a **influência do tipo de ventilação** utilizado na concentração dos poluentes do ar no habitáculo de veículos, realizaram-se 5 viagens com trajetos e durações variáveis. Os tipos de ventilação testados foram os seguintes: i) ventilação mecânica através de (A/C); ii) ventilação mecânica do veículo sem A/C; e iii) abertura da janela. No caso da ventilação mecânica sem A/C foi testado o efeito da recirculação do ar no habitáculo na concentração dos poluentes estudados. Também foram realizadas viagens onde o veículo circulou, em parte da viagem, sem qualquer ventilação, para verificar a influência que esse facto tinha na concentração de CO<sub>2</sub> dentro do habitáculo do veículo, e também para verificar o efeito que a infiltração de ar no habitáculo quando o veículo circula sem qualquer tipo de ventilação (incluindo janelas fechadas) tem na qualidade do ar no interior do habitáculo.

Para determinar a **influência da circulação/estacionamento num parque de estacionamento fechado**, parte de duas das viagens realizadas na elaboração deste estudo foram efetuadas num parque de estacionamento de uma grande superfície comercial situada em Matosinhos, tendo cada uma dessas viagens sido efetuada num veículo diferente. Uma dessas viagens foi finalizada nesse parque de estacionamento, enquanto que na outra, foi simulada uma ida às compras, tendo sido o veículo estacionado nesse parque fechado durante cerca de 20 minutos de forma a ser possível fazer a medição da concentração dos poluentes não só enquanto o carro estava a circular no parque, mas também enquanto o carro estava estacionado e desligado, para melhor compreender o efeito que essa situação comum no dia-a-dia de quase toda a população portuguesa tem na QAI do habitáculo do veículo.

A identificação de cada viagem foi efetuada utilizando um código, com o seguinte formato: VnX

onde Vn corresponde à viagem (com a numeração *n* a variar de 1 a 40), e X corresponde à identificação do veículo utilizado (detalhes na secção 3.2).

## 3.2 Veículos utilizados

Para a realização deste estudo estava inicialmente prevista a utilização de 5 veículos, sendo 4 deles a gasóleo e um a gasolina. No entanto, devido a um contratempo de última hora não foi possível fazer medições no carro a gasolina. Os quatro veículos selecionados foram todos fabricados em anos diferentes e têm quilometragens muito distintas e variadas (de 40.000 km no caso do veículo com menor quilometragem a 700.000 km no caso do veículo com maior quilometragem).

Para além de diferentes quilometragens, os veículos selecionados pertencem a diferentes classes *Euro Stage*. Para se poder identificar o veículo utilizado em cada viagem, foi atribuída uma letra identificativa a cada um deles, de A a E. A Tabela 2 mostra a lista dos veículos utilizados neste estudo e respetivas características, enquanto a Tabela 3 mostra as taxas de emissão máximas permitidas por cada (Euro Stage).

Tabela 2 - Lista dos Veículos utilizados neste estudo e respetivas características

| Viatura          | Marca    | Modelo   | Ano de fabrico | Quilometragem (km) | Combustível | Euro Stage                  |
|------------------|----------|----------|----------------|--------------------|-------------|-----------------------------|
| A                | Mercedes | Citan    | 2019           | 40000              | Gasóleo     | Euro 6d Temp <sup>(1)</sup> |
| B                | Mercedes | Classe E | 1997           | 700000             | Gasóleo     | Euro 2 <sup>(2)</sup>       |
| C                | Renault  | Clio     | 2017           | 130000             | Gasóleo     | Euro 6 <sup>(2)</sup>       |
| D <sup>(3)</sup> | Mercedes | Classe A | 2000           | 100000             | Gasolina    | Euro 3 <sup>(2)</sup>       |
| E                | Fiat     | Qubo     | 2009           | 340000             | Gasóleo     | Euro 5 <sup>(2)</sup>       |

(1) - Informação retirada do site oficial da Mercedes Benz Portugal (<https://www.mercedes-benz.pt/vans/pt/citan/panel-van/technical-data>)

(2) Informação retirada do site da “Automobile Association” do Reino Unido (<https://www.theaa.com/driving-advice/fuels-environment/euro-emissions-standards>)

(3) Não foi possível utilizar este veículo neste estudo

Tabela 3 - Valores de emissões máximas permitidas por cada uma das Normas Ambientais Europeias “Euro Stage”

| Euro Stage     | CO (g/km) | HC + NO <sub>x</sub> (g/km) | NO <sub>x</sub> (g/km) | PM (g/km) | PN (#/km)            | Ano de Implementação |
|----------------|-----------|-----------------------------|------------------------|-----------|----------------------|----------------------|
| EURO 1         | 2,72      | 0,97                        | ND                     | 0,14      | ND                   | Janeiro de 1993      |
| EURO 2         | 1,0       | 0,7                         | ND                     | 0,08      | ND                   | Janeiro de 1997      |
| EURO 3         | 0,64      | 0,56                        | 0,50                   | 0,05      | ND                   | Janeiro de 2001      |
| EURO 4         | 0,50      | 0,30                        | 0,25                   | 0,025     | ND                   | Janeiro de 2006      |
| EURO 5         | 0,50      | 0,23                        | 0,18                   | 0,005     | 6,0x10 <sup>11</sup> | Janeiro de 2011      |
| EURO 6         | 0,50      | 0,17                        | 0,08                   | 0,005     | 6,0x10 <sup>11</sup> | Setembro de 2015     |
| EURO 6d - Temp | 0,50      | 0,17                        | 0,08                   | 0,005     | 6,0x10 <sup>11</sup> | Setembro de 2017     |

Nota: Informação retirada do site da “Automobile Association” do Reino Unido (<https://www.theaa.com/driving-advice/fuels-environment/euro-emissions-standards>)

Na norma EURO 6d-Temp, os valores limite são os mesmos da norma EURO 6, no entanto, dois novos testes foram introduzidos, sendo um deles um teste laboratorial (WLTP - Worldwide harmonized Light duty Test Procedure) e o outro um teste em estrada (RDE - Real Drive Emissions), com duração entre 90 e 120 minutos que serve para se ter a certeza que os carros cumprem os valores de emissão reportados pelos testes laboratoriais num espectro mais alargado de condições de condução: ND - não definido

### 3.3 Recolha de dados

Na presente dissertação foram estudados poluentes gasosos e partículas em suspensão no ar interior do habitáculo de veículos. Por estarem fora do âmbito do estudo, os poluentes biológicos não foram avaliados.

As medições das concentrações dos poluentes gasosos no ar do interior do habitáculo dos veículos utilizados neste estudo, nomeadamente compostos orgânicos voláteis totais (COVT), CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub>, foram realizadas utilizando o equipamento GrayWolf ADVANCEDSENSE BE, sendo registados valores a cada minuto. Todos os sensores foram devidamente estabilizados antes do início de cada medição.

As concentrações no ar interior de várias frações de PM (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> e P<sub>Total</sub>) foram medidas em contínuo com o equipamento TSI DustTrack™ DRX 8534 Aerossol Monitor. O sensor do equipamento foi submetido a uma calibração zero antes de cada medição, e foram registados valores a cada minuto. A Figura 2 mostra os equipamentos utilizados e as Tabelas 4 e 5 apresentam as principais características de cada equipamento/sensor, incluindo os métodos de medição, resolução e precisão.

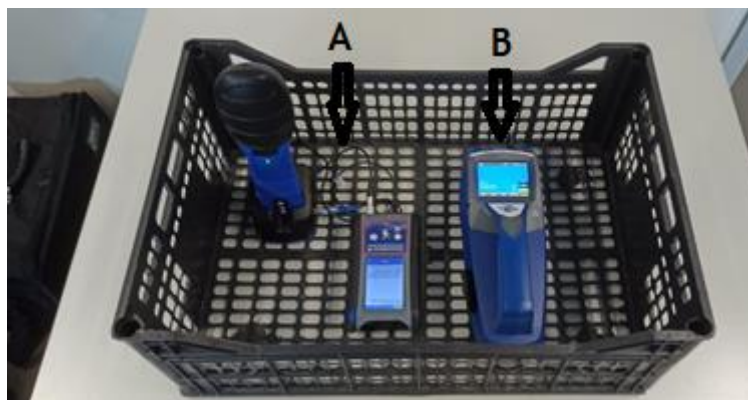


Figura 2 - Equipamentos utilizados na medição da concentração dos Poluentes Gasosos e Partículas Suspensas monitorizados neste estudo. A - GrayWolf ADVANCEDSENSE BE; B - TSI DustTrack™ DRX 8534 Aerossol Monitor

Tabela 4 - Métodos de amostragem e características técnicas do TSI DustTrack™ DRX 8534 Aerossol Monitor

| Poluente | Método de deteção                           | Gama de concentrações       | Resolução                                                      | Precisão do caudal                                           | Taxa de caudal | Gama de tamanhos de partículas |
|----------|---------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------|
| PM       | Sensor por fotometria a laser em tempo real | 0,001-150 mg/m <sup>3</sup> | ±0,1 % da leitura ou 0,001 mg/m <sup>3</sup> (o que for maior) | ±5 % do ponto de ajuste de fábrica, fluxo interno controlado | 3,0 L/min      | 0,1 a 15 µm                    |

Tabela 5 - Características técnicas do GrayWolf ADVANCEDSENSE BE Aerosol Monitor

| Sensor          | Resolução (ppm) | Gama de Medição (ppm) | Limite de Detecção (ppm) |
|-----------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| COV             | 0,001           | 0,000 - 20000         | 0,005                    |
| CO              | 0,1             | 0,0 - 750,0           | <0,3                     |
| CO <sub>2</sub> | 1               | 0 - 10000             | 1                        |
| NO <sub>2</sub> | 0,01            | 0,00 - 20,00          | 0,02                     |
| SO <sub>2</sub> | 0,01            | 0,00 - 50,00          | <0,1                     |
| O <sub>3</sub>  | 0,01            | 0,00 - 1,0            | 0,02                     |

Para registar o trajeto de cada uma das viagens efetuadas foi utilizada a aplicação de GPS para telemóvel *Geo Tracker*, sendo posteriormente os dados obtidos guardados em formato “.kmz” e posteriormente exportados para a ferramenta *My Maps* da Google (<https://www.google.com/maps/>) para obtenção do mapa de cada viagem efetuada na realização deste estudo. A Figura 3 mostra, a título de exemplo, o mapa da viagem V29A obtido após exportar os dados obtidos pela aplicação GPS *Geo Tracker* para a ferramenta *My Maps* da Google.

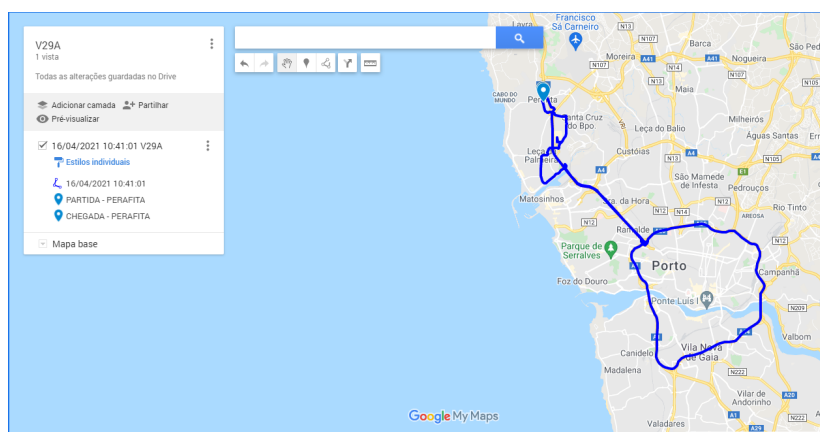


Figura 3 - Mapa da Viagem V29A

De forma a registar as características de cada uma das viagens, como por exemplo as condições meteorológicas, tipo de ventilação utilizado ao longo da viagem, tipo de estrada, intensidade de tráfego, entre outras informações, foi utilizado o gravador de voz do telemóvel onde estava a ser monitorizada a viagem em tempo real, tendo sido esses dados posteriormente passados para um *log book* (exemplo no Apêndice A) criado para cada uma das viagens.

### 3.4 Análise de dados

Após a recolha dos dados nas medições de QAI (registos a cada 1 minuto), foi realizada uma análise estatística descritiva com o cálculo das concentrações mínimas, médias e máximas, bem como a mediana das concentrações de cada um dos poluentes gasosos monitorizados neste estudo (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> e P<sub>Totais</sub>), e para cada uma das viagens consideradas. Adicionalmente, para cada uma das viagens foram traçados os perfis de concentração de cada um dos poluentes. Foram ainda calculadas as razões entre as frações das concentrações de PM<sub>1</sub> e PM<sub>2,5</sub>, de PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> e de PM<sub>10</sub> e P<sub>Totais</sub>, e respetiva análise estatística descritiva.

Os dados recolhidos foram testados quanto à normalidade através dos testes de Shapiro-Wilk. Para avaliar a significância das diferenças entre viagens ou entre veículos, foi utilizado um teste não paramétrico de *Wilcoxon Rank Sum* (também designado por teste U de *Mann-Whitney*). Em todos os casos, foi considerado um nível de significância ( $\alpha$ ) de 0,05. O tratamento dos dados foi efetuado utilizando o software MS Excel® e o software *RStudio* versão 1.1.463.

As concentrações medidas foram comparadas com valores-limite impostos pelas legislações de referência. Por não existir ainda uma legislação específica para a QAI do habitáculo de veículos, as concentrações obtidas foram comparadas com valores de referência para QAI em edifícios ou, quando não existiam, para qualidade do ambiente (exterior) indicados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores de referência utilizados para comparação com as concentrações medidas

| Poluente          | Legislação de referência              | Aplicação                | Valor limite           |
|-------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| COVT              | Portaria 353-A/2013                   | Qualidade de Ar Interior | 600 µg/m <sup>3</sup>  |
| CO                | Portaria 353-A/2013                   | Qualidade de Ar Interior | 10 mg/m <sup>3</sup>   |
| CO <sub>2</sub>   | Portaria 353-A/2013                   | Qualidade de Ar Interior | 2250 mg/m <sup>3</sup> |
| NO <sub>2</sub>   | Decreto Lei nº 102/2010               | Qualidade de Ar Ambiente | 200 µg/m <sup>3</sup>  |
| SO <sub>2</sub>   | Decreto Lei nº 102/2010               | Qualidade de Ar Ambiente | 350 µg/m <sup>3</sup>  |
| O <sub>3</sub>    | Decreto Lei nº 79/2006 <sup>(1)</sup> | Qualidade de Ar Interior | 200 µg/m <sup>3</sup>  |
| PM <sub>2,5</sub> | Portaria 353-A/2013                   | Qualidade de Ar Interior | 25 µg/m <sup>3</sup>   |
| PM <sub>10</sub>  | Portaria 353-A/2013                   | Qualidade de Ar Interior | 50 µg/m <sup>3</sup>   |

1 - O Decreto Lei 79/2006 não está em vigor atualmente, tendo sido substituído pela Portaria 353-A/2013, que não inclui valor de referência para ozono

## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Efeito do veículo

Com o objetivo de determinar o efeito do veículo na QAI do habitáculo, foram efetuadas 21 viagens com 3 veículos diferentes (A, B e E), com o mesmo tipo de ventilação (ventilação sem (A/C) e sem recirculação de ar) em trajetos semelhantes entre Mindelo e Perafita (definida como sendo a viagem de “Ida”) e entre Perafita e Mindelo (definida como sendo a viagem de “Volta”). A Figura 4 apresenta, a título de exemplo, a rota típica de uma viagem entre Mindelo e Perafita (V20E).

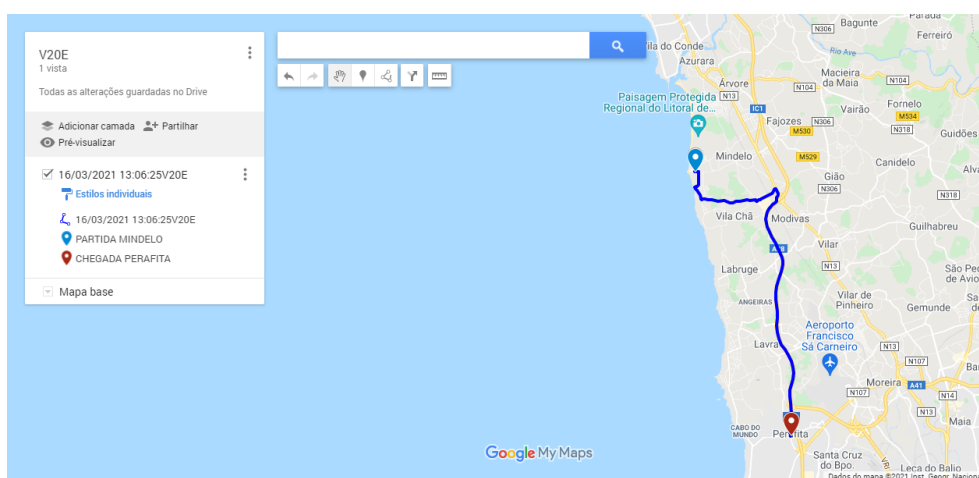


Figura 4 - Rota típica de uma viagem entre Mindelo e Perafita

Tendo em consideração o tipo de percurso utilizado para esta análise, considerou-se que o efeito das diferenças de intensidade de tráfego é negligenciável, uma vez que quer as viagens de “Ida” quer as viagens de “Volta” se tratam de percursos suburbanos iguais (exceto no sentido da viagem), sem grande intensidade de tráfego. Adicionalmente, como as medições foram efetuadas em período de confinamento do país devido à pandemia por COVID-19, a intensidade de tráfego foi ainda mais reduzida. Adicionalmente, para reduzir ao mínimo as variáveis que poderiam influenciar as medições, as viagens foram efetuadas sem passageiros e o condutor do veículo foi sempre o mesmo (o autor da dissertação), tentando manter um tipo de condução constante, minimizando desta forma fatores como o tipo de condução do veículo, que, segundo Leavey et al. (2016), é um fator importante nas emissões geradas.

Na análise descritiva, foram calculadas as concentrações mínimas, máximas, médias e a mediana das concentrações dos poluentes gasosos e particulados detetados ao longo destas viagens, que podem ser consultados no Apêndice B. Adicionalmente, foram calculadas as razões mínimas, médias, máximas e valores das medianas entre as várias

frações de PM (concentrações de  $PM_1$  e  $PM_{2,5}$ , de  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$  e de  $PM_{10}$  e  $P_{Totais}$ ). A Tabela 7 apresenta estes resultados.

*Tabela 7 - Razões mínimas, médias, máximas e valores das medianas entre as concentrações de  $PM_1$  e  $PM_{2,5}$ , de  $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$  e de  $PM_{10}$  e  $P_{Totais}$  em cada uma das viagens tidas em conta nesta análise*

| Viagem | $PM_1/PM_{2,5}$ |         |        |        | $PM_{2,5}/PM_{10}$ |         |        |        | $PM_{10}/P_{Totais}$ |         |        |        |
|--------|-----------------|---------|--------|--------|--------------------|---------|--------|--------|----------------------|---------|--------|--------|
|        | Média           | Mediana | Mínimo | Máximo | Média              | Mediana | Mínimo | Máximo | Média                | Mediana | Mínimo | Máximo |
| V1A    | 0,96            | 1,00    | 0,83   | 1,00   | 0,93               | 0,91    | 0,83   | 1,00   | 0,79                 | 0,75    | 0,60   | 1,00   |
| V3A    | 0,98            | 1,00    | 0,88   | 1,00   | 0,96               | 0,99    | 0,88   | 1,00   | 0,91                 | 0,94    | 0,65   | 1,00   |
| V5A    | 1,00            | 1,00    | 0,96   | 1,00   | 0,98               | 1,00    | 0,90   | 1,00   | 0,79                 | 0,75    | 0,60   | 1,00   |
| V6A    | 0,98            | 1,00    | 0,86   | 1,00   | 0,97               | 1,00    | 0,86   | 1,00   | 0,90                 | 0,92    | 0,69   | 1,00   |
| V13A   | 0,98            | 1,00    | 0,88   | 1,00   | 0,95               | 0,98    | 0,83   | 1,00   | 0,90                 | 0,90    | 0,91   | 0,92   |
| V22A   | 1,00            | 1,00    | 0,95   | 1,00   | 0,98               | 1,00    | 0,88   | 1,00   | 0,91                 | 0,91    | 0,73   | 1,00   |
| V23A   | 0,99            | 1,00    | 0,94   | 1,00   | 0,98               | 1,00    | 0,93   | 1,00   | 0,93                 | 0,94    | 0,79   | 1,00   |
| V4B    | 0,99            | 1,00    | 0,93   | 1,00   | 0,98               | 1,00    | 0,85   | 1,00   | 0,90                 | 0,93    | 0,51   | 1,00   |
| V17B   | 1,00            | 1,00    | 1,00   | 1,00   | 0,97               | 1,00    | 0,82   | 1,00   | 0,88                 | 0,90    | 0,54   | 1,00   |
| V18B   | 0,97            | 1,00    | 0,89   | 1,00   | 0,93               | 0,92    | 0,83   | 1,00   | 0,82                 | 0,80    | 0,55   | 1,00   |
| V24B   | 1,00            | 1,00    | 1,00   | 1,00   | 0,98               | 0,99    | 0,93   | 1,00   | 0,92                 | 0,93    | 0,77   | 1,00   |
| V28B   | 1,00            | 1,00    | 1,00   | 1,00   | 0,98               | 1,00    | 0,95   | 1,00   | 0,95                 | 0,97    | 0,80   | 1,00   |
| V30B   | 1,00            | 1,00    | 1,00   | 1,00   | 0,99               | 1,00    | 0,95   | 1,00   | 0,91                 | 0,94    | 0,68   | 1,00   |
| V31B   | 0,99            | 1,00    | 0,94   | 1,00   | 0,97               | 0,97    | 0,85   | 1,00   | 0,90                 | 0,92    | 0,67   | 1,00   |
| V19E   | 0,99            | 1,00    | 0,79   | 1,00   | 0,90               | 0,90    | 0,47   | 0,97   | 0,78                 | 0,80    | 0,47   | 0,98   |
| V20E   | 0,99            | 1,00    | 0,76   | 1,00   | 0,89               | 0,88    | 0,42   | 1,00   | 0,69                 | 0,65    | 0,42   | 1,00   |
| V33E   | 1,00            | 1,00    | 0,89   | 1,00   | 0,97               | 1,00    | 0,60   | 1,00   | 0,88                 | 0,93    | 0,60   | 1,00   |
| V34E   | 0,99            | 1,00    | 0,93   | 1,00   | 0,97               | 1,00    | 0,87   | 1,00   | 0,92                 | 0,95    | 0,77   | 1,00   |
| V36E   | 1,00            | 1,00    | 0,95   | 1,00   | 0,98               | 1,00    | 0,88   | 1,00   | 0,95                 | 1,00    | 0,69   | 1,00   |
| V37E   | 1,00            | 1,00    | 1,00   | 1,00   | 0,96               | 0,97    | 0,88   | 1,00   | 0,88                 | 0,88    | 0,61   | 1,00   |
| V38E   | 1,00            | 1,00    | 1,00   | 1,00   | 0,99               | 1,00    | 0,94   | 1,00   | 0,97                 | 1,00    | 0,88   | 1,00   |

Na Tabela 7 observa-se que a esmagadora maioria das PM são partículas finas ( $PM_1$  e  $PM_{2,5}$ ). Uma vez que o tipo de PM mais pequenas para as quais existe legislação que se pode utilizar como referência são as  $PM_{2,5}$  a análise os resultados será focada nesta fração.

Os perfis das concentrações dos poluentes gasosos e particulados para cada uma das viagens de “Ida” e “Volta” foram representados nas Figuras B1 a B6 (Apêndice B). Não obstante a intensidade de tráfego ser negligenciável, foram verificados alguns picos nas concentrações dos poluentes gasosos e particulados. Os picos de concentração de CO, NO<sub>2</sub> e PM tiveram essencialmente duas causas: i) a circulação durante um curto período de tempo atrás ou nas proximidades de veículos com taxas de emissão de poluentes mais elevados, como veículos agrícolas e/ou veículos pesados, constituindo estes últimos a grande maioria das viaturas que circulavam na altura em que se realizou este estudo devido ao confinamento imposto pela pandemia por COVID-19; ou ii) no caso das viagens V3A e V6A, o facto do veículo de estudo ter sido estacionado numa garagem, o que fez aumentar as concentrações destes poluentes no final dessas viagens. No caso dos COV, observaram-se dois picos (nas viagens V23A e V32E) que

ultrapassaram os valores limite impostos pela legislação usada como referência para este poluente, que ocorreram provavelmente devido à higienização das mãos com álcool gel por parte do condutor. No que diz respeito ao  $\text{CO}_2$ , observaram-se igualmente alguns picos de concentrações causados por fatores não relacionados com o veículo utilizado. No caso das viagens V3A e V23A, os picos verificados deveram-se sobretudo ao facto destas viagens terem sido efetuadas imediatamente após as viagens anteriores, o que fez com que no início a concentração de  $\text{CO}_2$  no habitáculo fosse mais elevada. No caso da viagem V20E, o pico ficou a dever-se ao esquecimento, por parte do condutor, de ligar a ventilação nos primeiros momentos da viagem. Na viagem V24B, o pico inicial na concentração de  $\text{CO}_2$  ficou a dever-se ao facto do condutor ter permanecido algum tempo no veículo com o mesmo desligado antes de iniciar a viagem, o que causou uma acumulação de  $\text{CO}_2$  no habitáculo (fruto da respiração do condutor). Na viagem V30B a causa do pico foi uma avaria momentânea na ventilação que foi imediatamente resolvida. Em nenhum caso foi ultrapassado o valor limite imposto pela legislação utilizada como referência para este poluente gasoso.

É importante referir que não foi feita qualquer análise relacionada com o  $\text{SO}_2$  nesta secção, pois este poluente gasoso não foi detetado em nenhuma das viagens realizadas com o objetivo de determinar o efeito do tipo de veículo na QAI do habitáculo.

Na Figura 5 são apresentados os diagramas de extremos e quartis obtidos para cada um dos poluentes gasosos, à exceção do  $\text{O}_3$  e do  $\text{SO}_2$  cujas concentrações foram detetadas em picos esporádicos impossibilitando a realização desta análise, e para as  $\text{PM}_{2,5}$ , representando todas as viagens efetuadas por cada um dos veículos utilizados para a determinação do efeito do tipo de veículo utilizado na QAI no habitáculo. Os diagramas de extremos e quartis referentes às restantes frações de partículas podem ser consultados no Apêndice D.

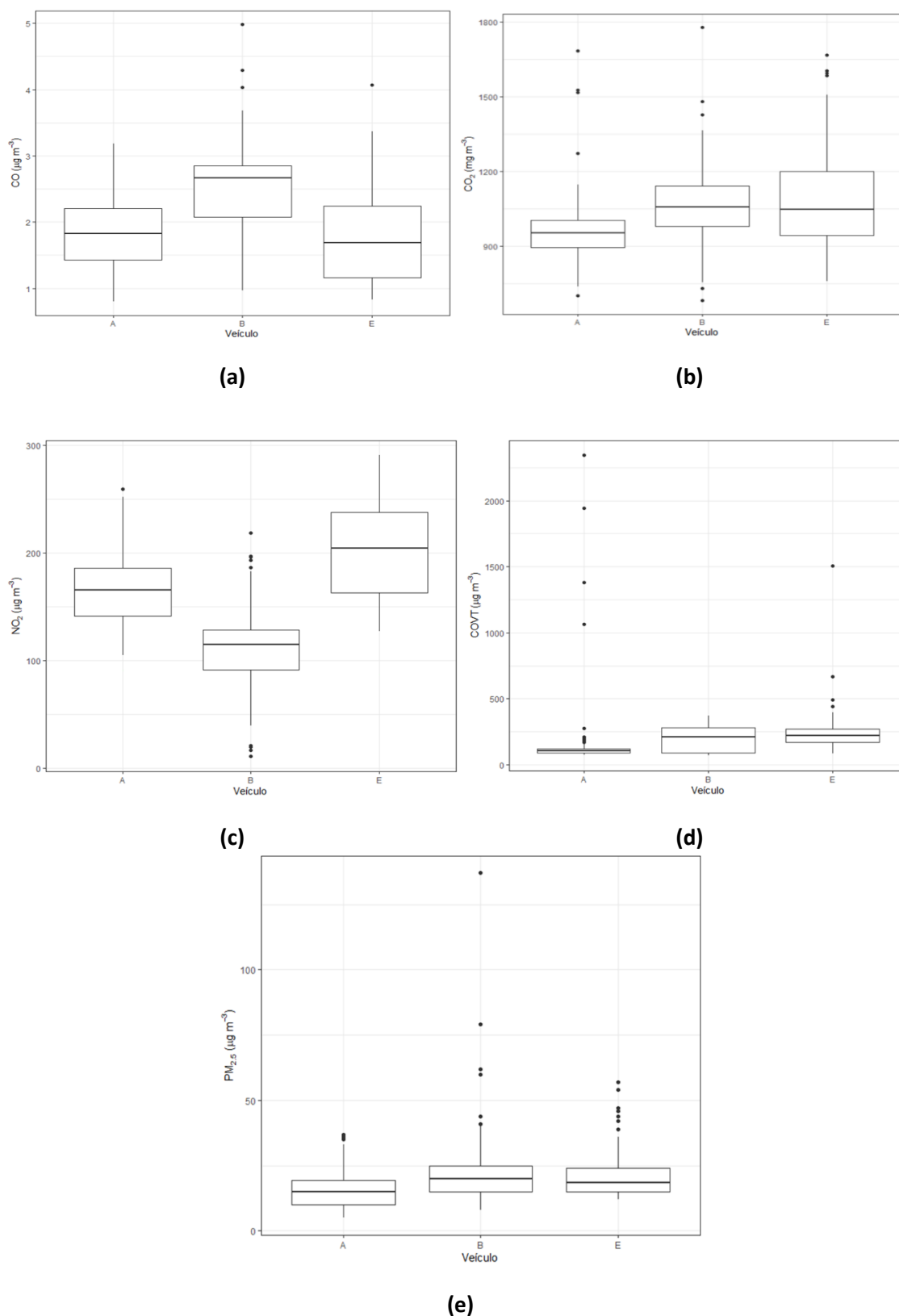


Figura 5 - Diagramas de extremos e quartis, representando todas as viagens efetuadas por cada um dos veículos utilizados para a determinação do efeito do veículo utilizado: (a) CO; (b) CO<sub>2</sub>; (c) NO<sub>2</sub>; (d) COVT; (e) PM<sub>2.5</sub>

Da Figura 5 observa-se que a mediana das concentrações de CO foi significativamente superior no veículo B ( $p < 0,05$ ). Este resultado era expectável, por se tratar de um veículo mais antigo, fabricado numa altura em que a norma europeia de emissões era menos exigente (Euro Stage 2), permitindo o dobro das emissões de CO do que a norma em vigor para o veículo E (Euro Stage 5) e para o veículo A (Euro Stage 6d Temp). Para além disso, o veículo B tem uma quilometragem muito superior aos veículos A e E (700 000 km vs 40 000 km e 340 000 km, respetivamente). Moreno et al. (2019), que realizou um estudo sobre a QAI nos habitáculos de táxis na zona metropolitana de Barcelona, também concluiu que maiores concentrações de CO no habitáculo estavam associadas a veículos diesel mais antigos e com mais de 500 000 km. Por outro lado, sendo o veículo B mais antigo do que os restantes veículos utilizados nesta análise também pode implicar que os vedantes do mesmo estejam mais desgastados e/ou que existam fendas não detetadas na carroçaria do mesmo, permitindo uma maior infiltração dos poluentes gerados no exterior do mesmo. Assim, a combinação do desgaste do veículo com o desgaste dos componentes que vedam a entrada de ar exterior no habitáculo, pode ter levado ao aumento da concentração de CO no interior do veículo. Leavey et al. (2016) também reportou que veículos mais antigos tendem a gerar maiores emissões de poluentes devido ao desgaste dos componentes mecânicos. Na impossibilidade de se trocar um veículo mais antigo por um mais recente, torna-se fundamental a verificação periódica dos vedantes das portas e janelas, de forma a minimizar a quantidade de CO originado pelo próprio veículo que entra no habitáculo do mesmo.

No que diz respeito ao CO<sub>2</sub>, observou-se que a mediana das concentrações de CO<sub>2</sub> foi significativamente inferior no veículo A ( $p < 0,05$ ). Tendo em consideração que a concentração de CO<sub>2</sub> dentro do habitáculo de um veículo é maioritariamente fruto da respiração dos ocupantes, e tendo todos os veículos operado com o mesmo modo de ventilação (ventilação mecânica ligada na posição 1, sem recirculação de ar), as concentrações de CO<sub>2</sub> foram inferiores no veículo A, que é, de longe, o mais recente (2019 vs 1997 - veículo B e 2009 - veículo E). Isto parece indicar que o sistema de ventilação deste veículo (A) é melhor, ou encontrava-se em melhor estado, tendo sido mais eficiente do que os sistemas de ventilação dos veículos B e E, permitindo uma melhor ventilação do habitáculo e consequentemente uma maior taxa de troca de ar com o exterior. Xu et al. (2018) também reportou que uma maior taxa de troca de ar com o exterior provoca uma diminuição da concentração de CO<sub>2</sub> e de outros poluentes emitidos no interior do habitáculo.

No que diz respeito ao NO<sub>2</sub>, observou-se que o valor da mediana das concentrações de NO<sub>2</sub> foi inferior no veículo B seguindo-se o veículo A, apresentando o veículo E o valor

mais elevado, todos eles com diferenças estatisticamente significativas entre si ( $p < 0,05$ ). Este facto pode ter ocorrido devido à conjugação de dois factores: i) as diferentes taxas de compressão dos motores de cada um dos veículos utilizados; e ii) a norma europeia (*Euro Stage*) em vigor na altura da produção de cada um dos veículos. Segundo EL\_Kassaby e Nemit\_allah (2012) um aumento na taxa de compressão do motor implica um aumento na temperatura de combustão e, sendo a elevada temperatura de combustão o fator mais significativo na formação de  $\text{NO}_x$ , concluíram que quanto maior a taxa de compressão do motor do veículo utilizado, maior a formação de  $\text{NO}_x$  no processo de combustão. Isto explica os valores mais baixos de concentração de  $\text{NO}_2$  detetados no veículo B, pois apesar de ter um motor mais antigo que os veículos A e E, este apresenta uma taxa de compressão muito inferior (9,6) quando comparada com as taxas de compressão do motor do veículo A (18,8) e do veículo E (16,8) (USPECS1, 2018; USPECS2, 2018; USPECS3, 2018). Comparando os veículos A e E, observa-se que a mediana das concentrações de  $\text{NO}_2$  do veículo A foi significativamente inferior, apesar da taxa de compressão do motor do veículo A ser superior à taxa de compressão do motor do veículo E. Isto pode ser explicado pelo facto da norma europeia de emissões a que está sujeito o veículo A (*Euro Stage 6d Temp*) ser mais exigente do que a norma europeia de emissões a que está sujeito o veículo E (*Euro Stage 5*), pelo que o veículo A terá um catalisador mais eficiente do que o veículo E e, em condições normais, as emissões de  $\text{NO}_2$  do veículo A serão naturalmente inferiores.

Em relação aos COVT, observou-se que o valor da mediana das suas concentrações foi significativamente inferior no veículo A ( $p < 0,05$ ). As concentrações mais elevadas de COV foram encontradas no habitáculo dos veículos com maior quilometragem (700 000 km no caso do veículo B e 340 000 km no caso do veículo E). Faber et al. (2013) observou que as concentrações de COV no interior dos habitáculos aumenta com o aumento da quilometragem, sendo esse aumento relacionado com as emissões dos veículos e infiltração de poluentes do exterior. Por outro lado, pode-se verificar que no veículo A (com cerca de 2 anos) foram observados os valores mais baixos de concentração de COV. Segundo Moreno et al. (2019) a concentração de COV no interior do habitáculo dos veículos depende da idade dos mesmos, sendo mais elevada em veículos novos do que em veículos usados. De facto, Moreno et al. (2019) obtiveram valores de concentrações de COV mais elevados num veículo com menos de um ano, sendo a causa a emissão destes poluentes gasosos que fazem parte da composição de colas e outros produtos utilizados nos acabamentos do interior dos veículos. Por outro lado, Xu et al. (2016) referiu que esse processo de desgaseificação está concluído nos primeiros 3 a 5 anos após a produção do veículo. Desta forma, pode-se concluir que,

muito provavelmente, o processo de desgaseificação descrito por Moreno et al. (2019) e Xu et al. (2016) já terá terminado no veículo A.

Observou-se que o valor da mediana das concentrações de  $PM_{2,5}$  foi significativamente inferior no veículo A ( $p < 0,05$ ). Sendo o veículo A muito mais recente, é expectável que o filtro do habitáculo seja mais eficiente do que o dos veículos B e E, quer por uma questão de natural evolução tecnológica, quer pelo facto da substituição do mesmo nas revisões periódicas já não ser feito há algum tempo nestes dois últimos veículos, ao contrário do que ocorreu com o veículo A (tinha feito a revisão numa oficina oficial tempo antes, incluindo a substituição do filtro do habitáculo). Resultado semelhante obtiveram Esber e Fadel (2013), que concluíram que as concentrações de  $PM_{2,5}$  eram mais elevadas no habitáculo de carros antigos, presumindo ser consequência da maior eficiência dos filtros do (A/C) dos veículos mais recentes. Para além disso, concluíram que essa diferença de eficiência nos filtros se deve ao facto de muitas vezes a substituição periódica ser negligenciada pelos proprietários dos veículos, apesar de fazer parte do plano de manutenção dos mesmos. Por outro lado, como referiu Leavey et al. (2016), veículos mais antigos tendem a gerar maiores emissões de poluentes que veículos mais recentes, tendo igualmente maior taxa de infiltração de ar exterior. Este facto potencia a entrada no habitáculo de poluentes com origem no exterior, como é o caso das  $PM_{2,5}$ . Assim, pode-se concluir que é extremamente importante substituir regularmente os filtros de habitáculo do veículo e verificar (e substituir se necessário) os vedantes do habitáculo de forma a minimizar as concentrações de  $PM_{2,5}$  no ar interior.

## 4.2 Tipo e intensidade do tráfego

Com o objetivo de determinar a importância da intensidade do tráfego na QAI no habitáculo de veículos, foram efetuadas quatro viagens, em dois veículos distintos (veículos A e E), em estradas da área metropolitana do Porto onde existe normalmente maior intensidade de tráfego. Uma das viagens foi realizada num período em que havia imposição de confinamento geral (V2A), e as restantes (V29A, V32E e V35E) em períodos em que as restrições tinham sido aliviadas e consequentemente a intensidade de tráfego era muito superior.

A Figura 6 apresenta, a título de exemplo, a rota de uma viagem realizada com o intuito de fazer esta análise (V29A).

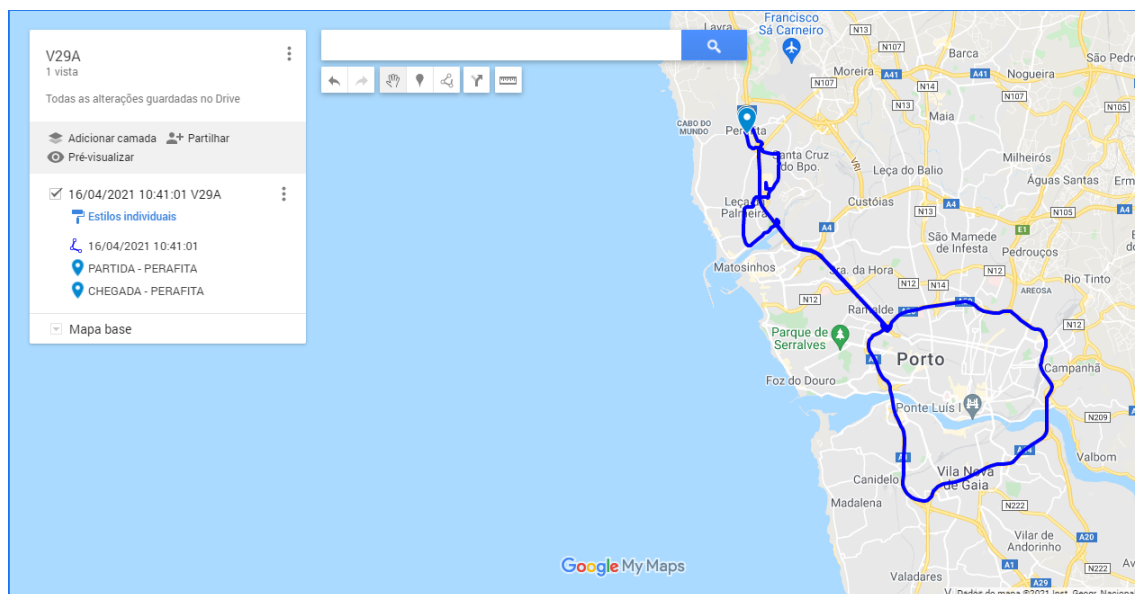


Figura 6 - Exemplo de viagem realizada para a análise do efeito da intensidade do tráfego na concentração de poluentes no habitáculo dos veículos utilizados para esta análise (V29A).

As Tabelas C5 e C6 (Apêndice C) apresentam as concentrações mínimas, máximas e médias, e a mediana das concentrações para cada um dos poluentes gasosos e particulados detetados ao longo destas viagens. Por não ter sido detetado  $\text{SO}_2$  em nenhuma das viagens, não são apresentados valores para este poluente. Adicionalmente, foram calculadas as razões mínimas, médias, máximas e valores das medianas entre as concentrações das várias frações de  $\text{PM}_1$  ( $\text{PM}_{2,5}$ , de  $\text{PM}_{2,5}$  e  $\text{PM}_{10}$  e de  $\text{PM}_{10}$  e  $\text{P}_{\text{Totais}}$ ). A Tabela 8 apresenta estes resultados.

Tabela 8 - Razões mínimas, médias, máximas e valores das medianas entre as concentrações de  $\text{PM}_1$  e  $\text{PM}_{2,5}$ , de  $\text{PM}_{2,5}$  e  $\text{PM}_{10}$  e de  $\text{PM}_{10}$  e  $\text{P}_{\text{Totais}}$

| Viagem | $\text{PM}_1/\text{PM}_{2,5}$ |         |      |      | $\text{PM}_{2,5}/\text{PM}_{10}$ |         |      |      | $\text{PM}_{10}/\text{P}_{\text{Totais}}$ |         |      |      |
|--------|-------------------------------|---------|------|------|----------------------------------|---------|------|------|-------------------------------------------|---------|------|------|
|        | Média                         | Mediana | Min  | Max  | Média                            | Mediana | Min  | Max  | Média                                     | Mediana | Min  | Max  |
| V2A    | 0,97                          | 1,00    | 0,83 | 1,00 | 0,92                             | 0,92    | 0,78 | 1,00 | 0,95                                      | 0,96    | 0,80 | 1,00 |
| V29A   | 1,00                          | 1,00    | 0,96 | 1,00 | 0,97                             | 0,97    | 0,86 | 1,00 | 0,93                                      | 0,97    | 0,39 | 1,00 |
| V32E   | 0,99                          | 1,00    | 0,96 | 1,00 | 0,97                             | 0,97    | 0,89 | 1,00 | 0,94                                      | 0,96    | 0,64 | 1,00 |
| V35E   | 1,00                          | 1,00    | 0,95 | 1,00 | 0,98                             | 1,00    | 0,88 | 1,00 | 0,95                                      | 1,00    | 0,69 | 1,00 |

Nota: Min: Mínimo; Máx: Máximo;

Analisando a Tabela 8, observou-se que tal como sucedeu nas viagens analisadas na secção 4.1, a esmagadora maioria das PM são partículas finas ( $\text{PM}_1$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ ). Uma vez que a fração de PM mais pequenas para as quais existe valor limite na legislação que pode ser utilizado como referência são as  $\text{PM}_{2,5}$ , será apresentada a análise de  $\text{PM}_{2,5}$ . Observou-se, no entanto, que a razão  $\text{PM}_{10}/\text{P}_{\text{Totais}}$  da viagem V29A, apesar de apresentar

um valor médio de 0,93, o que significa que, em média, 93 % das  $P_{Totais}$  eram também  $PM_{10}$ , existiu um ponto em que essa razão foi de apenas 0,39. Este facto esteve relacionado com um fator externo que não emissões de motores de combustão, e que será analisado com pormenor abaixo.

A Figura 7 apresenta os perfis de concentrações dos poluentes gasosos e particulados para cada uma das viagens consideradas para esta análise.

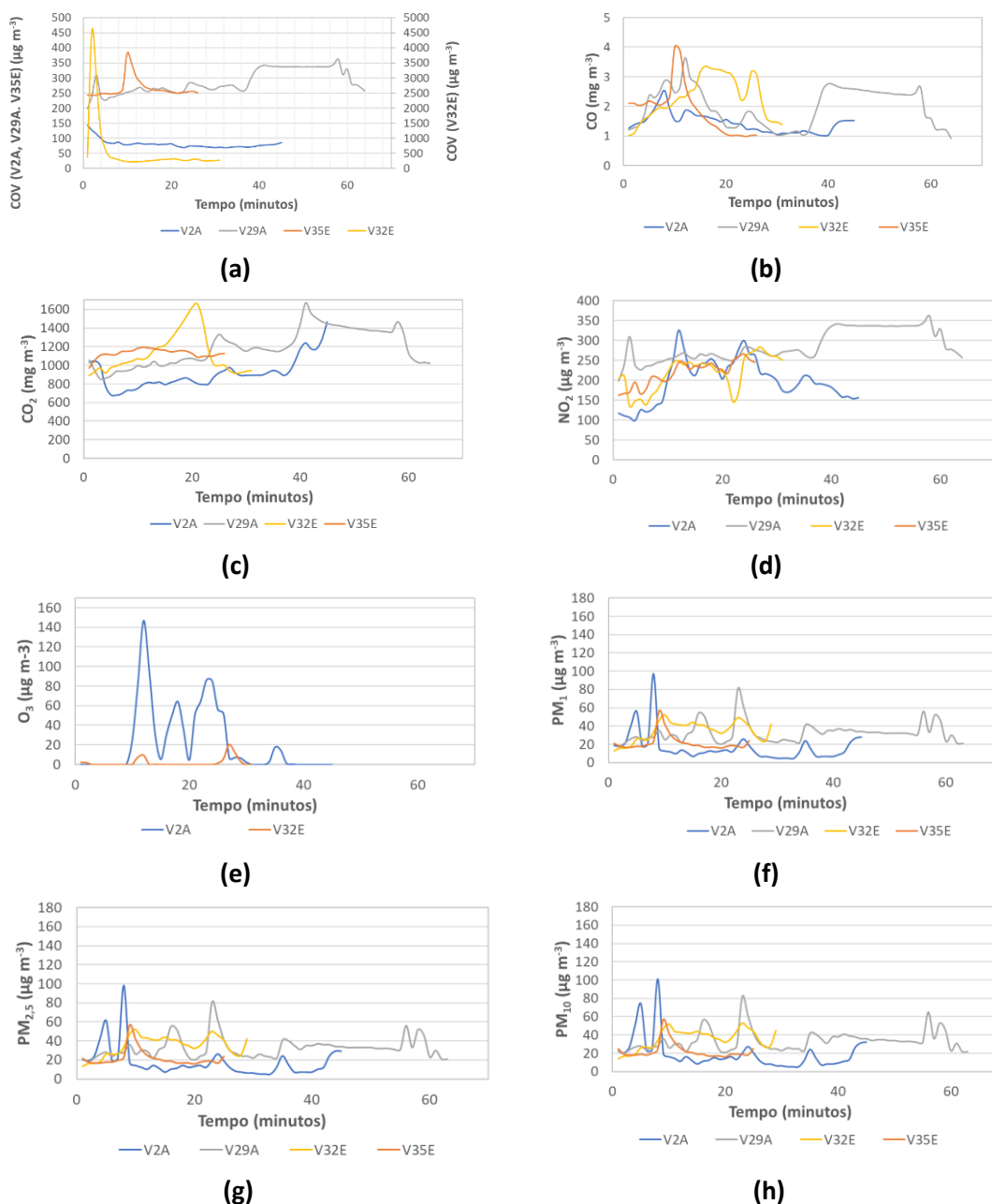
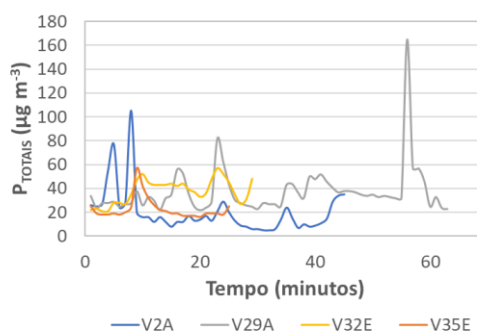


Figura 7 - Perfis de concentrações dos poluentes gasosos e particulados para cada uma das viagens consideradas nesta análise: (a) COVT; (b) CO; (c)  $\text{CO}_2$ ; (d)  $\text{NO}_2$ ; (e)  $\text{O}_3$ ; (f)  $\text{PM}_1$ ; (g)  $\text{PM}_{2,5}$ ; (h)  $\text{PM}_{10}$ ; (i)  $P_{Totais}$



(i)

Figura 7 (cont.) - Perfis de concentrações dos poluentes gasosos e particulados para cada uma das viagens consideradas nesta análise: (a) COVT; (b) CO; (c) CO<sub>2</sub>; (d) NO<sub>2</sub>; (e) O<sub>3</sub>; (f) PM<sub>1</sub>; (g) PM<sub>2,5</sub>; (h) PM<sub>10</sub>; (i) P<sub>Totais</sub>

No que diz respeito ao CO e NO<sub>2</sub>, apesar de grande parte da viagem ter sido feita com a janela aberta, o que, segundo Moreno et al. (2019), potencia a entrada direta de poluentes com origem no exterior no habitáculo, em geral as concentrações destes dois poluentes foram inferiores na viagem V2A. Como foi referido anteriormente, esta viagem foi realizada numa altura de confinamento geral em que a intensidade de tráfego era inferior à verificada nas viagens V29A, V32E e V35E. Verificou-se assim que a intensidade do tráfego é um fator com bastante influência na concentração de poluentes com fontes de emissão predominantemente fora do habitáculo do veículo, como é o caso do CO e do NO<sub>2</sub>. No entanto, foram encontrados alguns picos nas concentrações de CO e NO<sub>2</sub> nestas viagens. Na viagem V2A estes picos tiveram a ver com a proximidade de veículos pesados num curto período de tempo (que nesta altura de confinamento eram a maioria dos veículos que circulavam na via pública), conforme já havia ocorrido nas viagens analisadas na secção 4.1. Leavey et al. (2017) reportou que, quer a intensidade do tráfego, quer a proximidade a outros veículos, são fatores preponderantes para a concentração de poluentes no ambiente exterior ao veículo. Estando o veículo com a janela aberta é potenciada a entrada desses poluentes para o interior do habitáculo (Moreno et al., 2019). Nas viagens V29A, V32E e V35E observaram-se igualmente alguns picos, nomeadamente: i) no caso das viagens V29A e V35E relacionados com a quantidade e tipo de veículos que circulavam nas imediações do veículo onde estavam a ser feitas as medições (aglomeração de trânsito lento no caso da viagem V29A, e circulação atrás de um grupo de motociclos antigos no caso da viagem V35E); e ii) no caso da viagem V32E devido ao efeito da grande intensidade de tráfego no caso do primeiro pico, e no caso do segundo pico do efeito conjunto da abertura da janela e da circulação numa zona onde por momentos houve uma acumulação muito acentuada de tráfego, incluindo camiões. É importante referir que o planalto de concentrações de diversos poluentes observado na viagem V29A será

analisada isoladamente mais à frente nesta dissertação. Por fim, ainda relativamente ao CO e ao NO<sub>2</sub> é importante salientar que as concentrações de NO<sub>2</sub> ultrapassaram os valores de referência da legislação considerada em dois tipos de situações, nomeadamente quando a intensidade do tráfego era elevada e quando se circulava perto de veículos com emissões elevadas como camiões e/ou motociclos antigos. Desta forma, é possível salientar a importância da intensidade e tipo de tráfego circundante na qualidade do ar no interior dos habitáculos. No caso do CO, apesar da sua concentração aumentar nas mesmas circunstâncias, nunca foi ultrapassado o valor limite de referência.

Como expectável, observou-se que os perfis de CO<sub>2</sub> foram similares entre si. Os picos observados nas concentrações de CO<sub>2</sub> podem ser justificados por variações que foram feitas na ventilação do habitáculo, e não por variações da intensidade ou tipo de tráfego existente nas imediações do veículo onde foi feita a medição. O efeito da ventilação na concentração de CO<sub>2</sub> no interior do habitáculo dos veículos será analisado posteriormente (secção 4.4).

Observou-se que, nas viagens onde a intensidade de tráfego era superior, os valores de COVT foram superiores, apresentando um pico relacionado com a circulação atrás de um grupo de motociclos antigos no caso da viagem V35E. Este facto demonstra que, como referiu Barnes et al. (2018), os COV podem ter origem no interior do veículo (como prova o pico existente na viagem V32E, provocado pelo facto do condutor ter higienizado as mãos com álcool gel) e no exterior do mesmo (como prova o pico registado na viagem V35E, quando viajava atrás de um grupo de motociclos antigos).

Observou-se que nas viagens V2A e V32E foi detetada a presença de O<sub>3</sub>, mais uma vez em picos. A análise de O<sub>3</sub> no habitáculo destas duas viagens será devidamente explicada posteriormente (secção 4.5).

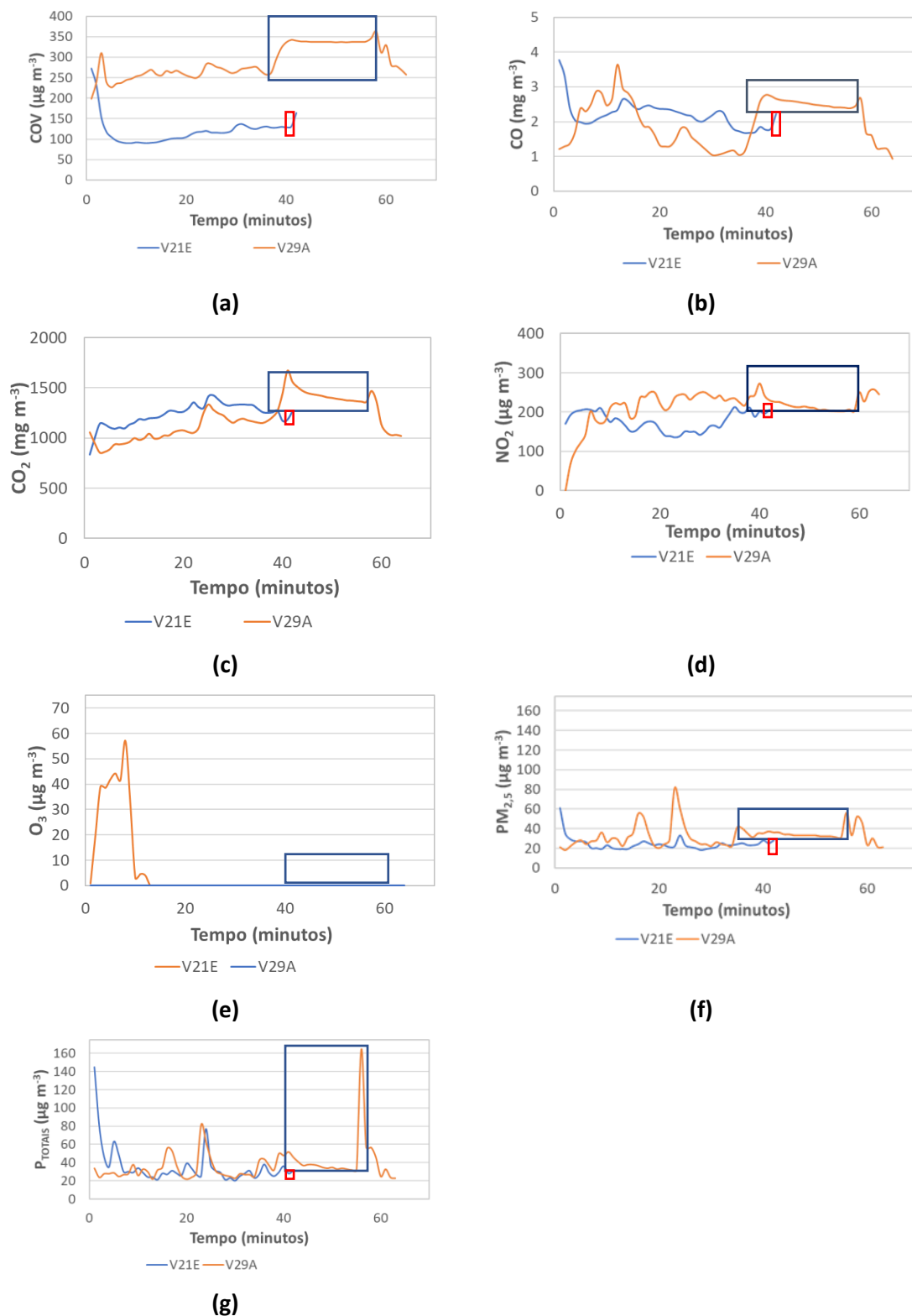
Analisando os perfis de concentrações das PM<sub>2,5</sub>, observou-se que coincidiram com interações pontuais com veículos que circulavam nas imediações, à exceção de dois picos de concentração (picos significativos, mas de curta duração). A concentração de PM<sub>2,5</sub> na viagem V2A foi a que registou concentrações de PM<sub>2,5</sub> mais baixos, facto que se ficou a dever à menor intensidade de tráfego que se verificou nesta viagem devido ao confinamento. Os perfis de concentrações das viagens V29A, V32E e V35E apresentaram concentrações da mesma ordem de grandeza, com picos isolados que estão relacionados com o tipo de veículos que circulavam nas imediações. Exemplo disso é o pico verificado na viagem V35E, que coincidiu com um momento em que veículo circulou durante alguns momentos atrás de um grupo de motociclos antigos,

com emissões visivelmente maiores (fumos visíveis) do que os restantes veículos que circulavam nas imediações (já referido). Na viagem V29A verificou-se um planalto nas concentrações de partículas quando o veículo esteve estacionado e a circular num parque de estacionamento fechado de uma grande superfície comercial, sendo que esta parte desta viagem será analisada ao pormenor mais adiante neste documento. As restantes frações de partículas tiveram comportamentos semelhantes. No que diz respeito às  $P_{\text{Totais}}$ , observou-se que o perfil de concentração de  $P_{\text{Totais}}$  foi semelhante ao perfil de concentrações das frações mais finas, à exceção da viagem V29A que apresentou algumas diferenças na parte da viagem onde o veículo esteve num parque de estacionamento fechado e que será analisada detalhadamente mais adiante. Isto significa que, à exceção desta parte da viagem V29A, as  $P_{\text{Totais}}$  seriam fundamentalmente constituídas por partículas finas.

### 4.3 Efeito do parque de estacionamento fechado

Uma parte das viagens (V21E e V29A), efetuadas com dois veículos (veículos A e E), foi efetuada com o objetivo de determinar a influência da circulação e/ou estacionamento dentro de um parque de estacionamento fechado de uma grande superfície comercial na QAI do habitáculo de veículos. Na viagem V21E o carro esteve a circular durante os dois minutos finais da viagem no parque estacionamento fechado, enquanto na viagem V29A, o veículo entrou no parque de estacionamento aos 33 minutos de viagem, circulou cerca de um minuto, e entre os 35 minutos de viagem e os 55 minutos esteve desligado no parque de estacionamento fechado. Entre os 55 minutos e os 56 minutos, o veículo circulou cerca de um minuto no parque até sair do mesmo.

As concentrações mínimas, médias, máximas e a mediana das concentrações dos poluentes gasosos e particulados encontram-se nas Tabelas C7 e C8 (Apêndice C). A Figura 8 mostra os perfis de concentrações dos poluentes gasosos ( $\text{SO}_2$  e  $\text{O}_3$  não estão representados pois não foram detetados na parte das viagens consideradas nesta análise), das  $\text{PM}_{2,5}$  e das  $P_{\text{Totais}}$  detetados nestas viagens, estando assinalada a parte das viagens que foram realizadas dentro do parque de estacionamento fechado. Os perfis das concentrações das restantes frações tiveram comportamento semelhante. Os perfis de concentração das  $\text{PM}_1$  e  $\text{PM}_{10}$  encontram-se na Figura A-7 (Anexo A).



Nota: As caixas assinaladas nos gráficos indicam a parte das viagens que foi realizada no interior do parque de estacionamento.

Figura 8 - Perfis de concentrações dos Poluentes Gasosos detetados nesta viagem: (a) COV; (b) CO; (c) CO<sub>2</sub>; (d) NO<sub>2</sub>; (e) O<sub>3</sub>; (f) PM<sub>2,5</sub>; (g) P<sub>Totais</sub>

Observou-se um aumento da concentração de todos os poluentes analisados (à exceção do  $O_3$ ) quando o veículo se encontrou circulação em parque de estacionamento fechado. Este aumento foi mais notório nos COV e no CO, mas também é visível no  $NO_2$  e no  $CO_2$ . Nos COVT, CO e  $NO_2$  este aumento é fruto da maior concentração destes poluentes no interior do parque de estacionamento fechado, onde, segundo Liu et al. (2019), a concentração destes poluentes é mais elevada do que no meio exterior devido à natureza confinada deste tipo de parques. No  $CO_2$  deve-se à influência do meio exterior ao veículo e à menor taxa de renovação de ar dentro do habitáculo, dado que o veículo circula num meio fechado. Para as PM observou-se um comportamento semelhante.

Quando o veículo se encontrava estacionado (e desligado) no parque de estacionamento, observou-se uma pequena descida nas concentrações de poluentes, que estabilizaram num valor constante, que no caso do  $NO_2$  e das  $PM_{2,5}$  corresponderam a concentrações acima do valor limite imposto pela legislação de referência utilizada para comparação. No caso das  $P_{Totais}$  importa destacar a ocorrência de um pico muito elevado quando o veículo retomou a marcha após o estacionamento e foi conduzido até à saída. Este pico foi, provavelmente, causado por emissões de obras que estavam a decorrer junto à saída do parque de estacionamento. Considerando os resultados obtidos, deve evitar-se que pessoas ou animais fiquem dentro de veículos em parques de estacionamento fechados, uma vez que as concentrações de poluentes no ar interior podem atingir níveis elevados com riscos para a saúde.

#### **4.4 Efeito da Ventilação**

Com o objetivo de determinar a importância que o tipo de ventilação utilizado tem na QAI do habitáculo dos veículos foram realizadas 5 viagens, utilizando 3 veículos (A, C e E), em trajetos diferentes, variando o tipo de ventilação utilizado ao longo de cada viagem. Os tipos de ventilação utilizados foram: janela aberta, ventilação mecânica sem recirculação de ar, ventilação mecânica com recirculação de ar, (A/C) sem recirculação de ar, e janela fechada sem recirculação. Um exemplo de uma destas viagens (V39E) encontra-se representada na Figura 9.





Figura 10 (cont.) - Perfis de concentração de cada um dos poluentes gasosos em cada uma das viagens desta análise (a) COV, (b) CO, (c) CO<sub>2</sub>, (d) NO<sub>2</sub>, (e) O<sub>3</sub>, (f) SO<sub>2</sub>, (g) PM<sub>1</sub>, (h) PM<sub>2,5</sub>, (i) PM<sub>10</sub>, (j) P<sub>Totais</sub>

#### 4.4.1 Janela aberta

No que diz respeito aos poluentes cujas fontes de emissão se encontravam no exterior do veículo (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e PM<sub>2,5</sub>), a utilização da abertura das janelas como método de ventilação teve dois efeitos distintos dependendo do tipo e intensidade de tráfego existente nas imediações do veículo no momento em que se utilizou este tipo de

ventilação. A circulação com a janela aberta potenciou a entrada de poluentes atmosféricos no habitáculo quando se circula nas imediações de veículos que, devido às suas características possuem emissões superiores (caso dos picos de CO, NO<sub>2</sub> e PM<sub>2,5</sub> observados na viagem V2A que foram causados pela circulação perto de veículos pesados) ou em zonas com maior intensidade de tráfego (caso dos picos de CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e PM<sub>2,5</sub> observados no início da viagem V12A, e dos picos de CO, NO<sub>2</sub> e PM<sub>2,5</sub> observados no fim das viagens V32E e V39E). É importante referir que, nos casos de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e PM<sub>2,5</sub>, os picos de concentrações referidos correspondem a valores acima dos limites impostos pela legislação utilizada como referência para estes poluentes. Por outro lado, a circulação com a janela aberta em zonas em que a intensidade de tráfego era baixa provocou uma redução da concentração dos poluentes, como se pode verificar na Figura 10. Verificou-se igualmente que no caso das PM<sub>2,5</sub> (e também das P<sub>Totais</sub>) a passagem em zonas de obras, provocou um aumento da concentração deste poluente no interior do habitáculo, sendo disso exemplo o pico muito elevado verificado na viagem V39E, que ultrapassou largamente o valor limite imposto pela legislação utilizada como referência para este poluente. Não obstante essa fonte adicional que as PM apresentaram quando comparadas com os poluentes gasosos com fontes de emissão no exterior do habitáculo, verificou-se ainda que quando o veículo deixou de circular perto de fontes de emissão de PM, independentemente da sua natureza, a concentração de PM caiu abruptamente. Assim, este tipo de ventilação deve ser utilizado sempre que a intensidade de tráfego for reduzida, como foi referido por Barnes et al. (2018), desde que não se circule próximo de fontes relevantes de PM, como zonas de obras ou veículos com maiores taxas de emissão como veículos pesados, máquinas agrícolas, veículos antigos, entre outros.

Relativamente ao CO<sub>2</sub>, a abertura das janelas provocou uma rápida diminuição da concentração deste poluente, uma vez que a sua fonte principal de emissão foram os ocupantes do veículo (Heo et al., 2019).

Relativamente aos COVT, que podem ter origem no interior ou no exterior do habitáculo, a abertura da janela provocou um aumento da concentração deste poluente quando o veículo circulou em zonas de grande intensidade de tráfego. Por outro lado, a abertura da janela em zonas com menor intensidade de tráfego causou uma redução na concentração de COVT.

Relativamente ao O<sub>3</sub>, observou-se que este foi detetado em picos isolados que serão analisados em detalhe numa secção posterior (secção 4.5).

#### **4.4.2 Ventilação mecânica e ar condicionado sem recirculação**

Nos modos de ventilação forçada sem recirculação, o comportamento dos diversos poluentes gasosos foi semelhante ao referido para a ventilação com janela aberta. A admissão de ar do exterior destes sistemas de ventilação é situada na frente do veículo e, portanto, diretamente exposta ao poluentes emitidos pelos tubos de escape dos veículos que circulam imediatamente à frente, introduzindo ar exterior no habitáculo do veículo tal como acontece quando se circula com as janelas abertas (Chan e Chung, 2003). É, no entanto, importante referir que apesar da concentração deste tipo de poluentes aumentar quando se usa o sistema de ventilação ou o A/C sem recirculação, isto acontece de forma mais lenta e menos intensa do que quando se circula com a janela aberta, uma vez que a taxa de entrada de ar no habitáculo é menor com estes sistemas (Xu et al., 2016). Exemplos deste tipo de situação são os penúltimos picos de concentração mostrados nos perfis de concentração de CO e NO<sub>2</sub> das viagens V32E, e os diversos picos de concentração destes poluentes ocorridos durante a viagem V27C. De referir que os picos de NO<sub>2</sub> correspondem a valores acima do limite imposto pela legislação de referência utilizada para este poluente.

Relativamente ao O<sub>3</sub> observou-se que este foi detetado em picos isolados que serão analisados em detalhe numa secção posterior (secção 4.5).

Verificou-se que a utilização deste tipo de ventilação em zonas de tráfego mais intenso, provocou um aumento da concentração de PM<sub>2,5</sub> no interior do habitáculo dos veículos, à semelhança do que aconteceu com os poluentes gasosos com origem no exterior do veículo. Através da análise dos perfis de concentrações de PM<sub>2,5</sub> das viagens tidas em conta para esta análise, foi possível observar que na viagem onde o veículo circulou em zonas com maior intensidade de tráfego (V32A e parte final da V27C) a concentração de PM<sub>2,5</sub> ultrapassou sempre o limite imposto pela legislação utilizada como referência para este poluente. Ainda na viagem V27C existiu um pico de concentração provocado pela circulação atrás de um veículo pesado. Por outro lado, não foi possível observar nenhuma diferença quando se utilizou o sistema de (A/C). Desta forma, não sendo possível avaliar numericamente a eficiência dos filtros de ar instalados nos veículos de estudo, pode-se afirmar que esta não foi suficiente para impedir que se atingissem valores elevados de concentrações de PM<sub>2,5</sub> no habitáculo quando se utilizaram estes tipos de ventilação. Por estas razões, tal como nos poluentes gasosos, também no caso das PM<sub>2,5</sub> este método de ventilação não é o apropriado quando se circula em zonas onde a intensidade do tráfego é maior ou se circula nas imediações de veículos com taxas de emissões de poluentes elevadas.

#### **4.4.3 Ventilação com recirculação**

Parte da viagem V32E foi realizada com o sistema de ventilação mecânica do veículo ligado e com recirculação de ar no habitáculo do veículo. A utilização deste tipo de sistema fechado de circulação do ar no habitáculo provocou um aumento na concentração dos poluentes gasosos com origem no interior do veículo, nomeadamente na concentração de CO<sub>2</sub>. Moreno et al. (2019) observou o mesmo tipo de comportamento nas concentrações de CO<sub>2</sub>. No que diz respeito ao CO e NO<sub>2</sub> verificou-se uma estabilização da concentração, com uma ligeiríssima tendência de descida, uma vez que na altura o veículo estava a circular numa zona com menor intensidade de tráfego. Quando se utiliza este tipo de ventilação com recirculação, a presença destes dois poluentes de fontes exteriores no ar do habitáculo decorre apenas da infiltração de ar exterior através de fendas no isolamento da estrutura do veículo (Xu et al., 2016). Relativamente aos COV, observou-se que a sua concentração se manteve constante quando se utilizou este tipo de ventilação. O O<sub>3</sub> não foi detetado.

Na parte da viagem V32E que foi realizada com este tipo de ventilação, observou-se que a concentração de PM<sub>2,5</sub> no habitáculo do veículo diminui, ainda que ligeiramente. Esta redução, para além de ser fruto de uma menor taxa de transferência de ar entre o ambiente exterior e o interior do habitáculo, segundo Heo et al. (2019) deve-se em parte à deposição das partículas nas condutas por onde passa o ar que sofre recirculação no interior do habitáculo.

Este tipo de ventilação pode ser uma solução para melhorar a QAI do habitáculo quando se circula em ambientes com muito trânsito, quando se circula atrás de veículos com taxas elevadas de emissão de poluentes ou em zonas de obras, ou com grande concentração de pólenes, sendo que deverá ser feita sempre que possível a abertura das janelas de forma a evitar a acumulação de CO<sub>2</sub> no habitáculo.

#### **4.4.4 Sem ventilação e com as janelas fechadas**

Parte das viagens V2A e V39E foram efetuadas com as janelas fechadas e com a ventilação desligada. Tal como aconteceu quando se circulou com a ventilação ligada com recirculação do ar, a concentração de CO<sub>2</sub> aumentou de forma significativa o que reforça a ideia de que circuitos fechados potenciam o aumento de concentração de poluentes com origem no interior do veículo (Moreno et al., 2019). As concentrações de CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e PM<sub>2,5</sub> apresentaram um comportamento similar ao verificado quando

se circulou com ventilação mecânica e recirculação de ar no habitáculo, ou seja, mantiveram-se constantes, apenas com ligeiras variações no caso do CO e do NO<sub>2</sub>, enquanto no caso das PM<sub>2,5</sub> existiram alguns picos que ultrapassaram os limites impostos pela legislação utilizada como referência para este poluente. Este comportamento destes três poluentes com origem no exterior do veículo deveu-se à infiltração de ar através da estrutura do veículo, potenciada pelo facto do veículo estar a circular na auto estrada. Como evidenciado por Moreno et al. (2019), o facto de se circular a velocidades maiores favorece a entrada para o habitáculo de poluentes originados no exterior do veículo. Relativamente aos COV, observou-se que na viagem V2A as concentrações mantiveram-se constantes com este tipo de ventilação. Na viagem V39E, as concentrações de COV apresentaram uma subida significativa possivelmente resultado da higienização das mãos do condutor com álcool gel. Este tipo de ventilação também pode ser uma solução para melhorar a QAI no habitáculo dos veículos quando se circula em ambientes com muito tráfego, quando se circula na proximidade de veículos com elevadas de emissão de poluentes, ou quando se circula em zonas de obras. Deverá, no entanto, ser efetuada sempre que possível a abertura das janelas para redução das concentrações de CO<sub>2</sub> e/ou COVs no habitáculo.

#### 4.5 Relação O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> e COV no interior do habitáculo

A Figura 11 apresenta os perfis de concentrações de O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, e COV nas viagens onde foi detetada a presença de O<sub>3</sub> no habitáculo dos veículos utilizados, independentemente do objetivo inicial da realização da viagem.

O O<sub>3</sub> foi detetado em picos que são coincidentes com picos de concentração de COV e/ou de NO<sub>2</sub>, facto que indica a possibilidade de ocorrência de formação de O<sub>3</sub> dentro do habitáculo quando existem picos de concentração de NO<sub>2</sub> e/ou COV no habitáculo. É de especial importância salientar que em todas as viagens onde foi detetada a presença de O<sub>3</sub> o céu se apresentava limpo, tendo sido essas viagens efetuadas com incidência direta de luz solar no habitáculo. O O<sub>3</sub> troposférico é formado a partir de reações físico-químicas, desencadeadas na presença de NO<sub>2</sub> e radiação solar, sendo os COV importantes precursores na sua formação (Monte et al., 2016). De facto, a formação de O<sub>3</sub> não ocorreu nas viagens que foram efetuadas num meio que não permite a entrada de luz solar no habitáculo, como à noite ou dentro de um parque de estacionamento fechado (Figura 8 - perfil parque de estacionamento), apesar de terem existido picos de concentração de NO<sub>2</sub> que em viagens realizadas na presença de luz solar coincidiram com a formação de O<sub>3</sub> no habitáculo.

Relacionando a presença de  $O_3$  com o tipo de ventilação utilizado, ainda que indiretamente pode-se observar que o método de ventilação parece ter influenciado a formação de  $O_3$  no habitáculo dos veículos, uma vez que pode ter permitido uma maior entrada de poluentes precursores da sua formação no habitáculo, como é o caso dos COV e do  $NO_2$ .

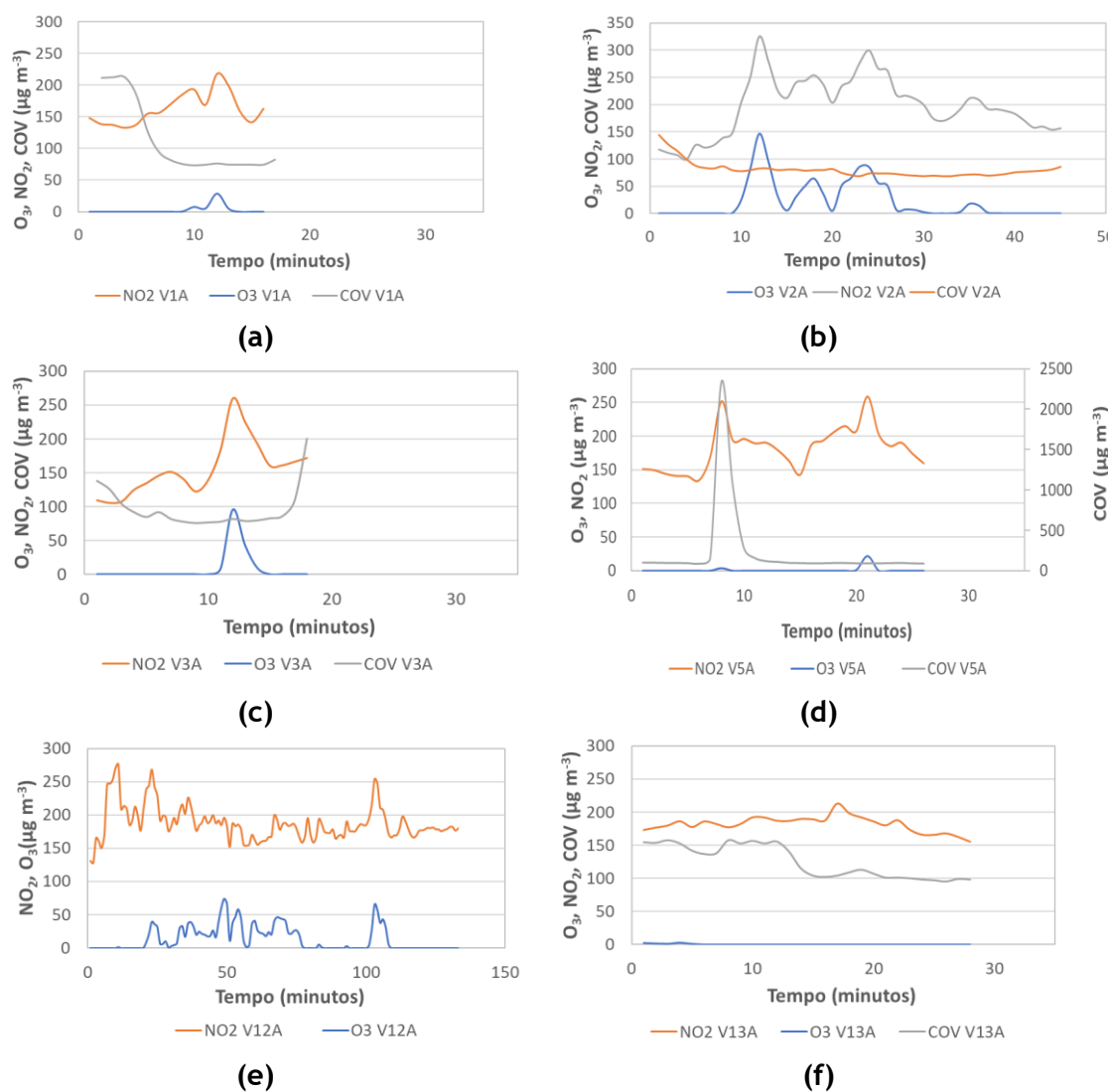
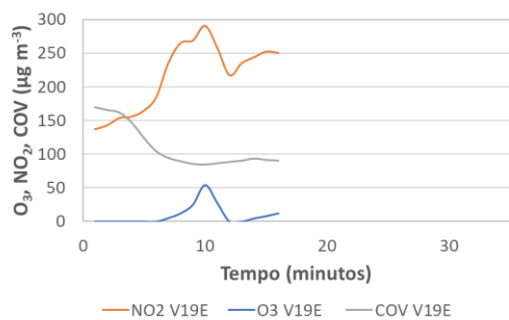
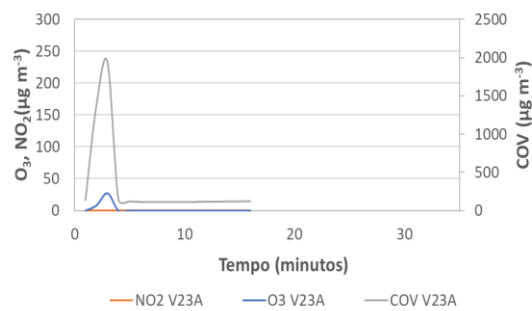


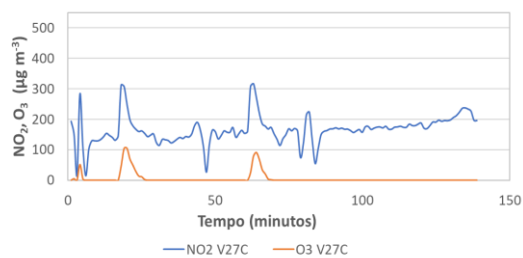
Figura 11 - Perfis de concentrações de  $O_3$ ,  $NO_2$ , e COV nas viagens onde foi detetada a presença de  $O_3$  no habitáculo dos veículos; (a) - V1A, (b) - V2A, (c) - V3A, (d) - V5A, (e) - V12A, (f) - V13A, (g) - V19E, (h) - V23A, (i) - V27C, (j) - V31B, (k) - V32E, (l) - V33E, (m) - V39E



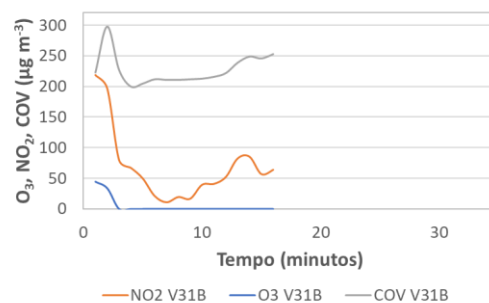
(g)



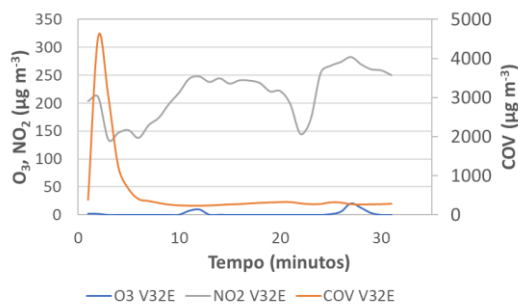
(h)



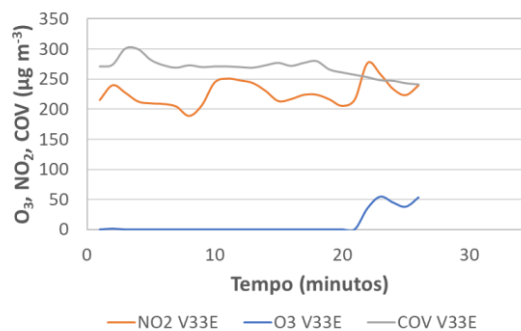
(i)



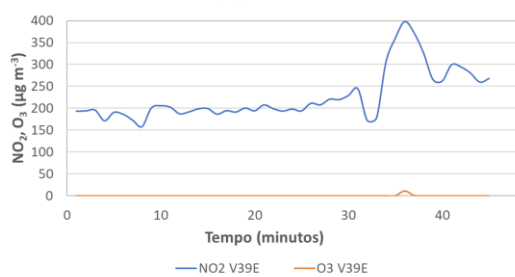
(j)



(k)



(l)



(m)

Figura 11 (cont.) - Perfis de concentrações de  $O_3$ ,  $NO_2$ , e COV nas viagens onde foi detetada a presença de  $O_3$  no habitáculo dos veículos; (a) - V1A, (b) - V2A, (c) - V3A, (d) - V5A, (e) - V12A, (f) - V13A, (g) - V19E, (h) - V23A, (i) - V27C, (j) - V31B, (k) - V32E, (l) - V33E, (m) - V39E

## 5 Conclusão

### 5.1- Principais conclusões e trabalho futuro

Concluiu-se que a QAI do habitáculo dos veículos depende de um conjunto de fatores associados. Se, por um lado, ficou demonstrado que fatores como a idade e quilometragem do veículo, o tipo de motorização que utiliza e a respetiva taxa de compressão têm influência na concentração de poluentes no interior do habitáculo, ficou igualmente demonstrado que a taxa de troca de ar entre o exterior e o interior do habitáculo, bem como o meio em que o veículo circula, são fundamentais.

Concluiu-se ainda que os poluentes estudados podem ser divididos em três grupos, tendo em conta as suas fontes de emissão: i) poluentes cuja fonte de emissão se encontra no exterior do habitáculo dos veículos ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{PM}$ ); ii) poluentes com origem no interior do habitáculo dos veículos ( $\text{O}_3$ ); e iii) poluentes cujas fontes de emissão se encontram no exterior e no interior do habitáculo do veículo ( $\text{CO}_2$  e  $\text{COVs}$ ).

As concentrações de  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{PM}$  variaram principalmente com: o meio em que o veículo circula, e a taxa de troca de ar entre o exterior e o interior do veículo que é consequência da idade do veículo (maior taxa de infiltração de ar em veículos mais antigos devido ao seu maior desgaste) e do tipo de ventilação que se utiliza (janela aberta, ventilação ou (A/C) com ou sem recirculação de ar, ou sem ventilação), devendo ser adequada ao meio onde o veículo circula. Assim, a abertura da janela em zonas com grande intensidade de tráfego ou a utilização de ventilação sem recirculação do ar pioram a QAI no habitáculo, pelo que deve ser evitada nestes ambientes. Por outro lado, a utilização de ventilação com recirculação de ar ou a ausência de ventilação (janelas fechadas, ventilação mecânica desligada), contribui para a diminuição da concentração destes poluentes uma vez que diminui a taxa de troca de ar com o exterior. Há a referir a circulação e/ou estacionamento em parques fechados, que por serem meios confinados com baixa taxa de renovação de ar e grande afluência de outros veículos, leva inevitavelmente a um aumento da concentração de poluentes nesse meio, o que irá degradar a QAI no habitáculo (dependendo do tipo de ventilação utilizado). Por fim, é ainda importante concluir que o risco para a saúde humana da exposição a  $\text{PM}$  no habitáculo de veículos é elevado, uma vez que a maior parte das  $\text{PM}$  medidas representavam a fração mais fina ( $\text{PM}_{10}$ ).

No que diz respeito ao  $O_3$ , constatou-se que este poluente é formado no interior do habitáculo com o aumento da concentração de  $NO_2$  e/ou COV, sempre na presença de radiação solar.

Apesar do  $CO_2$  existir na atmosfera, concluiu-se que a principal fonte de emissão deste poluente no habitáculo é a respiração dos ocupantes do veículo. Observou-se que a concentração deste poluente no habitáculo aumenta sempre que a ventilação do habitáculo diminui a entrada de ar exterior (ventilação mecânica com recirculação e/ou janelas fechadas sem ventilação), e diminui quando a ventilação do habitáculo promove uma maior taxa de troca de ar entre o exterior e o interior (ventilação sem recirculação de ar e abertura das janelas).

No caso dos COV, observa-se um fenómeno distinto, sendo a sua concentração influenciada, quer pelo meio onde o veículo circula (variando sobretudo com o tipo e intensidade de tráfego que circula nas imediações do veículo), quer por fontes que existem dentro do veículo, como por exemplo a utilização de álcool gel que, nas medições realizadas neste trabalho, foi responsável por picos elevados deste poluente.

Por não existir atualmente legislação para a QAI no habitáculo de veículos, as concentrações dos poluentes medidos no âmbito desta dissertação foram comparadas com os valores limite impostos pelas legislações de qualidade de ar (ambiente e interior) em vigor, tendo sido no caso do  $O_3$  comparadas com uma legislação de ar interior que já não se encontra em vigor. Verificou-se que os valores de  $NO_2$ , COV,  $O_3$  e  $PM_{2,5}$  medidos no interior dos habitáculos dos veículos excederem muitas vezes (e por vezes largamente) os valores de referência, tendo o  $SO_2$  excedido também largamente o valor de referência.

Assim, e tendo em consideração o tempo que a população passa no interior de veículos, estes podem constituir uma parte significativa da exposição à poluição do ar. Torna-se, por isso, importante criar uma legislação que defina limites para a QAI no interior de veículos, e também disseminar informação sobre as boas práticas a utilizar, nomeadamente no que diz respeito ao tipo de ventilação a utilizar em cada cenário de forma a melhorar a QAI do habitáculo com vista à proteção da saúde humana.

No futuro, é importante aprofundar os estudos relativos aos tipos de ventilação, nomeadamente ventilação com recirculação do ar no habitáculo (que aparentou ser uma boa alternativa quando se circula em meios com elevadas taxas de poluição). Uma vez que se verificou neste trabalho que as partículas detetadas no interior do habitáculo eram na sua maioria  $PM_{10}$ , seria importante desenvolver estudos que

permitissem aferir a concentração de partículas ultrafinas dentro do habitáculo dos veículos, uma vez que se sabe constituírem uma parte significativa das emissões de PM de motores de combustão e da travagem dos veículos. Por fim, e devido à evolução do tipo de motorizações que equipam os veículos atualmente, seria muito importante realizar estudos de qualidade do ar no interior de habitáculos em veículos híbridos e em veículos totalmente elétricos, por forma a estudar o efeito que esses diferentes tipos de motorização têm na QAI do habitáculo.

## **5.2 - Apreciação Final**

O trabalho realizado contribuiu para o desenvolvimento dos meus conhecimentos pessoais quer no campo da Qualidade do Ar interior, quer no campo específico da Qualidade do Ar Interior no habitáculo dos veículos que penso ser um tema muito relevante tendo em conta a quantidade de tempo que a população passa dentro dos seus automóveis na atualidade.

Apesar deste projeto ter sido desafiante e muitas vezes complicado, sobretudo devido às limitações de circulação impostas à data da realização do trabalho de campo, a sua elaboração foi extremamente gratificante e penso ter contribuído para aumentar o conhecimento existente nesta área.

Relativamente à análise do trabalho realizado, o mesmo permitirá que no futuro sejam desenvolvidos novos trabalhos que complementem este de forma a aprofundar ainda mais o conhecimento científico nesta matéria.

## Referências

- ACAP. 2019 *Mercado Automóvel* (<https://www.acap.pt/pt/noticia/104/mercado-automovel>) acessado a 08 de Junho de 2021
- APA. 2021 *Qualidade do ar* (<https://www.apambiente.pt/ar-e-ruído/qualidade-do-ar>) acessado a 31 de Maio de 2021
- Barnes N., Ng T., Ma K., Lai K. In-Cabin Air Quality during Driving and Engine Idling in Air-Conditioned Private Vehicles in Hong Kong *International Journal of Environmental Research and Public Health* **15**, 611 (2018) (<https://doi.org/10.3390/ijerph15040611>)
- Bolte G., Heitmann D., Kiranoglu M., Schierl R. Diemer J., Koerner W., Fromme H. Exposure to environmental tobacco smoke in German restaurants, pubs and discotheques *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* **18**, 262-271 (2008) (<https://doi.org/10.1038/sj.jes.7500590>)
- DRE. 2021 *Diário da República n.º 90/2017, Série I de 2017-05-10* (<https://data.dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/106982550/details/maximized>) acessado a 08 de Junho de 2021
- El\_Kassaby M., Nemit\_allah A., Studying the effect of compression ratio on an engine fueled with waste oil produced biodiesel/diesel fuel, *Alexandria Engineering Journal*, **52**, 1-11 (2012)
- Esber L., Fadel M. Indoor to outdoor air quality associations with self-pollution implications inside passenger car cabins *Atmospheric Environment*, **81** 450-463 (2013) (<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.09.040>)
- EUROSTAT. 2021 ([https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Travel\\_distance\\_per\\_person\\_per\\_day\\_by\\_main\\_travel\\_mode\\_for\\_urban\\_mobility\\_on\\_all\\_days\\_\(25\)\\_Feb\\_2021.png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Travel_distance_per_person_per_day_by_main_travel_mode_for_urban_mobility_on_all_days_(25)_Feb_2021.png)) acessado a 18 de Maio de 2021
- Faber J., Brodzik K., Kopek A., Łomankiewicz D. Benzene, toluene and xylenes levels in new and used vehicles of the same model *Journal of Environmental Sciences*, **25(11)** 2324-2330 (2013) ([https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(12\)60333-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(12)60333-7))
- Heo K., Noh J., Lee B., Kim Y., Jung J. Comparison of filtration performance of commercially available automotive cabin air filters against various airborne pollutants *Building and Environment* **161** 106272 (2019) (<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106272>)
- Hey J., Sonderfeld H., Jeanjean A., Panchal R., Leigh R., Allen M., Dawson M., Monks P., Experimental and modeling assessment of a novel automotive cabin PM<sub>2.5</sub> removal system *Aerosol Science and Technology*, **52:11** 1249-1265 (2018) (<https://doi.org/10.1080/02786826.2018.1490694>)
- Kelly F., Fussel J., Improving indoor air quality, health and performance within environments where people live, travel, learn and work, *Atmospheric Environment*, **200** 90-109 (2019) (<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.11.058>)
- Kim S., Dominici F., Buckley T. Concentrations of vehicle-related air pollutants in an urban parking garage *Environmental Research* **105** 291-299 (2007) (<http://doi:10.1016/j.envres.2007.05.019>)

Leavey A., Reed, N. Patel S., Bradley K., Kulkarni P, Biswas P. Comparing on road real-time simultaneous in-cabin and outdoor particulate and gaseous concentrations for a range of ventilation scenarios *Atmospheric Environment*, **166** 130-141 (2017) (<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.07.016>)

Liu Z., Yin H., Ma S. Jin G., Gao J., Ding W. On-site assessments on variations of PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO<sub>2</sub> and TVOC concentrations in naturally ventilated underground parking garages with traffic volume *Environmental Pollution* **247** 626-637 (2019) (<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.095>)

MERCEDES. 2021 (<https://www.mercedes-benz.pt/vans/pt/citan/panel-van/technical-data>) acessado a 22 de Maio de 2021

Monte e., Albuquerque T., Reisen V., Inter-relações entre as concentrações de ozônio e de dióxido de nitrogênio na região da Grande Vitória, Espírito Santo, Brasil *Eng. Sanit. Ambient.* **v22 n°4** 679-690 (2017) (<https://doi.org/10.1590/s141341522017140796>)

Moreno T., Pacitto A, Fernández A., Amato F., Marco E., Grimalt J., Buonanno G., Querol X. Vehicle interior air quality conditions when travelling by taxi *Environmental Research* **172** 529-542 (2019) (<https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.042>)

Müller D., Klingelhöfer D., Uibel S., Groneberg D. Car indoor air pollution - analysis of potential sources *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, **6** 33 (2011) (<http://www.occup-med.com/content/6/1/33>)

OMS. 2005. *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide - Global update 2005* ([http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_eng.pdf;jsessionid=FF370141098AD09FA25DDBCE540103AF?sequence=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf;jsessionid=FF370141098AD09FA25DDBCE540103AF?sequence=1))

OMS. 2018. *Household air pollution and health* (<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>) acessado a 20 de Maio de 2021

OMS. 2018a). *Ambient (outdoor) air pollution* ([https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)) acessado a 20 de Maio de 2021

Russi N., Indoor air quality inside vehicle cabins while commuting in Lisbon (2019)

Sá J. Quantificação da Aplicação de Medidas de Mitigação da Poluição de ar interior em infantários e escolas primárias (2016)

Szczurek A., Maciejewska M., Categorisation for air quality assessment in car cabin *Transportation Research Part D*, **48** 161-170 (2016) (<http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2016.08.015>)

THEAA. 2017 (<https://www.theaa.com/driving-advice/fuels-environment/euro-emissions-standards>) acessado a 22 de Maio de 2021

USEPA. 2018. *Indoor air quality* (<https://www.epa.gov/report-environment/indoor-air-quality>) acessado a 20 de Maio de 2021

USEPA. 2019. *Outdoor Air Quality* (<https://www.epa.gov/report-environment/outdoor-air-quality>) acessado a 20 de Maio de 2021 acessado a 21 de Maio de 2021

USEPA. 2021 *Introduction to Indoor Air Quality* (<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>) acessido a 19 de Maio de 2021

USPECS1. 2021 *Ficha Técnica Mercedes Benz E200 (W210)* ([https://www.ultimatespecs.com/pt/car-specs/Mercedes-Benz/2507/Mercedes-Benz-E-Class-\(W210\)-200.html](https://www.ultimatespecs.com/pt/car-specs/Mercedes-Benz/2507/Mercedes-Benz-E-Class-(W210)-200.html)) acessido a 21 de Junho de 2021

USPECS2. 2021 *Ficha Técnica Mercedes Benz Citan 108 CDI* (<https://www.ultimatespecs.com/pt/car-specs/Mercedes-Benz/120107/Mercedes-Benz-Citan-108-CDI-LWB.html>) acessido a 21 de Junho de 2021

USPECS3. 2021 *Ficha Técnica Fiat Qubo 1.3 Multijet* (<https://www.ultimatespecs.com/pt/car-specs/Fiat/107761/Fiat-Qubo-13-Multijet-80HP.html>) acessido a 21 de Junho de 2021

Xu B., Chen X., Xiong J., Air quality inside motor vehicles cabins: A review, *Indoor and Built Environment* Vol. 27(4) 452-465 (2016) (<https://doi.org/10.1177/1420326X16679217>)

Zulauf N., Dröge J., Klingelhöfer D., Braun M., Oremek G., Groneberg D., Indoor Air Pollution in Cars: An Update on Novel Insights, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16, 2441 (2019) (<https://doi.org/10.3390/ijerph16132441>)

| PARTIDA - CHEGADA (NOTAS)        | HORA          | VENTILAÇÃO        | RECIRCULAÇÃO DE AR | TEMPERATURA EXTERIOR | HUMIDADE RELATIVA EXTERIOR | TEMPO | Data/Time         | CO2/VEZ |        |         |        | CO2/VEZ |        |         |        | Q2/VEZ |
|----------------------------------|---------------|-------------------|--------------------|----------------------|----------------------------|-------|-------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|
|                                  |               |                   |                    |                      |                            |       |                   | CO2/VEZ | LIMITE | CO2/VEZ | LIMITE | CO2/VEZ | LIMITE | CO2/VEZ | LIMITE |        |
| LEICA DA PALMEIRA - LEICA DA PAI | 18:39         | VENTILAÇÃO SEM AC | NÃO                | 19                   | 62                         | 1     | 18-ab-21:07:35 PM | 379     | 600    | 1023,2  | 1,0    | 889     | 203,79 | 200,00  | 0      | 2,1    |
| WAGENBILLY VERDE - ARCO PM       | 18:40         | VENTILAÇÃO SEM AC | NÃO                | 3                    | 2                          | 2     | 18-ab-21:07:35 PM | 379     | 600    | 1023,2  | 1,1    | 900     | 219,99 | 200,00  | 0      | 1,8    |
| HIDROELENÇA COM ALCOA DEL        | 18:41         | VENTILAÇÃO SEM AC | NÃO                |                      |                            | 3     | 18-ab-21:07:45 PM | 3028    | 600    | 1084,7  | 1,4    | 572     | 134,53 | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:42         | VENTILAÇÃO SEM AC | NÃO                |                      |                            | 4     | 18-ab-21:07:45 PM | 1209    | 600    | 1070,6  | 1,6    | 95      | 147,86 | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:43         | VENTILAÇÃO SEM AC | NÃO                |                      |                            | 5     | 18-ab-21:07:45 PM | 451     | 600    | 1063,3  | 1,7    | 175     | 155,20 | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:44         | VENTILAÇÃO SEM AC | NÃO                |                      |                            | 6     | 18-ab-21:07:45 PM | 297     | 600    | 1040,3  | 1,8    | 990     | 137,63 | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:45         | VENTILAÇÃO SEM AC | NÃO                |                      |                            | 7     | 18-ab-21:07:45 PM | 245     | 600    | 1084,6  | 2,0    | 107     | 160,01 | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:46         | VENTILAÇÃO SEM AC | NÃO                |                      |                            | 8     | 18-ab-21:07:45 PM | 297     | 600    | 1043,4  | 2,3    | 99      | 174,04 | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:47         | VENTILAÇÃO SEM AC | NÃO                |                      |                            | 9     | 18-ab-21:07:45 PM | 340     | 600    | 1090,9  | 2,0    | 1047    | 198,7  | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:48         | VENTILAÇÃO SEM AC | NÃO                |                      |                            | 10    | 18-ab-21:07:45 PM | 236     | 600    | 1040,2  | 2,3    | 1058    | 215,06 | 200,00  | 0      | 0,3    |
|                                  | 18:49         | VENTILAÇÃO SEM AC | NÃO                |                      |                            | 11    | 18-ab-21:07:45 PM | 228     | 600    | 1230,4  | 2,4    | 99      | 243,07 | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:50         | VENTILAÇÃO SEM AC | NÃO                |                      |                            | 12    | 18-ab-21:07:55 PM | 225     | 600    | 1230,5  | 2,3    | 1038    | 247,87 | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:51         | VENTILAÇÃO SEM AC | NÃO                |                      |                            | 13    | 18-ab-21:07:55 PM | 233     | 600    | 1252,5  | 2,5    | 187     | 238,03 | 200,00  | 0      | 0,3    |
|                                  | 18:52         | VENTILAÇÃO SEM AC | NÃO                |                      |                            | 14    | 18-ab-21:07:55 PM | 240     | 600    | 1338,1  | 2,6    | 106     | 244,61 | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:53         | VENTILAÇÃO SEM AC | SIM                |                      |                            | 15    | 18-ab-21:07:55 PM | 260     | 600    | 1380,4  | 3,2    | 125     | 225,12 | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:54         | VENTILAÇÃO SEM AC | SIM                |                      |                            | 16    | 18-ab-21:07:55 PM | 269     | 600    | 1254,4  | 3,3    | 1276    | 240,19 | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:55         | VENTILAÇÃO SEM AC | SIM                |                      |                            | 17    | 18-ab-21:07:55 PM | 267     | 600    | 1237,9  | 3,3    | 99      | 240,4  | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:56         | VENTILAÇÃO SEM AC | SIM                |                      |                            | 18    | 18-ab-21:07:55 PM | 300     | 600    | 1252,5  | 3,4    | 136     | 236    | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:57         | VENTILAÇÃO SEM AC | SIM                |                      |                            | 19    | 18-ab-21:07:55 PM | 319     | 600    | 1224,9  | 3,5    | 104     | 224,99 | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:58         | VENTILAÇÃO SEM AC | SIM                |                      |                            | 20    | 18-ab-21:07:55 PM | 320     | 600    | 1393,3  | 3,2    | 1026    | 223,72 | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 18:59         | VENTILAÇÃO SEM AC | SIM                |                      |                            | 21    | 18-ab-21:07:55 PM | 321     | 600    | 1394,2  | 3,1    | 1056    | 198,19 | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 19:00         | VENTILAÇÃO SEM AC | SIM                |                      |                            | 22    | 18-ab-21:08:05 PM | 288     | 600    | 1376,3  | 2,8    | 141,79  | 200,00 | 200,00  | 0      | 0      |
|                                  | 19:01         | VENT              |                    |                      |                            | 23    | 18-ab-21:08:05 PM | 267     | 600    | 1227,9  | 2,2    | 1171    | 170,21 | 200,00  | 0      | 0      |
| TRÂNSITO MUITO INTENSO           | 20:02         | JANELA ABERTA     |                    |                      |                            | 22    | 18-ab-21:08:05 PM | 272     | 600    | 1398,3  | 2,4    | 101     | 254,56 | 200,00  | 0      | 0      |
| TRÂNSITO MUITO INTENSO           | 20:03         | JANELA ABERTA     |                    |                      |                            | 25    | 18-ab-21:08:05 PM | 346     | 600    | 1380,6  | 2,5    | 98      | 257,22 | 200,00  | 0      | 1,4    |
| TRÂNSITO MUITO INTENSO           | 20:04         | JANELA ABERTA     |                    |                      |                            | 26    | 18-ab-21:08:04 PM | 307     | 600    | 1308,2  | 3,1    | 101     | 273,31 | 200,00  | 0      | 5,7    |
| TRÂNSITO MUITO INTENSO           | 20:05         | JANELA ABERTA     |                    |                      |                            | 27    | 18-ab-21:08:05 PM | 295     | 600    | 1367,7  | 2,2    | 938     | 267,99 | 200,00  | 0      | 20,4   |
| TRÂNSITO MUITO INTENSO           | 20:06         | JANELA ABERTA     |                    |                      |                            | 27    | 18-ab-21:08:05 PM | 257     | 600    | 1395,7  | 1,6    | 94      | 283,07 | 200,00  | 0      | 14,4   |
| TRÂNSITO MUITO INTENSO           | 20:07         | JANELA ABERTA     |                    |                      |                            | 28    | 18-ab-21:08:07 PM | 260     | 600    | 1400,2  | 1,5    | 320     | 280,73 | 200,00  | 0      | 3,3    |
| 20:08                            | JANELA ABERTA |                   |                    |                      |                            | 30    | 18-ab-21:08:08 PM | 286     | 600    | 1477,1  | 1,5    | 925     | 258,67 | 200,00  | 0      | 0      |
| 20:09                            | JANELA ABERTA |                   |                    |                      |                            | 31    | 18-ab-21:08:09 PM | 270     | 600    | 1382,3  | 1,5    | 925     | 258,67 | 200,00  | 0      | 0      |

# Apêndice B

## Efeito do Veículo Utilizado

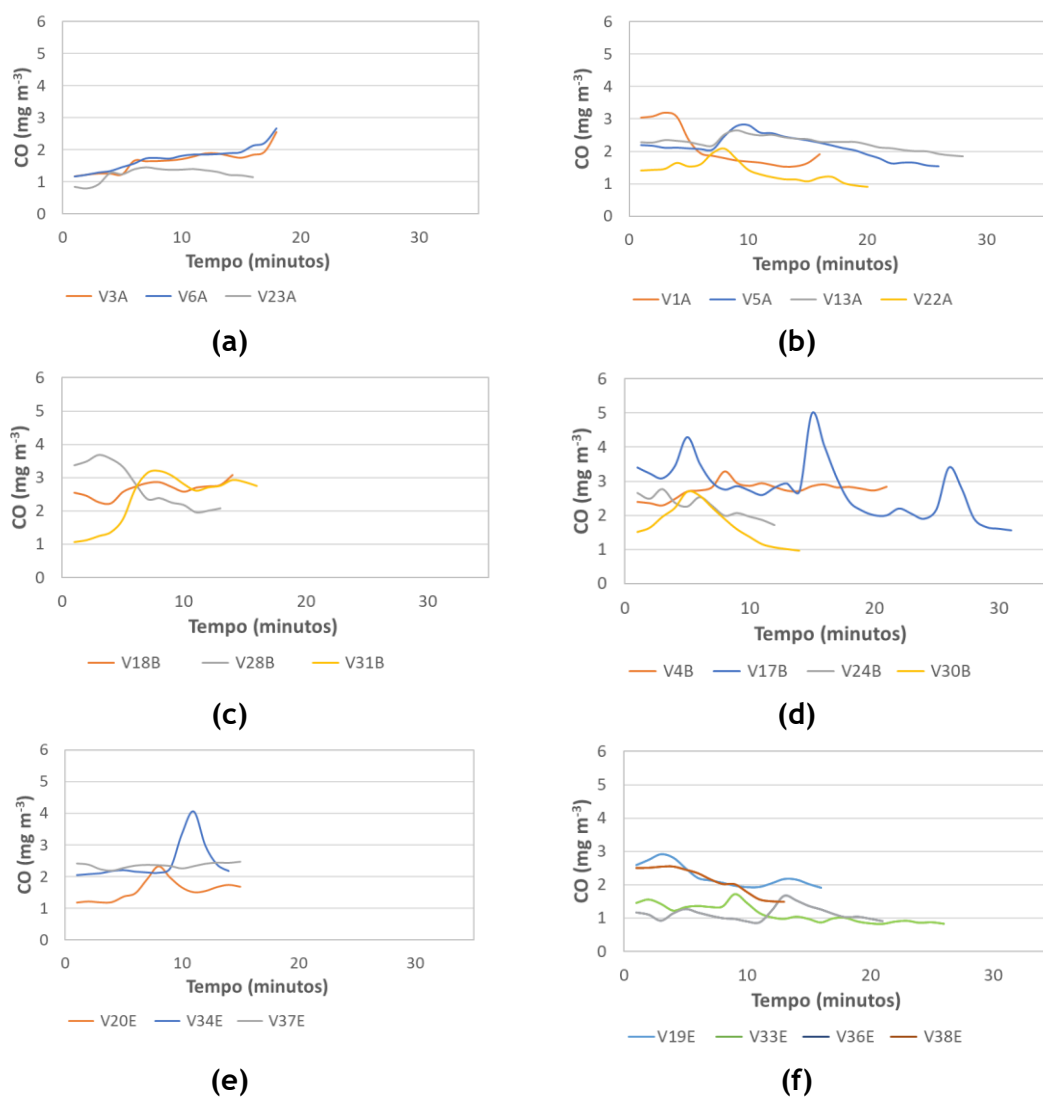


Figura B1 - Perfis de Concentrações do CO nas viagens de “Ida” (à esquerda) e de “Volta” (à direita) para cada um dos veículos utilizados: (a) e (b) - Veículo A, (c) e (d) - Veículo B, (e) e (f) - Veículo E

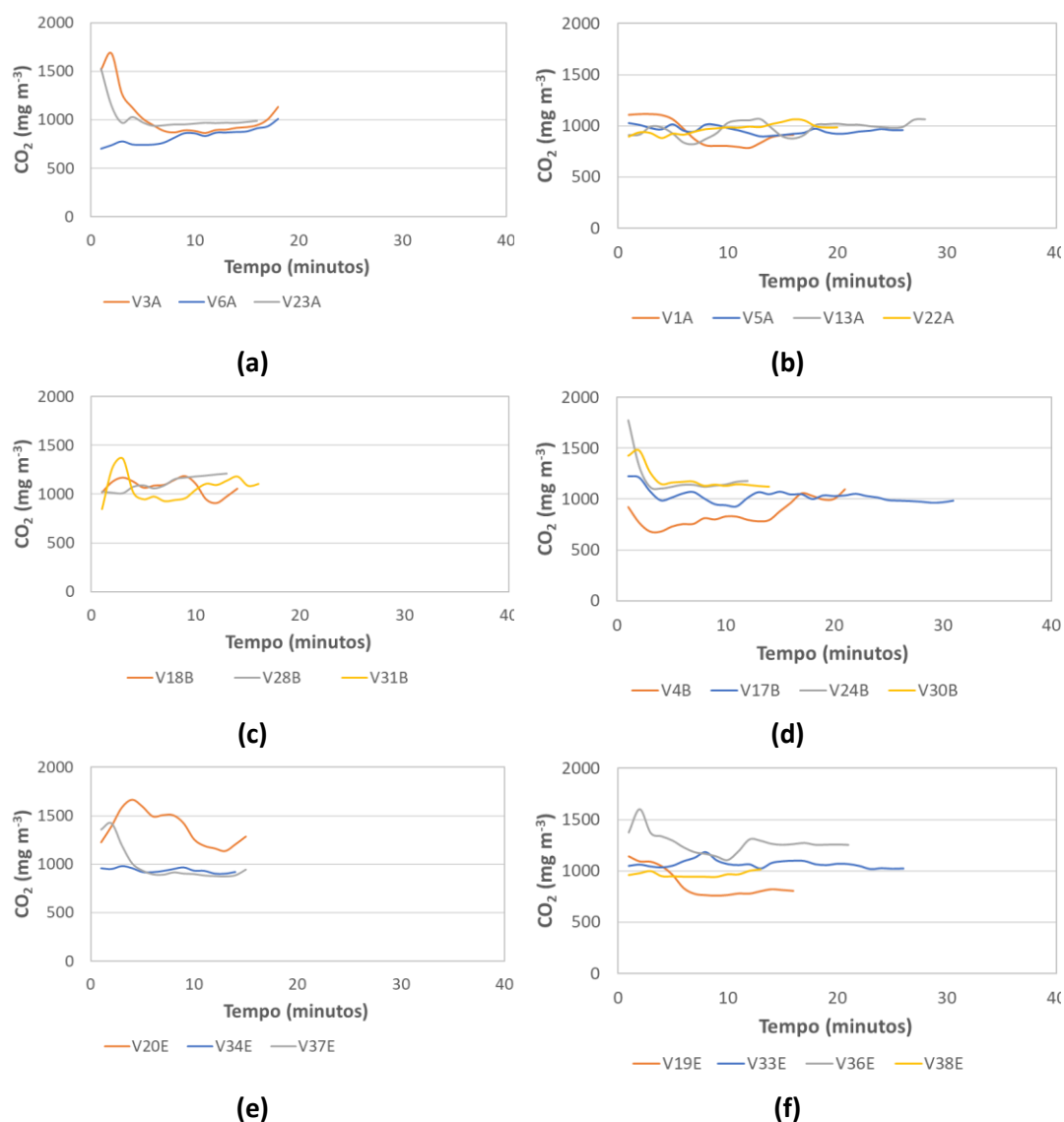


Figura B2 - Perfis de Concentrações do CO<sub>2</sub> nas viagens de “Ida” (à esquerda) e de “Volta” (à direita) para cada um dos veículos utilizados (a) e (b) - Veículo A, (c) e (d) - Veículo B, (d) e (e) - Veículo E

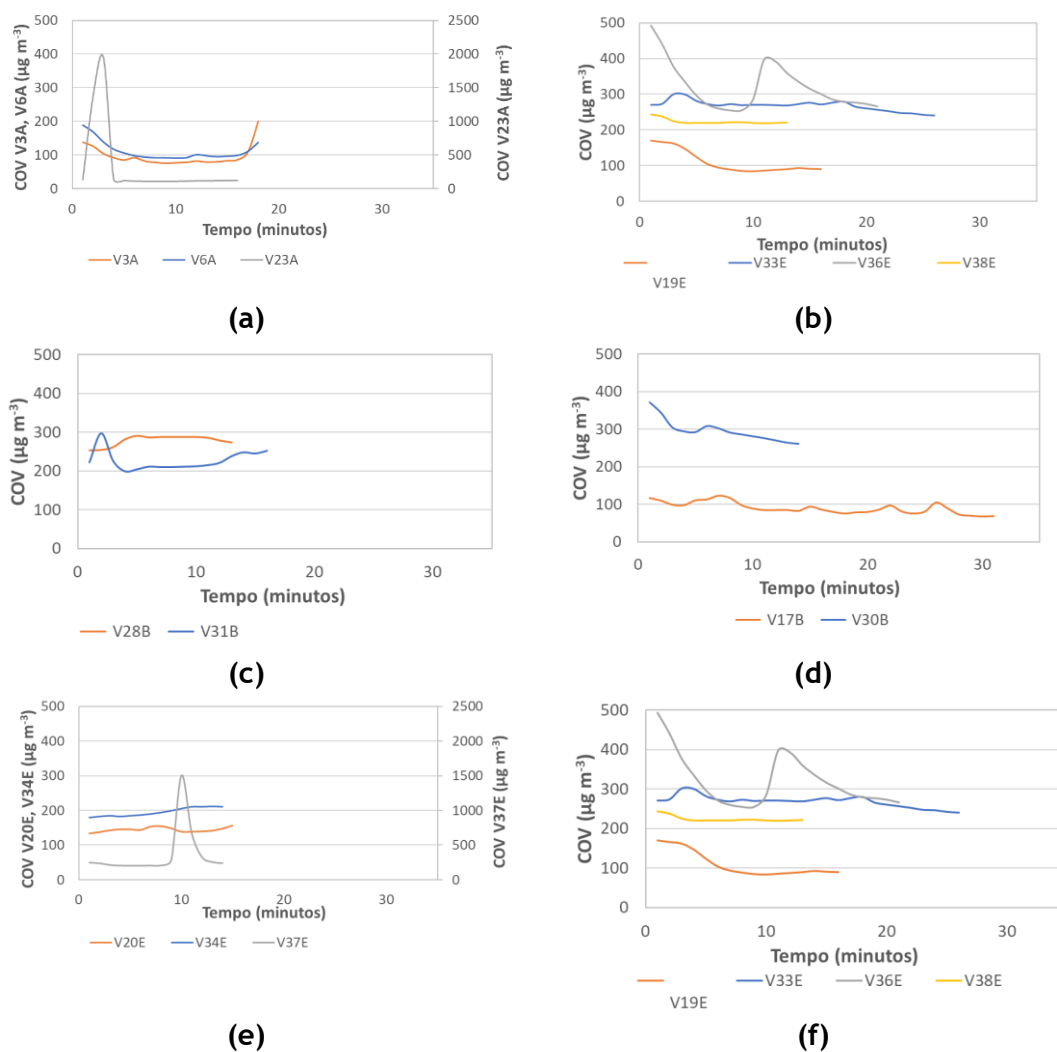


Figura B3 - Perfis de Concentrações de COV nas viagens de “Ida” (à esquerda) e de “Volta” (à direita) para cada um dos veículos utilizados (a) e (b) - Veículo A, (c) e (d) - Veículo B, (d) e (e) - Veículo E

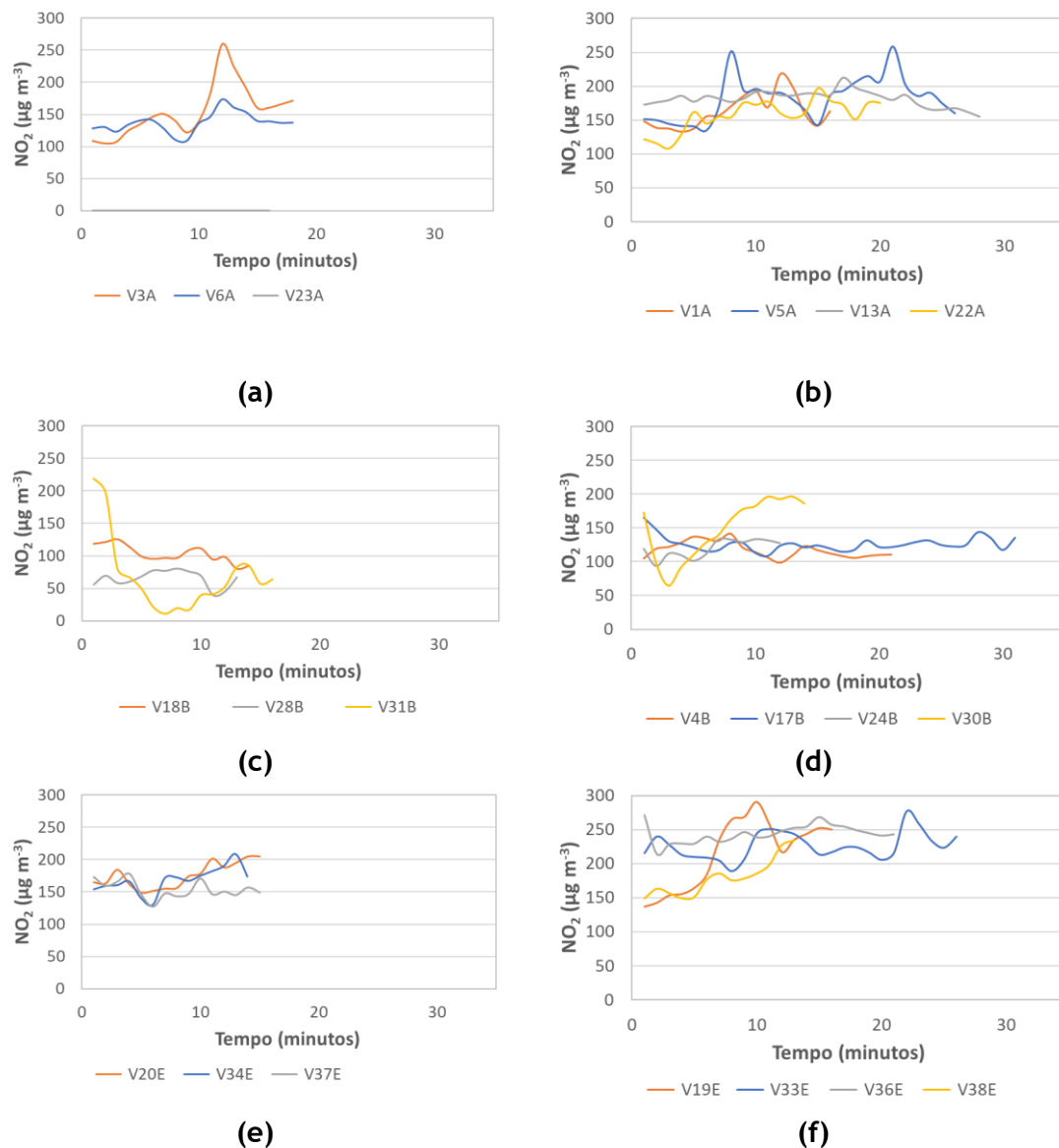


Figura B4 - Perfis de Concentrações do  $\text{NO}_2$  nas viagens de “Ida” (à esquerda) e de “Volta” (à direita) para cada um dos veículos utilizados (a) e (b) - Veículo A, (c) e (d) - Veículo B, (d) e (e) - Veículo E

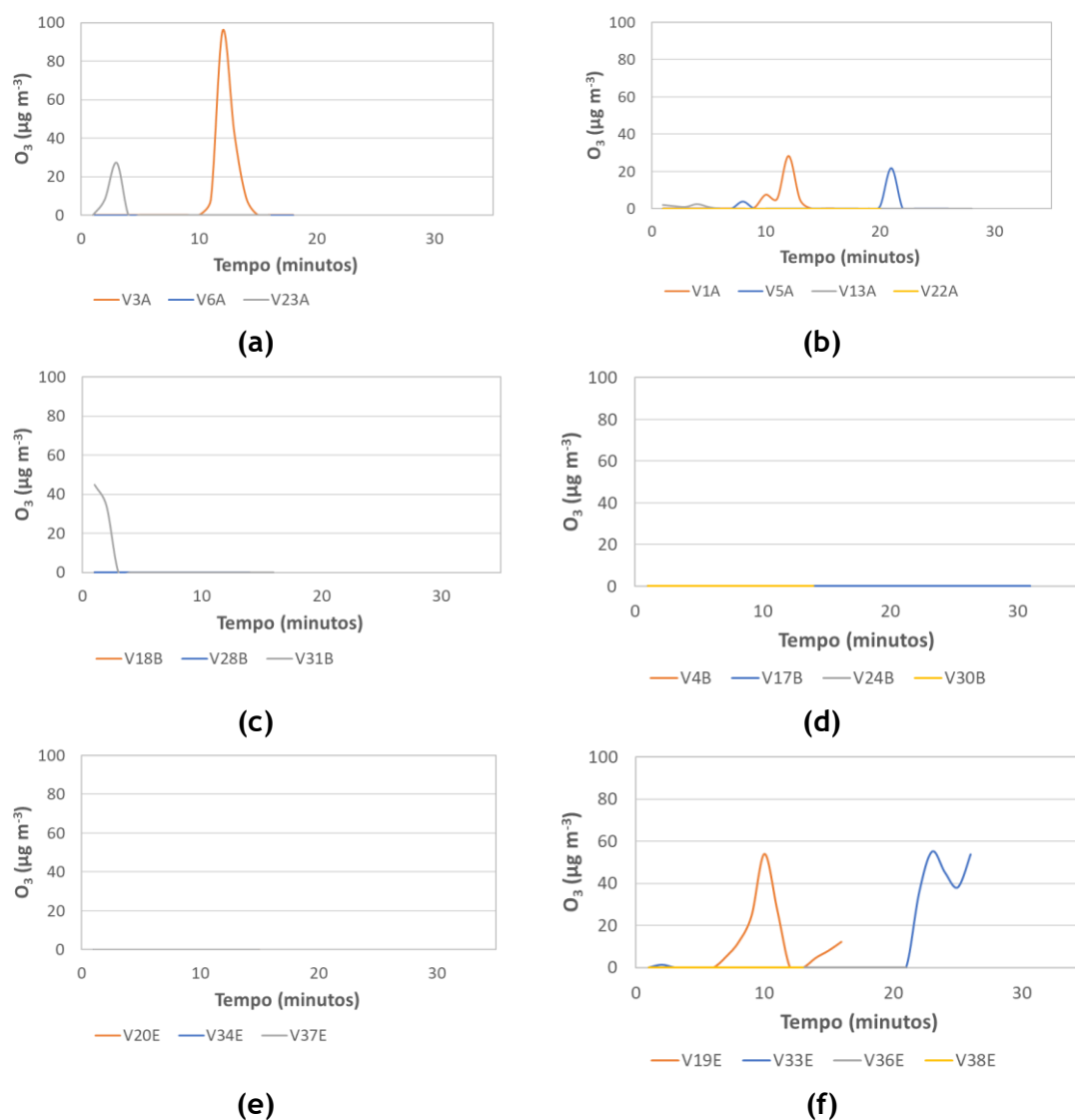


Figura B5 - Perfis de Concentrações de  $O_3$  nas viagens de “Ida” (à esquerda) e de “Volta” (à direita) para cada um dos veículos utilizados (a) e (b) - Veículo A, (c) e (d) - Veículo B, (d) e (e) - Veículo E

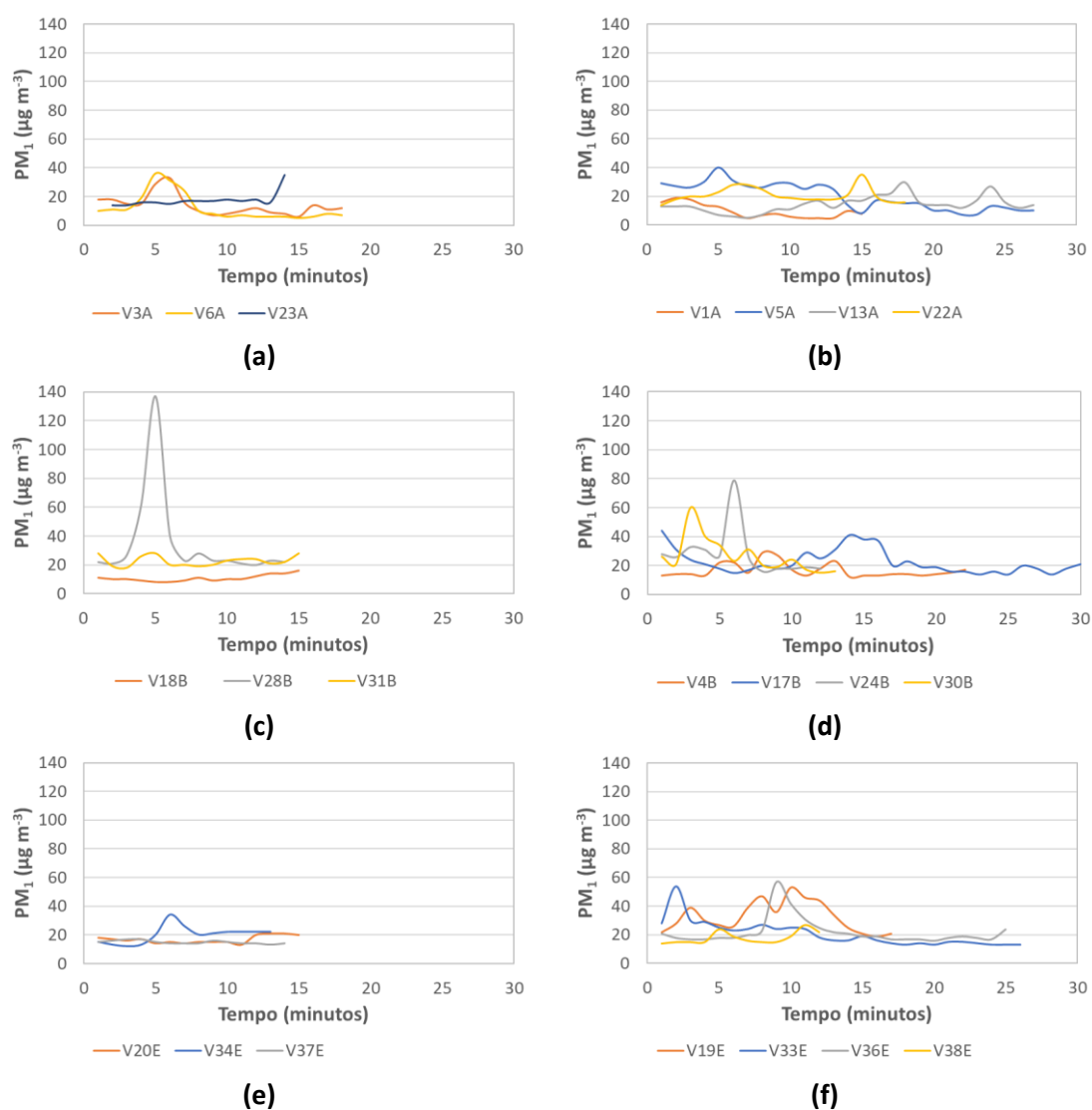
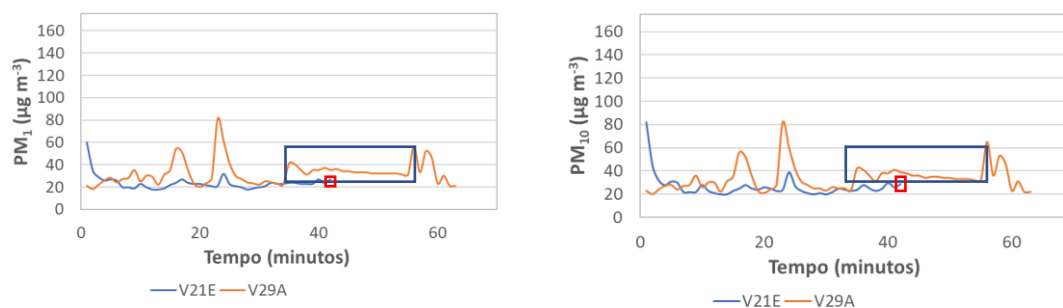


Figura B6 - Perfis de Concentrações de PM nas viagens de “Ida” (à esquerda) e de “Volta” (à direita) para cada um dos veículos utilizados (a) e (b) - Veículo A, (c) e (d) - Veículo B, (d) e (e) - Veículo E

### ***Efeito da circulação/estacionamento em parque de estacionamento fechado***



**Figura B7** - Perfis de concentrações das  $PM_{10}$  e  $P_{Totais}$  nas viagens efetuadas para determinação da influência da circulação/estacionamento em parque de estacionamento fechado

## Apêndice C

### Efeito do Veículo utilizado

Tabela C1 - Concentrações Médias, Mediana de Concentrações, Valores Mínimos de Concentração e Valores Máximos de Concentração para as Poluentes Gasosos medidos em cada uma das viagens de “Ida”

| Viagem | CO (mg m <sup>-3</sup> ) |         |     |     | CO <sub>2</sub> (mg m <sup>-3</sup> ) |         |      |      | COV (µg m <sup>-3</sup> ) |         |     |      | NO <sub>2</sub> (µg m <sup>-3</sup> ) |         |     |     | O <sub>3</sub> (µg m <sup>-3</sup> ) |         |     |     |
|--------|--------------------------|---------|-----|-----|---------------------------------------|---------|------|------|---------------------------|---------|-----|------|---------------------------------------|---------|-----|-----|--------------------------------------|---------|-----|-----|
|        | Média                    | Mediana | Min | Máx | Média                                 | Mediana | Min  | Máx  | Média                     | Mediana | Min | Máx  | Média                                 | Mediana | Min | Máx | Média                                | Mediana | Min | Máx |
| V3A    | 2                        | 2       | 2   | 3   | 1039                                  | 937     | 866  | 1684 | 97                        | 84      | 76  | 200  | 155                                   | 148     | 105 | 259 | 9                                    | 0       | 0   | 96  |
| V6A    | 2                        | 2       | 1   | 3   | 830                                   | 847     | 702  | 1011 | 112                       | 99      | 91  | 188  | 137                                   | 137     | 109 | 173 | 0                                    | 0       | 0   | 0   |
| V23A   | 1                        | 1       | 1   | 1   | 1015                                  | 970     | 938  | 1525 | 311                       | 117     | 111 | 1942 | 0                                     | 0       | 0   | 0   | 2                                    | 0       | 0   | 27  |
| V18B   | 3                        | 3       | 2   | 3   | 1074                                  | 1094    | 910  | 1186 | N/D                       | N/D     | N/D | N/D  | 104                                   | 99      | 80  | 126 | 0                                    | 0       | 0   | 0   |
| V28B   | 3                        | 2       | 2   | 4   | 1113                                  | 1089    | 1008 | 1211 | 279                       | 286     | 254 | 291  | 65                                    | 68      | 40  | 80  | 0                                    | 0       | 0   | 0   |
| V31B   | 2                        | 3       | 1   | 3   | 1064                                  | 1067    | 848  | 1364 | 227                       | 219     | 200 | 298  | 69                                    | 55      | 11  | 219 | 5                                    | 0       | 0   | 45  |
| V20E   | 2                        | 2       | 1   | 2   | 1374                                  | 1391    | 1134 | 1665 | 144                       | 143     | 133 | 156  | 176                                   | 174     | 149 | 205 | 0                                    | 0       | 0   | 0   |
| V34E   | 2                        | 2       | 2   | 4   | 939                                   | 934     | 904  | 982  | 195                       | 192     | 180 | 211  | 168                                   | 169     | 130 | 209 | 0                                    | 0       | 0   | 0   |
| V37E   | 2                        | 2       | 2   | 2   | 994                                   | 904     | 875  | 1425 | 354                       | 235     | 199 | 1505 | 154                                   | 149     | 127 | 178 | 0                                    | 0       | 0   | 0   |

Nota: Min - Mínimo; Max - Máximo

*Tabela C2 - Concentrações Médias, Mediana de Concentrações, Valores Mínimos de Concentração e Valores Máximos de Concentração para as Poluentes Gasosos em cada uma das viagens de “Volta”*

| Viagem | CO (mg m <sup>-3</sup> ) |         |      |      | CO <sub>2</sub> (mg m <sup>-3</sup> ) |         |      |      | COV (µg m <sup>-3</sup> ) |         |      |      | NO <sub>2</sub> (µg m <sup>-3</sup> ) |         |      |      | O <sub>3</sub> (µg m <sup>-3</sup> ) |         |      |      |
|--------|--------------------------|---------|------|------|---------------------------------------|---------|------|------|---------------------------|---------|------|------|---------------------------------------|---------|------|------|--------------------------------------|---------|------|------|
|        | Média                    | Mediana | Min. | Máx. | Média                                 | Mediana | Min. | Máx. | Média                     | Mediana | Min. | Máx. | Média                                 | Mediana | Min. | Máx. | Média                                | Mediana | Min. | Máx. |
| V1A    | 2                        | 2       | 2    | 3    | 930                                   | 898     | 784  | 1114 | 112                       | 79      | 73   | 212  | 162                                   | 157     | 133  | 218  | 3                                    | 0       | 0    | 20   |
| V5A    | 2                        | 2       | 2    | 3    | 955                                   | 953     | 895  | 1024 | 229                       | 93      | 86   | 2343 | 182                                   | 187     | 135  | 259  | 1                                    | 0       | 0    | 22   |
| V13A   | 2                        | 2       | 2    | 3    | 972                                   | 991     | 819  | 1068 | 125                       | 114     | 95   | 158  | 182                                   | 184     | 155  | 213  | 0                                    | 0       | 0    | 3    |
| V22A   | 1                        | 1       | 1    | 2    | 971                                   | 982     | 880  | 1061 | 107                       | 110     | 94   | 115  | 157                                   | 161     | 108  | 197  | 0                                    | 0       | 0    | 0    |
| V4B    | 3                        | 3       | 2    | 3    | 855                                   | 812     | 682  | 1094 | N/D                       | N/D     | N/D  | N/D  | 117                                   | 115     | 99   | 142  | 0                                    | 0       | 0    | 0    |
| V17B   | 3                        | 3       | 2    | 5    | 1026                                  | 1016    | 929  | 1224 | 90                        | 86      | 68   | 123  | 127                                   | 125     | 109  | 166  | 0                                    | 0       | 0    | 0    |
| V24B   | 2                        | 2       | 2    | 3    | 1208                                  | 1142    | 1106 | 1776 | N/D                       | N/D     | N/D  | N/D  | 120                                   | 124     | 94   | 134  | 0                                    | 0       | 0    | 0    |
| V30B   | 2                        | 2       | 1    | 3    | 1200                                  | 1150    | 1124 | 1480 | 297                       | 293     | 262  | 372  | 150                                   | 168     | 65   | 197  | 0                                    | 0       | 0    | 0    |
| V19E   | 2                        | 2       | 2    | 3    | 877                                   | 810     | 759  | 1141 | 110                       | 92      | 84   | 170  | 216                                   | 235     | 137  | 290  | 9                                    | 2       | 0    | 54   |
| V33E   | 1                        | 1       | 1    | 2    | 1064                                  | 1061    | 1015 | 1183 | 269                       | 271     | 241  | 301  | 226                                   | 224     | 189  | 277  | 9                                    | 0       | 0    | 55   |
| V36E   | 1                        | 1       | 1    | 2    | 1271                                  | 1258    | 1106 | 1604 | 392                       | 297     | 255  | 493  | 244                                   | 243     | 214  | 271  | 0                                    | 0       | 0    | 0    |
| V38E   | 2                        | 2       | 1    | 3    | 967                                   | 962     | 944  | 1015 | 224                       | 220     | 219  | 244  | 179                                   | 177     | 149  | 234  | 0                                    | 0       | 0    | 0    |

Nota: Min - Mínimo; Max - Máximo

Tabela C3 - Concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações, para cada um dos tipos de Partículas em Suspensão em cada uma das viagens de “Ida”

| Viagem | PM <sub>1</sub> (µg m <sup>-3</sup> ) |         |      |      | PM <sub>2,5</sub> (µg m <sup>-3</sup> ) |         |      |      | PM <sub>10</sub> (µg m <sup>-3</sup> ) |         |      |      | P <sub>Totais</sub> (µg m <sup>-3</sup> ) |         |      |      |
|--------|---------------------------------------|---------|------|------|-----------------------------------------|---------|------|------|----------------------------------------|---------|------|------|-------------------------------------------|---------|------|------|
|        | Média                                 | Mediana | Min. | Max. | Média                                   | Mediana | Min. | Max. | Média                                  | Mediana | Min. | Max. | Média                                     | Mediana | Min. | Max. |
| V3A    | 14                                    | 12      | 6    | 33   | 14                                      | 12      | 6    | 33   | 15                                     | 13      | 6    | 34   | 18                                        | 14      | 6    | 37   |
| V6A    | 12                                    | 8       | 5    | 35   | 12                                      | 8       | 5    | 36   | 12                                     | 8       | 5    | 36   | 13                                        | 9       | 6    | 38   |
| V23A   | 18                                    | 17      | 14   | 35   | 18                                      | 17      | 14   | 35   | 18                                     | 17      | 15   | 36   | 19                                        | 18      | 16   | 37   |
| V18B   | 11                                    | 10      | 8    | 16   | 11                                      | 10      | 8    | 16   | 12                                     | 11      | 9    | 17   | 15                                        | 15      | 11   | 22   |
| V28B   | 35                                    | 23      | 20   | 137  | 35                                      | 23      | 20   | 137  | 36                                     | 24      | 21   | 137  | 38                                        | 27      | 21   | 138  |
| V31B   | 22                                    | 22      | 17   | 28   | 23                                      | 22      | 18   | 28   | 23                                     | 22      | 19   | 33   | 27                                        | 25      | 20   | 49   |
| V20E   | 17                                    | 16      | 13   | 21   | 17                                      | 16      | 14   | 21   | 19                                     | 21      | 14   | 22   | 30                                        | 27      | 15   | 52   |
| V34E   | 20                                    | 21      | 12   | 34   | 20                                      | 21      | 12   | 34   | 21                                     | 21      | 13   | 34   | 23                                        | 22      | 16   | 36   |
| V37E   | 15                                    | 15      | 13   | 17   | 15                                      | 15      | 13   | 17   | 15                                     | 15      | 14   | 18   | 18                                        | 16      | 14   | 28   |

Nota: Min - Mínimo; Max - Máximo

Tabela C4 - Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações, para cada um dos tipos de Partículas em Suspensão em cada uma das viagens de “Volta”

| Viagem | PM <sub>1</sub> (µg m <sup>-3</sup> ) |         |      |      | PM <sub>2,5</sub> (µg m <sup>-3</sup> ) |         |      |      | PM <sub>10</sub> (µg m <sup>-3</sup> ) |         |      |      | P <sub>Totais</sub> (µg m <sup>-3</sup> ) |         |      |      |
|--------|---------------------------------------|---------|------|------|-----------------------------------------|---------|------|------|----------------------------------------|---------|------|------|-------------------------------------------|---------|------|------|
|        | Média                                 | Mediana | Min. | Máx. | Média                                   | Mediana | Min. | Máx. | Média                                  | Mediana | Min. | Máx. | Média                                     | Mediana | Min. | Máx. |
| V1A    | 10                                    | 8       | 5    | 19   | 10                                      | 9       | 5    | 20   | 11                                     | 9       | 5    | 23   | 16                                        | 10      | 6    | 37   |
| V5A    | 19                                    | 16      | 7    | 37   | 19                                      | 16      | 7    | 37   | 20                                     | 17      | 7    | 40   | 23                                        | 17      | 7    | 82   |
| V13A   | 14                                    | 14      | 5    | 30   | 15                                      | 14      | 5    | 30   | 16                                     | 15      | 5    | 36   | 19                                        | 16      | 6    | 82   |
| V22A   | 21                                    | 20      | 14   | 35   | 21                                      | 20      | 14   | 35   | 21                                     | 20      | 16   | 36   | 24                                        | 22      | 17   | 39   |
| V4B    | 17                                    | 14      | 12   | 29   | 17                                      | 15      | 12   | 29   | 17                                     | 17      | 12   | 17   | 19                                        | 19      | 12   | 19   |
| V17B   | 23                                    | 20      | 14   | 44   | 23                                      | 20      | 14   | 44   | 23                                     | 21      | 14   | 45   | 27                                        | 23      | 15   | 52   |
| V24B   | 28                                    | 26      | 16   | 79   | 28                                      | 26      | 16   | 79   | 29                                     | 27      | 16   | 80   | 31                                        | 29      | 16   | 81   |
| V30B   | 27                                    | 23      | 15   | 60   | 27                                      | 23      | 15   | 60   | 27                                     | 23      | 15   | 60   | 29                                        | 24      | 17   | 61   |
| V19E   | 33                                    | 30      | 19   | 53   | 33                                      | 30      | 19   | 53   | 37                                     | 34      | 21   | 61   | 49                                        | 47      | 23   | 93   |
| V33E   | 21                                    | 17      | 13   | 54   | 21                                      | 17      | 13   | 54   | 21                                     | 18      | 13   | 54   | 23                                        | 23      | 14   | 55   |
| V36E   | 22                                    | 19      | 16   | 57   | 22                                      | 19      | 16   | 57   | 23                                     | 19      | 16   | 57   | 24                                        | 21      | 16   | 57   |
| V38E   | 18                                    | 16      | 14   | 27   | 18                                      | 16      | 14   | 27   | 18                                     | 16      | 14   | 27   | 19                                        | 16      | 15   | 28   |

Nota: Min - Mínimo; Max - Máximo

## Efeito da intensidade do tráfego

Tabela C5 - Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações, para cada um dos poluentes gasosos medidos em cada uma das viagens tidas em conta para a análise do efeito da intensidade do tráfego na concentração de poluentes no habitáculo de veículos

| Viagem | COV ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |      |      | CO ( $\text{mg m}^{-3}$ ) |         |      |      | CO <sub>2</sub> ( $\text{mg m}^{-3}$ ) |         |      |      | NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |      |      | O <sub>3</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |      |      |
|--------|------------------------------|---------|------|------|---------------------------|---------|------|------|----------------------------------------|---------|------|------|------------------------------------------|---------|------|------|-----------------------------------------|---------|------|------|
|        | Média                        | Mediana | Min. | Máx. | Média                     | Mediana | Min. | Máx. | Média                                  | Mediana | Min. | Máx. | Média                                    | Mediana | Min. | Máx. | Média                                   | Mediana | Min. | Máx. |
| V2A    | 81                           | 78      | 69   | 144  | 1                         | 1       | 1    | 3    | 913                                    | 893     | 681  | 1467 | 197                                      | 199     | 99   | 325  | 23                                      | 3       | 0    | 147  |
| V29A   | 287                          | 273     | 198  | 362  | 2                         | 2       | 1    | 4    | 1189                                   | 1168    | 855  | 1670 | 213                                      | 222     | 0    | 273  | 0                                       | 0       | 0    | 0    |
| V32E   | 553                          | 287     | 225  | 4554 | 2                         | 2       | 1    | 3    | 1121                                   | 1028    | 889  | 1658 | 217                                      | 235     | 135  | 283  | 2                                       | 0       | 0    | 20   |
| V35E   | 265                          | 254     | 243  | 382  | 2                         | 2       | 1    | 4    | 1128                                   | 1137    | 970  | 1192 | 218                                      | 277     | 162  | 266  | 0                                       | 0       | 0    | 0    |

Nota: Min - Mínimo; Max - Máximo

Tabela C6 - Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações, para cada uma das frações de PM em cada uma das viagens tidas em conta para a análise do efeito da intensidade do tráfego na concentração de poluentes no habitáculo de veículos

| Viagem | PM <sub>1</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |      |      | PM <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |      |      | PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |      |      | P <sub>Totais</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |      |      |
|--------|------------------------------------------|---------|------|------|--------------------------------------------|---------|------|------|-------------------------------------------|---------|------|------|----------------------------------------------|---------|------|------|
|        | Média                                    | Mediana | Min. | Máx. | Média                                      | Mediana | Min. | Máx. | Média                                     | Mediana | Min. | Máx. | Média                                        | Mediana | Min. | Máx. |
| V2A    | 17                                       | 12      | 5    | 95   | 17                                         | 12      | 5    | 95   | 9                                         | 14      | 5    | 101  | 20                                           | 15      | 5    | 105  |
| V29A   | 32                                       | 31      | 18   | 81   | 32                                         | 31      | 18   | 81   | 34                                        | 32      | 20   | 82   | 37                                           | 33      | 22   | 165  |
| V32E   | 35                                       | 37      | 13   | 52   | 35                                         | 37      | 13   | 52   | 36                                        | 37      | 14   | 53   | 38                                           | 39      | 21   | 27   |
| V35E   | 22                                       | 19      | 16   | 57   | 22                                         | 19      | 16   | 57   | 23                                        | 19      | 16   | 57   | 24                                           | 21      | 16   | 57   |

Nota: Min - Mínimo; Max - Máximo

## Efeito da circulação/estacionamento em parques de estacionamento fechados

Tabela C7 - Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações, para cada um dos poluentes gasosos, em cada uma das viagens tidas em conta para a análise do efeito da circulação/estacionamento num parque de estacionamento fechado

| Viagem | COV ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |      |      | CO ( $\text{mg m}^{-3}$ ) |         |      |      | CO <sub>2</sub> ( $\text{mg m}^{-3}$ ) |         |      |      | NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |      |      | O <sub>3</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |      |      |
|--------|------------------------------|---------|------|------|---------------------------|---------|------|------|----------------------------------------|---------|------|------|------------------------------------------|---------|------|------|-----------------------------------------|---------|------|------|
|        | Média                        | Mediana | Min. | Máx. | Média                     | Mediana | Min. | Máx. | Média                                  | Mediana | Min. | Máx. | Média                                    | Mediana | Min. | Máx. | Média                                   | Mediana | Min. | Máx. |
| V21E   | 121                          | 117     | 90   | 273  | 2                         | 2       | 2    | 4    | 1233                                   | 1256    | 837  | 1423 | 176                                      | 175     | 135  | 212  | 8                                       | 0       | 0    | 57   |
| V29A   | 287                          | 273     | 198  | 362  | 2                         | 2       | 1    | 4    | 1189                                   | 1168    | 855  | 1670 | 213                                      | 222     | 0    | 273  | 0                                       | 0       | 0    | 0    |

Nota: Min: Mínimo; Máx: Máximo; COV: Compostos Orgânicos Voláteis

Tabela C8 - Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações, para cada uma das frações de PM, em cada uma das viagens tidas em conta para a análise do efeito da circulação/estacionamento num parque de estacionamento fechado

| Viagem | PM <sub>1</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |      |      | PM <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |      |      | PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |      |      | P <sub>Totaus</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |      |      |
|--------|------------------------------------------|---------|------|------|--------------------------------------------|---------|------|------|-------------------------------------------|---------|------|------|----------------------------------------------|---------|------|------|
|        | Média                                    | Mediana | Min. | Máx. | Média                                      | Mediana | Min. | Máx. | Média                                     | Mediana | Min. | Máx. | Média                                        | Mediana | Min. | Máx. |
| V21E   | 24                                       | 23      | 18   | 60   | 24                                         | 23      | 18   | 61   | 27                                        | 25      | 20   | 82   | 36                                           | 29      | 20   | 145  |
| V29A   | 32                                       | 31      | 18   | 81   | 32                                         | 31      | 18   | 81   | 34                                        | 32      | 20   | 82   | 37                                           | 33      | 22   | 165  |

Nota: Min: Mínimo; Máx: Máximo;

## Efeito da ventilação

Tabela C9 - Valores das concentrações médias mínimas e máximas e das medianas das concentrações de COV, CO e CO<sub>2</sub> em cada uma das viagens tidas em conta para a análise do efeito do tipo de ventilação utilizado na concentração de poluentes no habitáculo de veículos

| Viagem | COV ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         | CO ( $\text{mg m}^{-3}$ ) |      |       |         | CO <sub>2</sub> ( $\text{mg m}^{-3}$ ) |      |       |         |      |      |
|--------|------------------------------|---------|---------------------------|------|-------|---------|----------------------------------------|------|-------|---------|------|------|
|        | Média                        | Mediana | Min.                      | Máx. | Média | Mediana | Min.                                   | Máx. | Média | Mediana | Min. | Máx. |
| V2A    | 81                           | 78      | 69                        | 144  | 1     | 1       | 1                                      | 3    | 913   | 893     | 681  | 1467 |
| V12A   | 153                          | 42      | 30                        | 4536 | 1     | 1       | 0                                      | 6    | 1019  | 982     | 870  | 1523 |
| V27C   | 264                          | 259     | 204                       | 518  | 1     | 1       | 1                                      | 2    | 1592  | 1612    | 918  | 1989 |
| V32E   | 553                          | 287     | 225                       | 4554 | 2     | 2       | 1                                      | 3    | 1121  | 1028    | 889  | 1658 |
| V39E   | 288                          | 297     | 223                       | 327  | 1     | 1       | 1                                      | 2    | 1559  | 1473    | 1021 | 2159 |

Nota: Min: Mínimo; Máx: Máximo

Tabela C10 - Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> em cada uma das viagens tidas em conta para a análise do efeito do tipo de ventilação utilizado na concentração de poluentes no habitáculo de veículos

| Viagem | NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         | SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |      |       |         | O <sub>3</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |      |       |         |      |      |
|--------|------------------------------------------|---------|------------------------------------------|------|-------|---------|-----------------------------------------|------|-------|---------|------|------|
|        | Média                                    | Mediana | Min.                                     | Máx. | Média | Mediana | Min.                                    | Máx. | Média | Mediana | Min. | Máx. |
| V2A    | 197                                      | 199     | 99                                       | 325  | 0     | 0       | 0                                       | 0    | 23    | 3       | 0    | 147  |
| V12A   | 188                                      | 183     | 128                                      | 276  | 6     | 0       | 0                                       | 825  | 14    | 2       | 0    | 74   |
| V27C   | 166                                      | 167     | 15                                       | 317  | 0     | 0       | 0                                       | 0    | 6     | 0       | 0    | 104  |
| V32E   | 217                                      | 235     | 135                                      | 283  | 0     | 0       | 0                                       | 0    | 2     | 0       | 0    | 20   |
| V39E   | 227                                      | 201     | 158                                      | 398  | 0     | 0       | 0                                       | 0    | 0     | 0       | 0    | 12   |

Nota: Min: Mínimo; Máx: Máximo

*Tabela C11 - Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações de  $PM_1$  e  $PM_{2,5}$  em cada uma das viagens tidas em conta para a análise do efeito do tipo de ventilação utilizado na concentração de poluentes no habitáculo de veículos*

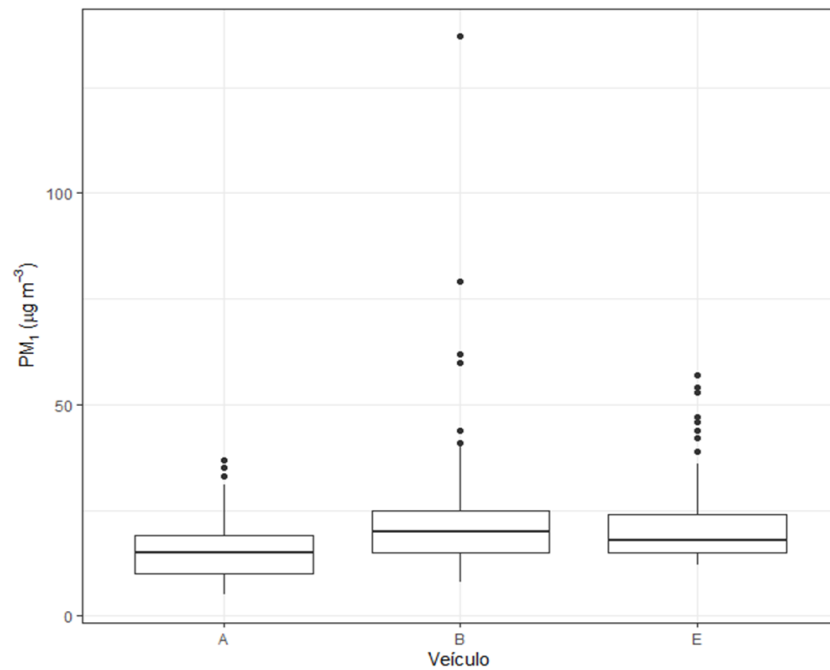
| Viagem | $PM_1$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |        |        | $PM_{2,5}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |        |        |
|--------|---------------------------------|---------|--------|--------|-------------------------------------|---------|--------|--------|
|        | Média                           | Mediana | Mínimo | Máximo | Média                               | Mediana | Mínimo | Máximo |
| V2A    | 17                              | 12      | 5      | 95     | 17                                  | 12      | 5      | 95     |
| V12A   | 15                              | 14      | 10     | 51     | 15                                  | 14      | 10     | 51     |
| V27C   | 22                              | 20      | 13     | 55     | 22                                  | 21      | 14     | 56     |
| V32E   | 35                              | 37      | 13     | 52     | 35                                  | 37      | 13     | 52     |
| V39E   | 29                              | 27      | 16     | 130    | 29                                  | 28      | 16     | 135    |

*Tabela C12- Valores das concentrações médias, mínimas e máximas e das medianas das concentrações de  $PM_{10}$  e  $P_{\text{Totais}}$  em cada uma das viagens tidas em conta para a análise do efeito do tipo de ventilação utilizado na concentração de poluentes no habitáculo de veículos*

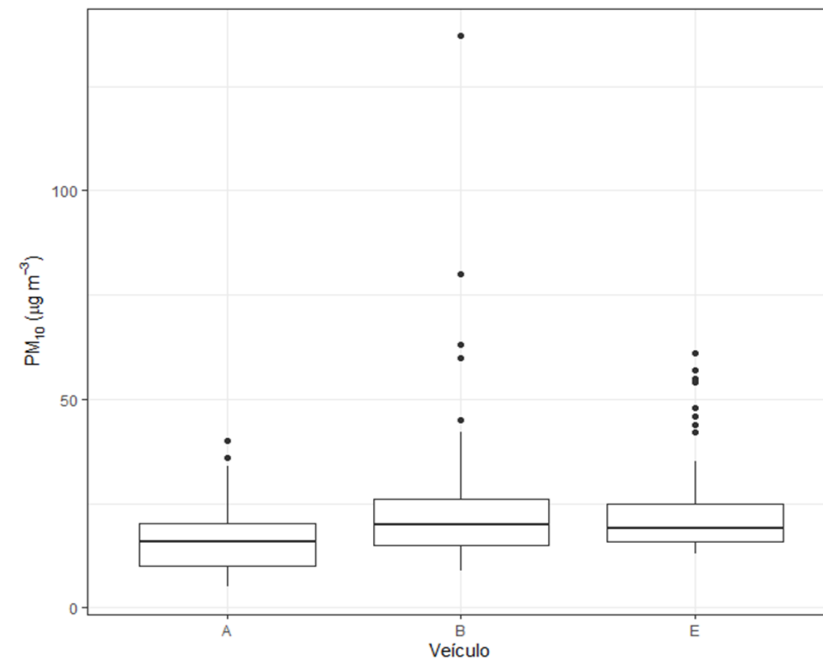
| Viagem | $PM_{10}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |        |        | $P_{\text{Totais}}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |         |        |        |
|--------|------------------------------------|---------|--------|--------|----------------------------------------------|---------|--------|--------|
|        | Média                              | Mediana | Mínimo | Máximo | Média                                        | Mediana | Mínimo | Máximo |
| V2A    | 9                                  | 14      | 5      | 101    | 20                                           | 15      | 5      | 105    |
| V12A   | 16                                 | 14      | 10     | 53     | 17                                           | 14      | 10     | 56     |
| V27C   | 24                                 | 22      | 15     | 61     | 32                                           | 29      | 16     | 77     |
| V32E   | 36                                 | 37      | 14     | 53     | 38                                           | 39      | 21     | 57     |
| V39E   | 34                                 | 29      | 17     | 236    | 40                                           | 31      | 18     | 370    |

## Apêndice D

*Diagrama de extremos e quartis representando todas as viagens realizadas por cada veículo com o objetivo de determinar o efeito do veículo utilizado na QAI do habitáculo*



(a)



(b)

Figura D1 - Diagrama de extremos e quartis representando todas as viagens realizadas por cada veículo com o objetivo de determinar o efeito do veículo utilizado na QAI do habitáculo; (a)  $PM_{10}$ ; (b)  $PM_{10}$

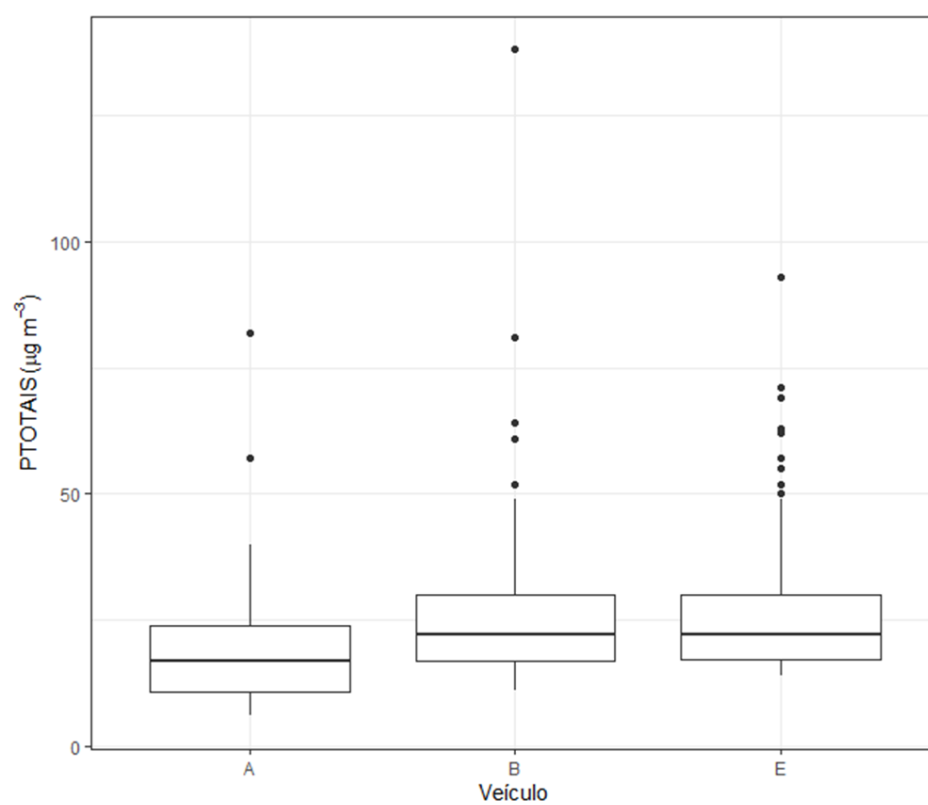


Figura D2 - Diagrama de extremos e quartis representando todas as viagens realizadas por cada veículo com o objetivo de determinar o efeito do veículo utilizado na QAI do habitáculo: PTotais