



**XVII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE
REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO,
VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO
AR**

São Paulo Expo – 23 à 25 de novembro de 2021

INVESTIGAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DOS PRINCIPAIS POLUENTES DO AR INTERIOR EM VEÍCULOS DE PASSEIO

PAPER 52

RESUMO

Neste trabalho serão apresentados resultados obtidos através de um estudo realizado, com intuito de demonstrar o quão prejudicial à saúde humana é a concentração de gases no ar em veículos, sejam eles novos ou seminovos. O estudo foi realizado em dois veículos automotores, ambos têm características semelhantes, trata-se de quatro condições de uso dos automóveis, sendo eles com ventilação ou climatização, renovação ativa ou desativada, veículo desligado, em movimento com velocidade reduzida, forçada e velocidade alta. Os resultados obtidos demonstram que houve uma grande concentração de gases, como dióxido de carbono, monóxido de carbono e alguns compostos orgânicos voláteis, durante a realização dos testes. Onde ficou caracterizado que a concentração desses gases ocorre pela falta de renovação do ar no interior dos veículos. Ainda nesse estudo foi verificado a concentração de material particulado com tamanhos de 1, 2.5 e 10 μm e assim constatou-se a redução desse material com a renovação do ar fechada, entendendo-se assim que a dispersão desse material para o interior dos veículos é pertinente a saturação dos filtros de ar e não propiciamente das condições externas.

Palavra-Chave: Renovação do ar. Qualidade do ar. Perigo a saúde. Poluição do ar.

ABSTRACT

This work presents the results obtained through a study carried out, with the aim of demonstrating how harmful to human health is the concentration of gases in the air in vehicles, whether new or semi-new. The study was carried out in two motor vehicles, both with similar characteristics, four conditions of use of cars were evaluated, namely with ventilation or air conditioning, active or disabled renewal, vehicle off, moving at reduced speed, forced and high speed. The results obtained demonstrate that there was a large concentration of gases, such as carbon dioxide, carbon monoxide and some volatile organic compounds, during the tests. Where it was characterized that the concentration of these gases occurs due to the lack of air renewal inside vehicles. Also in this study, it was verified the concentration of particulate material with sizes of 1, 2.5 and 10 μm and thus it was found a reduction of this material with the renewal of closed air, thus understanding that the dispersion of this material into the interior of the vehicles is pertinent to saturation of air filters and not propitious to external conditions.

Key Words: Air renewal. Air quality. Health hazard. Air pollution.

1 INTRODUÇÃO

Ao entrarmos em um automóvel, muitas vezes não imaginamos a enorme variedade de poluentes e/ou contaminantes a que estamos sendo expostos e o quanto é prejudicial à saúde. Fungos, bactérias, vírus, compostos orgânicos voláteis, formaldeído, óxidos de nitrogênio, enxofre e carbono, compostos organofosforados (OPRFs), compostos bromados retardantes de chamas e materiais particulados são somente alguns dos itens aos quais somos expostos durante o tempo que permanecemos em um carro de passeio.

A qualidade do ar interno tem a sua importância fundamentada na quantidade de tempo que as pessoas passam em locais fechados, principalmente em ambientes urbanos. Síndromes complexas surgiram ligadas à qualidade do ar interno, como a Síndrome do Edifício Doente (SED), e a Doença Relacionada ao Edifício (DRE). A má qualidade do ar em ambientes internos está também associada à perda de produtividade e abstenção no ambiente de trabalho (JONES, 1999; SPENGLER, SAMET e MCCARTHY, 1998).

Um campo de estudo de qualidade do ar interno ainda pouco explorado no meio acadêmico é a qualidade do ar dentro dos meios de transporte. Segundo Jenkins et.al. apud Chan (2003), os habitantes de regiões urbanas passam aproximadamente 7% do seu tempo diário em meios de transporte. Assim, o tempo passado dentro de meios de transporte tem uma contribuição a ser considerada na dose de exposição diária a poluentes.

A resolução RE nº 09, da ANVISA de 16 de janeiro de 2003 (BRASIL, 2003) recomenda determinados padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Dentre outros parâmetros, o dióxido de carbono tem seu valor máximo de concentração definido nesta resolução em 1000 ppm e é definido como indicador de renovação de ar externo, recomendado para conforto e bem-estar. Para a temperatura, o padrão estabelecido é de 23°C a 26°C e para umidade relativa do ar, 40% a 65%.

A Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado (ASHRAE) também estabelece um limite de 1000 ppm para a concentração de dióxido de carbono em escolas e 800 ppm para a concentração de dióxido de carbono em escritórios (Prill, 2000).

2 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo a investigação da concentração de material particulado, compostos orgânicos voláteis totais (TVOC, do inglês Total Volatile Organic Compounds), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x) e formaldeído no ar interior de veículos automotores terrestre, sob condições experimentais com sistema de renovação de ar aberto e/ou fechado e diferentes condições de uso, tais como, veículo parado e desligado, veículo parado e ligado, veículo em movimento sob marcha pesada e veículo em movimento sob marcha leve.

3 QUALIDADE DO AR

Poluente atmosférico é toda e qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação. Além disso, tornam ou podem tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Os automóveis são responsáveis por grande parte das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), principalmente em centros urbanos. Devido ao modo de crescimento econômico adotado pelo Brasil pós-guerra, há uma exponencial demanda por meios de transporte rodoviário. A elaboração de novas políticas públicas para o setor faz-se necessário, instituindo tecnologias menos impactantes e mais eficientes.

4 PARÂMETROS

O **monóxido de carbono (CO)** é um gás resultante da queima incompleta do combustível e, inalado, reduz a capacidade do sangue de transportar oxigênio. Muito combatido nos anos 70 e 80 quando os veículos emitiam grandes quantidades, sua emissão foi bastante reduzida com o avanço das tecnologias de combustão e controle (CETESB,2021).

A ameaça da exposição ao monóxido de carbono à saúde é mais séria para quem tem doenças cardiovasculares. Em pessoas saudáveis, a exposição pode afetar a capacidade para realizar exercício, visão, agilidade manual e aprendizado (CETESB,2021).

Os **óxidos de nitrogênio (NOx)** são formados quando o nitrogênio reage com o oxigênio em razão da alta temperatura na câmara de combustão. O NOx participa da formação do “smog” fotoquímico, cujo principal poluente é o ozônio. Contribui também na formação de chuva ácida e do material particulado. Se constitui em um dos poluentes de maior preocupação na atualidade e que requer tecnologias atualizadas de controle, já que sua formação tende a aumentar com a eficiência dos motores, principalmente nos veículos movidos a óleo diesel (CETESB,2021).

Os **compostos orgânicos voláteis (VOC)** são gases e vapores resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos, sendo emitidos pelos veículos, pelas indústrias, pelos processos de estocagem e transferência de combustível etc. Muitos desses compostos, participam ativamente das reações de formação do ozônio. Dentre os compostos orgânicos voláteis presentes nas atmosferas urbanas estão os compostos aromáticos monocíclicos, em particular: benzeno, tolueno, etil-benzeno e xilenos. Os aromáticos monocíclicos são precursores do ozônio e alguns desses compostos podem causar efeitos adversos à saúde (CETESB,2021).

O **dióxido de carbono (CO₂)** é um metabólico expelido naturalmente como subproduto da respiração humana. Além disso, o CO₂ também é gerado em processos de combustão e em veículos motores (Gioda, 2003). Este é um gás incolor e inodoro, cuja concentração típica em ambientes internos varia entre 700 e 2.000 ppm. O CO₂ é um asfixiante, que também pode atuar como irritante no sistema respiratório. Entretanto, é necessária exposição a concentrações extremamente altas (acima de 30.000 ppm) para que ocorram danos significantes à saúde humana. Em concentrações moderadas, o CO₂ pode causar a sensação de desconforto e de que o ambiente está “abafado”. Acima de 30.000 ppm, os efeitos da sua presença são dores de cabeça, tontura e náusea (Jones, 1999).

O **dióxido de Enxofre (SO₂)** resulta principalmente da queima de combustíveis que contém enxofre, como óleo diesel, óleo combustível industrial e gasolina. É um dos principais formadores da chuva ácida. O dióxido de enxofre pode reagir com outras substâncias presentes no ar formando partículas de sulfato que são responsáveis pela redução da visibilidade na atmosfera (CETESB,2021).

A fuligem (partículas sólidas e líquidas), sob a denominação geral de **material particulado (MP)** devido ao seu pequeno tamanho, mantém-se suspensa na atmosfera podendo assim adentrar nas defesas do organismo, atingir os alvéolos pulmonares e ocasionar diversos efeitos negativos a saúde. Seu controle é especialmente importante para veículos de tecnologia diesel, que são os veículos de mais expressiva emissão desse poluente. Outro fator a ser considerado é que essas emissões causam grande incômodo aos pedestres próximos às vias de tráfego. No caso da fuligem (fumaça preta), a coloração e o mau cheiro desta emissão causa de imediato uma atitude de repulsa e pode ainda ocasionar diminuição da segurança e aumento de acidentes de trânsito pela redução da visibilidade (CETESB,2021).

Partículas inaláveis (MP₁₀) podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 10 µm. Dependendo da distribuição de tamanho na faixa de 0 a 10 µm, podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório ou penetrar mais profundamente, alcançando os alvéolos pulmonares (CETESB,2021).

Partículas Inaláveis Finas (MP_{2,5}) podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 2,5 µm. Outra causa do seu tamanho diminuto, penetram profundamente no sistema respiratório, podendo atingir os alvéolos pulmonares (CETESB,2021).

Formaldeído (CH₂O) o formaldeído é um gás incolor em temperatura ambiente, com forte odor característico e altamente inflamável. O principal uso do composto é na produção de resinas com ureia, fenol e melanina e de resinas de poliacetato. As resinas a base de formaldeído são usadas como adesivos e resinas impregnantes na fabricação de painéis, móveis e outros produtos de madeira, na produção de materiais de moldagem (eletrodomésticos, comandos elétricos, telefones), como matéria-prima para revestimentos de superfície e em adubos. Também é empregado na indústria

têxtil, couro, borracha e cimento, como agente desinfetante e conservante, na síntese de outros compostos químicos, entre outros usos. A principal via de exposição humana é a inalatória. Os vapores são irritantes para o nariz, garganta e olhos, mesmo em baixas concentrações. A exposição a altas concentrações (acima de 60 mg/m³) pode causar dispnéia, salivação excessiva, espasmos musculares, coma e eventualmente a morte (CETESB,2021).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Equipamentos de medições

Para atingir o objetivo do trabalho, a realização das medições abordadas nesse tema, foram utilizados equipamentos portáteis de leitura direta por meio de sensor infravermelho fornecidos por laboratório acreditado CGCRE/INMETRO. Segue abaixo equipamentos:

- AdvancedSense Environmental Test Meter – Marca Gray Wolf - Modelo TG-502 PROBE - Calibrado sob certificado nº 46905
- Particulado Medidor de Aerodispersóides - Gray Wolf - Handheld 3016-IAQ - Calibrado sob certificado nº 20285
- Medidor de CO₂ – Marca Temtop - Modelo M2000 2and Generation - Calibrado sob certificado nº GA12102680 REV00
- Medidor de Formaldeído – Marca Haltech – Modelo HAL-HFX205 - Calibrado sob certificado nº 20200306-04

5.2 Condições Experimentais

Para desenvolvimento deste estudo foram utilizados 2 veículos compactos de passeio, abastecidos com etanol, sendo um veículo novo (Volkswagen, Gol 1.0 2021/2021 com aproximadamente 3668 Km percorridos), com filtro do ar original de fábrica e outro veículo seminovo (Chevrolet, Ônix 1.0 2017/2018 com aproximadamente 89.240 km percorridos), com filtro do ar utilizado em aproximadamente 9.240 km.

Realizou-se este experimento sob quatro diferentes condições para cada um dos veículos:

1. Veículo desligado;
2. Veículo ligado, sem movimentação, com marcha em ponto morto;
3. Veículo ligado, sob percurso, em marcha lenta (1ª marcha); e
4. Veículo ligado, sob percurso, em marcha rápida (5ª marcha).

Para cada uma das condições descritas anteriormente, quatro Sub Condições experimentais foram avaliadas:

- a. Veículo com sistema de renovação de ar aberto;

- b. Veículo com sistema de renovação de ar fechado;
 - c. Veículo com sistema de ar condicionado ligado; e
 - d. Veículo com sistema de ar condicionado desligado.
-
- 1º - Ar condicionado desligado e renovação fechada. Carro desligado, carro ligado em ponto morto, carro em 1º marcha com velocidade constante de 15 km/h, carro em 5º marcha com velocidade constante de 90 km/h.
 - 2º - Ar condicionado desligado e renovação aberta. Carro desligado, carro ligado em ponto morto, carro em 1º marcha com velocidade constante de 15 km/h, carro em 5º marcha com velocidade constante de 90 km/h.
 - 3º - Ar condicionado ligado e renovação fechada. Carro desligado, carro ligado em ponto morto, carro em 1º marcha com velocidade constante de 15 km/h, carro em 5º marcha com velocidade constante de 90 km/h.
 - 4º - Ar condicionado ligado e renovação aberta. Carro desligado, carro ligado em ponto morto, carro em 1º marcha com velocidade constante de 15 km/h, carro em 5º marcha com velocidade constante de 90 km/h.

Durante todo o período de testes, motorista e passageiro permaneceram confinados no interior dos veículos com portas e janelas fechadas. Os sensores e medidores foram instalados sobre o banco traseiro dos automóveis, a uma altura de aproximadamente 30 cm, visando a padronização dos testes e replicação da metodologia analítica utilizada para estudos posteriores.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os Quadros 1 a 9 apresentam os resultados obtidos para os experimentos realizados.

Quadro 1: Concentração de TVOC em ambos os automóveis.

Condição Do Veículo	Carro Seminovo		Carro Usado	
	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada
Carro Desligado	Não realizada	>5000 µg/m³	Não realizada	4611 µg/m³
Ar Desligado/Ponto Morto	1179 µg/m³	3625 µg/m³	403 µg/m³	1181 µg/m³
Ar Desligado/1ª Marcha	1623 µg/m³	>5000 µg/m³	473 µg/m³	757 µg/m³
Ar Desligado/5ª Marcha	2548 µg/m³	3237 µg/m³	453 µg/m³	416 µg/m³
Ar Ligado/Ponto Morto	418 µg/m³	595 µg/m³	187 µg/m³	263 µg/m³
Ar Ligado/1ª Marcha	265 µg/m³	495 µg/m³	172 µg/m³	225 µg/m³
Ar Ligado/5ª Marcha	275 µg/m³	3049 µg/m³	171 µg/m³	212 µg/m³

Pode-se verificar que a concentração de TVOC para o carro usado é inferior, quando comparado com o outro veículo de testes.

Quadro 2: Concentração de CO em ambos os automóveis.

Condição Do Veículo	Carro Seminovo		Carro Usado	
	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada
Carro Desligado	Não realizada	23,1 ppm	Não realizada	28,7 ppm
Ar Desligado/Ponto Morto	13,2 ppm	20,5 ppm	14,4 ppm	11,3 ppm
Ar Desligado/1ª Marcha	12,2 ppm	47,1 ppm	5,2 ppm	7,1 ppm
Ar Desligado/5ª Marcha	16,6 ppm	19,1 ppm	2,7 ppm	3,9 ppm
Ar Ligado/Ponto Morto	4,3 ppm	3,7 ppm	0,4 ppm	0,8 ppm
Ar Ligado/1ª Marcha	2,5 ppm	2,6 ppm	1,2 ppm	0,9 ppm
Ar Ligado/5ª Marcha	2 ppm	8,3 ppm	0,8 ppm	2,8 ppm

Nesse parâmetro pode-se observar que a concentração de CO é maior no interior do veículo seminovo, podendo indicar assim possíveis pontos com falta de isolamento no interior do veículo, por onde possam estar passando gases externos.

Quadro 3: Concentração de SOx em ambos os automóveis.

Condição Do Veículo	Carro Seminovo		Carro Usado	
	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada
Carro Desligado	Não realizada	0,3 ppm	Não realizada	0,4 ppm
Ar Desligado/Ponto Morto	0,1 ppm	0,06 ppm	0,2 ppm	0,2 ppm
Ar Desligado/1ª Marcha	<0,01 ppm	<0,01 ppm	0,1 ppm	0,4 ppm
Ar Desligado/5ª Marcha	<0,01 ppm	<0,01 ppm	0,4 ppm	0,6 ppm
Ar Ligado/Ponto Morto	0,1 ppm	0,2 ppm	0,6 ppm	0,6 ppm
Ar Ligado/1ª Marcha	0,2 ppm	0,3 ppm	0,4 ppm	0,6 ppm
Ar Ligado/5ª Marcha	0,4 ppm	0,5 ppm	0,6 ppm	0,6 ppm

Para esse parâmetro de análise, pode-se observar que a concentração de SOx foi maior em veículos usados.

Quadro 4: Concentração de material particulado PM1 em ambos os automóveis.

Condição Do Veículo	Carro Seminovo		Carro Usado	
	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada
Carro Desligado	Não realizada	1,91 µg/m ³	Não realizada	1,7 µg/m ³
Ar Desligado/Ponto Morto	1,27 µg/m ³	0,14 µg/m ³	0,8 µg/m ³	0,14 µg/m ³
Ar Desligado/1ª Marcha	1,13 µg/m ³	0,14 µg/m ³	0,7 µg/m ³	0,15 µg/m ³
Ar Desligado/5ª Marcha	0,66 µg/m ³	0,27 µg/m ³	0,64 µg/m ³	0,37 µg/m ³
Ar Ligado/Ponto Morto	4,04 µg/m ³	0,32 µg/m ³	4,34 µg/m ³	0,51 µg/m ³
Ar Ligado/1ª Marcha	0,6 µg/m ³	0,22 µg/m ³	9,63 µg/m ³	0,89 µg/m ³
Ar Ligado/5ª Marcha	1,16 µg/m ³	0,17 µg/m ³	1,42 µg/m ³	0,47 µg/m ³

Para o material particulado de 1 µg a concentração apresentada no carro seminovo e novo foi maior com a renovação de ar aberta, subentendesse que, o fato do ar passar pelos filtros usados, houve-se um deslocamento do mesmo para dentro dos veículos, assim aumentado a concentração interna.

Quadro 5: Concentração de material particulado PM2,5 em ambos os automóveis.

Condição Do Veículo	Carro Seminovo		Carro Usado	
	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada
Carro Desligado	Não realizada	7,97 µg/m ³	Não realizada	16,67 µg/m ³
Ar Desligado/Ponto Morto	2,41 µg/m ³	0,53 µg/m ³	2,13 µg/m ³	0,58 µg/m ³
Ar Desligado/1ª Marcha	2,19 µg/m ³	0,47 µg/m ³	1,68 µg/m ³	0,49 µg/m ³
Ar Desligado/5ª Marcha	1,01 µg/m ³	0,58 µg/m ³	0,9 µg/m ³	0,56 µg/m ³
Ar Ligado/Ponto Morto	3,3 µg/m ³	0,66 µg/m ³	6,5 µg/m ³	0,94 µg/m ³
Ar Ligado/1ª Marcha	0,85 µg/m ³	0,6 µg/m ³	15,17 µg/m ³	1,27 µg/m ³
Ar Ligado/5ª Marcha	1,24 µg/m ³	0,46 µg/m ³	1,81 µg/m ³	0,68 µg/m ³

Para o material particulado de 2,5 µg a concentração apresentada no carro seminovo e novo foi maior com a renovação de ar aberta, subentendesse que, o fato do ar passar pelos filtros usados, houve-se um deslocamento do mesmo para dentro dos veículos, assim aumentado a concentração interna.

Quadro 6: concentração de material particulado PM10 em ambos os automóveis.

Condição Do Veículo	Carro Seminovo		Carro Usado	
	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada
Carro Desligado	Não realizada	19,51 µg/m³	Não realizada	29 µg/m³
Ar Desligado/Ponto Morto	4,08 µg/m³	3,9 µg/m³	5,5 µg/m³	3,32 µg/m³
Ar Desligado/1ª Marcha	5,44 µg/m³	3,48 µg/m³	3,7 µg/m³	3,22 µg/m³
Ar Desligado/5ª Marcha	3,08 µg/m³	1,95 µg/m³	1,2 µg/m³	1,21 µg/m³
Ar Ligado/Ponto Morto	3,18 µg/m³	9,57 µg/m³	5,84 µg/m³	6,16 µg/m³
Ar Ligado/1ª Marcha	4,71 µg/m³	3,4 µg/m³	4,56 µg/m³	6,39 µg/m³
Ar Ligado/5ª Marcha	2,97 µg/m³	3,51 µg/m³	3,95 µg/m³	2,94 µg/m³

Para o material particulado de 10 µg a concentração apresentada no carro seminovo e novo foi maior com a renovação de ar aberta, subentendendo que, o fato do ar passar pelos filtros usados, houve-se um deslocamento do mesmo para dentro dos veículos, assim aumentado a concentração interna.

Quadro 7: Concentração de formaldeído em ambos os automóveis.

Condição Do Veículo	Carro Seminovo		Carro Usado	
	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada
Carro Desligado	Não realizada	1,981 µg/m³	Não realizada	1,45 µg/m³
Ar Desligado/Ponto Morto	0,103 µg/m³	1,629 µg/m³	0,006 µg/m³	0,506 µg/m³
Ar Desligado/1ª Marcha	0,314 µg/m³	3,696 µg/m³	0,144 µg/m³	0,427 µg/m³
Ar Desligado/5ª Marcha	0,523 µg/m³	1,748 µg/m³	0,489 µg/m³	0,182 µg/m³
Ar Ligado/Ponto Morto	0,158 µg/m³	0,158 µg/m³	0,015 µg/m³	0,038 µg/m³
Ar Ligado/1ª Marcha	0,022 µg/m³	0,142 µg/m³	0,003 µg/m³	0,025 µg/m³
Ar Ligado/5ª Marcha	0,04 µg/m³	1,586 µg/m³	0,005 µg/m³	0,02 µg/m³

Para o parâmetro formaldeído observa-se a baixa concentração para o veículo usado.

Quadro 8: Concentração de CO2 em ambos os automóveis.

Condição Do Veículo	Carro Seminovo		Carro Usado	
	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada
Carro Desligado	Não realizada	> 5000 ppm	Não realizada	4638 ppm
Ar Desligado/Ponto Morto	668 ppm	3263 ppm	632 ppm	3462 ppm
Ar Desligado/1ª Marcha	621 ppm	3354 ppm	577 ppm	3748 ppm
Ar Desligado/5ª Marcha	715 ppm	2632 ppm	560 ppm	2683 ppm
Ar Ligado/Ponto Morto	744 ppm	3961 ppm	717 ppm	3929 ppm
Ar Ligado/1ª Marcha	689 ppm	3656 ppm	744 ppm	3794 ppm
Ar Ligado/5ª Marcha	712 ppm	2764 ppm	705 ppm	2632 ppm

Para o parâmetro analisado, fica evidente que a concentração desse gás é extremamente alta, quanto a renovação do ar está fechada, isso ambos os veículos de teste.

Quadro 9: Concentração de NOx em ambos os automóveis.

Condição Do Veículo	Carro Seminovo		Carro Usado	
	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada	Renovação de ar Aberta	Renovação de ar Fechada
Carro Desligado	Não realizada	<0,001 ppm	Não realizada	<0,001 ppm
Ar Desligado/Ponto Morto	<0,001 ppm	<0,001 ppm	<0,001 ppm	<0,001 ppm
Ar Desligado/1ª Marcha	<0,001 ppm	<0,001 ppm	<0,001 ppm	<0,001 ppm
Ar Desligado/5ª Marcha	<0,001 ppm	<0,001 ppm	<0,001 ppm	<0,001 ppm
Ar Ligado/Ponto Morto	<0,001 ppm	<0,001 ppm	<0,001 ppm	<0,001 ppm
Ar Ligado/1ª Marcha	<0,001 ppm	<0,001 ppm	<0,001 ppm	<0,001 ppm
Ar Ligado/5ª Marcha	<0,001 ppm	<0,001 ppm	<0,001 ppm	<0,001 ppm

Nos primeiros 30 minutos devido à falta de renovação de ar e alta concentração de dióxido de carbono, foi observado fadiga e discreto aumento na sonolência e um dos participantes e após alguns minutos com o carro ligado em ponto morto o novo sintoma foi tontura, devido à alta concentração de monóxido de carbono.

Observou-se que as concentrações de gases nos interiores dos veículos automotores podem ser provenientes dos próprios veículos, como base de parâmetros de referência foi observado nos dados diários publicados pela Cetesb, sobre a qualidade do ar externo que foi apresentado, segundo o índice de qualidade do ar, as condições eram adequadas nas datas dos estudos.

A concentração de particulados no interior dos veículos sofreram um aumento significativo quando a renovação de ar era aberta (enquanto fechada a concentração permaneceu estável), onde conseguimos atingir a quantia média de 15 µg/m³ (informações retiradas do veículo usado), esse valor se manteve em alta até a próxima tomada de testes onde a renovação de ar foi fechada. Contudo foi feito um levantamento para entender sobre esse fato, onde é entendível que o aumento da concentração de particulados, pode ser proveniente dos próprios filtros do equipamento de ar condicionado do carro, pois o mesmo se trata de um veículo usado, onde não teve as trocas de filtros realizadas.

Observou-se ainda que a concentração de dióxido de carbono se eleva de forma extremamente rápida, quando a renovação de ar se fecha, e que em questões de minutos sua concentração chegou ao limite do equipamento obtendo o valor de 5000 ppm.

A concentração de gases como o dióxido de enxofre e monóxido de carbono sofreram grande variação durante o percurso de testes. O CO (monóxido de

carbono) apresentou grande concentração, quando foi apresentado a condição de veículo em movimento e em marcha reduzida, assim forçando o motor. Nessa situação a concentração obteve um pico de 47,1 ppm com a renovação do veículo fechada (quando aberta a concentração reduziu e apresentou o valor de 12,2 ppm). Ou seja, o próprio veículo proporcionou a alta concentração desse gás.

A sonolência é considerada um risco potencial para acidentes de trânsito. A exposição a altos níveis de dióxido de carbono (CO₂) em veículos pode resultar em sensações desagradáveis, fadiga, sonolência ou letargia entre motoristas e passageiros. No entanto, pouco se sabe sobre se a redução dos níveis de CO₂ em veículos pela filtração de ar pode aliviar os efeitos adversos em seres humanos durante a direção.

O monóxido de carbono, resultante da queima, é um gás tóxico que não tem cheiro. Quando inalado, entra na corrente sanguínea e se une à hemoglobina, que é responsável pelo transporte do oxigênio. Em alguns segundos já começa a faltar oxigênio no cérebro, com efeitos imediatos como, turvação visual, cansaço, náusea, podendo chegar a vomitar. Os efeitos vão depender da concentração a que é exposta o indivíduo e conforme a concentração vai subindo, sintomas neurológicos vão se agravando, evoluindo para coma e, eventualmente, morte.

Como aconteceu com a família brasileira morta no Chile no ano de 2019, pela inalação de monóxido de carbono em uma casa. Segundo explicação da BBC News Brasil Gustavo Faibischew Prado, pneumologista da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia (SBPT),

Ele se liga à hemoglobina (substância que dá a cor vermelha ao sangue e é responsável pelo transporte de oxigênio) de forma bastante ávida e estável (muito mais que a ligação entre a hemoglobina e o oxigênio), reduzindo drasticamente a capacidade de transporte de oxigênio no sangue.

A baixa oxigenação do sangue pode gerar desde dores de cabeça e turvação visual, até desorientação, sonolência, perda de consciência, arritmias e depressão cardiovascular, podendo culminar no óbito". (BBC NEWS, 2019)

De acordo com G1 (2019), outro caso foi a morte de uma família na cidade de Santo André, ABC paulista no ano de 2019, onde um aquecedor estava sem a chaminé instalada, os ocupantes da residência inalaram o monóxido de carbono e infelizmente todos vieram a óbito.

7 CONCLUSÃO

Entende-se que a renovação do ar é extremamente necessária para melhoramento das condições de saúde no interior de veículos, uma vez que a concentração de gases tem redução significativa quando comparado as condições sem renovação do ar. Estudos mais aprofundados serão realizados em diferentes épocas do ano, para compreender se a concentração especialmente do CO e SO_x, está ligada diretamente aos modelos de veículos utilizados para elaboração desse estudo. Definitivamente podemos

compreender o quão é necessário a utilização da renovação de ar em qualquer ambiente, onde a falta dele pode acarretar muitas vezes em um cenário comprometedor a saúde pública.

REFERÊNCIAS

Chen, R. Y.; Ho, K. F.; Chang, T. Y.; Hong G. B.; Liu C. W.; Chuang, K. J. In-vehicle carbon dioxide and adverse effects: An air filtration-based intervention study. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720315606>>

BBC NEWS. Brasileiros mortos no Chile: por que vazamento de gás é tão perigoso e como você pode evita-lo. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-48390190>> (2019)

G1. Perícia preliminar indica que família teve morte simultânea em apartamento em Santo André. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2019/07/15/pericia-preliminar-indica-que-familia-teve-morte-simultanea-em-apartamento-em-santo-andre.ghtml>> (2019)

(JONES, 1999; SPENGLER, SAMET e MCCARTHY, 1998). Jenkins et.al. apud Chan (2003), resolução RE no 9, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado (ASHRAE (Brauer, Hsieh e Copes, 2000).

RIBEIRO, R. Perícia preliminar indica que família teve morte simultânea em apartamento em Santo André. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2019/07/15/pericia-preliminar-indica-que-familia-teve-morte-simultanea-em-apartamento-em-santo-andre.ghtml>>

Qualidade do ar 2021. CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/>>

Prill, Rich. Why measure carbon dioxide inside buildings?. Disponível em: <<https://www.energy.wsu.edu/documents/CO2inbuildings.pdf>>