



COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

Emissão de carbono elementar no material particulado de veículos leves

RELATÓRIO

São Paulo
2024



Secretaria de  **SÃO PAULO**
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística GOVERNO DO ESTADO

Emissão de carbono elementar no material particulado de veículos leves

RELATÓRIO

São Paulo
2024

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO
SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA
CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO

Dados Internacionais de Catalogação

(CETESB, Biblioteca, SP, Brasil)

C418e CETESB (São Paulo)

Emissão de carbono elementar no material particulado de veículos leves [recurso eletrônico] : relatório / CETESB ; Equipe técnica Cristiane Ferreira Lopes ... [et al.]. – São Paulo : CETESB, 2024.

1 arquivo de texto (19 p.) : il. color., PDF ; 1 MB

Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/>>

ISBN 978-65-5577-097-1

1. Ar – poluição 2. Carbono 4. Emissões atmosféricas – fontes móveis 3. Emissões veiculares 4. Material particulado 5. São Paulo (BR) 6. Veículos automotores - emissões I. Lopes, Cristiane Ferreira et al. II. Título.

CDD (21.ed. esp.) 629.2028 6 8161

628.53 816 1

363.739 263 816 1

Catalogação na fonte: Margot Terada – CRB 8-4422

Direitos reservados de distribuição e comercialização.
Permitida a reprodução desde que citada a fonte.

© CETESB 2024.

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345

Pinheiros – SP – Brasil – CEP 05459900

FICHA TÉCNICA

Diretoria de Qualidade Ambiental - E

Carolina Fiorillo Mariani

Departamento de Fontes Móveis de Emissão– ET

Carlos Ibsen Vianna Lacava

Departamento de Qualidade Ambiental– EQ

Maria Helena R.B. Martins

Equipe Técnica

Cristiane Ferreira Lopes

Daniele Patrícia R. de Carvalho

Edson Elpídio Neto

Jesuíno Romano

Marcelo Pereira Bales

Piero dos Santos Amadasi

Raphael Bellis de Sousa

Renato de Mello Araújo

Rui de Abrantes

Vanderlei Borsari

Vanderlei Rodrigues Ferreira

Distribuição

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo Av. Prof. Frederico Hermann Jr.,
345 - Alto de Pinheiros Tel. 3133.3000 - CEP 05459-900 - São Paulo/SP – Brasil

Este relatório está disponível na página da CETESB: <cetesb.sp.gov.br>

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. OBJETIVO	7
3. METODOLOGIA.....	7
3.1. Características dos veículos ensaiados.....	7
3.2. Método de ensaio.....	9
4. RESULTADOS.....	12
5. Considerações.....	17
6. REFERÊNCIAS	18
APÊNDICE	21

1. INTRODUÇÃO

O material particulado (MP) é uma mistura complexa de compostos orgânicos e inorgânicos. Quando nos referimos ao MP, geralmente não especificamos sua composição química, considerando apenas a concentração e/ou a massa para uma determinada fração estabelecida pelo diâmetro aerodinâmico. Os valores de concentração de MP na atmosfera para proteção à saúde são baseados em evidências epidemiológicas da associação entre concentrações de tamanho de partícula e um excesso de mortalidade ou efeitos cardiorrespiratórios [1]

Há uma forte relação entre MP e os efeitos da saúde a curto prazo como taxas crescentes de morbidade, câncer de pulmão, doenças cardiovasculares e cardiopulmonares. O tamanho das partículas, sua composição e sua área superficial determinam o potencial de dano à saúde que podem causar. Em geral, quanto menor o tamanho do MP, maior a toxicidade através do estresse oxidativo e dos mecanismos de inflamação [2].

Entre os poluentes considerados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), o material particulado é um dos que causa maior preocupação. Embora a poluição por partículas seja um problema ambiental que afeta pessoas em todo o mundo, os países com renda per capita menor são os mais afetados [3].

Oberdörster [4] relatou que mesmo pequenas concentrações podem levar a efeitos nocivos, uma vez que partículas ultrafinas (diâmetro inferior a $0,1 \mu\text{m}$) contribuem pouco em termos de massa, mas são muito numerosas e podem apresentar concentrações atmosféricas em ambiente urbano de centenas de milhares por cm^3 . Riva et al. [5] também indicaram, em experimentos com ratos, que mesmo baixas concentrações de partículas finas podem levar à inflamação pulmonar. A este respeito, a adoção de uma tecnologia específica na motorização veicular pode ser preocupante. Trata-se da utilização de injeção direta de combustível em veículos com ignição por centelha. Essa tecnologia leva a um menor consumo de combustível, em contrapartida, pode haver aumento na emissão de material particulado ultrafino.

As partículas de carbono na atmosfera consistem em dois componentes - carbono grafítico ou negro ("black carbon" - BC) também chamado de carbono elementar ou livre (C.E.); e material orgânico (carbono orgânico - C.org.). O termo carbono elementar refere-se ao material carbonáceo que não volatiliza abaixo de uma determinada temperatura, geralmente em torno de 550°C [6]. Segundo a Organização Mundial da Saúde, o carbono elementar é um melhor indicador da presença de substâncias danosas no material particulado do que simplesmente a concentração de material particulado. [7].

Avaliar C.E. e C.org. ajuda a monitorar a poluição atmosférica e a implementar medidas de controle. Ambos os componentes estão associados a problemas

respiratórios, doenças cardiovasculares e câncer [9]. Quanto a efeitos climáticos o C.E. é também um agente de aquecimento global [8].

Em 2021 a OMS enfatiza a necessidade de cada vez mais quantificar os diferentes componentes das partículas ultrafinas (tamanho menor que 0,1 μm), destacando-se os componentes carbonáceos [9]. Recomenda a adoção de “Boas Práticas” para a redução das emissões deste poluente uma vez que não há dados suficientes para estabelecimento de um valor-guia.

2.OBJETIVO

Este relatório tem como objetivo apresentar os resultados das medições das parcelas de carbono elementar e carbono orgânico presentes na emissão proveniente do gás de escapamento de três veículos leves, utilizando gasolina (78% gasolina com 22% de etanol anidro em volume), etanol hidratado e óleo diesel como combustível, bem como determinar o percentual (massa/massa) de carbono elementar em relação ao total de carbono emitido. É objetivo também verificar a aplicabilidade da metodologia empregada para as medições que foram realizadas.

3.METODOLOGIA

3.1. Características dos veículos ensaiados

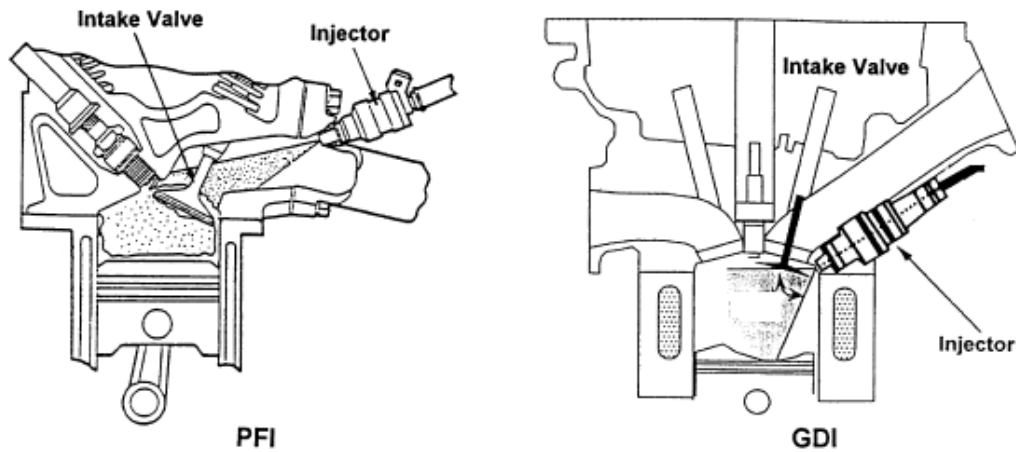
Três veículos em uso foram submetidos a ensaios padronizados em laboratório de emissão veicular para amostragem de material particulado. Foram dois automóveis com motorização bicombustível (“flex”), um com injeção indireta de combustível e um com injeção direta, e um veículo comercial leve (picape) a diesel. A Tabela 1 apresenta as principais características dos veículos.

Tabela 1 – Veículos ensaiados

Veículo	Combustível	Injeção	Deslocamento volumétrico (L)	Ano modelo	Fase do Proconve	Odômetro (km)
fi	Gasolina e etanol	Indireta	1,0	2014	L6	106.000
dd	Diesel	Direta	3,0	2012	L6	164.000
fd	Gasolina e etanol	Direta	1,0	2020	L6	39.000

Os veículos são identificados pelas letras fi, para o veículo “flex” com injeção indireta de combustível, dd para o veículo diesel, e fd para o veículo “flex” de injeção direta.

A Figura 1 mostra esquematicamente a diferença entre o funcionamento da injeção indireta (PFI) e da injeção direta (GDI).



Fonte: [10]

Figura 1 –Esquema de funcionamento das injeções indireta (à esquerda) e direta (à direita) de combustível

A tecnologia de injeção direta permite que o combustível seja injetado diretamente na câmara de combustão.

Com a injeção do combustível sob alta pressão na câmara de combustão, ocorre a vaporização do combustível, e a temperatura na câmara é reduzida, permitindo maiores taxas de compressão. Como resultado, é possível obter menores valores de consumo específico de combustível. Logo que é formada, no entanto, a mistura é heterogênea,

com regiões em que a mistura pode ser mais rica levando a uma tendência de maior formação de material particulado [11].

Foram realizados três ensaios para cada combustível utilizado. Os veículos flex foram testados com etanol e gasolina. Os combustíveis utilizados são especificados pelo Resolução ANP nº 864 de 2021 [12], que estabelece as especificações de combustíveis para ensaios de emissão e consumo.

O veículo fi apresentava uma quilometragem acumulada superior a 80 mil km, que é a quilometragem limite para garantia de atendimento aos limites de emissão por parte do fabricante. Apesar disso as emissões dos poluentes regulamentados, monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não metano (NMHC) e óxidos de nitrogênio (NOx), atenderam os limites da fase do Proconve L6, correspondente ao ano de fabricação do veículo. O veículo dd também tinha quilometragem acima do limite de garantia. As emissões desse veículo, no entanto foram superiores aos limites para os poluentes CO (pouco acima do limite de 2 g/km) e NOx, que se mostrou cerca de 5 vezes superior ao limite. As emissões do veículo fd atenderam aos limites regulamentados. Na Tabela 5 do Apêndice são listados todos os resultados obtidos nos ensaios realizados.

3.2. Método de ensaio

Para a determinação das emissões de material particulado proveniente dos gases de escapamento, os veículos foram ensaiados pelo método descrito na norma ABNT NBR 6601 [13], que é semelhante ao procedimento utilizado pela US EPA (Code of Federal Regulation (CFR), 40 CFR). parte 86, através da utilização do ciclo de condução FTP-75 - Federal Test Procedure. Esta norma prescreve o método para determinação de hidrocarbonetos totais (THC) e hidrocarbonetos não metano (NMHC), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), dióxido de carbono (CO₂) e material particulado (MP) emitido pelo escapamento de veículos leves em condições simuladas de uso normal no trânsito médio urbano. O FTP-75 é um ciclo de três fases que simula a condução em condições de partida a frio (fase 1), condições estabilizadas a quente (fase 2) e condições de partida a quente (fase 3) num percurso urbano (Figura 2).

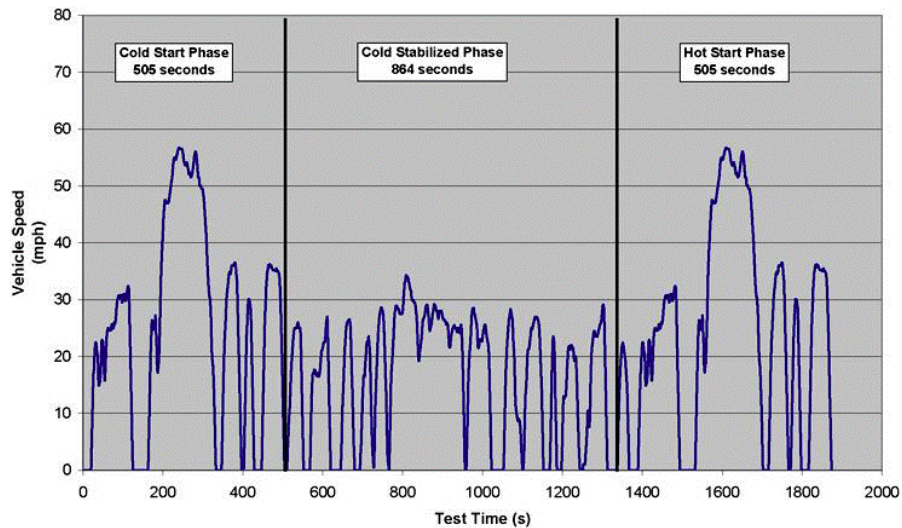


Figura 2 – Ciclo de condução urbana

Um dinamômetro elétrico de rolo único de 48", modelo AVL Roadsim 2WD, do laboratório de emissões veiculares da CETESB foi utilizado nos ensaios. Ele simula as condições reais de inércia e potência resistiva ao deslocamento de cada veículo ensaiado (Figura 3).



Figura 3 – Dinamômetro de chassi do laboratório CETESB

Os gases de exaustão foram diluídos com o ar ambiente do laboratório utilizando um amostrador de volume constante (CVS) modelo AVL CVS I60, e posteriormente coletados em sacos de Tedlar. Este é o procedimento de rotina para o método descrito na norma ABNT NBR 6601. Uma sonda direciona os gases de exaustão também para um porta-filtros. Nele estão dispostos três filtros, um para cada fase do ensaio. Foram utilizados filtros de quartzo com 47 mm de diâmetro, que são os adequados para a análise posterior de determinação das porções de carbono. Para a determinação da massa a emissão foi amostrada em filtros de teflon. A Figura 4 mostra um diagrama dos equipamentos de amostragem.

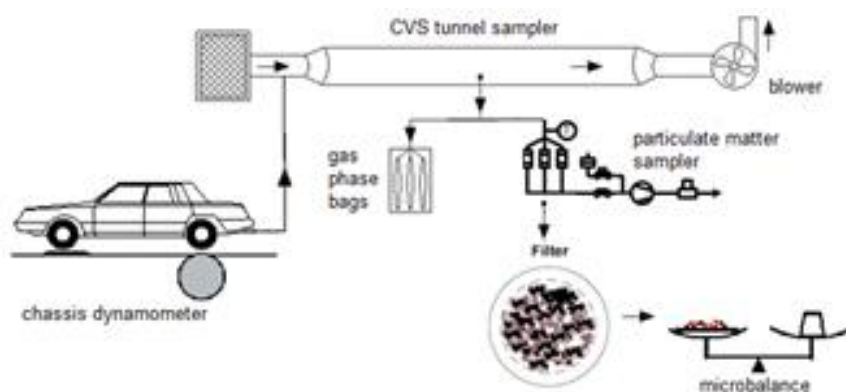


Figura 4 – Conjunto de ensaio e amostragem do laboratório de emissões veiculares da CETESB

A massa do material particulado coletado em filtro de teflon foi determinada por pesagem em micro balança, marca Mettler Toledo, modelo MX5. Os filtros foram condicionados para pesagem, antes e depois da amostragem, em câmara com umidade relativa controlada (cerca de 40%) para evitar alteração de umidade que poderia interferir na medição de massa. As cargas eletrostáticas foram neutralizadas por uma fonte radioativa de amerício (Am-241).

Para determinação dos teores de carbono, o filtro de quartzo é submetido a retirada de uma fração de 1,0 cm² ou 1,5 cm² e introduzida no forno da amostra, sob um fluxo de hélio puro (isento de O₂), e submetida a 4 etapas crescentes de temperatura (140°C, 280°C, 480°C e 580°C). Nessa fase, todo o carbono orgânico (C.Org.) e os carbonatos, se presentes, são volatilizados e removidos do filtro. Ainda nessa primeira fase a conversão pirolítica do C.Org. é monitorada durante toda a análise através da transmitância de luz laser. O C.Org. vaporizado em cada temperatura da primeira fase é imediatamente oxidado a CO₂ no forno de oxidação contendo MnO₂. Um fluxo de gás He com o CO₂ oxidado é conduzido ao metanizador, que reduz o CO₂ a CH₄, que em seguida alcança o detector de ionização de chama.

Com o intuito de corrigir o erro produzido pela pirólise de C.Org., na primeira parte da análise, o escurecimento do filtro é monitorado através da transmitância de luz laser. O monitoramento da luz transmitida através do filtro permite separar o C.E. gerado piroliticamente do existente originalmente na amostra. O momento da análise em que o valor do laser iguala o sinal inicial é o ponto de separação entre o C.E. e o C.E. originado da pirólise. Após a evolução de todo o carbono da amostra, é injetado um volume conhecido de mistura de gás padrão com 5% de metano em He. Com base na resposta do detector de ionização de chama e na transmissão do laser, as quantidades de C.Org. e C.E. são determinadas [14].

A Figura 5 mostra o funcionamento do analisador Sunset Laboratory.

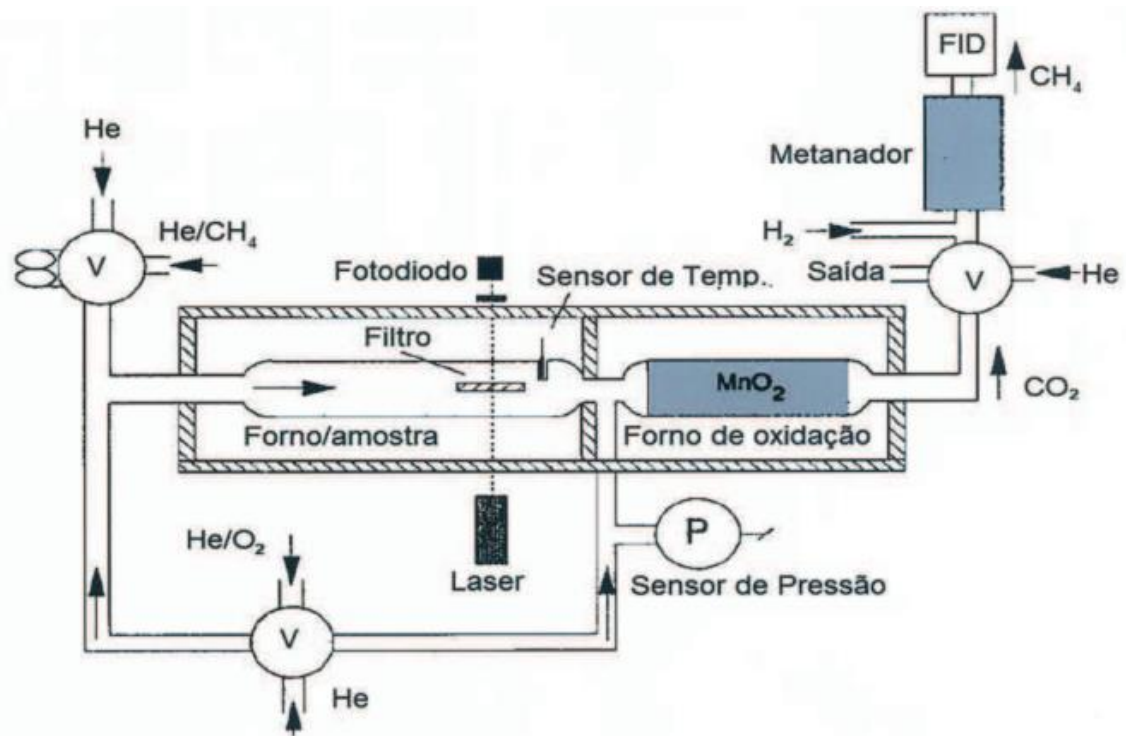


Figura 5 – Esquema de funcionamento do analisador termo-óptico de carbono

Fonte: [8]

Os resultados do analisador termo-óptico são obtidos na unidade $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Para expressá-los na grandeza massa, utiliza-se a área da “mancha” de cada filtro submetido a amostragem. Essa “mancha” é a área que efetivamente foi submetida ao fluxo de material particulado e onde esse material se depositou, com diâmetro de 38 mm e área de $11,34 \text{ cm}^2$.

4. RESULTADOS

Os resultados (média das medições replicadas de cada filtro por combustível) da emissão em massa de material particulado dos ensaios realizados estão apresentados na Tabela 2. A relação de todos os dados obtidos nos ensaios realizados, incluindo os valores da emissão dos poluentes regulamentados e do CO_2 , pode ser visualizada na tabela do Anexo.

Tabela 2 – Resultados médios em massa total amostrada, em cada fase do ciclo de condução

Veículo	Combustível	Massa em μg		
		Fase 1	Fase 2	Fase3
fi	Etanol	8,5	37	15,5
fi	Gasolina	67,3	64	28,6
dd	Diesel	945,3	1908,6	1197,6
fd	Etanol	11,3	9,6	12,3
fd	Gasolina	13	20	9,3

Nota-se que para o veículo fi, de injeção indireta houve uma maior emissão de MP nos ensaios em que se utilizou gasolina em relação aos ensaios em que se utilizou o etanol, do que no veículo fd de injeção direta. A emissão de MP do veículo a diesel foi da ordem de 15 a 30 vezes superior à emissão dos veículos flex utilizando gasolina.

Esses valores de massa total da emissão de material particulado, no entanto não devem ser comparados com os valores de massa de C.E. e C.Org, pois as medições foram realizadas em amostras diferentes e por métodos diferentes conforme descrito no item 3.2.A Tabela 3 mostra a emissão em $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ de carbono orgânico e de carbono elementar medidos pelo analisador termo-óptico, para cada fase do ciclo de condução. Foram realizados 3 ensaios com cada um dos veículos e cada um dos combustíveis.

Tabela 3 – Emissão de carbono orgânico e carbono elementar em $\mu\text{g}/\text{cm}^2$

Veículo	Combustível	Carbono orgânico ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)			Carbono elementar ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)		
		Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
fi	etanol	3,00	2,74	2,64	0,65	3,61	0,65
fi	etanol	1,86	2,85	2,01	0,73	2,31	0,45
fi	etanol	3,17	3,41	2,88	0,65	1,56	1,46
fi	gasolina	3,55	4,67	2,77	3,36	1,81	0,83
fi	gasolina	3,16	3,17	3,72	3,84	2,71	1,15
fi	gasolina	3,01	2,81	2,60	3,73	2,67	0,65
dd	diesel	66,26	107,96	54,45	29,18	41,62	30,02
dd	diesel	26,41	53,29	37,78	20,55	36,75	32,47
dd	diesel	34,58	125,32	69,03	19,94	40,69	36,74
fd	etanol	1,87	2,64	2,41	0,17	0,00	0,00
fd	etanol	1,78	2,53	2,05	0,15	0,00	0,00
fd	etanol	1,56	1,50	1,34	0,00	0,00	0,00
fd	gasolina	2,26	2,49	1,95	0,80	0,29	0,21
fd	gasolina	1,78	1,91	1,83	1,05	0,37	0,24
fd	gasolina	1,86	2,40	1,62	1,43	0,40	0,32

A Tabela 4 mostra a emissão em $\mu\text{g}/\text{km}$ calculada, utilizando o valor da área de amostragem dos filtros de $11,34 \text{ cm}^2$. Os valores são da média ponderada das três fases do ciclo de condução, calculada conforme prescrito na norma ABNT NBR 6601.

Tabela 4 – Emissão média em $\mu\text{g}/\text{km}$ por ensaio replicado de carbono orgânico e carbono elementar

Veículo	Combustível	Carbono orgânico ($\mu\text{g}/\text{km}$)	Carbono elementar ($\mu\text{g}/\text{km}$)
fi	etanol	31,47	24,80
fi	etanol	28,23	16,18
fi	etanol	36,74	17,25
fi	gasolina	43,63	16,40
fi	gasolina	39,86	23,59
fi	gasolina	31,66	20,59
dd	diesel	950,37	416,74
dd	diesel	525,56	398,13
dd	diesel	1117,43	443,93
fd	etanol	29,18	0,07
fd	etanol	26,55	0,06
fd	etanol	16,62	0,00
fd	gasolina	25,98	3,15
fd	gasolina	21,75	3,88
fd	gasolina	23,50	4,65

Pode-se notar que houve uma emissão baixa de carbono elementar no veículo fd que utiliza sistema de injeção direta de combustível. Quando utilizado o etanol essa emissão foi praticamente zero. Pode ter influenciado esse comportamento o fato desse veículo ser o mais novo (seis anos mais novo que o veículo flex fi) e o que apresentava menor quilometragem acumulada.

O gráfico da Figura 6 mostra, para os ensaios realizados com os veículos flex, as médias obtidas dos três ensaios replicados feitos em cada veículo e combustível, expressas em $\mu\text{g}/\text{km}$.

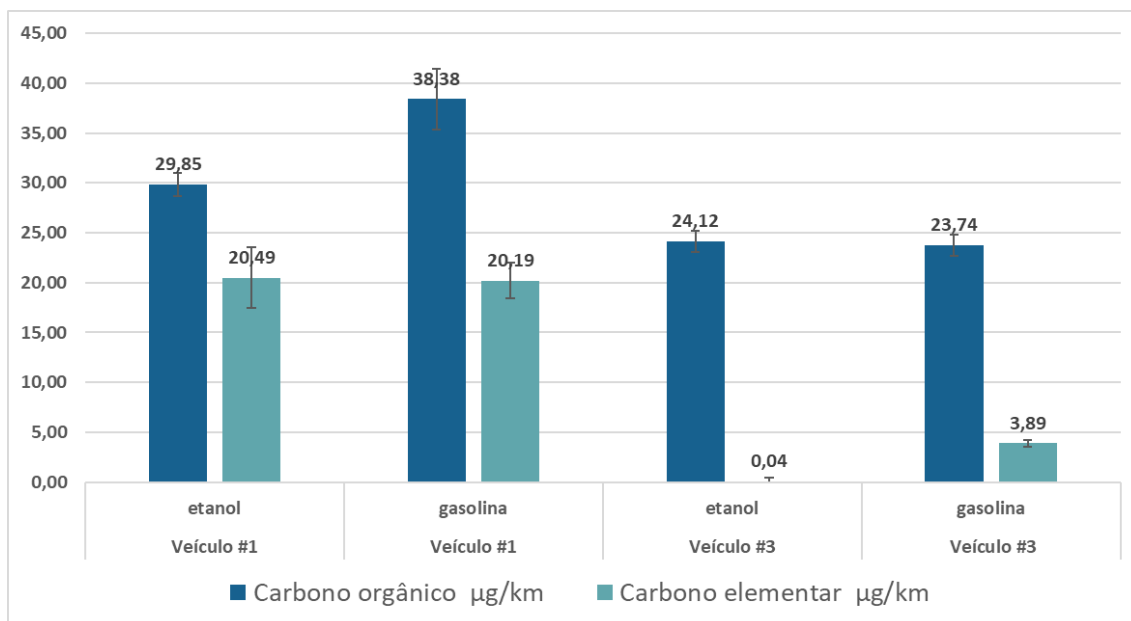


Figura 6 – Emissão média em µg/km dos ensaios replicados de carbono orgânico e carbono elementar para os veículos flex

O gráfico da Figura 7 mostra, para os ensaios realizados com o veículo diesel, as médias obtidas expressas em µg/km. Este gráfico está separado do gráfico da Figura 6 devido à grande diferença a maior na emissão do veículo diesel.

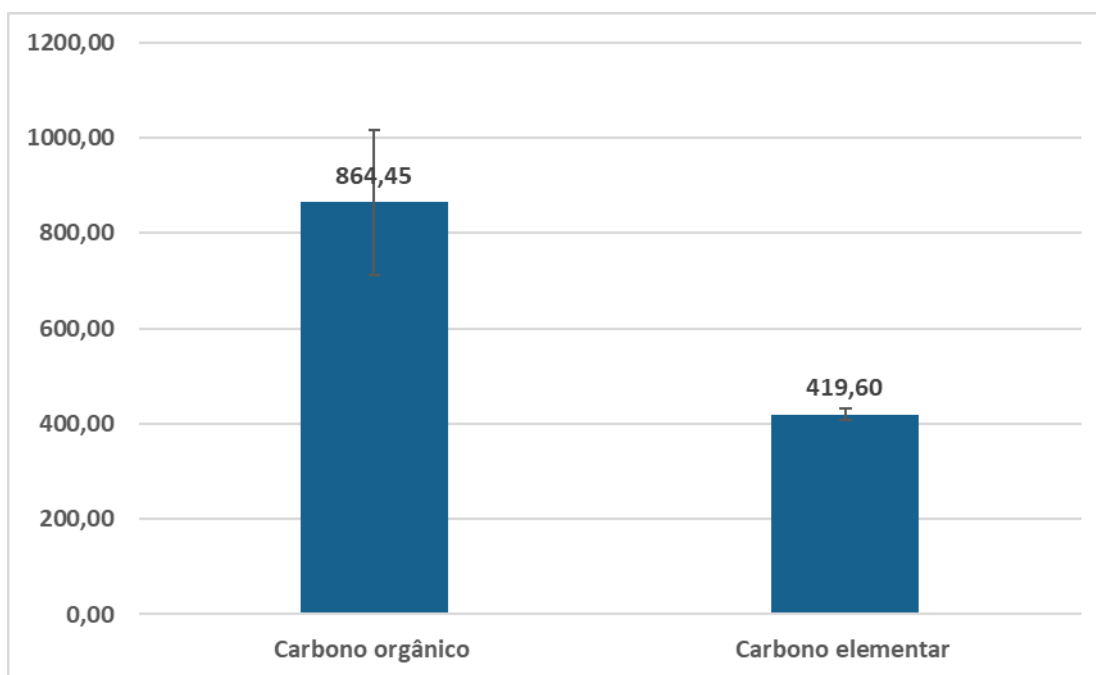


Figura 7 – Emissão média em µg/km dos ensaios replicados de carbono orgânico e carbono elementar para o veículo diesel

O gráfico da Figura 8 mostra a relação entre as emissões de carbono elementar e carbono total (somatório de carbono orgânico e elementar). Na relação C.E./C.T., C.T. é a soma C.E.+C.Org.

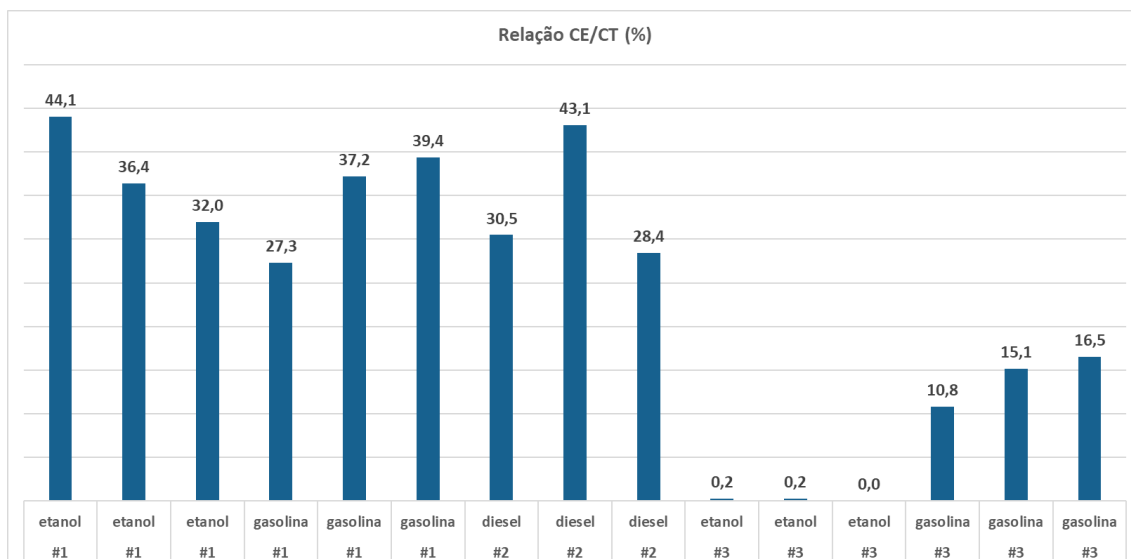


Figura 8 – Relação entre as emissões de carbono elementar e total

Nota-se que essa relação é, embora com uma dispersão considerável entre os ensaios replicados, similar entre os veículos dd, e fi, tanto com o uso de etanol quanto de gasolina. Para o veículo fd, no entanto ela se mostrou da ordem de 2 a 3 vezes menor, nos ensaios a gasolina.

Considerando a média dos ensaios replicados, o percentual de carbono elementar em relação ao total foi de cerca de 35% para o veículo fi quando utilizou gasolina e de cerca de 37% quando utilizou etanol. Para o veículo diesel esse percentual foi de 34%.

Observa-se que a emissão de carbono elementar do veículo fd, injeção direta de combustível, foi muito menor em termos absolutos quando comparada com a emissão do veículo fi, injeção indireta de combustível, ambos veículos flex. Uma hipótese que pode ser lançada para explicar essa diferença é do veículo fd ser mais novo e menos deteriorado que o veículo fi, já que, devido à tecnologia de injeção de combustível utilizada no veículo fd, seria esperado o comportamento inverso ao ocorrido. Não foi possível identificar uma correlação significativa entre a emissão dos poluentes regulamentados e a emissão de carbono elementar.

5. CONSIDERAÇÕES

O carbono elementar é um componente importante das emissões de material particulado de fontes móveis e acredita-se que tenha um efeito líquido significativo de aquecimento atmosférico ao aumentar a absorção da luz solar. Devido a sua característica de alta absorção de energia, as emissões de carbono elementar são consideradas como sendo de grande contribuição para a mudança climática juntamente

com as emissões de CO₂ [15]. A diminuição das emissões de carbono elementar pode ter um benefício imediato tanto para o aquecimento global como para a saúde pública.

Estima-se que 40% das emissões de MP da gasolina sejam carbono elementar [15]. As emissões medidas neste estudo em um dos veículos que utilizou gasolina, assim como no veículo diesel, ficaram próximas a esse valor (relação entre as massas de C.E. e C.T. de cerca de 35%). Isso, porém não ocorreu no veículo equipado com injeção direta de combustível que apresentou, quando utilizando gasolina, um percentual médio de cerca de 15% de carbono elementar em relação ao carbono total, e uma emissão quase zero quando utilizou etanol. Não foi encontrado na literatura estudo relacionado a medição das frações de carbono orgânico e elementar de origem veicular no Brasil. É importante que sejam conduzidos mais estudos que incluam ensaios com uma amostra mais ampla de veículos de injeção direta devido à tendência existente no mercado da adoção dessa tecnologia no intuito da melhoria da eficiência energética dos veículos. Esses estudos adicionais devem levar em consideração também a quilometragem acumulada do veículo.

Este estudo é de caráter preliminar e seus resultados são insuficientes para seja feita uma generalização.

6. REFERÊNCIAS

1. Reiss, R. et al. Evidence of health impacts of sulfate and nitrate-containing particles in ambient air. *Inhalation Toxicology*, v.19, n. 5, p. 419-449, 2007.
2. Valavanidis, A.; Fiotakis, K.; Vlachogianni, T. Airborne particulate matter and human health: toxicological assessment and importance of size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms. *Journal of Environmental Science and Health: part C -Environmental Carcinogenesis and Ecotoxicology Reviews*, London, v. 26, n. 4, p. 339-362, dec. 2008. DOI 10.1080/10590500802494538.
3. WHO. Burden of disease from Household Air Pollution for 2012.[Genebra], mar. 2014. Available at: <http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/FINAL_HAP_AAP_BoD_24March2014.pdf?ua=1>.
4. Oberdörster, G. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 74, n. 1, p. 1-8, nov. 2000.
5. Riva, D.R. et al. Low dose of fine particulate matter (PM 2.5) can induce acute oxidative stress, inflammation and pulmonary impairment in healthy mice. *Inhalation Toxicology*, v. 23, n. 5, p. 257-267, apr. 2011. DOI 10.3109/08958378.2011.566290.

6. Seinfeld, J. H.; Pandis, S. N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. 2nd ed. New Jersey: Willey Interscience, 2006.
- 7.. WHO Regional Office for Europe. Health Effects of Black Carbon, By Nicole AH Janssen et al. Copenhagen: WHO, 2012, 96 p. ISBN 078-92-8900265-3, Disponível em: <https://www.unep.org/resources/redport/health-effects-black-carbon>. Acesso em out.2023
8. Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., DeAngelo, B. J., ... & Zender, C. S. (2013). Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(11), 5380-5552. doi:10.1002/jgrd.50171.
9. WHO Global air quality guidelines Particulate matter (PM_{2,5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide, Geneve: World Health Organization; 2021 ISBN 978-92-4-003422-8 (electronic version) ISBN 978-92-4-003421-1 (print version), Disponível em: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf> Acesso em out.2023
10. ZHAO, F.; LAI, M.-C.; HARRINGTON, D.L. Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 25, 437-562, 1999
11. Luiz C. Daemme, Renato Penteado, Rodrigo S. Ferreira, Marcelo R. Errera, Sergio M. Corrêa, Igor F. Ostapiuk. Particulate matter emissions from flex-fuel vehicles with direct fuel injection, *Atmospheric Pollution Research*, Volume 12, Issue 6, 2021, 101078, ISSN 1309-1042, Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101078>. Acesso em: 10 jul.2024
12. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Resolução ANP nº 864, de 23 de dezembro de 2021. Estabelece as especificações dos combustíveis de referência utilizados nos ensaios de avaliação de consumo de combustível e de emissões veiculares para a homologação de veículos automotores novos e de máquinas agrícolas e rodoviárias novas. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 24 dez. 2021. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-864-2021-estabelece-as-especificacoes-dos-combustiveis-de-referencia-utilizados-nos-ensaios-de-avaliacao-de-consumo-de-combustivel-e-de-emissoes-veiculares-para-a-homologacao-de-veiculos-automotores-novos-e-de-maquinas-agricolas-e-rodoviarias-novas?origin=instituicao>. Acesso em: 4 jul. 2024.
13. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma Brasileira NBR 6601. Veículos rodoviários leves — Determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento. 2021.

14. CETESB. Evolução das concentrações de Carbono Orgânico e Carbono Elementar no MP_{2,5} na atmosfera de São Paulo (Cerqueira César). São Paulo, CETESB, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2021/04/Evolucao-das-concentracoes-de-Carbono-Organico-e-Carbono-Elementar-no-MP25-na-atmosfera-de-Sao-Paulo-Cerqueira-Cesar.pdf>.
15. RAO, V.; SOMERS, J.H. Black carbon as a short-lived climate forcer: a profile of emission sources and co-emitted pollutants. USEPA Emissions Inventory Conference, San Antonio, TX, 2010.

APÊNDICE

Tabela 5 - Resultados brutos dos ensaios

Veículo	Desl. Vol. cm ³	Ano	Odômetro km	Combustível	nº ensaio	CO g/km	CO ₂ g/km	HC g/km	Nox g/km	NMHC g/km	Massa filtro em µg			Carbono orgânico (µg/cm ²)			Carbono elementar (µg/cm ²)			
											fase 1	fase 2	fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	
fi	1000	2014	106.000	etanol	03.05-22	0,734	135,7	0,003	0,03	0,004	9	36	12	3,00	2,74	2,64	0,65	3,61	0,65	
fi	1000	2014	106.000	etanol	03.07-22	0,771	135,3	0,015	0,04	0,009	8	38	19	1,86	2,85	2,01	0,73	2,31	0,45	
fi	1000	2014	106.000	etanol	03.02-22	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3,17	3,41	2,88	0,65	1,56	1,46	
fi	1000	2014	106.000	gasolina	05.01-22	0,133	142,0	0,007	0,04	0,004	71	69	42	3,55	4,67	2,77	3,36	1,81	0,83	
fi	1000	2014	106.000	gasolina	05.02-22	0,139	142,6	0,002	0,04	0,002	66	70	24	3,16	3,17	3,72	3,84	2,71	1,15	
fi	1000	2014	106.000	gasolina	05.03-22	0,156	142,2	0,003	0,04	0,002	65	53	20	3,01	2,81	2,60	3,73	2,67	0,65	
dd	3000	2012	164.000	diesel	07.01-22	2,183	216,6	0,005	1,68	0,003	1385	2059	1197	66,26	107,96	54,45	29,18	41,62	30,02	
dd	3000	2012	164.000	diesel	07.02-22	1,509	200,6	0,004	1,79	0,002	672	1282	979	26,41	53,29	37,78	20,55	36,75	32,47	
dd	3000	2012	164.000	diesel	07.03-22	2,559	221,6	0,006	1,73	0,004	779	2385	1417	34,58	125,32	69,03	19,94	40,69	36,74	
fd	1000	2020	39.600	etanol	01.09.23	0,203	142	0,007	0,02	0,005	22	6	11	1,87	2,64	2,41	0,17	0,00	0,00	
fd	1000	2020	39.600	etanol	01.10.23	0,261	141,4	0,003	0,02	0,002	12	0	17	1,78	2,53	2,05	0,15	0,00	0,00	
fd	1000	2020	39.600	etanol	01.11.23	0,259	140,5	0,002	0,02	0,002	0	23	9	1,56	1,50	1,34	0,00	0,00	0,00	
fd	1000	2020	39.600	gasolina	01.01.23	0,233	156	0,005	0,04	0,003	18	10	0	2,26	2,49	1,95	0,80	0,29	0,21	
fd	1000	2020	39.600	gasolina	01.02.23	0,201	154	0,003	0,06	0,002	0	8	10	1,78	1,91	1,83	1,05	0,37	0,24	
fd	1000	2020	39.600	gasolina	01.03.23	0,205	154,1	0,005	0,06	0,004	21	42	18	1,86	2,40	1,62	1,43	0,40	0,32	

n.d. – não disponível



Secretaria de  **SÃO PAULO**
Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística GOVERNO DO ESTADO

ISBN 978-65-5577-097-1