

Sensoriamento Remoto: Monitoramento da emissão de veículos em uso



RELATÓRIO 1:
OBJETIVOS, METODOLOGIA E
EXECUÇÃO

SENSORIAMENTO REMOTO: MONITORAMENTO DA EMISSÃO DE VEÍCULOS EM USO

SÉRIE DE RELATÓRIOS

RELATÓRIO 1: OBJETIVOS, METODOLOGIA E EXECUÇÃO

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

SÃO PAULO – 2025

Dados Internacionais de Catalogação

(CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

C418s CETESB (São Paulo)
Sensoriamento remoto [recurso eletrônico] : monitoramento da emissão de veículos em uso: relatório 1 : objetivos, metodologia e execução / CETESB ; Equipe técnica Evandro Davi Cobo, Nilton Nudelman, Renato de Mello Araújo. – São Paulo : CETESB, 2025.
1 arquivo de texto (18 p.) : il. color., PDF ; 2 MB.

Série de relatórios.
Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/veicular/relatorios-e-publicacoes/>>
ISBN 978-65-5577-101-5.

1. Ar – qualidade – controle 2. Ar – poluição 3. Emissões atmosféricas 4. Poluição veicular 5. Sensoriamento remoto 6. São Paulo (BR) 7. Veículos automotores I. Título.

CDD (21.ed. Esp.) 363.739 263 816 1
CDU (2.ed. Port.) 502.175:614.71/.72 (815.6)
 629.33:614.71/72 (815.6)

Catalogação na fonte: Margot Terada - CRB 8.4422

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

© CETESB 2025.
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345
Pinheiros – SP – Brasil – CEP 05459900

FICHA TÉCNICA

Diretoria de Qualidade Ambiental - E

Liv Nakashima

Diretora

Departamento de Fontes Móveis de Emissão

Carlos Ibsen Vianna Lacava

Gerente

Equipe Técnica

Evandro Davi Cobo

Nilton Nudelman

Renato de Mello Araújo

Foto de Capa

https://pxhere.com/pt/photo/1201901?utm_content=shareClip&utm_medium=referral&utm_source=pxhere

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 também disponível na página da CETESB: < cetesb.sp.gov.br >

Sumário

1.	Introdução	1
2.	Motivação	2
3.	O Sensoriamento Remoto para Medições de Emissões Veiculares	2
4.	Preparação.....	3
4.1.	Definição do fornecedor do serviço de medição (OPUS).....	4
4.2.	Processo de importação dos equipamentos (envio da Espanha, chegada, liberação).....	5
4.3.	Definição de locais para medição com base nas expectativas definidas para o Projeto	6
5.	Execução	6
5.1.	Estabelecimento de parcerias e alinhamento	6
5.2.	Medições.....	7
5.3.	Medições de ônibus	9
5.4.	Medições de Caminhões Pesados	10
5.5.	Medições de veículos da frota da CETESB	10
6.	Divulgação da campanha.....	11
7.	Considerações Finais	12
8.	Referências	13

1. Introdução

A poluição causada por veículos automotores é um dos principais desafios ambientais enfrentados nas áreas urbanas. Emissões de poluentes como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), hidrocarbonetos (HC) e material particulado (MP) contribuem significativamente para a degradação da qualidade do ar, o que impacta diretamente a saúde pública e o meio ambiente¹. Além de intensificar problemas respiratórios e cardiovasculares na população², a emissão veicular contribui também para o aumento na concentração de gases do efeito estufa e a consequente intensificação das mudanças climáticas^{3,4}.

Diante desses impactos, o monitoramento das emissões veiculares torna-se essencial para o desenvolvimento de políticas públicas e estratégias de gestão da qualidade do ar. Uma das técnicas atualmente disponíveis e que vem sendo aplicada em trabalhos de monitoramento realizados ao redor do mundo é o sensoriamento remoto, que utiliza equipamentos instalados nas vias urbanas para medir, em tempo real, as emissões dos veículos. Esses sensores medem a concentração de gases poluentes, permitindo uma análise precisa do que está sendo liberado na atmosfera^{5,6}.

O Projeto TRUE (The Real Urban Emissions Initiative), parceria da Federação Internacional de Automobilismo (FIA Foundation) e do Conselho Internacional de Transporte Limpo (ICCT), é uma iniciativa internacional que visa, a partir do monitoramento das emissões, contribuir para a redução das emissões de poluentes por veículos automotores, melhorar a qualidade do ar urbano e mitigar as mudanças climáticas⁷. O projeto consiste em medir os poluentes emitidos pelos veículos automotores enquanto circulam nas vias urbanas utilizando equipamentos de sensoriamento remoto. Estes equipamentos detectam diferentes gases poluentes e fornecem uma visão detalhada e atualizada sobre os níveis de poluição de cada tipo de veículo. Os dados obtidos podem então ser usados para embasar políticas ambientais, ajudar na transição para veículos menos poluentes e orientar a população sobre os impactos ambientais dos veículos⁷.

No ano de 2024, a Região Metropolitana de São Paulo teve a oportunidade de ser palco de uma campanha do Projeto TRUE. Este é o primeiro de uma série de relatórios que serão publicados para mostrar os aprendizados, resultados e análises dos dados advindos deste projeto. O presente relatório “Objetivos, Metodologia e Execução” tem o objetivo de apresentar informações acerca do planejamento e execução da campanha de medição, considerando aspectos técnicos e operacionais. Destacam-se as atividades executadas para a operação dos equipamentos nas vias públicas. Os resultados e análises com base nos dados coletados serão apresentados nos próximos relatórios da série.

2. Motivação

A CETESB realiza anualmente um inventário de emissões veiculares de gases poluentes e de gases causadores do efeito estufa. Esse inventário é baseado em fatores de emissão que são obtidos em ensaios de emissões em condições controladas, fornecidos pelas montadoras. Embora os dados utilizados no inventário sejam consistentes e adequados para acompanhar a evolução dos programas de controle de emissões ao longo dos anos, principalmente o PROCONVE e o PROMOT, existem estudos utilizando sensoriamento remoto ou equipamentos a bordo dos veículos que identificaram diferenças bastante significativas entre as emissões obtidas em situação controlada e as emissões em condições reais de uso nas vias⁸.

São diversos os fatores que podem levar à essas discrepâncias entre as emissões desejadas e as emissões reais, tais como: eventuais problemas na produção dos veículos, baixa durabilidade de componentes, a qualidade dos combustíveis e a falta de manutenção adequada. No Brasil, esses aspectos tendem a ser maximizados pela falta de políticas de controle dos veículos após a sua comercialização, tais como programas de inspeção periódica.

A campanha de sensoriamento remoto deve trazer um diagnóstico mais preciso das emissões dos veículos em condições reais de uso e assim fornecer subsídios importantes para as futuras ações de combate às emissões veiculares e melhoria da qualidade do ar nas cidades.

3. O Sensoriamento Remoto para Medições de Emissões Veiculares

Para analisar as emissões de gases, o sensoriamento remoto utiliza a interação entre a radiação eletromagnética (principalmente infravermelha e ultravioleta) e os compostos gasosos presentes no ar. A radiação eletromagnética é emitida ou refletida por uma fonte, e os sensores detectam a absorção dessa radiação pelas moléculas dos gases. A quantidade de radiação absorvida em diferentes comprimentos de onda permite a identificação e a quantificação dos gases no local analisado.

Essa técnica, baseada em medir a absorção de radiação eletromagnética pelas moléculas dos gases, é chamada de espectroscopia. Uma vez que cada gás tem uma onda no espectro única, há a possibilidade de detecção e diferenciação de vários compostos.

Os poluentes possíveis de serem analisados pelo sensoriamento remoto no cenário de emissões de veículos e poluição atmosférica incluem:

- Dióxido de carbono (CO₂): Um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa e uma das emissões mais comuns em processos de combustão de veículos e indústrias.
- Óxidos de Nitrogênio (NO_x): Incluindo óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂), que são poluentes formados no motor de combustão interna dos veículos e têm implicações na qualidade do ar e na formação de “smog” fotoquímico na atmosfera.
- Monóxido de Carbono (CO): Obtido principalmente devido a queima do combustível que não ocorreu de forma completa, é um gás tóxico.
- Metano (CH₄): Um potente gás de efeito estufa, frequentemente emitido por veículos e atividades industriais.
- Partículas em Suspensão (PM_{2,5}, PM₁₀): Embora não sejam gases, essas partículas finas são malélicas à saúde humana e também podem ser monitoradas, usando técnicas que medem a dispersão de radiação na atmosfera.
- Amônia (NH₃): composto tóxico que também tem participação na formação de material particulado secundário fino.

4. Preparação

O contato inicial para a execução do projeto se deu entre o ICCT e a CETESB. Responsável pelas companhias em outras cidades no mundo e tendo escritório em São Paulo, o ICCT entrou em contato com a CETESB ofertando uma parceria na realização de uma campanha TRUE em São Paulo. Embora as campanhas em outros países tenham sido realizadas no nível municipal, a conurbação característica da região metropolitana de São Paulo faz com que haja um compartilhamento importante do tráfego de veículos entre as cidades que compõem essa “mancha” urbana. Para dar prosseguimento ao projeto, foi identificada a necessidade de formalização de um Termo de Cooperação Técnica entre CETESB e ICCT, sendo que o processo de assinatura foi finalizado em 22/02/2023. Conforme prevê o Termo de Cooperação, coube ao ICCT prover todos os recursos financeiros para a execução da campanha, inclusive a contratação da empresa executora das medições.

O Projeto TRUE possui uma parte do escopo pré-definido e uma parte seja alinhada junto as instituições participantes locais, neste caso a CETESB e o ICCT São Paulo, permitindo assim que o projeto possa atender objetivos específicos e que levam em consideração a realidade da região que está sendo alvo do estudo. Durante esta fase de alinhamento foram levantadas, por

exemplo, questões relacionadas aos tipos de motores utilizados pelos veículos, composta na sua maioria por motores flex (gasolina e etanol), assim como o interesse pela medição de amônia (NH₃).

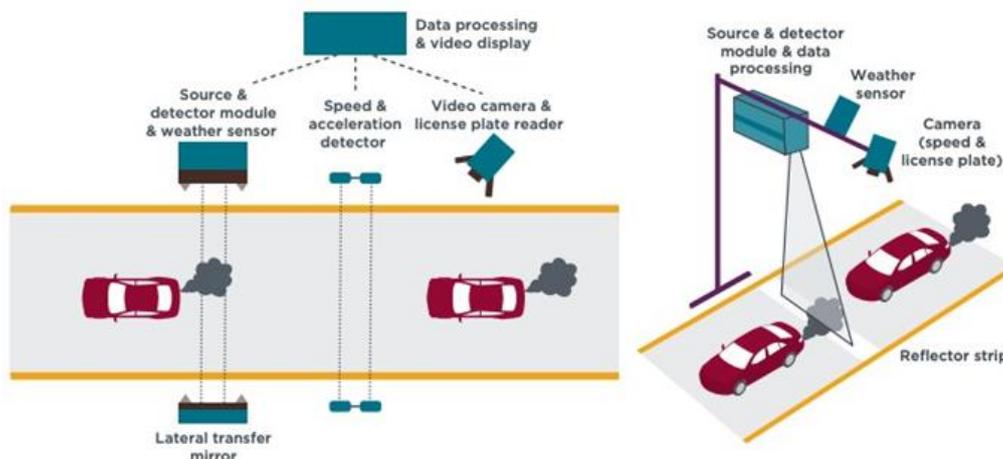
Os gases poluentes que ficaram definidos para serem medidos no projeto foram o CO, NO, NO₂, HC e NH₃.

4.1. Definição do fornecedor do serviço de medição (OPUS)

Foram apresentados dois fornecedores para a prestação de serviço de medição e análise dos dados: OPUS e HEAT, ambos fabricantes dos próprios equipamentos e distintos entre si. A CETESB foi consultada pelo ICCT para que pudesse auxiliar na seleção do fornecedor levando em consideração a tecnologia que melhor pudesse atender as expectativas levantadas na fase de preparação e a estrutura necessária para permitir as medições.

De forma simplificada, o modelo OPUS é instalado ao lado das vias enquanto o modelo HEAT fica suspenso. O modelo HEAT é mais adaptado para medir configurações de vias com múltiplas faixas, mas é mais complexo de instalar e de deslocar, além de necessitar de uma conexão à rede elétrica. O sistema OPUS funciona melhor em vias com faixa única e é mais flexível. No entanto, precisa de uma calibração a cada 2 horas e só funciona com equipe por perto. A figura abaixo ilustra simplificada cada sistema.

Figura 1 – Setup de instalação do sistema de sensoriamento remoto ofertados pelas empresas OPUS (à esquerda) e HEAT (à direita)



Outra diferença é que o modelo da OPUS tem um canal para medição de NH₃ (poluente que vai passar a ser regulado a partir da Fase Europeia Euro 7) e uma leitura de MP que é mais confiável

do que a do sistema HEAT. O sistema HEAT consegue medir HCs especiados, o que pode auxiliar a distinguir veículos usando etanol (algo ainda a ser confirmado), enquanto o OPUS mensura apenas HCs totais. Destacamos na tabela abaixo os dados referentes a esses dois dispositivos. Especificações técnicas podem ser obtidas no site dos fabricantes: HEAT (<https://www.heatremotesensing.com>); OPUS (<https://www.opus.global>)

Tabela 1 - Características dos dois sistemas de medição

Medição Vertical (HEAT)	Medição Horizontal (OPUS)
Pode avaliar mais de uma faixa de rolamento	Portátil, permite que se avalie diferentes locais em pouco tempo
É preciso instalar um refletor na pista	Requer segregação do trânsito para uma única faixa de rolamento
Instalação fixa requer vigilância contínua	Mais suscetível a vandalismo ocasional
É preciso conexão à rede elétrica	Mais adequado para programas piloto
Pode especiar vários HCs	Precisa de calibração em períodos mais curtos
	Pode medir NH ₃

O ICCT deu preferência à contratação da proposta apresentada pela empresa OPUS, sediada na Espanha, pelo fato de os equipamentos apresentarem menor complexidade para instalação nas vias inicialmente consideradas para a realização de medições, além de possibilitar a medição de NH₃.

Além dos equipamentos de medição de poluentes, ambos os sistemas exigem a instalação de câmeras para a leitura das placas dos veículos. A leitura e identificação automática de caracteres das placas é etapa necessária para a posterior identificação e caracterização dos veículos.

4.2. Processo de importação dos equipamentos (envio da Espanha, chegada, liberação)

Uma vez definida a empresa OPUS como fornecedor dos equipamentos e do serviço de coleta e tratamento dos dados, foi dado início aos trâmites necessários para permitir a importação dos equipamentos da Espanha para o Brasil e o estabelecimento de parceria com uma empresa local (Tecsidel) que ficou responsável por auxiliar nos processos alfandegários e operar os equipamentos para a realização das medições.

Problemas relacionados ao processo de importação dos equipamentos ocasionaram um atraso no projeto de aproximadamente 4 meses.

4.3. Definição de locais para medição com base nas expectativas definidas para o Projeto

Durante a fase de preparação, foi definida uma lista prévia de locais para medição. A definição dos locais foi realizada de maneira conjunta envolvendo a OPUS, CETESB e ICCT com base nos critérios técnicos definidos pela OPUS. A lista prévia contava com 20 pontos em 07 municípios, visando conferir ao projeto um caráter metropolitano.

A CETESB realizou visitas técnicas em cada um dos locais definidos na lista com o objetivo de caracterizar melhor cada um dos pontos considerados, ou identificar eventuais restrições que pudessem impedir a realização das medições.

5. Execução

5.1. Estabelecimento de parcerias e alinhamento

Com base na lista prévia de locais que foram levantados durante a fase de preparação, fez-se necessário contatar as entidades responsáveis pela operação e manutenção das vias consideradas para receberem medições. As entidades contatadas foram:

- SECLIMA - Secretaria Executiva de Mudanças Climáticas da Prefeitura de São Paulo
- CET São Paulo – Companhia de Engenharia de Tráfego
- Prefeitura do Município de Santo André
- ARTESP – Agência de Transporte do Estado de São Paulo
- CCR Autoban
- PRF – Polícia Rodoviária Federal
- Metrô – Companhia do Metropolitano de São Paulo
- SPTrans

As entidades foram consultadas sobre a possibilidade de fornecimento de apoio durante as atividades de medição e sobre aspectos relacionados à segurança dos técnicos e dos demais envolvidos em cada um dos pontos considerados.

Além disso, ficaram definidas as formas para encaminhamento de autorização e pedidos de apoio junto às entidades responsáveis pelos pontos de medição, sendo que a grande maioria foi realizada por e-mail. No caso dos pontos localizados no município de São Paulo foi necessário encaminhar as solicitações mediante ordens de serviços registrados na plataforma da CET.

5.2. Medições

As campanhas de medição contaram com dois equipamentos de sensoriamento remoto que permitiram programar medições em dois locais diferentes de forma simultânea.

As duas primeiras semanas de medições contaram com a participação de técnicos da OPUS que vieram da Espanha para treinar os técnicos da empresa Tecsidel, que foi contratada para operar os equipamentos para este projeto.

Foram realizadas no total 62 campanhas de medições entre os dias 08/05/2024 e 05/07/2024.

Das medições consideradas válidas, foram identificadas 150.650 placas de veículos. As figuras 2 e 3 apresentam as medições que foram realizadas em dois diferentes pontos do município de São Paulo.

Figura 2 – Medição na Ponte do Limão

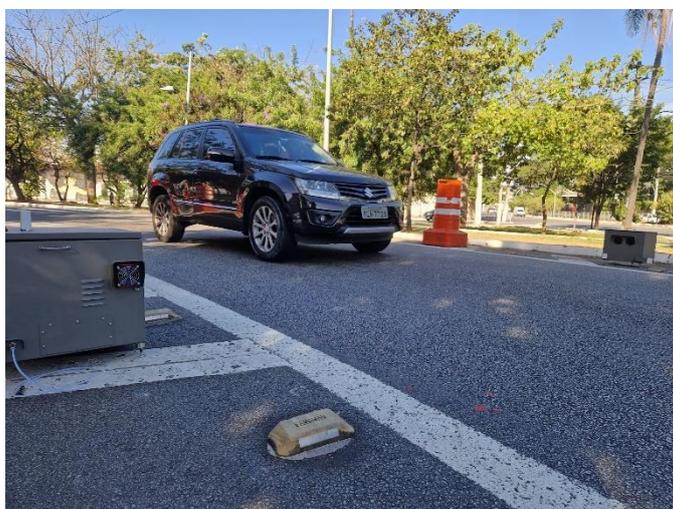


Figura 3 – Medição na Marginal Tietê



As primeiras semanas de medições foram utilizadas para testar os locais levantados na etapa de planejamento e confirmar se estes atendiam as características desejadas para a realização dos trabalhos. Dos 10 pontos que foram inicialmente programados para a campanha, dois deles foram definidos como principais para a realização das medições.

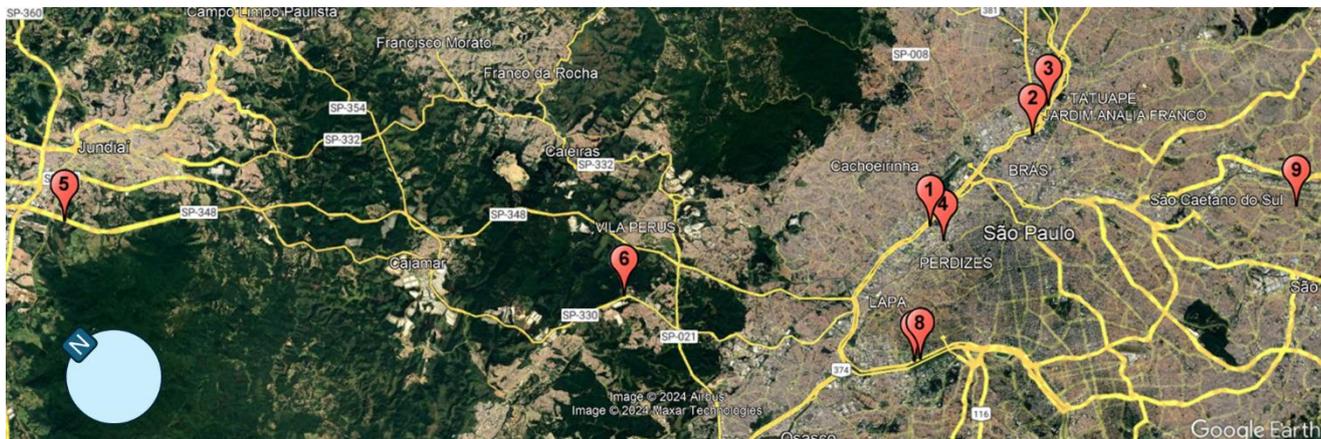
A tabela 2 apresenta a relação de locais utilizados no projeto e a quantidade de vezes em que foram realizadas medições em cada um dos pontos:

Tabela 2 - Descrição dos locais de medição

ID	DESCRIÇÃO	Município	Resp Autorização	Qtd Dias Medição
1	Acesso à Av. Ordem e Progresso (Ponte do Limão)	São Paulo	CET	25
2	Acesso à Av. Guilherme Cotching (Ponte da Vila Maria)	São Paulo	CET	23
3	Acesso à Pista Central da Marg. Tietê, Jardim Andaraí	São Paulo	CET	4
4	Terminal Barra Funda	São Paulo	CET/Metro	3
5	Balança Rodoviária Rod. dos Bandeirantes, km 58	Jundiaí	CCR Autoban	2
6	Retorno da Rod. Anhanguera, km 25	São Paulo	CCR Autoban	1
7	Acesso à Marg. Pinheiros (próximo ao Pq. Vila Lobos)	São Paulo	CET	1
8	Acesso à Av. Dra. Ruth Cardoso (próximo ao Pq. Vila Lobos)	São Paulo	CET	1
9	Av. Prestes Maia, 1097, Santo André	Santo André	DET Sto André	1

A figura 4 apresenta no mapa o local de cada um dos pontos de medição:

Figura 4 – Locais de medição



5.3. Medições de ônibus

Foram dedicados três dias do projeto para realizar medições nos ônibus urbanos que atendem o Município de São Paulo. As medições foram realizadas no terminal Barra Funda nos dias 22, 23 e 24 de maio de 2024.

Devido à saída dos sistemas de escapamento dos ônibus que atendem o município de São Paulo estarem localizados na parte superior dos veículos, fez-se necessário a utilização de plataformas elevatórias para o posicionamento dos equipamentos de sensoriamento remoto a uma altura que possibilitasse a realização das medições dos gases.

Figura 5 – Medições em ônibus urbanos



Figura 6 – Local onde foram posicionados os equipamentos de medição



5.4. Medições de Caminhões Pesados

Nos dias 03 e 04 de julho um dos equipamentos foi dedicado exclusivamente para medições na Balança Rodoviária da Rodovia dos Bandeirantes, km 58.

Durante todo o projeto foi realizada a medição deste tipo de veículo. A atividade na balança rodoviária possibilitará verificar o funcionamento dos equipamentos e aplicação da metodologia para medição de veículos de carga maiores, que circulam principalmente nas rodovias. A análise sobre a eficiência do equipamento para coletar informações de veículos pesados poderá ser observada com base nos resultados que serão apresentados pela OPUS.

5.5. Medições de veículos da frota da CETESB

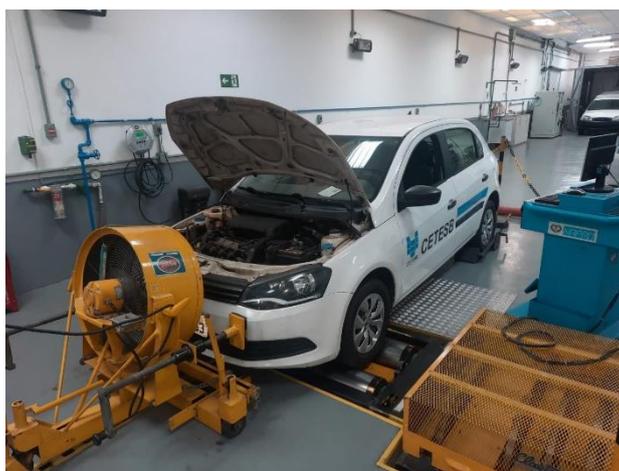
Visando obter uma análise mais aprofundada sobre a metodologia e a capacidade de medição com base no sensoriamento remoto, foram selecionados alguns veículos da frota da CETESB para passarem nos pontos de medição. Estes veículos também foram submetidos à ensaios no laboratório de emissão veicular da CETESB, o que permitirá realizar análises comparativas entre os resultados obtidos no sensoriamento remoto e os resultados dos ensaios em laboratório.

No total foram testados 05 (cinco) veículos da frota da CETESB, sendo 03 (três) flex e 02 (dois) a diesel. Os resultados desta análise comparativa deverão ser apresentados oportunamente em relatório específico.

Figura 6 - Veículo da CETESB passando pelo ponto de medição



Figura 7 - Veículo em ensaio no laboratório de emissões veiculares da Sede



6. Divulgação da campanha

Nos dias 23/05/2024 e 04/06/2024, o ICCT realizou gravações em alguns pontos de medição com o objetivo de publicar um vídeo institucional a respeito do projeto esclarecendo questões técnicas relacionadas a este trabalho e destacando a sua importância para enriquecer a discussão acerca de políticas públicas voltadas para a redução de poluentes gerados por veículos automotores. A gravação contou com entrevistas de representantes do ICCT, CETESB e Tecsidel. O material deverá contribuir para reforçar a importância das medidas voltadas para a redução da poluição veicular, e das parcerias entre instituições de diferentes setores para o alcance de objetivos que beneficiem à sociedade.

Figura 8 - Gravação dia 23/05/2024



Figura 9 - Gravação 04/06/2024



7. Considerações Finais

O caráter interinstitucional deste projeto permitiu o estabelecimento de canais de colaboração que devem ser valorizadas dentre os resultados obtidos, e que possuem potencial para estabelecimento de novas ações relacionadas ao controle e monitoramento de poluentes atmosféricos provenientes de veículos automotores.

O presente relatório se propõe em relatar os principais pontos relacionados à organização e execução das medições, mas não esgota essa questão podendo ser retomado nos próximos relatórios da série.

8. Referências

¹ CARVALHO, Vanessa Silveira Barreto; FREITAS, Edmilson Dias; MARTINS, Leila Droprinchinski; MARTINS, Jorge Alberto; MAZZOLI, Caroline Rosario; ANDRADE, Maria de Fátima. *Air quality status and trends over the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil as a result of emission control policies*. Environmental Science & Policy, v. 47, p. 68-79, 2015.

² WHO (World Health Organization). (2021). Ambient air pollution: Health impacts. Recuperado de [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).

³ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press. Disponível em <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1>

⁴ Jacobson, M. Z. (2012). Air Pollution and Global Warming: History, Science, and Solutions. Cambridge University Press. DOI: 10.1017/CBO9781139115320.

⁵ Qin, Momei, et al. “Modeling Biogenic Secondary Organic Aerosol (BSOA) Formation from Monoterpene Reactions with NO₃: A Case Study of the SOAS Campaign Using CMAQ”. Atmospheric Environment, vol. 184, julho de 2018, p. 146–55. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.042>.

⁶ Sakti, Anjar Dimara, et al. “Multi-Air Pollution Risk Assessment in Southeast Asia Region Using Integrated Remote Sensing and Socio-Economic Data Products”. Science of The Total Environment, vol. 854, janeiro de 2023, p. 158825. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158825>.

⁷ TRUE. The Real Urban Emissions Initiative, <https://www.trueinitiative.org/>. Acesso em 4 de novembro de 2024.

⁸ Lonati, Giovanni. “Discrepancies between EU type approval limits and real-world vehicle emissions: impact assessment on air quality in Lombardy”. <https://www.politesi.polimi.it/handle/10589/166880>. Acesso em 10 de dezembro de 2024.