

OUTUBRO DE 2026

BOLETIM DE LOGÍSTICA

EMISSIONES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PELO SETOR DE TRANSPORTES



 [infrasaoficial](#)
 [infra.oficial](#)
 [infra-oficial](#)
 [infrasa.oficial](#)

 observatório@infrasa.gov.br
 institucional@infrasa.gov.br
 www.ontl.infrasa.gov.br
 www.infrasa.gov.br

OUTUBRO DE 2026

BOLETIM DE LOGÍSTICA

EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS PELO SETOR DE TRANSPORTES



EQUIPE

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Luiz Inácio Lula da Silva

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

George André Palermo Santoro

INFRA S.A.

DIRETOR-PRESIDENTE

Jorge Luiz Macedo Bastos

DIRETORA DE ADMINISTRAÇÃO E FINANÇAS

Elisabeth Alves da Silva Braga

DIRETOR DE EMPREENDIMENTOS

André Luis Ludolfo da Silva

DIRETOR DE PLANEJAMENTO - SUBSTITUTO

André Luis Ludolfo da Silva

DIRETOR DE MERCADO E INOVAÇÃO

Marcelo Vinaud Prado

SUPERINTENDENTE DE INTELIGÊNCIA DE MERCADO

Lilian de Alencar Pinto Campos

GERENTE DE INOVAÇÃO

Sirléa de Fátima Ferreira Leal Moura

ASSESSORIA TÉCNICA

Nícolas Guimarães Ohofugi

Venina de Souza Oliveira

Vinícius Hiago e Silva Gerônimo

Thiago Santos da Cunha

COLABORADORES

Adriana Vanessa Mendes Moreira – Diagramação

Mariane Gonzalez – Redação

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - UFC

Bruno Vieira Bertoncini

Francisco Gildemir Ferreira da Silva

Danielo Gonçalves Gomes

Alexandre da Costa Cunha

Rafaella Pessoa

Demóstenis Ramos Cassiano

Julie Anne Holanda Azevedo

Jairo Ivo de Castro Brito

Thiago Iachiley Araújo de Souza

Leina Maria Herculano Pinheiro

Bruno Reges Almeida de Brito

Observatório Nacional de Transporte e Logística – ONTL Infra S.A.

Endereço: SAUS, Quadra 01, Bloco G, Lotes 3 e 5, Asa Sul, Brasília - DF - 70.070-010

E-mail: ontl@infrasa.gov.br / institucional@infrasa.gov.br

Site: www.infrasa.gov.br / www.ontl.infrasa.gov.br

SUMÁRIO

Capítulo 1 – POLUENTES ATMOSFÉRICOS	05
▫ 1.1. Objetivo	11
▫ 1.2. Emissões por modo de transporte	11
Capítulo 2 – QUALIDADE DO AR E IMPACTOS NA SAÚDE	17
Capítulo 3 – MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR	23
▫ 3.1. Métodos de monitoramento de referência e complementares	30
▫ 3.2. Índice de Qualidade do Ar (IQAr)	31
Capítulo 4 – POLÍTICAS E REGULAMENTAÇÕES NO BRASIL	33
▫ 4.1. Política Nacional de Qualidade do Ar (Lei nº 14.850/2024)	36
▫ 4.2. Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Resolução CONAMAnº506/2024)	36
▫ 4.3. Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (Pronar)	37
▫ 4.4. MelhorAR	39
Capítulo 5 – BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS	40
Capítulo 6 – PROJETO VITAE – MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR	55
Capítulo 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
Capítulo 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68



POLUENTES ATMOSFÉRICOS



1. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

O debate sobre as emissões do setor de transportes tem sido focado nos gases de efeito estufa (GEE), responsáveis pelo aquecimento global e pelos impactos das mudanças do clima. No entanto, as emissões veiculares envolvem também um conjunto de poluentes atmosféricos (PA), que podem apresentar efeito local e regional, impactando significativamente a qualidade do ar, sobretudo no ambiente urbano, e na saúde das populações expostas.

De modo geral, enquanto as emissões de GEE estão relacionadas ao conteúdo da fonte energética, como o conteúdo de carbono e enxofre, por outro lado, as emissões de PA são influenciadas também pela tecnologia do veículo, como o tipo de motor, associada a combustão incompleta dos gases, e pela tecnologia de tratamento dos gases de escape, realizada por meio de conversores catalíticos. A qualidade do combustível também impacta nas emissões de PA, a depender, por exemplo, do conteúdo de enxofre, e dos gases normalmente presentes na atmosfera, como o nitrogênio (N_2) e o oxigênio (O_2), que reagem nas altas temperaturas durante o processo de combustão (1,2,3). Por isso, dois veículos com consumo energético semelhante podem apresentar perfis de emissão de PA distintos, conforme o nível tecnológico em que se enquadram.

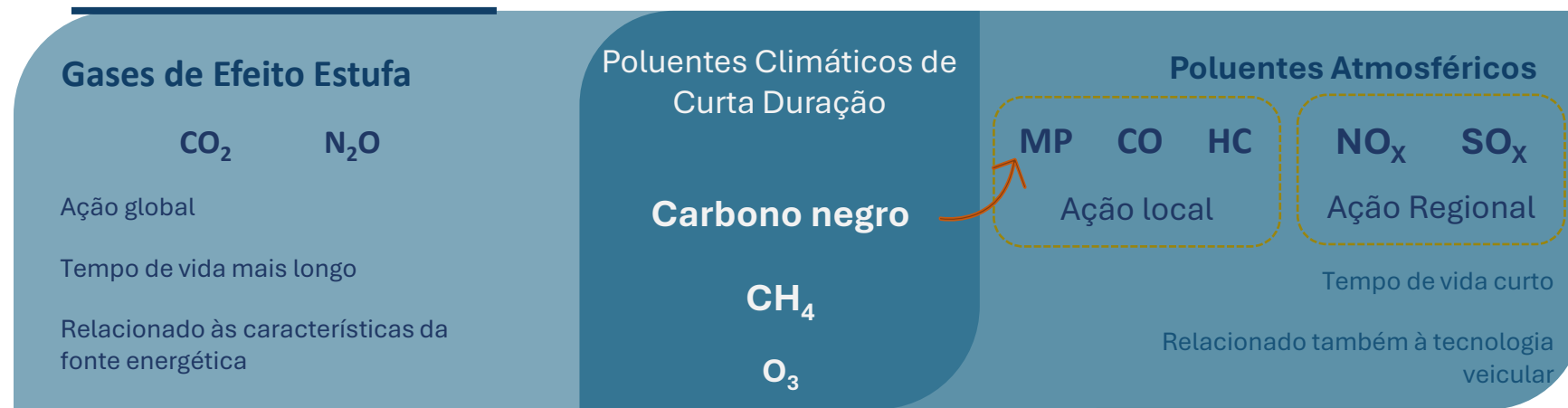
Os principais poluentes emitidos pelos veículos do setor de transportes incluem os óxidos de nitrogênio (NOX), o monóxido de carbono (CO), o material particulado, que podem apresentar tamanho inferior a 10 ou 2,5 micrômetros

(MP10 e MP2,5), o dióxido de enxofre (SO_2), o carbono negro (black carbon) e os compostos orgânicos voláteis (COV), como, por exemplo os Hidrocarbonetos (HC) (4,5,6). Esses poluentes podem ser primários, quando são emitidos diretamente pela fonte, ou secundários, formados na atmosfera a partir de reações fotoquímicas, como ocorre na formação do ozônio troposférico O_3 a partir da interação entre NO_x e COVs. Ainda, a oxidação do CO por radicais hidroxila OH resulta na formação de CO_2 , um importante gás de efeito estufa com impacto de escala global (7).; assim como NO, um poluente primário expelido diretamente pelos escapamentos de veículos e queimadores industriais que em conjunto com oxigênio (O_2) ou o ozônio (O_3) atmosférico, resulta em NO_2 , que tem efeitos sobre a saúde humana e pode resultar em impactos ambientais, como precursor de O_3 , chuva ácida, eutrofização e formação de material particulado. Embora o NO_2 também possa ser formado diretamente por meio de processos que ocorrem na câmara de combustão, principalmente dos motores ciclo diesel decorrentes das altas pressões e temperaturas da câmara.

Estima-se que o setor de transporte representa cerca de 35% das emissões globais de CO, cerca de 30% das emissões de hidrocarbonetos (HC) e aproximadamente 25% das emissões de NO_x (8) provenientes de veículos à diesel (9), com participação significativa também nas emissões de MP (8,9).

1. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Figura 1 – Principais emissões do setor de transportes



Fonte: Elaboração própria com base em (1)

As diferenças entre GEE e PA consistem no tempo de permanência na atmosfera, a escala de ação e a causa, sendo a compreensão dessas diferenças essencial para o desenho de políticas públicas eficazes. Os GEE atuam em escala global, com tempo de permanência na atmosfera que varia de poucos anos a milênios, e contribuem para o aquecimento do planeta. Por outro lado, os PA atuam em escala local e regional, com tempos de residência atmosférica mais curtos, da ordem de horas a dias, e produzem efeitos diretos sobre a qualidade do ar.

Há, contudo, sobreposições importantes. O carbono negro (*black carbon*), por exemplo, é simultaneamente um componente do $\text{MP}_{2,5}$ e, portanto, um poluente atmosférico, mas que também atua como uma forçante climática de curta duração, com potencial de aquecimento global superior ao do CO_2 em horizontes

curtos de tempo. Da mesma forma, gases como o metano (CH_4) e o ozônio troposférico (O_3) integram a categoria dos Poluentes Climáticos de Curta Duração (*Short-Lived Climate Pollutants* - SLCP), que apresentam impactos duplos sobre o clima e sobre a saúde humana (10).

Essa dupla natureza reforça a importância de políticas integradas, que tratem conjuntamente da mitigação de GEE e da redução das emissões de PA, promovendo cobenefícios climáticos e de saúde pública.

1. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Poluentes Atmosféricos

MP

Material Particulado

Consiste em partículas inaláveis presentes na atmosfera, compostas por sulfatos, nitratos, amônia, cloreto de sódio, carbono negro, poeira mineral e água. As partículas são geralmente classificadas pelo diâmetro aerodinâmico, sendo o MP_{10} (partículas com diâmetro inferior a 10 micrômetros) e o $MP_{2,5}$ (inferior a 2,5 micrômetros) as frações mais relevantes para a regulação ambiental e para os efeitos à saúde.

As partículas grossas, com diâmetro entre 2,5 μm e 10 μm , têm origem em pólen, sal marinho, poeira de erosão eólica, vias rodoviárias e atividades agrícolas. As partículas finas ($MP_{2,5}$) provêm de fontes primárias, como a combustão de combustíveis em motores veiculares, usinas termoeletricas e processos industriais, e de fontes secundárias, formadas na atmosfera a partir de reações químicas entre gases como NO_x , SO_2 e amônia. As partículas de fuligem presentes no $MP_{2,5}$ são compostas principalmente por hidrocarbonetos não queimados, carbono negro e carbono orgânico, com características físico-químicas variáveis conforme a fonte de combustão (Fayyazbakhsh et al., 2022).

CO

Monóxido de Carbono

O monóxido de carbono é um gás incolor e inodoro, resultante da combustão incompleta de combustíveis carbonados, como derivados de petróleo, gás natural, carvão e biomassa. Em ambientes externos, a principal fonte de CO são os veículos automotores.

NO_2

Dióxido de Nitrogênio

O dióxido de nitrogênio é um gás de coloração marrom-avermelhada, solúvel em água e fortemente oxidante. No ambiente externo, suas principais fontes são processos de combustão a altas temperaturas, como os ocorridos em motores veiculares, na geração de energia, em processos industriais e em sistemas de aquecimento. O NO_2 é um precursor importante do ozônio troposférico, poluente fortemente associado a quadros respiratórios.

SO_2

Dióxido de Enxofre

É um gás incolor, prontamente solúvel em água, originado predominantemente da queima de combustíveis fósseis com teor de enxofre, especialmente em sistemas industriais, na geração de energia, no aquecimento doméstico em algumas regiões e em motores diesel com uso de combustível com alto teor de enxofre. A exposição ao SO_2 está associada ao aumento de internações hospitalares e atendimentos de emergência por asma, além de outros efeitos respiratórios.

1. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Poluentes Atmosféricos

O₃

Ozônio Troposférico

O monóxido de carbono é um gás incolor e inodoro, resultante da combustão incompleta de combustíveis carbonados, como derivados de petróleo, gás natural, carvão e biomassa. Em ambientes externos, a principal fonte de CO são os veículos automotores.

UFP

Partículas Ultrafinas

As partículas ultrafinas (*Ultrafine Particles*, UFP) são frações do material particulado com diâmetro inferior ou igual a 0,1 micrômetro. Suas principais fontes são processos de combustão em transportes (rodoviário, aéreo e marítimo), em plantas industriais e termoeletricas e no aquecimento residencial. A exposição às UFP está associada ao aumento do risco de doenças pulmonares, cardiovasculares e isquêmicas do coração.

HPA

Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos estão presentes na atmosfera predominantemente na forma particulada. Formam-se a partir da combustão incompleta de matéria orgânica e de combustíveis fósseis, com destaque para motores diesel, fornos de coqueificação e queima de biomassa.

Carbano Negro

Carbano Negro

O carbono negro, popularmente conhecido como fuligem, é um dos principais componentes do MP_{2,5} e tem origem na combustão incompleta de combustíveis fósseis, biocombustíveis e biomassa. No setor de transportes, sua principal fonte são os motores diesel, com destaque para caminhões, ônibus e equipamentos pesados *off-road*, como locomotivas. Veículos a gasolina e embarcações marítimas internacionais também contribuem significativamente para o total emitido pelo setor. Também é um forçante climático de curta duração, com elevada capacidade de absorção da radiação solar. Embora permaneça na atmosfera apenas dias a semanas, exerce impactos significativos sobre o clima, sobre a criosfera, ao acelerar o degelo de geleiras quando depositado sobre superfícies de neve e gelo, sobre a agricultura e sobre a saúde humana. Em 2019, foram emitidas cerca de 5,8 milhões de toneladas de carbono negro no mundo, das quais aproximadamente 43% foram atribuídas ao setor de transportes. (Dumitrescu, 2025).

1. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Poluentes Atmosféricos

PB

Chumbo

O chumbo, em sua forma elemental ou em compostos particulados, pode ser encontrado em poeiras contaminadas oriundas de tintas, cerâmicas, tubulações antigas, soldas, baterias e cosméticos. Historicamente, foi adicionado à gasolina como agente antidetonante, prática hoje proibida no Brasil e na maioria dos países. O chumbo apresenta riscos elevados para crianças e gestantes. Em crianças, está associado a problemas de comportamento e aprendizagem, redução do QI, hiperatividade, retardo no crescimento, problemas auditivos e anemia. Em adultos, o risco de efeitos cardiovasculares, aumento da pressão arterial, hipertensão e redução da função renal é elevado.

Fonte: (10,9,11,12)

Outros

Ainda, há, em ambientes externos urbanos, os compostos orgânicos voláteis (COV), incluindo benzeno e formaldeído, e a amônia (NH_3), emitidos por fontes veiculares ou formados secundariamente. O formaldeído, em particular, está classificado pela Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC – *International Agency for Research on Cancer*) como cancerígeno para humanos, associado a câncer de nasofaringe em exposições prolongadas.

1. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

1.1. Objetivo

Este Boletim tem como objetivo apresentar um panorama dos PA associados ao setor de transportes, com foco no modo rodoviário, principal responsável pelas emissões em centros urbanos, onde está concentrada cerca de 87% da população brasileira. O panorama é complementado por uma visão geral dos demais modos. Ainda, apresenta os impactos sobre a qualidade do ar e a saúde da população exposta, os fundamentos do monitoramento da qualidade do ar, o arcabouço regulatório brasileiro voltado ao controle dessas emissões e exemplos de boas práticas internacionais. Por fim, apresenta a iniciativa da INFRA S.A. em parceria com a Universidade Federal do Ceará (UFC), por meio do seu Grupo de Pesquisa em Transporte e Meio Ambiente – TRAMA, para o monitoramento da qualidade do ar, com as atividades desenvolvidas no âmbito do projeto Vida Integrada, Transporte, Ambiente e Eficiência – VITAE, em áreas próximas à fluxos intensos do transporte, como rodovias e aeroportos, de modo a estudar a associação das emissões do setor com a saúde da população exposta.

1.2. Emissões por modo de transporte

No Brasil, conforme o painel setorial do *Pollution Action Note* do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (13), a população está exposta a uma média anual de $11,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, tendo a indústria como principal setor emissor, com 27,4%. Embora a participação percentual do setor de transportes (cerca de 6,5%) não seja a maior, sua relevância para a qualidade do ar é alta em áreas urbanas densamente povoadas, em que as fontes de emissões estão, muitas vezes, próximas ao nível do solo e à altura respiratória da população.

O modo rodoviário é o principal responsável pelas emissões de PA do setor de transportes em centros urbanos brasileiros. As emissões originam-se tanto da

queima do combustível (escapamento), quanto do desgaste de pneus, freios e pavimento, bem como da ressuspensão de partículas, fontes não relacionadas à combustão que ganham importância relativa à medida que os padrões do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE, reduzem as emissões de escape, assim como devido ao aumento da participação de veículos elétricos na composição das frotas em centros urbanos.

No transporte rodoviário, motores a combustão interna emitem óxidos de nitrogênio (NO_x), compostos orgânicos voláteis (COV) e monóxido de carbono (CO), precursores principais do ozônio troposférico e do smog fotoquímico, além de material particulado fino ($\text{MP}_{2,5}$), fator de grande relevância para a poluição atmosférica urbana e seus impactos sanitários associados (14). Também são liberados outros poluentes nocivos, entre eles o dióxido de enxofre (SO_2), a amônia (NH_3) e perigosos como benzeno, formaldeído e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.

Caminhões, ônibus e veículos comerciais leves a diesel são as principais fontes de carbono negro de origem veicular, seguidos por equipamentos diesel *off-road*, incluindo locomotivas e máquinas pesadas. Veículos a gasolina em circulação rodoviária e embarcações marítimas internacionais também contribuem expressivamente para as emissões totais do setor (10). O transporte rodoviário é, ainda, um emissor relevante de Poluentes Climáticos de Curta Duração (PCCDV), em especial de carbono negro proveniente de motores diesel utilizados no transporte de cargas e de passageiros (14).

1. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Dados do 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários, atualizado em dezembro de 2025 pelo Ministério dos Transportes e pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, com apoio técnico do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), indicam uma trajetória de redução expressiva nas emissões absolutas de poluentes regulados pelo PROCONVE ao longo das últimas décadas, ainda que a frota nacional tenha ultrapassado 71 milhões de veículos em 2024 (15). As emissões de monóxido de carbono caíram de aproximadamente 5,5 milhões de toneladas em 1991 para cerca de 1 milhão de toneladas em 2024. As emissões de NO_x, das quais o diesel responde por aproximadamente 87%, também registraram redução significativa a partir do final dos anos 1990. Para o material particulado, embora as emissões de combustão tenham diminuído, as emissões oriundas do desgaste de pneus, freios e pavimento aumentaram e hoje representam aproximadamente metade do total do poluente (15).

Esse perfil indica que as próximas reduções dependerão, simultaneamente, do avanço tecnológico dos motores e do controle de fontes não veiculares e não relacionadas à combustão, com destaque para a renovação de frota, a eletrificação, a melhoria do combustível e a gestão do desgaste de pavimentos.

Em São Paulo, dados sistematizados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) indicam que os automóveis são os maiores emissores de monóxido de carbono e de compostos orgânicos voláteis, enquanto os caminhões respondem pelas maiores emissões de material particulado, óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre, padrão consistente com a maior contribuição do diesel para os poluentes de combustão pesada (16). A CETESB identifica os óxidos de nitrogênio (NO_x) e o material particulado (MP) como os principais poluentes a serem monitorados nas emissões provenientes de ônibus (17).

Ainda que os Fatores de Emissão (FE) dos veículos novos estejam decrescendo, o aumento da frota de veículos e os congestionamentos das vias comprometem em parte os avanços tecnológicos. Além disso, a parcela com tecnologia defasada ainda é significativa, agravando o quadro de poluição em meio urbano (18).

As locomotivas a diesel apresentam perfis de emissão semelhantes aos dos demais motores a diesel, com destaque para NO_x, MP, carbono negro e SO₂, ainda que em magnitudes relativas inferiores ao rodoviário em função do menor consumo energético por tonelada-quilômetro transportada. Apesar do menor impacto agregado, a operação ferroviária pode gerar concentrações localizadas elevadas em pátios, terminais intermodais e travessias urbanas, especialmente em locomotivas mais antigas. A renovação tecnológica da frota, a adoção de filtros de particulados e a eventual eletrificação de trechos críticos são estratégias relevantes para a redução das emissões locais.

As emissões portuárias resultam da operação de embarcações em manobra e atracação, do funcionamento de motores auxiliares para geração de energia a bordo (sistemas hoteleiros), das atividades de movimentação de carga e do tráfego rodoviário e ferroviário associado. Os combustíveis tradicionalmente utilizados na navegação marítima, com elevado teor de enxofre, contribuem significativamente para as emissões de SO₂, NO_x, MP_{2,5} e carbono negro nas áreas portuárias e em seu entorno. A regulamentação da Organização Marítima Internacional (*International Maritime Organization* – IMO), de 2020, estabeleceu um limite global de 0,5% de teor de enxofre no combustível marítimo (ante 3,5% anteriormente), resultando em ganhos significativos para a qualidade do ar próxima a portos e rotas marítimas.

1. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

De acordo com Climate & Clean Air Coalition (2026), a adoção de padrões de emissão de carbono negro para todas as novas embarcações, o desenvolvimento de políticas de emissão para a navegação interior e a ampliação de programas de logística verde (*green freight*) são medidas necessárias para uma redução expressiva das emissões de carbono negro, MP e demais poluentes do transporte de cargas em ambiente aquaviário.

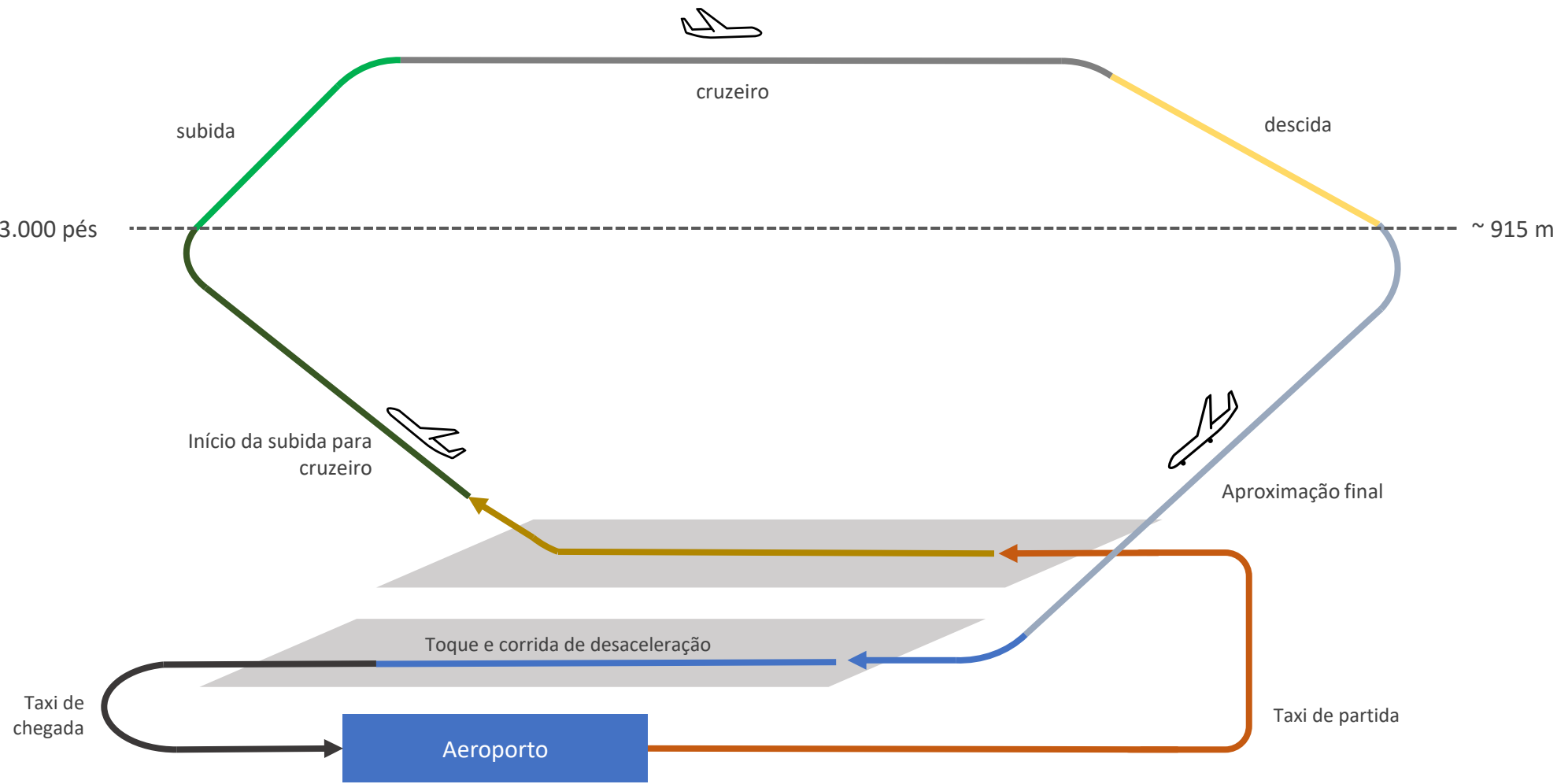
Os motores de aeronaves produzem emissões semelhantes às resultantes da combustão de combustível em motores de transporte terrestre. Além da distância do voo, diversos fatores do voo e da aeronave podem impactar no consumo de combustível e nas emissões atmosféricas, como a trajetória altimétrica, as variações de velocidade, a carga transportada e condições de climáticas (1). Assim, podem afetar a qualidade do ar local ao nível do solo às pessoas expostas o aeroporto e no seu entorno. Trata-se, portanto, de emissões que ocorrem abaixo de 3.000 pés (914 metros) acima do solo, normalmente originadas a cerca de 3 km da decolagem ou de 6 km da chegada das aeronaves nos aeroportos. Essas emissões podem se dispersar com o vento e combinam-se com emissões de outras fontes, como atividades industriais e poluição associada ao transporte rodoviário no entorno.

A Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) padroniza esse ciclo com regimes de propulsão definidos, tipicamente 100% na decolagem, cerca de 85% na subida, 30% na aproximação e 7% em marcha lenta/taxiamento, e os poluentes de maior preocupação para a qualidade do ar local são o NO_x e o material particulado, pelos seus efeitos sobre saúde e ambiente (19). O NO_x é formado sobretudo nas fases de alto empuxo, em condições de alta pressão e temperatura na câmara de combustão, ao passo que as longas fases de taxiamento em baixo empuxo concentram parte importante das emissões ao nível do solo (20,19)

Portanto, as principais emissões relevantes para a qualidade do ar local atribuídas às operações de aeronaves em aeroportos compreendem NO_x, CO, HC, SO₂, COV, MP₁₀ e MP_{2,5}. As emissões desses poluentes são inventariadas de variam de acordo com a etapa do voo (Figura 2). As emissões durante o pouso e a decolagem, denominado Ciclo LTO (*Landing and take off*), são aquelas que ocorrem próximas aos aeródromos provenientes das etapas de voo da aeronave que ocorrem abaixo de 3.000 pés, cerca de 915 metros de altitude.

1. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Figura 2 – Ciclo LTO



Fonte: Elaboração própria com base em (1)

1. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Aos impactos das próprias aeronaves somam-se as emissões de equipamentos auxiliares de solo, do transporte terrestre de passageiros e cargas no entorno aeroportuário e das atividades de manutenção, o que torna a abordagem da qualidade do ar em sítios aeroportuários particularmente complexa.

O uso de biocombustíveis no setor de transportes tem sido uma alternativa que vem crescendo no cenário de transição energética, contribuindo para a redução combinada de emissões poluentes locais. O desempenho dos biocombustíveis em termos de emissões de PA depende da tecnologia do motor e do sistema de pós-tratamento dos gases de escape e das características físico-químicas do biocombustível em comparação ao combustível fóssil substituído. Em veículos modernos, equipados com sistemas avançados de pós-tratamento, a influência do combustível sobre as emissões de escape é significativamente menor. Em frotas antigas, ainda predominantes em economias emergentes, o tipo de combustível continua exercendo influência relevante (21).

Determinados biocombustíveis, como o etanol, podem apresentar emissões inferiores de carbono negro e de material particulado em comparação à gasolina, com menores impactos diretos à saúde. No entanto, o impacto global dos biocombustíveis sobre o clima e a saúde depende fortemente do contexto local, incluindo os insumos de água, energia e produtos químicos necessários ao cultivo da biomassa e à produção do combustível (11).

Estudo da Empresa de Pesquisa Energética (22) quantificou os impactos sobre a saúde humana do uso de biocombustíveis na Região Metropolitana de São Paulo, comparando rotas alternativas com base no ano de 2018. A simulação realizada com a ferramenta AirQ+ da Organização Mundial da Saúde (OMS) indica que o consumo de etanol hidratado pode contribuir para a redução nas concentrações totais de $MP_{2,5}$ na atmosfera e, conseqüentemente, no número de mortes por ano e no aumento da expectativa de vida ao nascer. Além disso, implicaria em

benefícios econômicos, considerando o valor implícito para a qualidade de vida da população da região e na pressão sobre o sistema de saúde pública, na ordem de bilhões de reais ao ano.

No caso do biodiesel, a adoção das misturas obrigatórias B15 também contribui para a redução das emissões de MP em comparação ao diesel puro, com impactos positivos sobre a expectativa de vida (22).

As emissões de motores a diesel contêm material particulado significativamente nocivo à saúde, sendo o escape diesel classificado pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (*International Agency for Research on Cancer – IARC*) como agente cancerígeno para humanos (Grupo 1) (IARC, 2013). Ainda que o diesel ofereça pequena vantagem climática em termos de emissões de CO_2 por unidade de energia, esse ganho é compensado pelas emissões proporcionalmente mais elevadas de carbono negro, com elevado potencial de aquecimento global em curto prazo. A Iniciativa para Transporte de Carga por Veículos a Diesel (*Heavy Duty Diesel Vehicles and Engines Initiative*) tem promovido reduções expressivas de emissões de carbono negro por meio da adoção de combustíveis mais limpos e regulações veiculares mais rigorosas, com atuação relevante na América Latina e na Ásia, regiões em que o diesel disponível ainda apresenta menor qualidade¹ (10,23).

¹ Para que a qualidade do diesel seja estabelecida, alguns parâmetros devem ser observados, tais como a densidade, teor de enxofre e índice de cetano (referente a ignição do motor, isto é, a partida de forma rápida e com menor ruído), viscosidade, dentre outros aspectos químicos. Além disso, deve-se considerar o teor de água e de impurezas, bem como a sua estabilidade à oxidação, isto é, a capacidade do diesel de resistir ao envelhecimento durante seu armazenamento.

1. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

O uso de combustíveis com, no máximo, uma concentração de 50 partículas por milhão (ppm) de enxofre e padrões veiculares equivalentes a Euro IV ou superiores pode evitar mortes prematuras (23).

A eletrificação veicular, por sua vez, elimina as emissões diretas de PA no uso final, transferindo a emissão para o ponto de geração de energia elétrica e pela ressuspensão, devido ao atrito entre pneu e pavimento. Em matrizes elétricas predominantemente renováveis, como a brasileira, o cobenefício climático e de

qualidade do ar é elevado, em termos de emissão por combustão. Estudo recente do Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (*Institution for Transport and Development Policy* - ITDP Brasil) (24), conclui que mais de 14 mil ônibus a diesel poderiam ser substituídos por modelos elétricos em até cinco anos nas 21 maiores regiões metropolitanas do país, com benefícios diretos sobre a qualidade do ar urbano, sobre a redução de emissões de GEE.



QUALIDADE DO AR E IMPACTOS NA SAÚDE

2. QUALIDADE DO AR E IMPACTOS NA SAÚDE

Os impactos da poluição atmosférica sobre a saúde humana resultam da combinação entre concentração dos poluentes presentes no ar respirado, tempo de exposição da população, características fisiológicas individuais e proximidade às fontes emissoras.

Concentrações elevadas por curtos períodos podem desencadear crises agudas, como ataques de asma e descompensações cardiovasculares; já concentrações moderadas, mas mantidas ao longo de meses ou anos, estão associadas a doenças crônicas, redução da expectativa de vida e maior mortalidade por câncer, doenças cardiovasculares e doenças respiratórias (6,25). Além do que, em pessoas com sistema fisiológico comprometido, a exposição ao ar poluído atua como um **estressor crônico ou agudo**, desencadeando respostas inflamatórias e estresse oxidativo que sobrecarregam órgãos como pulmões, coração e cérebro, agravando o quadro de saúde do indivíduo.

A respiração prolongada de ar poluído, ao longo de meses ou anos, aumenta a probabilidade de desenvolvimento e de morte precoce por doenças cardíacas, doenças pulmonares crônicas, câncer de pulmão, infecções respiratórias, diabetes e outros desfechos sanitários. A exposição materna durante a gestação está associada a maior probabilidade de prematuridade e de baixo peso ao nascer, com impactos adicionais ao longo da vida (6).

A exposição ao NO₂ irrita as vias aéreas e agrava doenças respiratórias preexistentes, como a asma. O CO se difunde através do tecido pulmonar e atinge a corrente sanguínea, ligando-se à hemoglobina com afinidade muito

superior à do oxigênio, dificultando o transporte de oxigênio pelos tecidos. A exposição ao CO provoca dificuldade respiratória, fadiga, tontura e sintomas semelhantes aos da gripe; em concentrações elevadas, pode ser letal. A exposição ao ozônio pode causar dificuldades respiratórias, desencadear crises asmáticas, reduzir a função pulmonar e contribuir para doenças pulmonares crônicas. A exposição aos Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) de curto prazo pode causar irritação ocular e das vias respiratórias e a exposição prolongada a este poluente está associada ao desenvolvimento de câncer de pulmão.

Entre os poluentes investigados, a exposição prolongada ao MP_{2,5} tem sido o preditor mais consistente de desfechos adversos à saúde em diferentes populações. As partículas finas (MP_{2,5}) penetram profundamente no sistema respiratório, atingem os alvéolos pulmonares e podem alcançar a corrente sanguínea, provocando efeitos cardiovasculares (doença isquêmica do coração), cerebrovasculares (acidente vascular cerebral) e respiratórios. A exposição prolongada a esse poluente está associada a efeitos perinatais adversos e ao câncer de pulmão. Em 2013, a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (*International Agency for Research on Cancer* - IARC), vinculada à OMS, classificou o material particulado como agente carcinogênico para humanos (Grupo 1). É também o indicador mais utilizado para avaliar os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde.

2. QUALIDADE DO AR E IMPACTOS NA SAÚDE

Em 2019, a exposição ao $MP_{2,5}$ ambiental foi associada a 4 milhões de mortes em todo o mundo e à redução da expectativa de vida global em cerca de 1 ano e 8 meses. Além dos impactos sobre a mortalidade, a exposição contribui para o aumento de doenças crônicas, gerando pressão sobre o sistema de saúde, com elevados custos associados, bem como com a perda de produtividade e deterioração da qualidade de vida (6). Embora cerca de 99% da população mundial seja exposta a níveis de $MP_{2,5}$ acima das diretrizes da Organização Mundial da Saúde, a distribuição dos impactos não é homogênea, concentrando-se em países onde há populações de menor renda e de maior vulnerabilidade

socioambiental. A Figura 3 sintetiza os principais sistemas afetados pela poluição do ar: o sistema respiratório (doença pulmonar obstrutiva crônica, asma, pneumonia, câncer de pulmão); o sistema cardiovascular (insuficiência cardíaca congestiva, arritmia, infarto agudo do miocárdio - IAM, Acidente Vascular Cerebral - AVC e hipertensão); a saúde materno-infantil (prematuridade, baixo peso ao nascer, pré-eclâmpsia); e outros impactos sistêmicos, como diabetes, demência, aumento do risco de morte e redução da expectativa de vida.

Figura 3 – Impactos agudos e crônicos dos poluentes atmosféricos na saúde



Fonte: (6, 13, 26)

2. QUALIDADE DO AR E IMPACTOS NA SAÚDE

O painel global do *State of Global Air*² (6) detalha o percentual de mortes atribuíveis ao material particulado fino ambiental por desfecho clínico, em dados padronizados por idade para o ano de 2021. Em escala mundial, a maior participação de mortes atribuíveis à exposição ao MP_{2,5} externo ocorre por doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), com 48% das mortes por DPOC. Além dessa causa, 30% das mortes por infecções respiratórias inferiores, 28% das mortes por doença isquêmica do coração, 27% das mortes por AVC, 19% das mortes por câncer de traqueia, brônquios e pulmão, 18% das mortes por diabetes tipo 2 e 14% das mortes por desordens neonatais são atribuíveis à exposição ao MP_{2,5} ambiental (6). Esses números evidenciam que a poluição atmosférica é um fator de risco transversal a diversas das principais causas de mortalidade no mundo.

No Brasil, segundo avaliação do (6), a exposição média anual ao MP_{2,5} alcançou 13,4 µg/m³ no período mais recente, representando valor 2,7 vezes superior à diretriz da OMS (5 µg/m³). Em 2021, foram registradas 22 mortes por 100 mil habitantes atribuíveis à poluição por partículas finas externas, totalizando

aproximadamente 53.000 mortes no país. Dentre essas mortes, relacionadas a diabetes tipo 2, AVC, doença isquêmica do coração, câncer de traqueia, brônquios e pulmão, DPOC e infecções respiratórias inferiores, sendo também fator contribuinte para desordens neonatais.

Para o Brasil, a fração de mortes por doença atribuíveis ao MP_{2,5} ambiental, segundo o painel do *State of Global Air* (6), é de 9% para diabetes tipo 2, 8% para AVC, 8% para doença isquêmica do coração, 8% para câncer de traqueia, brônquios e pulmão, 7% para DPOC, 6% para infecções respiratórias inferiores e 4% para desordens neonatais. Embora os percentuais sejam inferiores aos da média global, traduzem-se em milhares de mortes evitáveis ao ano, com forte concentração nas regiões metropolitanas de maior densidade veicular.

O transporte é responsável por 6,5% das emissões de MP_{2,5} no Brasil, contra 27,4% atribuídos ao setor da indústria, que figura como principal emissor (13). Outras fontes relevantes incluem a poeira fugitiva antropogênica, a combustão de outras fontes industriais, a queima de resíduos agrícolas e a poeira eólica.

²Iniciativa desenvolvida pelo *Clean Air Fund* para análise dos níveis e tendências da qualidade do ar e seus impactos na saúde a nível global, por meio de publicação de relatórios e dados disponibilizados por seus colaboradores: *Health Effects Institute* e *Institute for Health Metrics and Evaluation*.

2. QUALIDADE DO AR E IMPACTOS NA SAÚDE

Caso Ella Adoo-Kissi-Debrah

Apesar de não ser o principal emissor em termos percentuais, a relevância do setor de transportes é amplificada em centros urbanos densamente povoados, onde a emissão ocorre na altura respiratória da população, em proximidade direta a moradias, escolas e estabelecimentos de saúde, com pouca diluição vertical e baixa dispersão. Esse padrão de exposição justifica a atenção especial às fronteiras entre infraestrutura viária e ocupação urbana, com destaque para a proximidade a rodovias urbanas, vias arteriais e corredores de transporte de carga. Em dezembro de 2020, a Justiça do Reino Unido reconheceu, pela primeira vez no mundo, a poluição do ar como causa em um atestado de óbito. Ella Adoo-Kissi-Debrah, de 9 anos e nascida na Grã-Bretanha, faleceu em 15 de fevereiro de 2013 após uma grave crise de asma, precedida por cerca de três anos de ataques recorrentes e mais de trinta internações hospitalares. Ella residia com sua família a menos de 30 metros da South Circular, via de tráfego intenso e frequentemente congestionada do sul de Londres. Concluiu-se que a contaminação atmosférica contribuiu materialmente para a morte de Ella, com base no relatório técnico do especialista britânico Stephen Holgate, que identificou ligação entre as hospitalizações de emergência e os picos de concentração de NO₂ e de MP próximos à residência da família (27).

O caso se tornou referência internacional no debate sobre o direito à qualidade do ar e evidencia a complexidade de associar, do ponto de vista jurídico e médico, casos individuais à exposição crônica a poluentes atmosféricos. A comprovação dos prejuízos à saúde e a decorrente morte por concentração de poluentes atmosféricos, devido à proximidade física entre moradia e infraestrutura de transporte, aponta para a importância da responsabilidade pública pela gestão da qualidade do ar e da saúde da população.

Apesar dos avanços metodológicos da epidemiologia ambiental, a atribuição direta de mortes ou de gastos com saúde à exposição a PA permanece desafiadora. Os efeitos da poluição são, em regra, cumulativos e multifatoriais, sobrepondo-se a outros determinantes da saúde, como tabagismo, condições socioeconômicas, acesso a serviços e exposições ocupacionais. Por isso, as estimativas de mortalidade atribuível geralmente operam em nível populacional, com base em estudos epidemiológicos longitudinais e em modelos de risco relativo, e raramente em diagnósticos individuais.

Para além da mortalidade, há impactos significativos sobre a economia. Trabalhadores expostos a níveis elevados de poluição apresentam, em média, maior absenteísmo, redução da produtividade e maior incidência de doenças crônicas, com efeitos sobre o sistema previdenciário e sobre os custos do Sistema Único de Saúde (SUS). Em escala global, estima-se que a plena implementação das medidas de dessulfurização³ e de controle de emissões veiculares, com metas setoriais para 2050, poderia custar valores que ultrapassariam US\$ 1 trilhão e produziria benefícios da ordem de US\$ 18 trilhões em mortalidades evitadas, com a redução de aproximadamente 470.000 mortes anuais por exposição crônica ao MP_{2,5} (10).

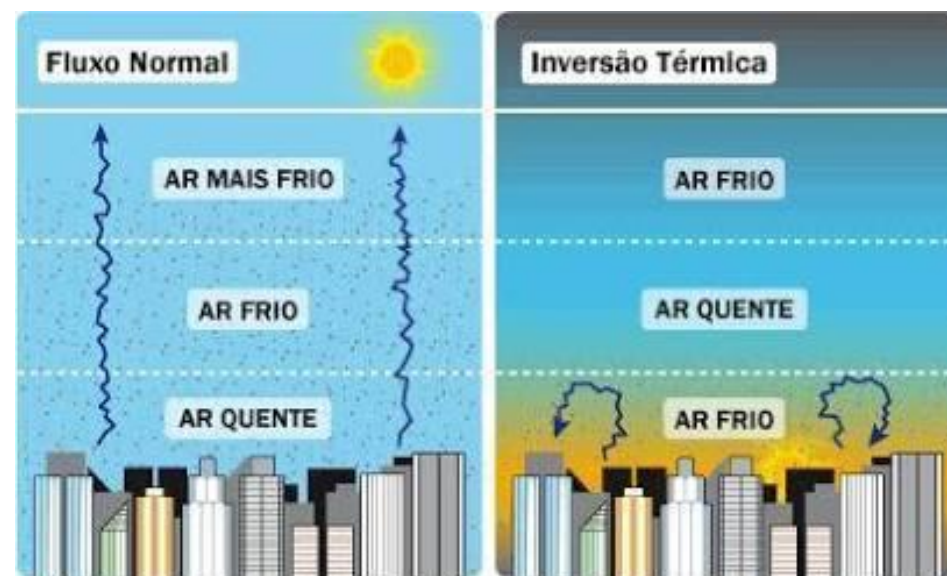
³ Processo químico que permite a retirada do enxofre de diversas substâncias, permitindo a redução da emissão de poluentes atmosféricos.

2. QUALIDADE DO AR E IMPACTOS NA SAÚDE

Outro ponto que precisa ser levado em consideração, ainda mais no contexto de mudanças climáticas, é a relação entre calor e poluição. Tal relação opera em um efeito sinérgico e destrutivo: enquanto as altas temperaturas e a radiação solar aceleram as reações químicas na atmosfera — disparando a formação de poluentes secundários como o ozônio troposférico — e intensificam eventos como queimadas e retenções térmicas urbanas, a saúde humana sofre uma sobrecarga fisiológica em massa. Para dissipar o calor, o corpo dilata os vasos e acelera os batimentos cardíacos, mas a inalação simultânea de gases irritantes e partículas finas (PM_{2,5}) provoca inflamação vascular, constrição respiratória e aumento na viscosidade do sangue. Essa combinação força o sistema cardiovascular a trabalhar no limite sob um ambiente inflamatório, culminando em um disparo repentino de crises de asma, infartos, AVCs e internações de emergência, especialmente entre idosos e portadores de doenças crônicas.

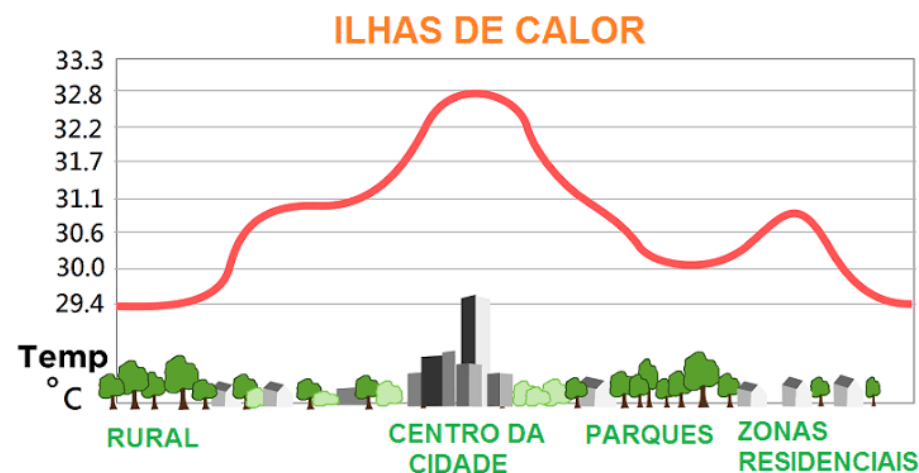
Outro ponto de atenção são as ilhas de calor urbanas. A relação entre poluição do ar e ilhas de calor urbanas cria uma armadilha microclimática nas metrópoles, onde o acúmulo de poluentes — como o NO₂ e o material particulado — forma uma cúpula que aprisiona a radiação térmica emitida pelo concreto e pelo asfalto, impedindo o resfriamento das cidades. Por sua vez, esse aquecimento localizado acelera as reações químicas no ar e estagna a ventilação, transformando os centros urbanos em potentes reatores de ozônio troposférico e fuligem retida ao nível do solo. Para a saúde humana, essa combinação representa um estresse biológico devastador: enquanto o calor extremo força o sistema cardiovascular ao limite para resfriar o corpo, a inalação simultânea de ar altamente tóxico provoca inflamação profunda nas vias aéreas e nos vasos sanguíneos, resultando em surtos de insuficiência respiratória, desidratação grave, infartos, AVCs e um aumento acentuado na mortalidade, sobretudo entre idosos e populações socioeconomicamente vulneráveis.

Inversão térmica retendo poluentes no ar.



Fonte: SustentArqui

Variação de temperatura nas ilhas de calor.



Fonte: SustentArqui



MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

3. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

A poluição do ar é o risco global mais mortal para a saúde humana, de acordo com a OMS. A importância de políticas voltadas ao tema vai além da saúde pública, influenciando também outros setores e promovendo condições favoráveis ao desenvolvimento sustentável. Entre as estratégias para mitigar os efeitos da poluição do ar sobre as DCNTs (Doenças Não Transmissíveis), destacam-se as políticas públicas de conscientização da população sobre o assunto, as estratégias de monitoramento e mitigação das emissões de poluentes, bem como recomendações individuais, como o uso de máscaras em dias com altas concentrações de poluentes, com base nos níveis de alerta do Índice de Qualidade do Ar (IQA), e práticas de vida saudável que podem ajudar a minimizar os impactos sobre a saúde, como o uso de modos transporte ativos e transporte público. Em geral, a relação entre a qualidade do ar e as DCNTs é uma questão crítica de saúde pública que exige esforços conjuntos dos governos, do setor privado e das comunidades para reduzir a exposição aos poluentes atmosféricos e, conseqüentemente, seu impacto sobre as doenças crônicas. Mas, para que o problema possa ser devidamente abordado, é preciso compreendê-lo e uma qualidade do ar inapropriada não é algo perceptível a olho nu, sendo fundamental desenvolvimento de estratégias para conhecer como a qualidade do ar está se comportando em cada ambiente.

O monitoramento da qualidade do ar é algo que permite quantificar, no espaço e no tempo, as concentrações dos poluentes presentes na atmosfera, possibilitando verificar o atendimento aos padrões legais, identificar tendências, avaliar a eficácia das políticas públicas, propor políticas públicas e comunicar à sociedade o nível de risco a que está exposta.

Por isso, os padrões de qualidade do ar não são estabelecidos em um único valor numérico, mas considera limites associados a períodos específicos de

referência, que podem ser de 1 hora, 8 horas, 24 horas ou um ano. Cada janela temporal tem como objetivo proteger a saúde contra um tipo distinto de risco. Limites horários e diários protegem contra os efeitos agudos da exposição de curto prazo, enquanto limites anuais, contra efeitos crônicos da exposição contínua de longo prazo. Os principais poluentes veiculares (CO, hidrocarbonetos, NO_x, MP) provocam, em diferentes janelas de tempo, doenças respiratórias, asma, câncer e outras patologias graves, justificando a definição de múltiplos pontos de controle ao longo do tempo (8).

Os valores adotados nas Diretrizes de Qualidade do Ar da Organização Mundial da Saúde, atualizadas em 2021 (25), baseiam-se em ampla revisão epidemiológica internacional e correspondem a níveis em que a probabilidade de efeitos adversos à saúde da população em geral é considerada minimizada. A Resolução CONAMA⁴ nº 506/2024 estabelece uma trajetória escalonada de convergência aos valores guia da OMS, em quatro etapas intermediárias até alcançar o padrão final em 2044 (28).

Diferentemente do que ocorre com os GEE, cuja distribuição é relativamente homogênea na atmosfera global, os PA apresentam concentrações variáveis no espaço. As medições próximas a uma rodovia movimentada podem apresentar ordens de grandeza superiores às registradas a poucos quilômetros de distância. Esse comportamento ocorre devido combinação de cinco fatores como intensidade e o perfil temporal das emissões, o relevo e a topografia local, o uso e a ocupação do solo, as condições meteorológicas e os processos químicos que ocorrem na atmosfera (2).

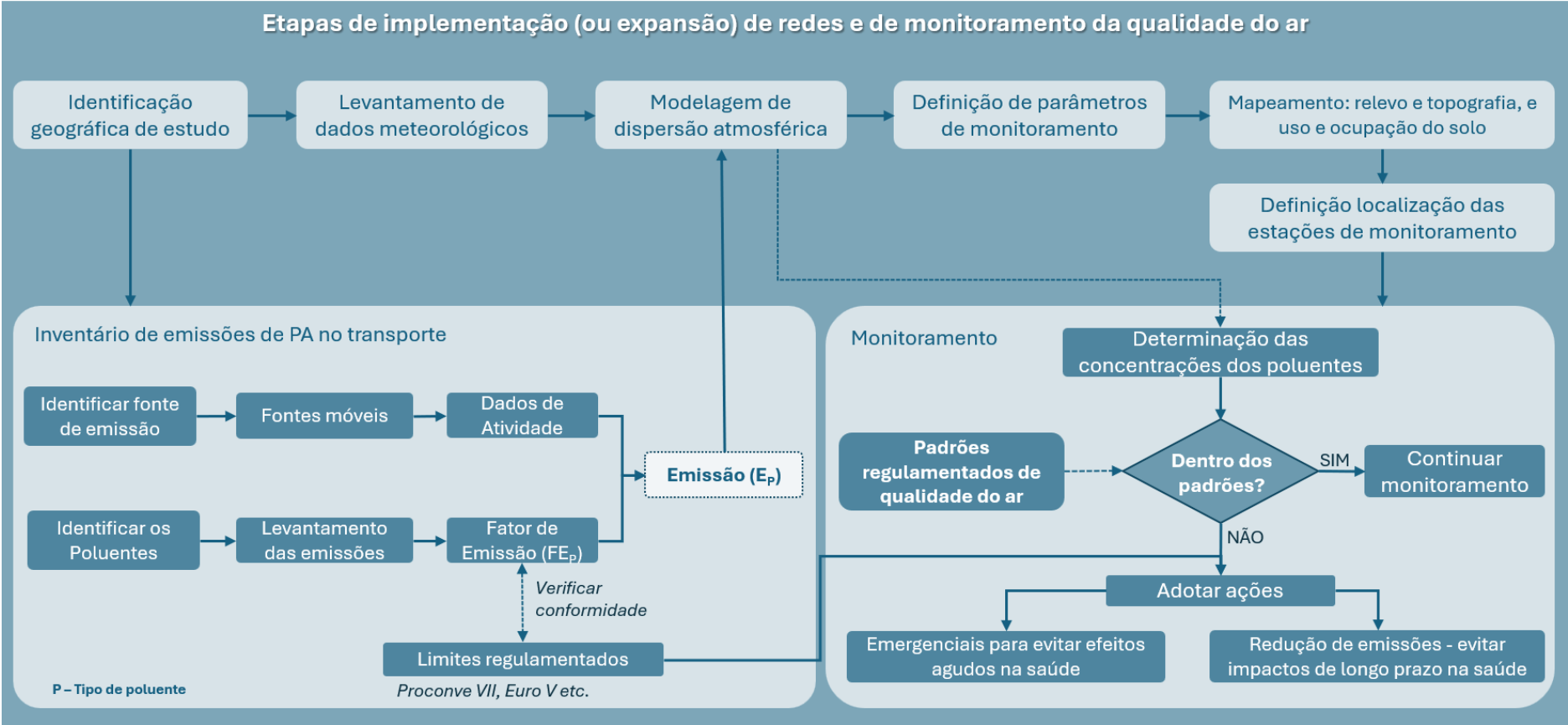
⁴ Conselho Nacional do Meio Ambiente

3. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

A poluição atmosférica em centros urbanos depende muito mais do contexto local que de padrões médios regionais (5). Por isso, o monitoramento deve sempre ser planejado a partir de um diagnóstico do território, com cadastro de fontes, levantamento de dados meteorológicos disponíveis, modelagem de

dispersão atmosférica e análise do uso e ocupação do solo, sendo recomendado que esses estudos preparatórios precedam a definição do número, da localização e dos parâmetros das estações(2). A Figura 4 sintetiza o fluxo completo, desde a identificação das fontes até o ciclo de monitoramento e resposta regulatória

Figura 4 – Etapas de implementação de rede de monitoramento da qualidade do ar, estimativa das emissões e monitoramento das concentrações de Poluentes Atmosféricos



Fonte: Elaborado pelos autores com base em (2,7,3)

3. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

A quantificação das emissões de PA parte de um princípio metodológico de que não é praticável medir diretamente as emissões de todas as fontes que compõem um inventário, a abordagem mais comum é combinar informações sobre a intensidade da atividade, denominadas dados de atividade (DA), com coeficientes que quantificam as emissões por unidade de atividade, denominados fatores de emissão (FE) (3), que, no caso do transporte normalmente é dada pela massa do poluente gerado, em gramas, por unidade de trabalho realizado pelo motor, em km (15), conforme apresentado na Figura 4.

No setor de transportes, os FE são derivados de medições diretas realizadas no escapamento dos veículos, sob condições controladas de operação. Esses fatores são então verificados em relação aos limites estabelecidos pelos programas de controle de emissões veiculares, como o PROCONVE no Brasil ou os padrões Euro na União Europeia. Essa verificação de conformidade da frota permite o desenvolvimento tecnológico dos veículos e da qualidade dos combustíveis analisados. Assim, permite que, com a renovação da frota, haja a redução das emissões e melhora da qualidade do ar. Quando a frota apresenta altos níveis de emissões por ter alta parcela de veículos com tecnologia que apresenta maior fator de emissão, acrescido dos valores de incremento devido ao acúmulo de rodagem⁵, sinaliza a necessidade de adotar ações de mitigação, como renovação tecnológica, restrições operacionais ou programas de inspeção e manutenção veicular.

Vale ressaltar que as emissões estimadas por tipo de poluente não podem ser combinadas de acordo com fatores potenciais, como ocorre com os GEE ao se aplicar o Potencial de Aquecimento Global. No entanto, uma análise coletiva pode ser realizada para as diversas espécies químicas dos Compostos Orgânicos Voláteis Não-Metano (*Non-methane volatile organic compounds* - NMVOCs),

estimando-se as emissões dessas espécies químicas em NMVOCs totais (29).

O resultado do inventário, as emissões estimadas (E_p) por poluente e por modo de transporte, alimenta a etapa de modelagem de dispersão atmosférica, que, combinada com os dados meteorológicos da área de estudo e com o mapeamento do relevo, topografia, uso e ocupação do solo, subsidia a definição dos parâmetros de monitoramento e da localização das estações. Após a instalação da rede, os equipamentos monitoram as concentrações dos poluentes que são comparadas com os padrões regulamentados de qualidade do ar. Se estiverem dentro dos padrões, o monitoramento segue sua rotina; caso contrário, deve-se implementar ações que podem ser emergenciais, para evitar efeitos agudos à saúde, ou de redução estrutural de emissões, para evitar impactos de longo prazo.

A estimativa de emissões pode ser realizada em três níveis (*tiers*), como ocorre com os GEE, de acordo com a disponibilidade de dados (3). O *Tier 1* utiliza uma relação linear entre dados de atividade agregados e FE médios, sem considerar distinções de tecnologia, e sendo obtidos de estatísticas nacionais. O *Tier 2* emprega dados de atividade similares, mas com FE específicos por país, tecnologia ou padrão de controle de emissões. O *Tier 3* recorre a modelos computacionais e dados desagregados no nível de frota ou instalação individual, como o modelo COPERT para o transporte rodoviário (3).

A identificação das fontes de emissão no setor de transporte concentra-se nas fontes móveis, subdivididas por modo. Para cada modo, os dados de atividade e os poluentes monitorados variam conforme descrito a seguir.

⁵ Deterioração de emissões com base nos valores gerados nos ensaios de durabilidade, têm o objetivo de verificar se os limites de emissão estabelecidos são respeitados por, no mínimo, 80.000 km de uso, considerando-se as condições de manutenção recomendadas pelos fabricantes.

3. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

No transporte rodoviário, que responde pela maior parcela das emissões veiculares urbanas e inter-regionais, os dados de atividade são os volumes de combustível vendido desagregados por categoria de veículo (*Tier 1*), ou os veículo-quilômetros rodados por categoria e padrão de emissão (*Tier 2* e *3*). As categorias consideradas são automóveis de passeio, veículos comerciais leves (< 3,5 t), veículos pesados e ônibus (> 3,5 t) e ciclomotores e motocicletas. Os principais poluentes estimados são NO_x, CO, NMVOCs, MP_{2,5}, carbono negro, NH₃ e SO₂.

Vale destacar que há as emissões que não estão relacionadas à combustão e gerada nos motores. O desgaste de pneus, freios e pavimento, são exemplos de fonte de emissão, exclusivamente, de MP e podem ser estimadas separadamente com base nos na frota de veículos e a quilometragem percorrida (30,31).

Na aviação, a atividade é descrita pelo volume de querosene consumido, desagregado entre voos domésticos e internacionais (*Tier 1*), com refinamento por tipo de aeronave e etapas do ciclo LTO (*Tier 2*), ou por dados individuais de voo com tipo de aeronave e distância percorrida (*Tier 3*) (32).

No transporte ferroviário, a atividade é baseada no consumo de combustível

diesel pelas locomotivas (*Tier 1*), com desagregação por tipo de locomotiva, de manobra, autorais (*rail-cars*) e de tração de linha, quando disponível (*Tier 2*), ou por quilômetros percorridos estratificados por tecnologia de controle de emissões (*Tier 3*). As locomotivas elétricas não geram emissões diretas nesse modo; essas são contabilizadas no setor de geração de energia. Os principais poluentes são NO_x, SO₂, MP, CO, NMVOCs e carbono negro (33).

Na navegação, a atividade é representada pela massa de combustível consumido por tipo (óleo combustível bunker, óleo diesel marinho, gás óleo marinho e GNL⁶), desagregado entre navegação nacional, internacional, pesca e embarcações recreativas (*Tier 1*), com refinamento pelo perfil de motores da frota (*Tier 2*) ou por dados de movimentos individuais de embarcações (*Tier 3*). Os poluentes estimados são NO_x, SO₂, MP, CO, NMVOCs, CO₂ e metais pesados (34).

Cada estação de monitoramento representa um determinado volume de ar e responde a um objetivo específico. O MMA (2) define quatro escalas de representatividade espacial que orientam o planejamento das redes, conforme síntese apresentada na Tabela 1.

⁶ Gás Natural Liquefeito

Tabela 1 – Escalas de representatividade espacial das estações de monitoramento

Escala	Dimensão típica	Aplicação principal
Microescala	Até 100 metros	Avaliação de impacto de fontes veiculares ou industriais difusas próximas; populações expostas em curtas distâncias
Mesoescala	100 a 500 metros	Blocos de áreas urbanas; impacto agregado de fontes em vizinhança
Bairro	500 a 4.000 metros	Áreas urbanas com atividade uniforme; monitoramento de ozônio em zonas afastadas de vias intensas
Urbana	4 a 50 quilômetros	Concentração de fundo em cidades e regiões metropolitanas; verificação de tendências de longo prazo

Fonte: (2).

3. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

Os critérios de instalação variam conforme o poluente. No caso do material particulado, a distância em relação a vias de tráfego deve ser proporcional ao volume médio de veículos. Para o ozônio, ao contrário, recomenda-se afastar os monitores das vias, uma vez que o monóxido de nitrogênio (NO) emitido pelos

veículos consome o ozônio troposférico disponível e, paradoxalmente, faz com que as concentrações desse poluente sejam mais baixas próximas às fontes. A Tabela 2 apresenta as distâncias mínimas recomendadas para a instalação de monitores de ozônio.

Tabela 2 – Distância mínima recomendada entre monitor de ozônio e via principal

Número médio de veículos/dia (via principal)	Distância mínima (m) — escala de bairro ou urbana
10.000	10
15.000	20
20.000	30
40.000	50
70.000	100
Acima de 110.000	250

Fonte: (2).

Para fontes fixas, como chaminés industriais, a localização ideal das estações depende da intensidade das emissões, da altura da chaminé, do relevo e da topografia, e principalmente das condições meteorológicas predominantes, com destaque para a intensidade e a direção dos ventos. Em casos complexos, recomenda-se o uso de modelos matemáticos de dispersão atmosférica, com apoio de especialistas, para definir o posicionamento que melhor captura o impacto da fonte sobre o entorno (2).

As concentrações de poluentes não dependem apenas das emissões, mas também das condições meteorológicas que governam seu transporte, sua dispersão e suas transformações químicas na atmosfera. Em dias de vento intenso, a diluição é favorecida; em situações de inversão térmica, com camadas de ar frio retidas próximas ao solo, os poluentes se acumulam e as concentrações sobem rapidamente. A radiação solar, por sua vez, é o motor das reações fotoquímicas que produzem ozônio troposférico, especialmente em dias quentes e ensolarados (2).

3. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

Operação Inverno em São Paulo

A dispersão dos PA se torna mais difícil durante as condições climáticas no inverno. Por isso, foi criada, em São Paulo, a Operação Inverno que busca ações de controle da poluição. Inicialmente, a poluição industrial era a principal causadora da piora da qualidade do ar nesses períodos.

No entanto, o aumento da frota de veículos elevou as emissões de poluentes provenientes do transporte, que passou a ser a principal atividade responsável pela piora da qualidade do ar na Região Metropolitana de São Paulo. Assim, novos programas foram desenvolvidos e implantados para minimizar o impacto dessa poluição, tais como a Operação Rodízio e a intensificação da fiscalização de fumaça preta em veículos pesados.

Ainda que a partir dos limites de emissão impostos pelo PROCONVE, a partir de 1990, para os veículos novos, tenha resultado em uma queda significativa nos níveis de CO e MP, as ações desenvolvidas na Operação Inverno focam na fiscalização da emissão de fumaça preta sobretudo em veículos movidos a diesel. Dentre essas ações, pode-se citar as inspeções de veículos, utilizando-se de opacímetros, bem como conscientização e orientações aos motoristas acerca da correta manutenção dos veículos, destacando-se os benefícios de economia no consumo de combustível, redução da emissão de poluentes e consequente melhoria da qualidade do ar. Nestes comandos, os veículos são avaliados e os irregulares são autuados.

Fonte: (35)

Por essa razão, as redes de monitoramento devem registrar, em paralelo às concentrações dos poluentes, as principais variáveis meteorológicas locais: temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, intensidade e direção do vento, radiação solar e, quando possível, parâmetros de estabilidade atmosférica. Essas medições servem a dois propósitos. No primeiro, ajudam a identificar as fontes responsáveis pelas concentrações registradas, ao permitir associar picos de poluentes a determinadas direções de vento ou a condições atmosféricas específicas. No segundo, alimentam modelos matemáticos de dispersão que permitem estimar a qualidade do ar em pontos onde não há medição direta, projetar cenários futuros e avaliar a eficácia de medidas de mitigação (2).

A modelagem de dispersão atmosférica é uma ferramenta complementar essencial ao monitoramento, pois permite estender o conhecimento sobre a qualidade do ar para além dos pontos efetivamente medidos, além de contribuir com projeções de cenários, o que pode ajudar a antecipar efeitos e apoiar uma melhor tomada de decisão. Modelos como o AERMOD e o CALPUFF combinam dados meteorológicos detalhados, informações sobre as fontes emissoras (intensidade, altura, temperatura dos gases) e características do terreno para produzir mapas de concentração. A aplicação desses modelos exige, no entanto, dados meteorológicos representativos e profissionais com formação técnica específica.

3. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

3.1. Métodos de monitoramento de referência e complementares

As medições da qualidade do ar podem ser realizadas por uma variedade de tecnologias, com diferentes níveis de precisão, custo e complexidade operacional. O guia de monitoramento e avaliação da qualidade do ar (2) classifica os equipamentos em duas categorias principais:

- **Métodos de referência:** utilizam protocolos consagrados internacionalmente, com elevada precisão. Para material particulado, o método de referência é o gravimétrico, no qual partículas são coletadas em filtros por 24 horas e pesadas em laboratório. A principal limitação é a ausência de medição em tempo real e a necessidade de transporte e análise laboratorial.
- **Métodos equivalentes:** utilizam tecnologias alternativas com desempenho comparável ao do método de referência. Incluem análises automáticas baseadas em absorção de radiação beta (BAM) para material particulado, fluorescência por ultravioleta para SO₂, quimiluminescência para NO_x, infravermelho não dispersivo (*Non-dispersive Infrared* - NDIR) para CO e fotometria por ultravioleta para O₃. A grande vantagem é a obtenção de dados em tempo real, com transmissão automática para centrais de gestão.

A escolha entre métodos depende dos objetivos, dos recursos disponíveis e da escala da rede. Em redes nacionais de monitoramento contínuo, prevalecem os métodos equivalentes automáticos, que permitem decisões em tempo real, em especial em situações de episódios críticos de poluição. Em estudos científicos pontuais ou de validação, os métodos gravimétricos de referência são frequentemente empregados.

Mais recentemente, sensores de custo acessível baseados em tecnologias eletroquímicas e ópticas (*laser scattering*) têm ganhado espaço como complemento às redes oficiais. Apesar de apresentarem menor precisão e exigirem cuidados rigorosos de calibração e validação contra estações de referência, os sensores com custo acessível viabilizam a ampliação significativa da cobertura espacial e temporal das medições, especialmente em regiões com baixa densidade de estações oficiais e com poucos recursos, promovendo a equidade na tomada de ação para prevenir e reduzir o impacto da má qualidade do ar na saúde humana.

Para que os dados de uma rede de monitoramento sejam considerados representativos, é necessário que haja intervalos mínimos de operação. O Ministério do Meio Ambiente e Mudanças do Clima (2) recomenda, para monitores contínuos, a coleta de médias horárias consecutivas. Para amostradores manuais de material particulado, deve ser coletada pelo menos uma amostra de 24 horas a cada 6 dias. A Tabela 3 apresenta os critérios de validação adotados para diferentes médias temporais.

Tabela 3 – Critérios de representatividade temporal dos dados

Tipo de média	Critério de validação
Média horária	Pelo menos 3/4 das medidas válidas na hora
Média diária	Pelo menos 2/3 das médias horárias válidas no dia
Média mensal	Pelo menos 2/3 das médias diárias válidas no mês
Média anual	Pelo menos 1/2 das médias diárias válidas em cada quadrimestre

Fonte: (2), com base na Resolução CONAMA nº 491/2018.

3. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

Mesmo quando esses critérios não são plenamente atendidos, os dados devem ser reportados, com a identificação clara das restrições existentes, permitindo análises, ainda que com menor completude. A representatividade temporal deve

3.2. Índice de Qualidade do Ar (IQAr)

O Índice de Qualidade do Ar (IQAr), criado pela Resolução CONAMA nº 491/2018 e mantido na CONAMA nº 506/202, é um instrumento com objetivo de comunicar à sociedade as concentrações de PA medidas em uma escala adimensional que, associada a descritores qualitativos e a cores, permitindo que cidadãos não especialistas compreendam rapidamente o nível de risco à saúde em determinado momento e em determinado local, sem a necessidade de interpretações relacionadas a concentrações expressas em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (2).

O IQAr é calculado para cada poluente monitorado em uma estação. Para uma dada concentração medida, identifica-se a faixa em que ela se enquadra na tabela de referência e aplica-se a equação de interpolação linear que converte essa concentração no valor adimensional do índice. O valor 40 corresponde ao Padrão Final da OMS, considerado seguro à saúde; valores acima de 40 indicam afastamento progressivo desse limite. Em uma estação que monitora múltiplos poluentes, divulga-se o maior IQAr obtido, pois é ele que reflete o risco mais relevante à saúde naquele momento (2).

A comunicação do IQAr à população deve incluir, no mínimo, o local de monitoramento, a faixa de qualidade do ar (boa, moderada, ruim, muito ruim,

ser observada para a aplicação dos padrões anuais, que pressupõem uma cobertura ampla ao longo dos meses para refletir a exposição típica da população.

péssima), as cores associadas, as recomendações de cuidado à saúde por grupo de risco (especialmente crianças, idosos e pessoas com doenças cardiorrespiratórias) e as ações sugeridas para reduzir a exposição em períodos críticos.

A operação de uma rede de monitoramento da qualidade do ar envolve custos elevados para a aquisição de equipamentos, manutenção, calibração, análise laboratorial e gestão de dados. Por essa razão, as redes brasileiras apresentam cobertura desigual no território nacional, com cerca de 80% das unidades com equipamentos de monitoramento concentradas na região sudeste do país, com baixa cobertura em regiões Norte e parte do Nordeste e Centro-Oeste (2,36,5).

A gestão do monitoramento da qualidade do ar no país pode ocorrer por meio da operação própria do órgão ambiental, com técnicos e laboratórios do próprio órgão; parcialmente terceirizada, por meio de contratação de empresa especializada para operar estações pertencentes ao órgão; totalmente terceirizada (compra de dados), com o órgão contratando uma empresa que adquire, opera e mantém toda a rede; e por empresas licenciadas, em que a rede é mantida por empreendimentos com potencial poluidor, no âmbito de seu licenciamento ambiental (2).

3. MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

As principais barreiras à ampliação do monitoramento incluem restrições orçamentárias, devido ao baixo investimento público (36), escassez de mão-de-obra técnica qualificada, dificuldade de manutenção em regiões remotas e ausência, no Brasil, de um processo nacional consolidado de certificação de equipamentos. Conforme recomendado pelo *Plan de Acción Regional de Calidad del Aire para América Latina y el Caribe* (37), o fortalecimento das capacidades institucionais nacionais, a cooperação técnica regional e a integração de tecnologias de custo acessível às redes oficiais são caminhos prioritários para superar essas barreiras. No Brasil, a criação da Política Nacional de Qualidade do Ar é um marco para a superação dessas barreiras.

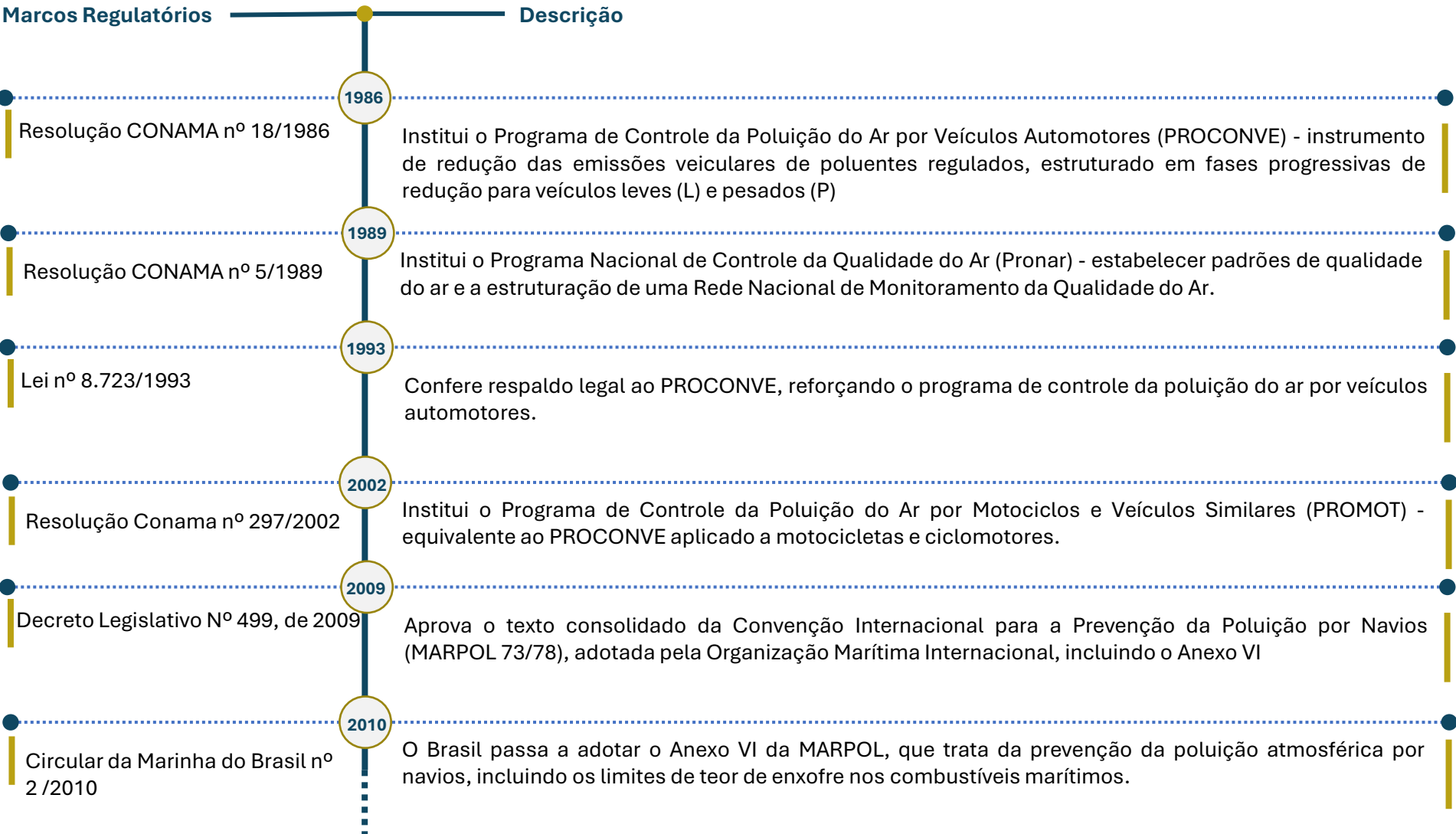


POLÍTICAS E REGULAMENTAÇÕES NO BRASIL

4. POLÍTICAS E REGULAMENTAÇÕES NO BRASIL

O Brasil consolidou, nos últimos anos, um arcabouço regulatório robusto para a gestão da qualidade do ar, articulando legislação federal, normas do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e programas de controle setoriais. Nesta

seção, são apresentados os principais instrumentos vigentes, organizados em três blocos: a política nacional, os padrões de qualidade do ar e os programas de controle veicular.



4. POLÍTICAS E REGULAMENTAÇÕES NO BRASIL

Marcos Regulatórios	Descrição
2012	Resolução ANTAQ nº 2.650/2012 – Índice de Desempenho Ambiental (IDA) Institui o IDA, que avalia o grau de conformidade ambiental de portos públicos e terminais privados a partir de critérios como monitoramento de impactos, controle de emissões e gestão de resíduos.
2018	Resolução CONAMA nº 490/2018 Estabelece a fase P8, aproximando-se da norma Euro VI
Resolução CONAMA nº 491/2018	Estabelece novos Padrões de qualidade do ar e cria o Índice de Qualidade do Ar (IQA)
Resolução CONAMA nº 492/2018	Estabelece as fases Proconve L7 e L8
2021	Portaria MMA nº 386/2021 Institui o Sistema Nacional de Gestão da Qualidade do Ar (MonitorAr) - criação de plataforma nacional única para integrar, consolidar e disponibilizar dados de qualidade do ar.
2024	Lei nº 14.850/2024 Institui a Política Nacional de Qualidade do Ar (PNQAr) para gestão da qualidade do ar nas esferas nacional, estadual e municipal.
Resolução CONAMA nº 506/2024	Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar (após revogar aqueles definidos, em 2018, pela Resolução CONAMA nº 491) previstos na PNQAr e fornece diretrizes para sua aplicação
2025	Portaria MT nº 192/2025 Institui o Programa MelhorAr, voltado à redução das emissões de poluentes atmosféricos de veículos rodoviários de carga e de passageiros por meio de avaliação veicular periódica. Prevê o Selo MelhorAR.
Publicação do relatório "Diretrizes para a Descarbonização do Transporte Urbano de Carga"	Estudo que define diretrizes para políticas públicas federais de descarbonização do transporte urbano de carga, apresentando metas e medidas estratégicas.
Projeto VITAE – Monitoramento da Qualidade do Ar do Transporte Rodoviário	Sistema piloto de monitoramento da qualidade do ar para apoiar a tomada de decisão, por meio do mapeamento das emissões e concentrações de poluentes em áreas de fluxo intenso de transporte, avaliando os impactos sobre a saúde da população exposta.
2026	Resolução CONAMA nº 513/2026 Reestrutura o Pronar, que passa a atuar como arcabouço de governança conectando definição de padrões, monitoramento e fiscalização nas esferas federal, estadual e municipal.

Fonte: Elaborado pelos autores com base em legislações e regulamentos brasileiros (38,39,40,41,42,28)

4. POLÍTICAS E REGULAMENTAÇÕES NO BRASIL

4.1. Política Nacional de Qualidade do Ar (Lei nº 14.850/2024)

A Política Nacional de Qualidade do Ar (PNQAr) foi instituída pela Lei nº 14.850/2024, que estabelece seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como as diretrizes relativas à gestão da qualidade do ar no território nacional (43). Estabelece como instrumento de gestão o desenvolvimento de Planos de Gestão da Qualidade do Ar para as esferas Nacional, Estadual e Municipal, além de um Plano para episódios Críticos de Poluição do Ar.

Além disso, estabelece instrumentos regulatórios e técnicos, tais como o estabelecimento de padrões nacionais de qualidade do ar pelo CONAMA, a definição de limites máximos de emissão atmosférica, a modelagem atmosférica e construção de cenários. O Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar é instrumento que detalha e estabelece a operação dos seguintes programas de controle:

- Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve);
- Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (Promot);
- Programa de sucateamento, reciclagem de veículos e renovação de frotas de veículos automotores;
- Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso (I/M).

O texto da lei estabelece, ainda, o Índice de Qualidade do Ar (IQAr), indicador que relaciona as concentrações dos poluentes monitorados aos possíveis efeitos adversos à saúde, e que deve ser comunicado à sociedade por meio do Sistema

Nacional de Gestão da Qualidade do Ar (MonitorAr), conduzido pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Por fim, estabelece o desenvolvimento de Inventários Nacionais, Estaduais e distrital da Emissões de Poluentes Atmosféricos.

4.2. Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (Resolução CONAMA nº 506/2024)

Os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar foram atualizados pela Resolução CONAMA nº 506/2024, que fornece diretrizes referentes a partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, partículas inaláveis (MP₁₀ e MP_{2,5}), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂) e chumbo (Pb). Os padrões nacionais foram estruturados em valores intermediários (PI-1, PI-2, PI-3 e PI-4), implementados em etapas progressivas, e em um padrão final (PF) que está alinhado aos valores estabelecidos pela OMS estabelecidos em 2021 (28,25).

A primeira etapa (PI-1) vigorou até dezembro de 2024 e, a partir de janeiro de 2025, os padrões PI-2 entraram em vigor. Os padrões PI-3 devem entrar em vigor a partir de janeiro de 2033 e os padrões PI-4 em janeiro de 2044. Para os poluentes CO, PTS e Pb, foi adotado o padrão final a partir da publicação da Resolução.

A definição dessas etapas reconhece os desafios técnicos, operacionais e de infraestrutura envolvidos na convergência aos padrões da OMS, equilibrando a proteção à saúde pública e a viabilidade de implementação de ações e medidas de redução das emissões. A Tabela 4 sintetiza os padrões nacionais por poluente.

4. POLÍTICAS E REGULAMENTAÇÕES NO BRASIL

Tabela 4 – Padrões nacionais de qualidade do ar (Resolução CONAMA nº 506/2024)

Poluente	Período	PI-1	PI-2	PI-3	PI-4	PF
MP ₁₀	24 h	120	100	75	50	45
	Anual ¹	40	35	30	20	15
MP _{2,5}	24 h	60	50	37	25	15
	Anual ¹	20	17	15	10	5
SO ₂	24 h	125	50	40	40	40
	Anual ¹	40	30	20	20	20
NO ₂	1 h ²	260	240	220	200	200
	Anual ¹	60	50	45	40	10
O ₃	8 h ³	140	130	120	100	100
Fumaça	24 h	120	100	75	50	45
	Anual ¹	40	35	30	20	15
CO [ppm]	8 h ³	—	—	—	—	9
PTS	24 h	—	—	—	—	240
	Anual ⁴	—	—	—	—	80
Chumbo [Pb] ⁵	Anual ¹	—	—	—	—	0,5

Legenda: Concentrações em µg/m³, exceto CO em ppm. (1) Média aritmética anual; (2) Máxima média horária do dia; (3) Máxima média móvel do dia; (4) Média geométrica anual; (5) Medido nas partículas totais em suspensão.

Fonte: (28)

4.3. Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (Pronar)

O Pronar foi Instituído pela Resolução CONAMA nº 5/1989 e reestruturado, em 2026, pela Resolução CONAMA nº 513/2026, que tem como diretriz central o estabelecimento de padrões de qualidade do ar e a estruturação de uma Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade do Ar, a ser conduzida pelos órgãos e instituições integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) (43). O Pronar atua como o arcabouço de governança que conecta a definição de padrões, o monitoramento e a fiscalização nas esferas federal, estadual e municipal.

MonitorAr

O Sistema Nacional de Gestão da Qualidade do Ar (MonitorAr) foi criado em 2021 pela Portaria do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima nº 386, por meio de uma plataforma nacional única. Ainda, está previsto pela Lei nº 14.850/2024 como instrumento da PNQAr. O sistema tem como finalidade, por meio de sua plataforma, para integrar, consolidar e disponibilizar os dados das redes estaduais e federais de monitoramento, bem como fornecer à sociedade informações sistematizadas sobre a qualidade do ar e o Índice de Qualidade do Ar (IQAr). A consolidação de uma plataforma única é relevante para permitir a comparabilidade interestadual, para a comunicação de risco à população e para o suporte à tomada de decisão por gestores públicos e por agentes do setor produtivo (43,44). Acesso a plataforma no link: [MMA - MonitorAr](#)

4. POLÍTICAS E REGULAMENTAÇÕES NO BRASIL

PROCONVE — Veículos Automotores

O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) foi instituído em 1986, pela Resolução CONAMA nº 18 e reforçado pela Lei 8.723/1993. O Programa é o principal instrumento brasileiro de redução das emissões veiculares de poluentes regulados, por meio do estabelecimento de fases sucessivas, para veículos leves (L) e para veículos pesados (P), com limites progressivamente mais rigorosos para os poluentes CO, NO_x, NMVOCs, como os hidrocarbonetos, MP e outros poluentes.

A fase PROCONVE L8, que entrou em vigor em janeiro de 2025, estabelece padrões brasileiros equivalentes aos níveis Euro VI adotados em países europeus. Para automóveis, o limite de gases orgânicos não metano (NMOG) e NO_x caiu de 80 mg/km para 50 mg/km, e foram introduzidos os testes de emissão em condições reais de tráfego. A partir de 2025, as emissões em condições reais não podem exceder o dobro das medidas em laboratório e, a partir de 2027, esse limite deve cair até alcançar 30 mg/km em 2031 (45,40)

Para veículos pesados, a fase PROCONVE P8 entrou em vigor em janeiro de 2022 para homologações de novos modelos e, em janeiro de 2023, para os demais veículos abrangidos, aproximando-se da norma Euro VI. A fase P8 estabelece novos limites máximos de emissão de gases de escapamento e partículas, bem como de ruído, com requisitos de durabilidade, sistemas de diagnóstico de bordo (*On-Board Diagnosis* - OBD) e testes em uso. Ainda, estabelece que os veículos abrangidos na Resolução deverão ser equipados com dispositivo que desliga o motor automaticamente após cinco minutos de funcionamento na condição de marcha lenta e veículo parado (41).

As fases L8 e P8 abrangem a regulação de CO, CO₂, NO_x, MP, hidrocarbonetos (HC) e teor de enxofre no combustível. As reduções obtidas pelo PROCONVE ao longo das décadas são expressivas, conforme detalhado pelo Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (46,15).

PROMOT — Motociclos e Veículos Similares

O Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT) é equivalente ao PROCONVE aplicado para motocicletas e ciclomotores, com fases que estabelecem limites de emissão para CO, hidrocarbonetos, NO_x e MP, conforme a categoria do veículo. Dada a expansão da frota de motociclos em centros urbanos brasileiros, especialmente em serviços de entrega, o PROMOT desempenha papel crescente na contenção das emissões veiculares totais.

Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso (I/M)

O Programa de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso (I/M) tem como objetivo a verificação periódica das condições de emissão dos veículos em circulação, complementando, inclusive com definição de limites de emissão, o controle tecnológico exercido na homologação de veículos novos pelo PROCONVE e PROMOT. A implementação efetiva do I/M é responsabilidade dos estados e municípios, com base em diretrizes federais, sendo de responsabilidade do CONAMA definir os critérios necessários, conforme definido na Resolução CONAMA nº 513 de 2026.

4. POLÍTICAS E REGULAMENTAÇÕES NO BRASIL

Ainda, nessa resolução, fica definida a necessidade de regulamentação e implantação, até 2028, do Programa de Monitoramento de Emissões de Veículos em Uso para a coleta de dados de emissão em condições reais de circulação, de modo a analisar e adotar o melhoramento contínuo das políticas de controle de emissões em vigor.

Adicionalmente, programas de sucateamento e renovação de frota, mencionados na Lei nº 14.850/2024, complementariam os instrumentos existentes, atuando na retirada de circulação veículos antigos com elevadas taxas de emissão associado com medidas de estímulo à aquisição de veículos com tecnologias mais limpas, incluindo elétricos e híbridos.

4.4. MelhorAR

A Portaria nº 192, de 27 de fevereiro de 2025, do Ministério dos Transportes, instituiu o Programa MelhorAR no âmbito do Ministério dos Transportes, voltado à redução de emissões de PA provenientes de veículos rodoviários de cargas e de

passageiros, a partir da realização de avaliação veicular periódica. O Programa prevê a emissão de Selos MelhorAR, atribuídos pela INFRA S.A. que será responsável por implementar, gerir e aperfeiçoar o programa. Assim, a INFRA SA deve estabelecer critérios e procedimentos para concessão, renovação, suspensão e cancelamento do Selo MelhorAR. A atribuição de notas de emissões alcançadas pelos veículos de transporte de carga e passageiros em faixas de FE (47). O MelhorAR complementa os programas Proconve e Promot ao introduzir um mecanismo de reconhecimento por desempenho que abrange a frota em operação, com potencial de estimular a renovação tecnológica, a adoção de combustíveis de menor emissão e a adoção de boas práticas de manutenção e operação no transporte de cargas e passageiros, contribuindo para melhoria da qualidade do ar e da saúde pública.



BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS

5. BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS

As medidas e ações para redução da poluição atmosférica de origem veicular podem ser realizadas por diversas políticas em cidades e países, com estratégias que combinam monitoramento ambiental, regulação tecnológica, redefinição do espaço urbano, eletrificação da frota, gestão da demanda, comunicação e mecanismos econômicos. Muitas delas produzem cobenefícios climáticos e de saúde imediatos, com ganhos significativos de equidade para grupos vulneráveis (11).

Em escala regional, o *Plan de Acción Regional de Calidad del Aire para América Latina y el Caribe* (37) sintetiza as prioridades estabelecidas pela Rede Intergovernamental de Contaminação Atmosférica para o período 2022-2030, do qual o Brasil faz parte, com ênfase no setor de transporte e em medidas de cooperação técnica entre países da região. Mangones et al. (5), em estudo sobre a América Latina, ressaltam que mais de 120 milhões de habitantes da região estão expostos a níveis de poluição acima das diretrizes da OMS e que a motorização tem crescido em ritmo expressivo, com a frota regional saltando de aproximadamente 75 milhões de veículos em 2005 para mais de 150 milhões em 2015.

O diagrama ASI (*Avoid, Shift e Improve*) pode ser utilizado para classificar algumas estratégias e medidas que podem ser implementadas com base em aplicações internacionais. O levantamento de referências internacionais foi realizado com objetivo de identificar as Boas Práticas aplicáveis ao contexto nacional, sintetizadas no diagrama da Figura 5.

Além das medidas classificáveis nos três eixos do diagrama ASI, há um conjunto de ações que não se enquadram isoladamente em EVITAR, TRANSFERIR ou MELHORAR, porque não tem ação direta na redução das emissões. Trata-se de medidas transversais para suporte ao diagnóstico, à governança e à priorização das demais ações, potencializando os resultados dos três eixos.

A primeira dessas medidas é o monitoramento e a elaboração de inventários de emissões por fonte, incluindo redes de sensores de qualidade do ar. O monitoramento permite identificar onde estão as maiores concentrações de poluentes e quais fontes mais contribuem para piora da qualidade do ar, auxiliando na adoção de medidas de mitigação mais adequadas a cada contexto e realidade local. O monitoramento e reporte periódico das emissões de PA possibilita avaliar a efetividade das ações implementadas ao longo do tempo. No Brasil, essa frente pode ser ilustrada, por exemplo, pela iniciativa de monitoramento desenvolvida no âmbito do projeto VITAE, em áreas próximas a fluxos intensos de transporte, e, no plano internacional, por portos que operam redes próprias de sensores, como Roterdã. No Brasil, menos de 2% dos municípios possuem planos e iniciativas voltadas ao monitoramento da qualidade do ar.

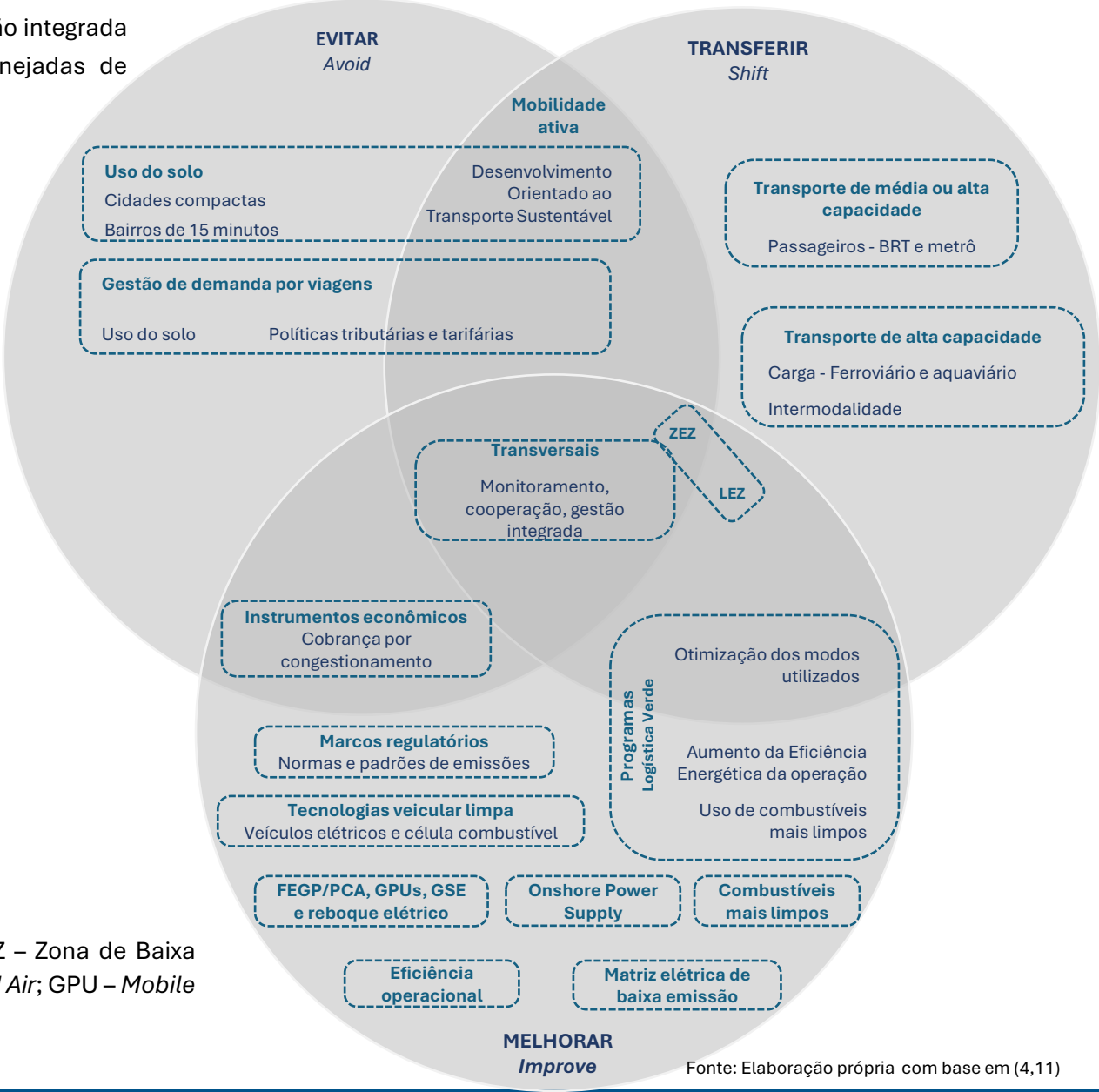
A segunda é a cooperação e a troca de boas práticas entre instituições, cidades e operadores. A difusão de experiências bem-sucedidas acelera a adoção de medidas e reduz custos de aprendizado, evitando que cada ator precise reinventar soluções já testadas. Um exemplo internacional é o *World Ports Climate Action Program* (WPCAP), no qual grandes portos compartilham práticas de redução de emissões e qualidade do ar.

A terceira é a gestão integrada do terminal, do porto ou do aeroporto como um sistema de múltiplas fontes de energia. Como a poluição nesses locais tem como causa as embarcações ou aeronaves, bem como os equipamentos de apoio, do tráfego rodoviário e ferroviário de acesso e das atividades de movimentação de carga, tratar o local como um sistema, permite coordenar as medidas dos diferentes eixos e considerar todas as fontes relevantes de forma articulada.

5. BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS

Em conjunto, essas medidas funcionam como estratégias de monitoramento para orientar as decisões, a cooperação difunde as soluções e a gestão integrada garante que as ações de evitar, transferir e melhorar sejam planejadas de maneira coordenada.

Figura 5 – Boas Práticas de redução de emissões de poluentes atmosféricos do setor de transporte – Diagrama ASI



Fonte: Elaboração própria com base em (4,11)

5. BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS

No diagrama ASI, as medidas classificadas no eixo Evitar atuam para reduzir a necessidade de deslocamentos motorizados e, com isso, a quilometragem percorrida e as emissões de PA associadas. Trata-se de medidas estruturais e de prazo mais longo, ligadas ao planejamento urbano e à gestão da demanda, com cobenefícios para o transporte de passageiros e de cargas. Embora o foco deste relatório seja o transporte de carga, vale registrar que essas estratégias compõem o conjunto de boas práticas internacionais e que parte de seus benefícios também alcança a logística urbana.

A organização compacta do uso do solo é uma medida que busca aproximar a moradia, trabalho, comércio e serviços, reduzindo as distâncias a serem percorridas. Esse princípio se materializa no Desenvolvimento Orientado ao Transporte (*Transit-Oriented Development*, TOD), que concentra densidade e diversidade de usos no entorno de corredores de transporte de média e alta capacidade, e no conceito de cidade ou bairros de 15 minutos (48). A cidade de Paris, França, é referência internacional na aplicação desse conceito, por meio da redução do espaço viário dedicado ao automóvel e à ampliação da rede ciclovária.

A cidade de Curitiba é um caso pioneiro de integração entre uso do solo e transporte de alta capacidade com a criação do Plano Diretor de 1966 e a criação do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba - IPPUC, a cidade organizou seu crescimento ao longo de eixos estruturais e, por meio da legislação de zoneamento, concentrou densidade e usos mistos nas faixas servidas pelo corredor de ônibus inaugurado em 1974, o primeiro BRT do mundo, antecipando os princípios que mais tarde seriam consolidados sob o conceito de TOD (49). Uma variante dessa lógica é o redesenho do espaço urbano para reduzir o tráfego de passagem em áreas residenciais, como o modelo de superquadras implementado em Barcelona. A implementação plena do modelo poderia evitar

mortes prematuras na cidade, sobretudo decorrentes da redução das concentrações ambientais de NO₂ (50).

A gestão da demanda por viagens desestimula viagens motorizadas individuais por meios de instrumentos tarifários, tributários e de uso do solo. Dessa forma, essa prática foi alocada na fronteira entre Evitar e Transferir, pois, ao tornar a viagem motorizada mais custosa, pode inibir o deslocamento ou promover a transferência para modos mais limpos.

Nesse contexto, Singapura opera, desde 1998, o sistema *Electronic Road Pricing* (ERP) atualizado, primeiro a realizar cobrança eletrônica por congestionamento, reduzindo entre 10 e 15% do volume de congestionamento desde seu início (51), contribuindo para a redução das emissões de PA(52). Na cidade de Estocolmo, Suécia, é realizada a cobrança permanente de congestionamento e estabelecidas zonas ambientais, medida em vigor desde 2007. Estima-se que essa prática reduziu o uso de automóveis e aumentou o uso do transporte público, reduzindo as concentrações de PA (53).

No transporte de carga, especificamente, o eixo Evitar está relacionado à redução e racionalização das viagens, evitando deslocamentos desnecessários e viagem em vazio, por meio da implantação de centros de consolidação urbana de cargas, otimização de rotas e de fatores de carga por meio de ferramentas digitais e a redistribuição temporal das entregas para fora dos horários de pico. O programa de entregas fora do horário de pico de Nova York (*Off-Hour Delivery*), conduzido com a Secretaria de Transportes municipal desde 2011, busca deslocar entregas para o período noturno, reduzindo congestionamento e emissões associadas, com ganhos de custo operacional para os transportadores (54,55).

5. BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS

Vale observar que essas medidas também podem estar conectadas aos eixos Transferir e Melhorar, já que o uso do solo compacto e o TOD são práticas que podem viabilizar a transferência para transporte público e transporte ativo, enquanto a racionalização logística amplia a eficiência operacional da frota (Melhorar).

As Zonas de Baixa Emissão (*Low Emission Zones*, LEZ) e Zonas de Emissão Zero (*Zero Emission Zones*, ZEZ) são estratégias que restringem o acesso de veículos com elevadas emissões a áreas centrais de cidades, normalmente por meio de cobrança, multas ou restrições de acesso. As LEZ podem ser configuradas com base em tipo de veículo, padrão de emissão, limites espaciais e critérios temporais de acesso. Uma variante mais restritiva, crescentemente adotada em grandes áreas metropolitanas, é a ZEZ, que não permite o acesso de veículos movidos a combustíveis fósseis e promove ativamente o uso de veículos elétricos, bicicletas e de outras formas de mobilidade de emissão zero (56).

Dessa forma, no diagrama ASI as LEZ/ZEZ podem ser alocada no eixo Transferir, pois desestimulam o uso do automóvel individual poluente e direcionam a demanda para modos coletivos e/ou ativos. Ambas podem ser alocadas também no eixo Melhorar, pois funcionam como um mecanismo que pode promover a aceleração da renovação da frota, já que restringem o acesso à uma área para veículos que não atendam a um padrão de emissão (LEZ) ou que não sejam emissão zero (ZEZ), por meio do uso de veículos com tecnologia menos emissiva e veículos eletrificados ou com tecnologias de emissão zero.

Na cidade de Londres, UK, foi implementada, em 2019, e expandida para o London-wide em agosto de 2023, a zona de baixíssima Emissão (*Ultra Low Emission Zones* - ULEZ) é referência internacional. Segundo o relatório de um ano da Prefeitura de Londres, 99% dos locais monitorados registraram queda nas

concentrações de NO₂ desde a implementação da ULEZ, com redução de 27% desse poluente em Londres e de 54% no centro. As emissões de MP_{2,5} de automóveis e vans no entorno de Londres ficaram aproximadamente 31% mais baixas após a expansão de 2023 (57).

Outro exemplo é a Area C de Milão, Itália, que está vigente desde janeiro de 2012, combinando cobrança por congestionamento com restrição a veículos mais poluentes (Euro 0, 1 e 2) na Zona de Tráfego Limitado (ZTL). O fundo formado com a arrecadação com a cobrança por congestionamento é direcionado para infraestrutura como, por exemplo, promoção do transporte ativo, por meio da ampliação de ciclovias, áreas de pedestre e zonas com velocidade controlada (58).

A ação resultou na redução do ingresso diário de veículos que, em 2021, havia caído cerca de 40% em relação a 2011, com maior participação de veículos Euro VI de cerca de 54%, seguido de veículos com tecnologia Euro VI com participação de cerca de 44%. Ainda, vale destacar que, em relação ao sistema de propulsão, cerca de 22% são híbridos, cerca de 5% movidos a GNL ou metano e cerca de 3% com motor elétrico. Isso impactou na redução de cerca de 60% nas emissões de MP₁₀, e cerca de 75% do NO_x, em 2021, em relação aos níveis de 2010 (59).

Nesse contexto, pode-se considerar um componente de Evitar quando a zona combina restrição com cobrança, como ocorre na Area C de Milão e na articulação da ULEZ de Londres com o *Congestion Charge*. Nesses casos, a precificação pode suprimir parte das viagens, e não apenas as transfere de modo, o que aproxima a medida também do eixo Evitar. Tais iniciativas precisam de ajustes na oferta do sistema de transporte e mudanças na maneira como as pessoas consomem transporte, de forma evitar outros impactos sobre a sustentabilidade, para além dos aspectos ambientais.

5. BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS

INICIATIVAS INTERNACIONAIS – Zonas de Baixa Emissão

Londres (Reino Unido)

Implementada em 2019 e expandida para o London-wide em agosto de 2023, a zonas de baixíssima Emissão (Ultra Low Emission Zones - ULEZ) é referência internacional. Segundo o relatório de um ano da Prefeitura de Londres, 99% dos locais monitorados registraram queda nas concentrações de NO₂ desde a implementação da ULEZ, com redução de 27% desse poluente em Londres e de 54% no centro. As emissões de MP_{2,5} de automóveis e vans no entorno de Londres ficaram aproximadamente 31% mais baixas após a expansão de 2023 (57).

Região Metropolitana de Paris (França)

A LEZ da RMP ocorre das 8h às 20h em dias úteis, restringindo o acesso à região por veículos mais poluentes que não possuem certificado de qualidade do ar, conforme a classificação Crit'Air. A medida integra a estratégia metropolitana de mobilidade da Île-de-France e é coordenada com investimentos em transporte público e em ciclovias (60,61).

Berlim (Alemanha)

Em vigor em Berlim desde 2008, passou a emitir adesivos verdes em 2010, com acesso restrito a veículos não identificados por esses adesivos. Apenas veículos Euro 4 ou superior podem obter o adesivo verde (62,63). A LEZ contribuiu para a redução das concentrações de MP10 (64).

Bruxelas (Bélgica)

Em vigor desde 1º de janeiro de 2018, a LEZ de Bruxelas foi se tornando progressivamente mais restrita, não permitindo o acesso de veículos a diesel em fases abaixo do Euro IV. Houve redução pela metade do número de veículos diesel circulantes entre 2018 e 2022 (65). A estimativa de redução nas emissões de cerca de 23% de MP10 e 33% de MP2,5, além da redução nas emissões de carbono negro em 62% e de NOX em cerca de 55% nas vias principais entre 2018 e 2025. As concentrações de NO2 reduziram cerca de 37% entre 2017 e 2022 (66).

5. BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS

A cidade de Pequim adotou, a partir das Olimpíadas de 2008, restrição por dígito final da placa nos dias úteis dentro do 5º Anel Viário, ampliada por restrições adicionais em períodos de alerta de poluição. Em dias de alerta vermelho de smog, o conjunto das medidas é reportado como capaz de reduzir as emissões em até 30% (67,68).

O sistema de rodízio de placas também foi implementado em São Paulo pelo Programa de Restrição ao Trânsito de Veículos Automotores no Município de São Paulo, instituído pela Lei Municipal nº 12.490/1997 (69). O programa opera com restrição rotativa por dígito final da placa nos horários de pico do Centro Expandido, que é válido para automóveis e caminhões, com objetivo principal de promover a melhoria do trânsito, impactando também na melhoria da qualidade do ar. Após quinze anos de operação, os efeitos sobre a qualidade do ar foram considerados marginais, dada a combinação entre crescimento da frota e adaptação comportamental.

A eletrificação do transporte público é uma das estratégias mais efetivas para reduzir as emissões locais de poluentes atmosféricos em corredores urbanos de alta densidade, eliminando as emissões diretas no ponto de operação. A combinação de zero emissão local, baixo ruído e elevada eficiência energética torna essa estratégia particularmente atrativa para vias com presença significativa de pedestres e para operações do Transporte Público por Ônibus, devido às suas características operacionais de anda-e-para associadas a frenagem regenerativa existente nos veículos elétricos.

INICIATIVAS INTERNACIONAIS – Eletrificação do Transporte Público por Ônibus

Shenzhen (China). A cidade tornou-se referência global ao eletrificar 100% de sua frota de ônibus, totalizando mais de 16 mil veículos, ainda na década passada.

Santiago (Chile). O sistema Red Movilidad atingiu, em setembro de 2025, a marca de 3.125 ônibus elétricos em operação, configurando a maior frota elétrica da América Latina e uma das maiores do mundo fora da China.

Bogotá (Colômbia). A capital colombiana possui frota de aproximadamente 1.589 ônibus elétricos e, por exigência legal recente, contratações para o sistema BRT TransMilenio devem ser realizadas exclusivamente com operadoras que utilizam ônibus elétricos.

5. BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS

Algumas cidades brasileiras, como São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba, Salvador, dentre outras, têm avançado na introdução de ônibus elétricos em corredores e linhas-piloto, com diferentes arranjos contratuais entre operação, infraestrutura de recarga e fornecimento de energia.

Análise recente do ITDP Brasil, conduzida com apoio do Ministério das Cidades, indica que mais de 14 mil ônibus a diesel poderiam ser substituídos por modelos elétricos até 2030 anos nas 21 maiores regiões metropolitanas do país. As capitais São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, juntas, têm potencial para implantar mais de cinco mil *e-buses* no horizonte de cinco anos. O programa PAC/REFROTA passou a oferecer taxas de juros mais atrativas e condições de pagamento favoráveis para a aquisição de ônibus elétricos pelas cidades (17).

A adoção de padrões Euro VI ou equivalente para todas as fontes de emissão e a obrigatoriedade de filtros de particulados diesel em embarcações e veículos terrestres é estratégia essencial para a redução das emissões de carbono negro, MP e demais poluentes.

A implementação da Estratégia Global de Introdução de Combustíveis de Baixo Enxofre e Veículos Diesel mais Limpos pode alcançar uma redução em mais de 90% das emissões de MP e carbono negro de automóveis, ônibus e caminhões até 2030. Ainda, os benefícios da melhoria da saúde pública, em relação aos direcionados à saúde pública, superariam largamente os custos agregados necessários à plena implementação das medidas de dessulfurização e de controle de emissões veiculares para alcance das metas setoriais para 2050 (10). O elevado retorno econômico das medidas reforça a importância da adoção da agenda de qualidade do ar como política pública prioritária.

No entanto, barreiras econômicas, regulatórias, institucionais e de mercado ainda precisam ser superadas para a produção de combustível com baixo teor de

enxofre (*Low-Sulphur Fuels* - LSF). A necessidade de investimentos elevados para a adaptação de refinarias de produção de LSF, muitas vezes difíceis de serem realizados em países emergentes, podendo elevar o preço do combustível, impactando em toda cadeia logística, sobretudo no consumidor final (10).

Além das barreiras econômicas, a transição para combustíveis mais limpos enfrenta uma série de obstáculos estruturais e políticos. No campo institucional, a falta de fiscalização eficaz e a presença de normas desatualizadas podem dificultar a implementação de regulações e normas unificadas entre regiões vizinhas. Esse cenário é agravado por desafios políticos, como a manutenção de subsídios a combustíveis poluentes e a resistência de grupos de interesse que lucram com o modelo atual (10). Ainda que essas barreiras fossem superadas, a logística impõe uma barreira física, com carência de infraestrutura adequada para armazenar e transportar novos combustíveis de forma eficiente e com baixa emissão, muitas vezes com predomínio do modo rodoviário além de faltar suporte técnico para a manutenção de veículos modernos (70). Por fim, a própria dinâmica comercial pode impedir o progresso na adoção de LSF, tendo em vista que muitos países dependem da importação de combustíveis refinados e lidam com a entrada massiva de veículos antigos e altamente poluentes, retroalimentando o ciclo de altas emissões de PA (10).

No Brasil, a introdução das fases PROCONVE P8 e L8 estabeleceu a redução expressiva nos limites de emissão. Para o avanço, são necessárias ações coordenadas que permitam a renovação da frota antiga, particularmente do transporte rodoviário de cargas, bem como a generalização do diesel S-10 e gradual eliminação do diesel S-500, além da ampliação dos sistemas de inspeção e manutenção (I/M).

5. BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS

O tempo desnecessário em marcha lenta de automóveis, caminhões e ônibus durante carga/descarga e embarque/desembarque aumenta a emissão dos PA e consumo de combustível, além de provocar o desgaste excessivo do motor. Assim, a redução do tempo ocioso dos veículos a diesel evita exposição da população aos gases de escape (71).

Nesse contexto, pessoas situadas a até 3 metros de um veículo em marcha lenta podem estar expostas a concentrações de NO₂ superiores ao padrão de 1 hora da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency* - EPA US) (100 ppb), com risco elevado para grupos vulneráveis como, por exemplo, crianças aguardando embarque em ônibus e pedestres em cruzamentos semaforizados (72).

Legislações anti-marcha lenta foram adotadas em mais de 30 estados americanos, limitando o funcionamento contínuo do motor entre 2 e 15 minutos ou restringindo a prática. Na Califórnia, por exemplo, o tempo de marcha lenta de caminhões de longa distância é restrito a, no máximo, 5 minutos (73). O Departamento de Energia (DOE) apoia pesquisas de redução do tempo de marcha lenta como parte do projeto *SuperTruck*, voltado a melhorar a eficiência de caminhões pesados em 50%, utilizando baterias de íons de lítio e sistemas de tração híbrida elétrica como alternativas ao funcionamento em marcha lenta (74). Ainda, o Programa *Clean School Bus*, implementado pela EPA, foi reformulado para oferecer financiamento direto à substituição de ônibus escolares por veículos de emissão zero ou movidos a combustíveis alternativos limpos, podendo cobrir os custos de aquisição dos veículos e da infraestrutura de abastecimento, de modo a reduzir a exposição de crianças aos poluentes emitidos durante marcha lenta no embarque e desembarque (75,76).

Além das soluções tecnológicas, intervenções comportamentais têm demonstrado resultados na redução do tempo em marcha lenta, como o

treinamento individual em *eco-driving*, retroalimentação sobre o comportamento de condução e campanhas comunitárias. O treinamento em *eco-driving* pode reduzir as taxas de marcha lenta no curto prazo.

A União Europeia tornou obrigatória a integração do treinamento em *eco-driving* nos testes de habilitação de veículos particulares (Categoria B) em 2013, medida opcional nos EUA e Reino Unido (77).

No Reino Unido, manter o motor ligado desnecessariamente enquanto o veículo está parado na via pública constitui infração legal desde 1986 e, desde 2002, autoridades locais britânicas podem emitir avisos de penalidade e de cobrança a motoristas infratores. Na Cidade de Londres, a multa pode dobrar em caso de atraso no pagamento (78). O projeto *Idling Action* London realizou programas de conscientização da população para evitar essa prática (79).

Normalmente, veículos de carga no Brasil mantêm o carro em marcha lenta para utilizar o ar-condicionado em operações de carga e descarga, devido às altas temperaturas em muitas cidades brasileiras. O veículo que permanece com motor ligado com uso de ar condicionado é um comportamento que aumenta as emissões de GEE e PA (80).

Padrões de aceleração e desaceleração estão associados a emissões mais elevadas de PA por unidade de distância. Sistemas de cobrança por fluxo livre (*free-flow*), gestão semafórica adaptativa, ondas verdes coordenadas e mensuração eletrônica de pedágio reduzem paradas e retomadas de velocidade, contribuindo para a redução das emissões de PA em corredores rodoviários e arteriais urbanos.

5. BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS

No Brasil, a implantação de pedágios *free-flow* em rodovias federais e estaduais tem avançado, com cobenefícios potenciais em termos de qualidade do ar, especialmente em corredores logísticos com elevado volume de veículos pesados.

Para limitar o aquecimento global a 1,5 °C, as emissões de carbono negro precisariam ter uma redução de pelo menos 35% até 2050 em relação aos níveis de 2010, em todos os setores. (10).

O transporte aquaviário responde por mais de 80% do comércio internacional de mercadorias (81) e, embora seja eficiente em emissões por tonelada transportada, é fonte relevante de poluentes atmosféricos, sobretudo MP, NO_x e SO_x (82). Em áreas portuárias, essas emissões podem ocorrer próximas a centros urbanos e a populações vulneráveis. É importante destacar que a poluição do ar nos portos não se limita às embarcações, sendo resultado também de um conjunto de fontes que inclui os motores auxiliares dos navios atracados, caminhões de transporte rodoviário que chagam ao porto, os equipamentos de movimentação de carga (guindastes, empilhadeiras, *reach stackers*), as operações ferroviárias e as próprias manobras das embarcações na aproximação e atracação (83,84).

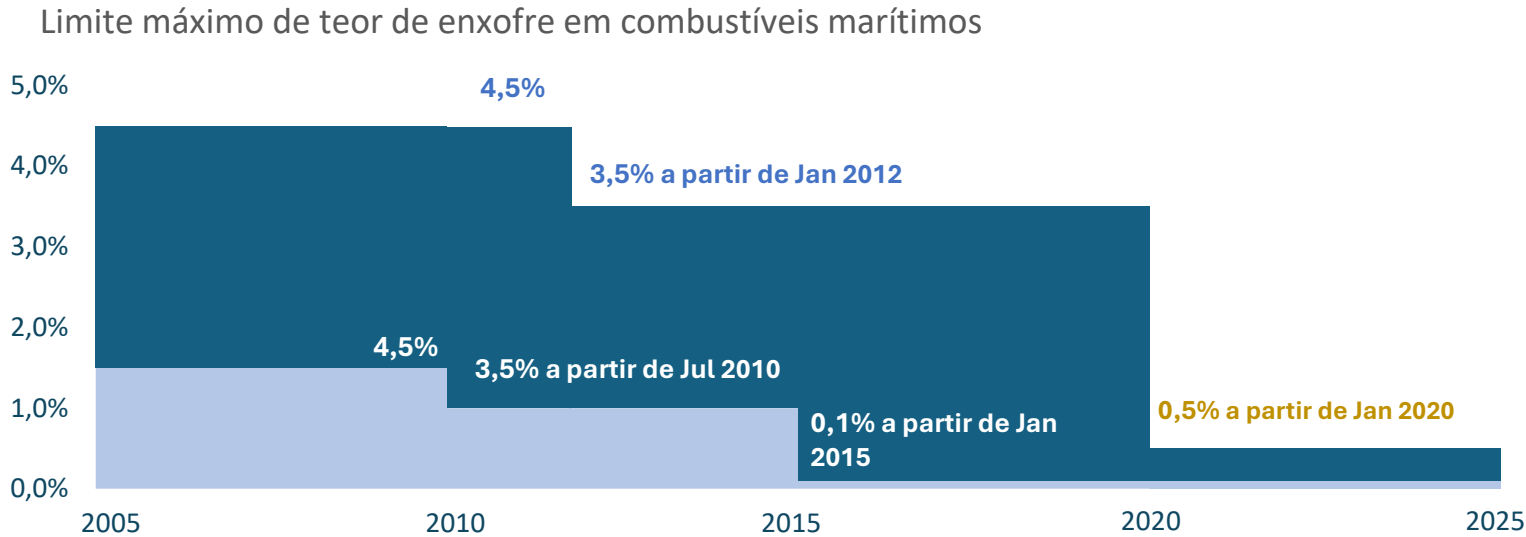
Os impactos sobre a saúde justificam a atenção regulatória crescente. As concentrações de poluentes em área portuária podem gerar efeitos respiratórios, cardiovasculares e oncológicos relacionados às emissões de navios e portos (83,84). O estudo de Sofiev *et al.* (85) estimou que, antes da adoção de combustíveis marítimos mais limpos, as emissões do setor estariam associadas a aproximadamente 400 mil mortes prematuras por câncer de pulmão e doenças cardiovasculares e a cerca de 14 milhões de casos de asma infantil por ano no

mundo. O mesmo estudo projetou que combustíveis com menor teor de enxofre poderiam reduzir a mortalidade prematura relacionada ao setor em torno de 34% (85).

No plano regulatório global, o principal instrumento é o Anexo VI, da Convenção Internacional para Prevenção da Poluição por Navios - MARPOL, da IMO (86). O Anexo VI trata da Prevenção da Poluição Atmosférica por Navios e a medida de maior alcance recente foi o limites de emissão de óxidos de enxofre (SOX), por meio de limites do teor de enxofre nos combustíveis marítimos, reduzido de 3,5% para 0,5% (m/m) a partir de janeiro de 2020 (Figura 6), com benefícios diretos de saúde para populações costeiras e portuárias (87). Além do limite global, a IMO define Áreas de Controle de Emissões (*Emission Control Areas - ECAs*), nas quais os limites são mais rígidos. Nessas áreas, o teor de enxofre cai para 0,10% (m/m) desde 2015, e há padrões mais severos de NO_x para embarcações novas. Atualmente existem áreas designadas no Mar Báltico, Mar do Norte, América do Norte, área do Caribe dos Estados Unidos e, mais recentemente, no Mar Mediterrâneo, com limites de enxofre mais rígidos em vigor a partir de maio de 2025 (88). O Brasil adotou o Anexo VI da Convenção Internacional para Prevenção da Poluição Causada por Navios (*Marine Pollution – MARPOL*) a partir de 2010 (89).

5. BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS

Figura 6 – Limites máximo de teor de enxofre estabelecido no Anexo VI da MARPOL



Fonte: Elaboração própria a partir de estudo da EPE (89)

A União Europeia complementa o arcabouço da IMO com regras próprias que combinam exigências sobre o combustível e sobre a infraestrutura portuária. O Regulamento FuelEU Maritime, em vigor desde janeiro de 2025, estabelece a redução gradual da intensidade de gases de efeito estufa da energia usada a bordo de navios acima de 5.000 de arqueação bruta que escalam em portos da UE, começando em 2% em 2025 e chegando a 80% em 2050 em relação à média de 2020 (90). O mesmo regulamento, articulado ao Regulamento de Infraestrutura de Combustíveis Alternativos (*Alternative Fuel Infrastructure Regulation* - AFIR), torna obrigatório o uso de energia elétrica on-shore (*On-shore Power Supply* - OPS) ou de tecnologias equivalentes de emissão zero para navios de passageiros e porta-contêineres atracados, a partir de 2030 nos portos abrangidos pela AFIR e, a partir de 2035, nos demais portos da UE equipados com a infraestrutura necessária (90).

A esse conjunto soma-se a extensão do Sistema de Comércio de Emissões da UE (*European Union Emission Trade System* – EU ETS) ao setor marítimo, criando um sinal econômico para a descarbonização (90) e, indiretamente, para a redução de poluentes locais.

Entre as boas práticas técnicas para reduzir emissões nos portos, a OPS é uma das mais consolidadas. A tecnologia permite que a embarcação atracada desligue seus motores auxiliares e se conecte à rede elétrica em terra, eliminando boa parte das emissões de NO_x, SO_x e MP geradas no período de permanência no berço, além de reduzir ruído e odores que afetam o entorno (91). Na Europa, em 2025, aproximadamente 62% dos portos possuem capacidade para oferecer aos navios serviço de conexão à rede OPS (92).

5. BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS

Vale ressaltar que o benefício ambiental depende da matriz elétrica que abastece o porto, ponto relevante para o contexto brasileiro devido a sua matriz energética ser majoritariamente limpa.

Os instrumentos econômicos e voluntários como o *Environmental Ship Index (ESI)*, por meio da *World Ports Climate Initiative*, atribui a cada navio uma pontuação conforme seu desempenho ambiental em relação aos GEE, considerando também poluentes como SO_x, NO_x, superior aos padrões mínimos da IMO. A partir dessa pontuação, os portos participantes concedem descontos em tarifas portuárias às embarcações mais limpas, funcionando como um incentivo de mercado (93). Diversos portos participam da iniciativa, operando mecanismos de incentivo baseados no índice, incluindo Roterdã, Hamburgo, Antuérpia, Los Angeles, Vancouver, Tóquio e o Canal do Panamá (93). Em paralelo, o *World Ports Climate Action Program (WPCAP)*, criado em 2018 por um grupo de grandes portos como Roterdã, Antuérpia-Bruges, Hamburgo, Los Angeles, Long Beach, Valência, Barcelona, Vancouver e Yokohama, promove a troca de boas práticas e a aceleração da implementação do OPS para navios oceânicos (94). Na Europa, em 2025, cerca de 53% dos Portos ofereciam diferenças nas taxas para embarcações mais limpas (92).

Os portos de Los Angeles e Long Beach (San Pedro Bay) estão sob o Plano de Ação para o Ar Limpo (*Clean Air Action Plan* - CAAP), iniciado em 2006 e atualizado em 2017. O plano combina diversas frentes, com destaque para o *Clean Truck Program*, que reduziu a poluição da frota de caminhões do porto em mais de 90%, além de sistemas de captura de emissões de navios atracados e eletrificação de equipamentos de pátio. Ambos relatam reduções expressivas das emissões totais do porto, em 2024 em relação ao ano-base de 2005, da ordem de eliminação em cerca de 90% das emissões de SO_x, e MP, de cerca de 70% de NO_x, mesmo com crescimento do volume de carga movimentada (95).

Na Europa, o Porto de Roterdã promove a integração de medidas, investindo em fornecimento de energia pelo sistema OPS para navegação interior e para embarcações de transporte marítimo, com a meta de que todas as embarcações de navegação interior atraiam de forma livre de emissões nos berços públicos até 2030. Além disso, mantém uma rede de monitoramento da qualidade do ar para acompanhar as concentrações de poluentes (96). Esses casos apontam que a combinação de regulação, infraestrutura OPS, incentivos econômicos e renovação ou eletrificação das frotas de apoio tende a produzir os melhores resultados, lição diretamente transferível para o planejamento portuário em outros contextos, inclusive o brasileiro.

No Brasil, o alinhamento às boas práticas internacionais começa pela dimensão institucional e de monitoramento. A Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) instituiu, por meio da Resolução nº 2.650/2012, o Índice de Desempenho Ambiental (IDA), instrumento que avalia o grau de conformidade ambiental de portos públicos e terminais privados a partir de critérios como monitoramento de impactos, controle de emissões e gestão de resíduos (97). Esse mecanismo cumpre, no contexto nacional, papel análogo ao dos sistemas de monitoramento adotados internacionalmente, ainda que com escopo mais amplo do que a qualidade do ar isoladamente. Mais recentemente, o setor passou a estruturar uma agenda de descarbonização coordenada pelo Ministério de Portos e Aeroportos e pela ANTAQ, com estudos técnicos sobre transição energética e a formulação de um plano nacional de descarbonização portuária (98,99). Muitas das iniciativas ainda são recentes, de 2024 a 2026, e ainda está em fase de implementação. Dessa forma, os resultados quantitativos de redução de poluentes locais (NO_x, SO_x, MP) são, em geral, menos consolidados do que os relatados em portos de referência como Los Angeles e Roterdã.

5. BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS

A prática internacional mais diretamente replicada é o OPS. O Porto de Santos, o maior da América Latina, implantou desde 2024 um sistema de OPS que abastece os rebocadores atracados com energia limpa gerada pela usina hidrelétrica de Itatinga, em Bertioga, permitindo o desligamento dos motores das embarcações durante a permanência no cais (99). A matriz elétrica nacional majoritariamente renovável proporciona vantagem comparativa brasileira às iniciativas internacionais. Na mesma linha de eletrificação, o Porto de Suape (PE) deve ser o primeiro terminal de contêineres totalmente eletrificado da América Latina, com equipamentos de movimentação movidos a energia elétrica a partir de 2027 (99), o que dialoga diretamente com a eletrificação de equipamentos de pátio adotada no CAAP dos portos de San Pedro Bay (100).

No campo dos instrumentos econômicos, há convergência clara com o modelo do *Environmental Ship Index* (ESI). O Porto de Santos adota um programa de descontos tarifários para embarcações e terminais com melhor desempenho ambiental, classificando os navios com base no ESI, o mesmo índice usado por mais de uma centena de portos no mundo (101,93). Um estudo da ANTAQ sobre descarbonização indica, de forma mais geral, que os portos brasileiros pesquisados já oferecem incentivos a navios com menor pegada de carbono, como descontos tarifários ou prioridade de atracação, o que sinaliza um alinhamento gradual aos esquemas de incentivo de mercado consagrados internacionalmente (98).

Outros avanços conversam com a estratégia internacional de reduzir as emissões das fontes terrestres do porto e de viabilizar combustíveis de baixo carbono para a navegação. O Porto de Paranaguá investe, desde 2023, na ampliação da logística ferroviária e em geração de energia solar, medidas que reduzem o fluxo de caminhões e as emissões associadas ao transporte

rodoviário de acesso, na mesma lógica dos programas de caminhões limpos e de transferência modal adotados no exterior (99). Já o Complexo do Pecém (CE) e o Porto do Açu (RJ) posicionam-se na fronteira da transição de combustíveis, com projetos de hidrogênio e amônia verdes e de estabelecimento de corredores verdes para abastecimento de combustíveis de baixa emissão, antecipando-se a uma agenda que, no plano internacional, ainda está em estágio inicial de implementação (99).

Portanto, os portos brasileiros vêm adotando, de forma crescente, o mesmo conjunto de instrumentos das boas práticas internacionais. Tem-se priorizado as emissões sobre GEE e seus efeitos climáticos, com menor enfoque em poluentes atmosféricos locais (NO_x, SO_x, MP) que afetam a saúde das comunidades portuárias, mas que são reduzidos a medida em que ações de descarbonização são colocadas em prática. Além disso, o Brasil não possui ECAs designadas pela IMO em suas águas, diferentemente da Europa e da América do Norte, o que representa uma diferença regulatória estrutural em relação às referências internacionais.

As áreas aeroportuárias também geram poluição atmosférica relevante a partir de duas grandes origens, o tráfego aéreo e o tráfego de superfície (Figura 2). As emissões de HC, CO, NO_x, SO_x e MP das aeronaves somam-se àquelas das unidades auxiliares de energia (APU) das aeronaves e como os equipamentos de apoio de solo (*Ground Support Equipment*, GSE), os veículos de acesso de passageiros e funcionários (carros, ônibus, táxis) e as demais atividades associadas ao uso do solo no entorno dos aeroportos (20,102). As Boas Práticas internacionais tratam o aeroporto como um sistema devido a essa pluralidade de fontes de emissões.

5. BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS

A poluição do ar diretamente associada à operação das aeronaves no aeroporto é avaliada considerando o ciclo LTO (Figura 2) (20,19). Em aeroportos próximos a centros urbanos, as emissões das aeronaves no ciclo LTO podem ser significativamente maiores do que as do tráfego de superfície de acesso, contrariando a intuição de que os automóveis seriam o principal problema local (20). Esse resultado reforça que a qualidade do ar em aeroportos e no seu entorno depende também de intervenções sobre as operações de solo das aeronaves, e não apenas sobre o tráfego rodoviário, o que orienta a escolha das medidas de mitigação prioritárias.

No plano regulatório, a referência internacional é o trabalho da ICAO por meio do seu Comitê de Proteção Ambiental da Aviação (*Committee on Aviation Environmental Protection* - CAEP), que estabelece normas de certificação de emissões dos motores aeronáuticos para NO_x, HC, CO e, mais recentemente, MP não volátil (nvPM), com os valores compilados que podem ser acessados no *Engine Emissions Databank*, de acesso público (19). A métrica de NO_x do ciclo LTO foi concebida para controlar as emissões relacionadas ao aeroporto e, assim, contribuir para o atendimento dos padrões locais de qualidade do ar (19). Vale pontuar que esse arcabouço atua sobre a tecnologia dos motores de novas aeronaves, de modo que os ganhos de qualidade do ar dependem também das medidas operacionais adotadas em cada aeroporto.

Entre as boas práticas operacionais de solo, uma das mais consolidadas é a substituição do uso da APU por energia elétrica de cabo fixo no portão (*Fixed Electrical Ground Power*, FEGP) (103,104) e por ar pré-condicionado (PCA), permitindo desligar o sistema APU da aeronave durante sua permanência no aeroporto (103,20,104).

A APU é uma fonte pouco eficiente e que emite poluentes atmosféricos, e sistemas fixos no portão podem reduzir suas emissões em torno de 70% a 90% (103,104). O tempo em que a aeronave fica junto ao portão pode variar

dependendo de fatores como tipo de aeronave, o aeródromo e a quantidade de combustível requerido para a próxima movimentação. O inventário de emissões atmosféricas nacionais da aviação (1) utiliza, para a estimativa das emissões referentes ao uso de APU, o tempo médio padrão de 15 minutos de funcionamento, determinado pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) e o FE, em kg poluente por hora, que depende do tipo de aeronave e regime de potência da operação. A APU foi responsável, em 2018, pelas emissões estimadas de 9,5% de CO, de 8,6% de COV e de 6,7% de NO_x (105).

O aeroporto de Barcelona El Prat, utiliza sistema de energia fixa e PCA a partir de dois minutos após a chegada da aeronave ao portão até cinco minutos antes da partida (103). O aeroporto de Hong Kong também restringe o uso da APU desde 2014, investindo em unidades de FEGP e sistemas PCA para fornecer para fornecer refrigeração dentro das aeronaves, alcançando redução de emissões de GEE e poluentes atmosféricos (103,106).

Outras medidas atuam diretamente sobre a fase de taxiamento, que tende a crescer com o congestionamento de solo (20). A eletrificação dos veículos reboque e da frota de equipamentos de apoio de solo (GSE), substituindo os veículos a diesel ou gasolina, sobretudo de NO_x, MP e CO atribuíveis ao veículo de reboque (20), lógica similar a adotada para os pátios portuários. Investimentos da União Europeia foram realizados nos principais aeroportos da Espanha para implementação de infraestrutura de recarga para os veículos eletrificados de suporte na pista (107).

Em relação aos combustíveis, a principal aposta internacional é o uso de combustível sustentável de aviação (*Sustainable Aviation Fuel*, SAF) na busca, principalmente, de redução de emissões de GEE em relação ao querosene fóssil e, a depender da composição, pode contribuir para diminuir também enxofre e parte do material particulado (108,109,110).

5. BOAS PRÁTICAS INTERNACIONAIS

Na União Europeia, o mandato ReFuelEU Aviation estabelece metas crescentes e obrigatórias de mistura de SAF nos aeroportos, partindo de 2% em 2025 até alcançar 70% em 2050, enquanto no plano global a ICAO conduz o esquema CORSIA de compensação e redução de carbono (108,111,109). Vale ressaltar que o SAF ainda representa uma fração muito pequena do consumo de querosene de

aviação, da ordem de menos de 1%, em 2024, com custo superior ao do combustível convencional (109,110), o que pode ser uma barreira para a sua mistura em maiores proporções ao querosene de aviação.



PROJETO VITAE – MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

6. PROJETO VITAE – MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

O Projeto VITAE (Vida Integrada, Transporte, Ambiente e Eficiência), possui um eixo voltado ao Monitoramento da Qualidade do Ar do Setor de Transporte Rodoviário, é uma iniciativa do Observatório Nacional de Transporte e Logística (ONTL), conduzido pela INFRA S.A. em parceria com a Universidade Federal do Ceará (UFC), por meio do Grupo de Pesquisa em Transporte e Meio Ambiente - TRAMA. A iniciativa tem como propósito construir um sistema piloto de monitoramento da qualidade do ar capaz de apoiar decisões no âmbito da Política Nacional de Transportes (INFRA S.A. e UFC, 2025; INFRA S.A., 2026). O projeto alinha-se à Política Nacional de Qualidade do Ar (Lei nº 14.850/2024) e tem como objetivo geral mapear dados de emissões e concentrações de PA provenientes do transporte rodoviário de cargas e passageiros, de modo a definir a qualidade do ar no entorno das áreas de estudo e entender os seus impactos na qualidade de vida e a saúde da população exposta.

A iniciativa contempla, simultaneamente, o desenvolvimento de tecnologia brasileira de monitoramento ambiental de custo acessível, a operação de uma rede piloto de monitoramento e a análise das associações entre qualidade do ar, variáveis meteorológicas (temperatura, umidade e pressão) e doenças sensíveis ao clima, com destaque para enfermidades respiratórias e cardiocerebrovasculares.

Os dados coletados em tempo real da qualidade do ar são comunicados e atualizados no site do ONTL em fluxo contínuo, atuando como subsídio para tomada de decisão na implementação de estratégias de redução das emissões de PA e políticas de saúde pública. A configuração inicial prevê a produção e instalação de 80 dispositivos de monitoramento, distribuídos entre quatro localidades estratégicas, pensadas em termos das suas configurações geográficas, das infraestruturas de transporte e suas características, do clima e totalizando mais de 7 milhões de habitantes.

- **Região Metropolitana de Fortaleza/CE** – sede da Universidade Federal do Ceará (UFC) e ponto de origem do desenvolvimento tecnológico do projeto, com instalação piloto de **20 dispositivos** distribuídos na Região Metropolitana de Fortaleza, permitindo a validação da solução em ambiente urbano de alta densidade populacional.
- **Distrito Federal (DF)** – implantação de **20 dispositivos** distribuídos em diferentes regiões administrativas, possibilitando o monitoramento da qualidade do ar em distintos contextos urbanos e de mobilidade da capital federal.
- **Goiânia/GO** – instalação de **20 dispositivos**, permitindo análises comparativas entre centros urbanos com diferentes dinâmicas populacionais, econômicas e de transporte.
- **Corredor BR-060 (DF–GO)** – implantação de **20 dispositivos** ao longo do principal eixo rodoviário entre Brasília e Goiânia, viabilizando a caracterização espacial das emissões associadas ao transporte rodoviário e a comparação entre ambientes urbanos e corredores logísticos de alta circulação.

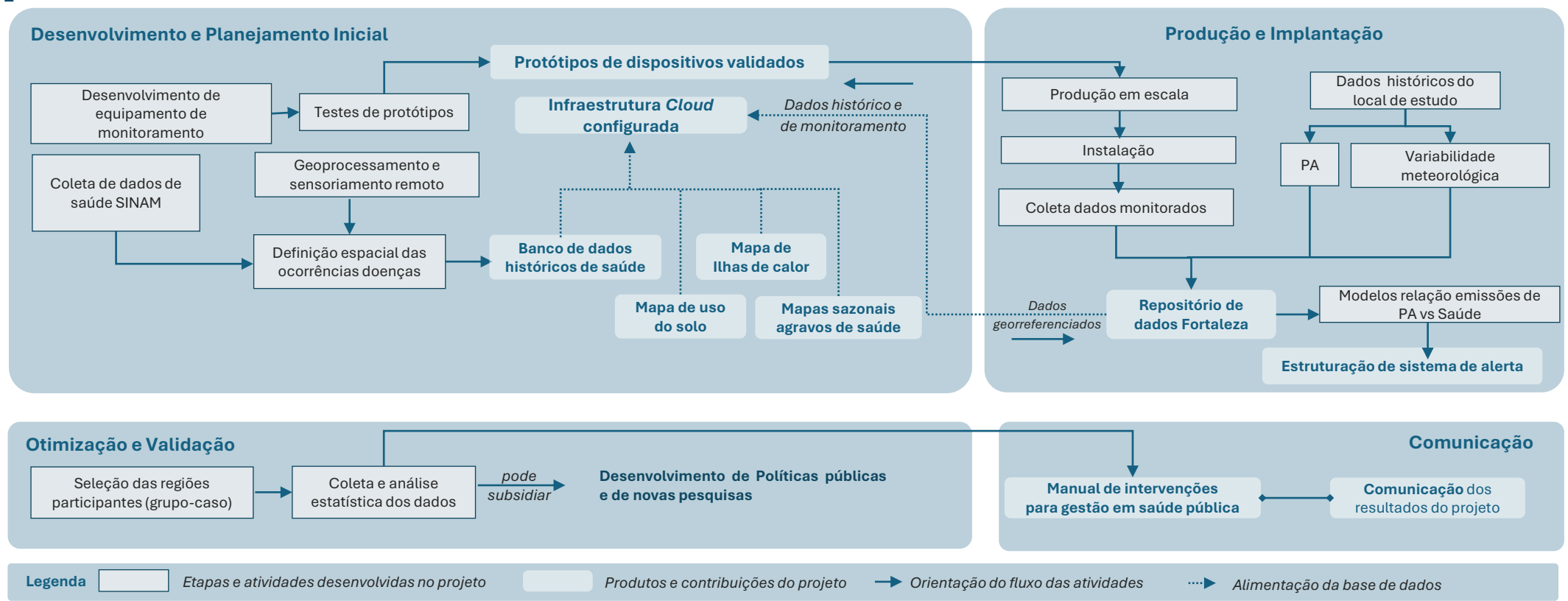
A primeira instalação em campo ocorreu em fevereiro de 2026, no Aeroporto Internacional de Fortaleza, inaugurando a operação dos monitores.

6. PROJETO VITAE – MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

O conjunto de variáveis observadas articula registros ambientais, meteorológicos e de saúde, a partir do monitoramento dos poluentes como MP_{2,5}, MP₁₀ e partículas ultrafinas, NO₂ e O₃; de variáveis meteorológicas locais como temperatura, umidade e pressão atmosférica; número de hospitalizações por asma, IAM e AVC, com base em registros do Sistema de Informação de Agravos

de Notificação (SINAN) para o período entre janeiro de 2008 a dezembro de 2024; e dados socioeconômicos do IBGE, informações de infraestrutura e serviços do ONTL e demais bases relevantes para a caracterização da população exposta. A Figura 7 apresenta um fluxo das principais etapas e contribuições do projeto VITAE.

Figura 7 – Etapas e atividades desenvolvidas ao longo do projeto VITAE

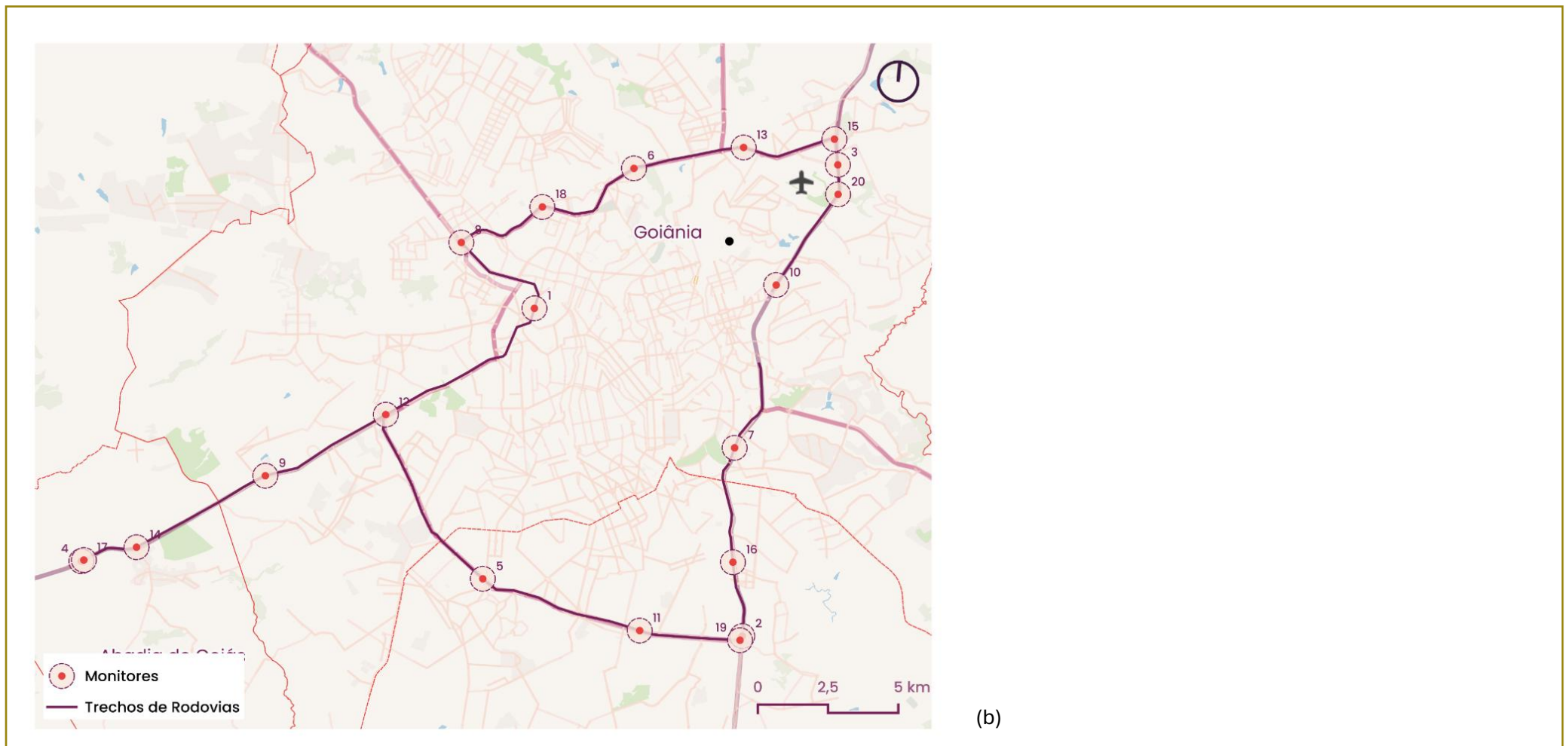


Fonte: Elaboração própria com base nas metas e etapas do projeto VITAE

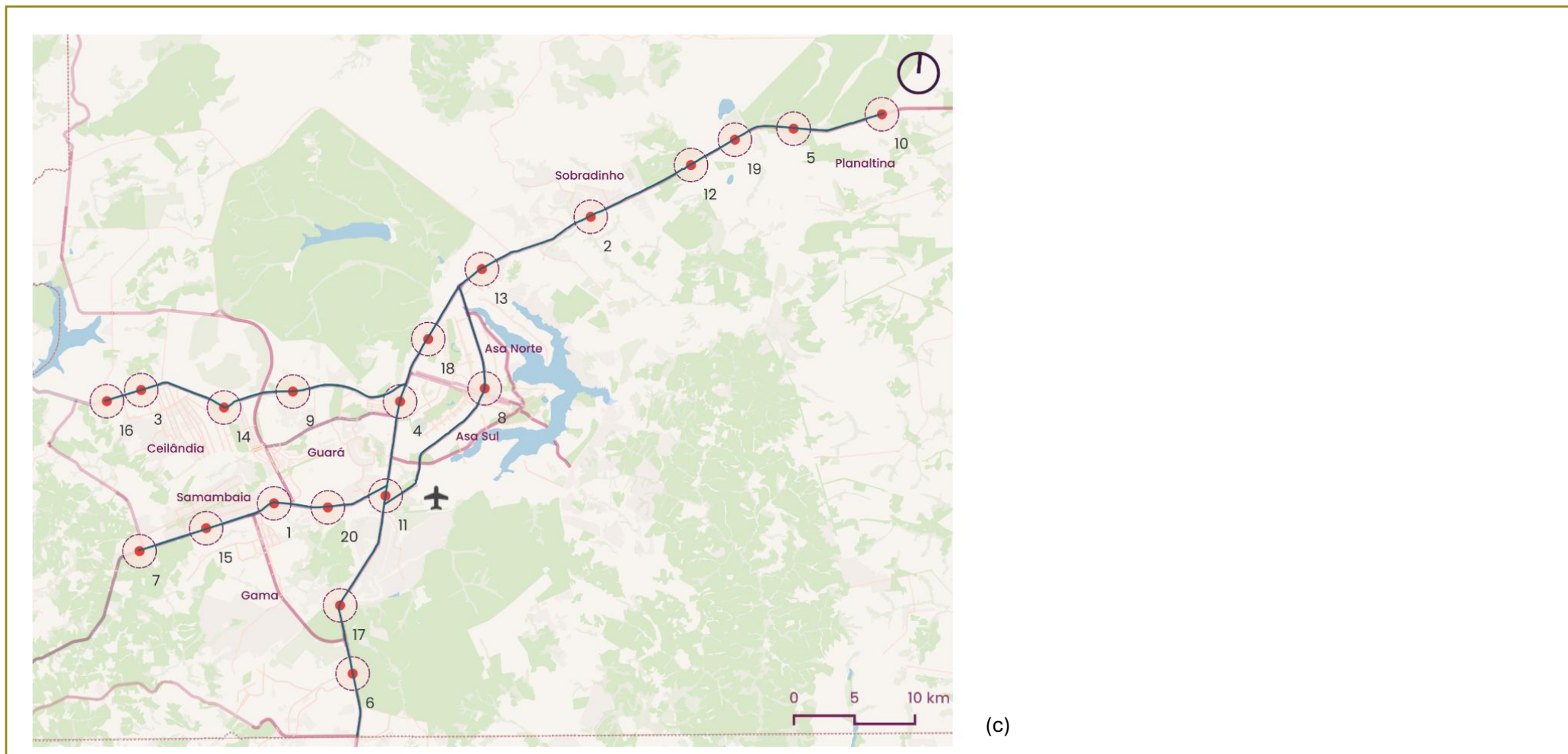
6. PROJETO VITAE – MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR



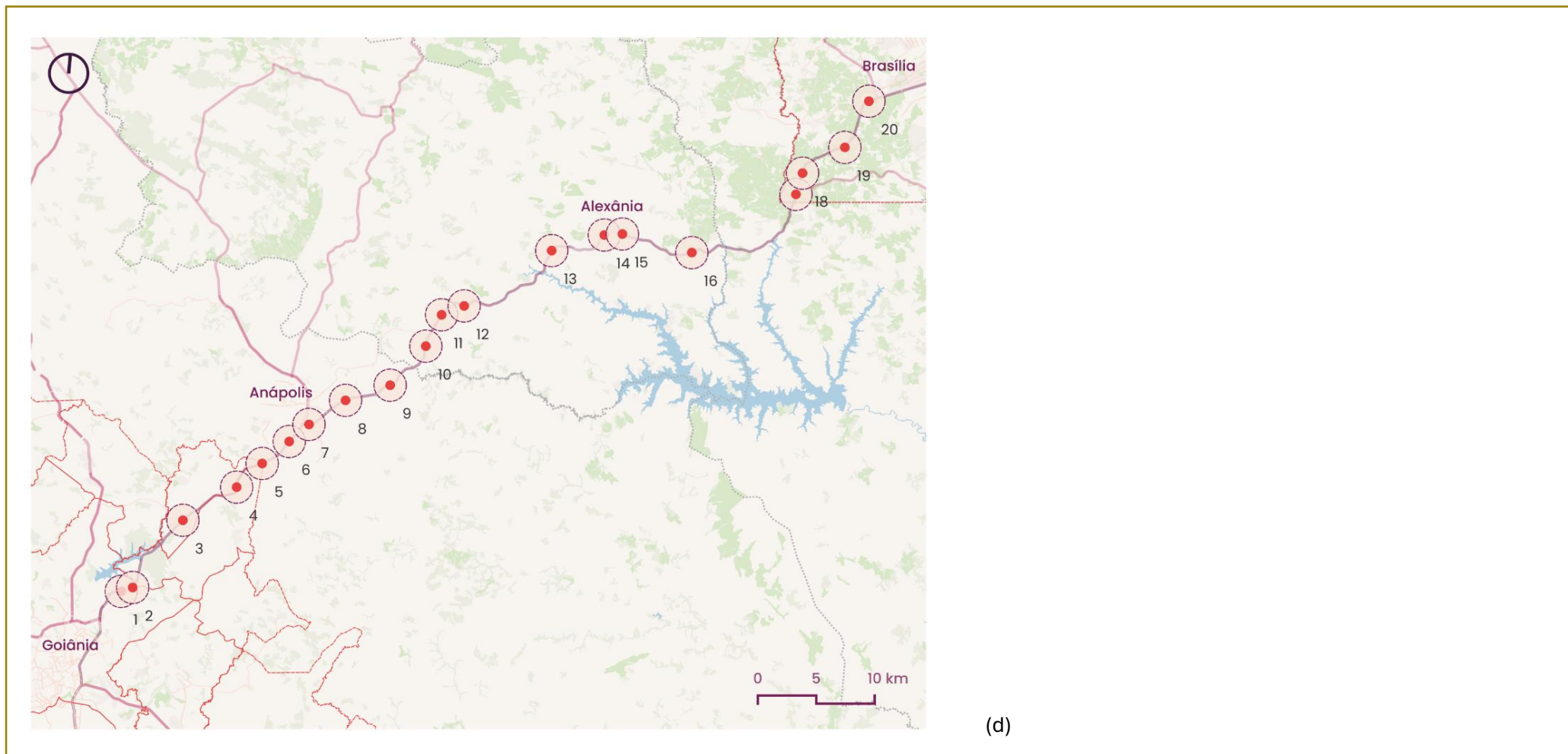
6. PROJETO VITAE – MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR



6. PROJETO VITAE – MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR



6. PROJETO VITAE – MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR



Disposição dos equipamentos em (a) Região Metropolitana de Fortaleza; (b) Goiânia; (c) Brasília; (d) BR-060

6. PROJETO VITAE – MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR



(a)



(b)

(a) Instalação do primeiro equipamento da rede VITAE, no Aeroporto Internacional Pinto Martins em Fortaleza/CE; (b) conjunto de monitores desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa TRAMA e que estão sendo utilizados no projeto VITAE

6. PROJETO VITAE – MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

As análises propostas pelo projeto VITAE buscam, em sua metodologia, utilizar dados de geoprocessamento, sensoriamento remoto e modelagem estatística de séries temporais para investigar a relação entre exposição a poluentes, variabilidade meteorológica e agravos à saúde. São utilizados modelos lineares e não lineares, incluindo SARIMAX e modelos aditivos generalizados. Para o ajuste, emprega-se 70% da série histórica disponível; para a validação, os 30% restantes, com avaliação por meio do *Standardized Root Mean Square Error Statistic*.

Está prevista, ainda, a condução de um estudo piloto em Fortaleza, com intervenções de saúde voltadas à prevenção e à minimização dos agravos decorrentes da poluição atmosférica e da variabilidade meteorológica. O estudo segue as diretrizes do Fortalecimento do Relato de Estudos Observacionais em Epidemiologia (*Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology* – STROBE ⁸) e será submetido à apreciação de Comitê de Ética em Pesquisa, em conformidade com a Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde. O VITAE apresenta um conjunto de diferenciais relevantes:

- Constituição do primeiro conjunto de dados primários do ONTL, com produção iniciada em março de 2026;
- Atuação direta sobre o principal modo emissor da matriz brasileira de transportes;
- Desenvolvimento de tecnologia brasileira de monitoramento de custo acessível com escalabilidade para outras regiões, promovendo a equidade das regiões e cidades na tomada de decisão e implementação de estratégias para melhoria da qualidade do ar e da saúde pública;
- Construção de um sistema de alerta para agravo da saúde, articulando dados ambientais e clínicos;

- Capacitação de equipes da INFRA S.A., de concessionários e do público externo, com transferência de conhecimento associada à implantação da metodologia.

Entre os produtos previstos no Plano de Trabalho do TED estão relatórios técnicos por etapa, artigos científicos, sistemas de alerta de agravos à saúde, manuais de uso, materiais de capacitação e o livro 'Saúde, clima e poluição atmosférica', que sistematizará os achados e as recomendações de intervenção.

As ações do projeto se organizam em torno de perguntas estruturantes que orientam a coleta, a análise e a proposição de medidas (INFRA S.A., 2026), pode-se citar, dentre outras:

- Quais são as rotas mais poluentes do território estudado?
- Como a infraestrutura de transportes se relaciona com a qualidade do ar, quais configurações tem maior associação com impactos?
- Quais os impactos sobre a população afetada por essas rodovias?
- Qual o custo associado com saúde dessas comunidades?
- Quais incentivos públicos podem ser estabelecidos para a renovação sustentável da frota?

⁸ Diretriz internacional que orienta como descrever, de forma completa e transparente, os estudos observacionais, garantindo a qualidade do relato do estudo, por meio da indicação do que precisa ser reportado (112).

6. PROJETO VITAE – MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

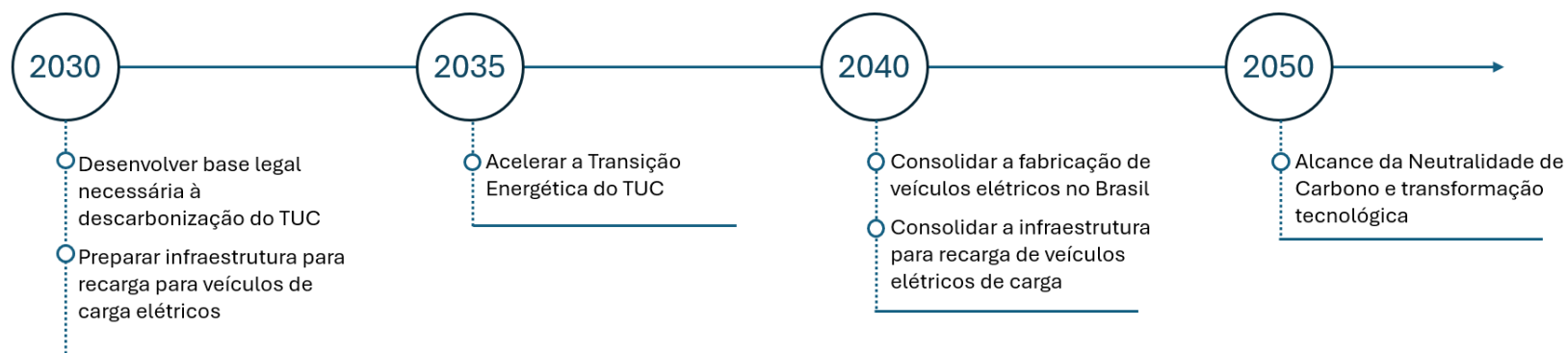
Vale destacar que, tendo em vista o aumento do e-commerce impulsionado a partir do período de reclusão durante Pandemia de COVID – 19, em 2020, a descarbonização do transporte de carga torna-se ponto fundamental, bem como a redução das emissões de poluentes atmosféricos em ambiente urbano.

Nesse contexto, o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima desenvolveu projeto, implementado por *World Resource Institute* (WRI) do Brasil, que busca

definir diretrizes para políticas públicas, em âmbito federal, da Descarbonização do Transporte Urbano de Carga – TUC, compostas por visão de futuro, com definição de metas e medidas de ação.

O estudo estabelece fases para orientar a definição de metas específicas, em um horizonte até 2050, para a descarbonização do TUC, conforme Figura 7.

Figura 7 – Fases para orientar a definição de metas específicas



Fonte: Elaboração própria com base do estudo do MMA e WRI Brasil (113)

Nesse contexto, medidas de ação para alcance da neutralidade foram organizadas em quatro eixos temáticos: (1) institucional; (2) econômico e financeiro; (3) tecnológico; e (4) de dados e conhecimento.

No eixo de referente a dados e conhecimento, foi apontado como desafio a escassez de dados para planejamento de políticas públicas que permitam o alcance das metas de descarbonização. estabelecido como medida de ação. Sendo assim, é estabelecida como medida de ação a criação de Observatório

Nacional de Transporte de Carga e Emissões, tendo como instrumento o Observatório Nacional de Transporte e Logística (ONTL).

Portanto, os dados que serão disponibilizados a partir do desenvolvimento de projetos como o VITAE na plataforma do ONTL contribuem diretamente para o alcance da visão de futuro que compõe as Diretrizes Nacionais para descarbonizar o TUC.



7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A emissões de PA e a qualidade do ar, embora as emissões de gases de efeito estufa dominem o debate climático, produzem os efeitos sanitários mais imediatos e localizados, com impactos expressivos sobre a mortalidade, a morbidade e a economia do país. A exposição prolongada às concentrações $MP_{2,5}$ provoca impacto na saúde cardiovascular, respiratória, metabólica e da fase perinatal.

No Brasil, o avanço regulatório recente, com destaque para a Lei nº 14.850/2024 e para a Resolução CONAMA nº 506/2024, estabelece um arcabouço de convergência aos padrões da OMS no horizonte de médio e longo prazo. Esse arcabouço se articula a programas já consolidados, como Pronar, Proconve, Promot e o programa de Inspeção e Manutenção, e a iniciativas mais recentes, como o MonitorAr e o MelhorAR, com potencial para fortalecer a governança da qualidade do ar nos níveis federal, estadual e municipal.

A revisão de boas práticas internacionais, organizada segundo a lógica Evitar, Mudar e Melhorar (ASI), indica que não há uma medida única e suficiente, mas um conjunto complementar de instrumentos. No meio urbano, destacam-se a organização compacta do uso do solo e o desenvolvimento orientado ao transporte, as zonas de baixa emissão, a precificação do congestionamento, a renovação e a eletrificação da frota e a ampliação do transporte ativo e de alta capacidade. Essas estratégias atuam de forma combinada sobre a demanda por viagens, a divisão modal e a tecnologia veicular, com cobenefícios sanitários e climáticos.

Para o transporte rodoviário, que concentra a maior parcela das emissões veiculares, as principais estratégias consistem na renovação e a eletrificação progressiva da frota de ônibus urbanos, com aproveitamento da matriz elétrica brasileira majoritariamente renovável e dos cobenefícios climáticos associados.

Ainda, a aceleração da renovação da frota de transporte de cargas, com adoção plena dos padrões PROCONVE P8 e ampla utilização do diesel S-10 são ações que promovem a redução de carbono negro e de MP. O incentivo ao uso do transporte ativo, do transporte público de média capacidade e da intermodalidade ferroviária e aquaviária gera efeitos estruturais sobre a demanda por transporte rodoviário.

Nos modos aquaviário e aéreo, as referências internacionais apontam caminhos já testados, ainda incipientes no Brasil. Nos portos, ganham relevância o fornecimento de energia elétrica em terra (OPS), os índices de desempenho ambiental e os incentivos tarifários a embarcações mais limpas, em linha com instrumentos como o *Environmental Ship Index* e o Índice de Desempenho Ambiental para portos e embarcações da ANTAQ. Na aviação, as principais ações de redução de emissões de PA consistem na substituição da unidade auxiliar de potência (APU) por energia fixa no portão, a eletrificação dos equipamentos de apoio de solo e, em horizonte mais longo, o uso de combustível sustentável de aviação. Em ambos os modos, a prioridade nacional ainda recai sobre as emissões de GEE, com espaço para incorporar de forma mais explícita os poluentes atmosféricos locais que afetam as comunidades portuárias e do entorno aeroportuário.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de rede de monitoramento complementar, com integração entre redes estaduais, estações de referência e tecnologias de custo acessível são ações que contribuem para a implementação efetiva da Política Nacional de Qualidade do Ar. Nesse sentido, o projeto VITAE, conduzido pela INFRA S.A. em parceria com a Universidade Federal do Ceará no âmbito do Observatório Nacional de Transporte e Logística, com pesquisa aplicada pode gerar dados primários e evidências para o planejamento integrado do setor, articulando ciência, política pública e comunidade local, com desenvolvimento de tecnologia nacional de custo acessível para o monitoramento das concentrações de poluentes rodoviários.

Em síntese, há um conjunto consistente de instrumentos disponíveis, evidências internacionais robustas e benefícios à saúde e climáticos significativos a serem alcançados. A implementação coordenada das políticas existentes e de estratégias para melhoria da qualidade do ar são necessárias para que o setor de transportes brasileiro contribua de forma consistente para a redução das emissões de PA, sobretudo no espaço urbano, onde há maior exposição da população, reduzindo os impactos na saúde da população.

REFERÊNCIAS

- [1] ANAC. **Metodologia do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas**. Brasília, DF: Agência Nacional de Aviação Civil, jan. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/meio-ambiente/arquivos/MetodologiadolnventrioNacionaldeEmissesAtmosfericas.pdf>>. Acesso em: 6 abr. 2026.
- [2] BRASIL. **Guia técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-projetos-acoes-obras-atividades/agendaambientalurbana/ar-puro/guia-tecnico-para-qualidade-do-ar>>.
- [3] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (ED.). **EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023: technical guidance to prepare national emission inventories**. Luxembourg: Publications Office, 2023.
- [4] EDEN, M. **Insights on Transport Air Pollution & Co-benefits in Sustainable Transport**. . Em: SHIFTING TOWARDS SUSTAINABLE DEVELOPMENT: A WEBINAR SERIES ON TRANSPORTATION AND THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS (SDGS). , maio 2025. Disponível em: <https://asiantransportobservatory.org/documents/352/Insights_on_Transport_Air_Pollution.pdf>
- [5] MANGONES, S. C. et al. Addressing urban transport-related air pollution in Latin America: Insights and policy directions. **Latin American Transport Studies**, v. 3, p. 100033, dez. 2025.
- [6] STATE OF GLOBAL AIR. **Air Pollution and Health: The Global Impacts of Fossil Fuels**. Disponível em: <<https://storymaps.arcgis.com/stories/410043f1b72c4fdf88ed8afd8d7141a0>>. Acesso em: 26 maio. 2026.
- [7] D'AGOSTO, M. DE A. **Transporte, uso de energia e impactos ambientais: uma abordagem introdutória**. [s.l.] Elsevier, 2015.
- [8] DEY, S.; MEHTA, N. S. Automobile pollution control using catalysis. **Resources, Environment and Sustainability**, v. 2, p. 100006, dez. 2020.
- [9] FAYYAZBAKHSH, A. et al. Engine emissions with air pollutants and greenhouse gases and their control technologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 376, p. 134260, nov. 2022.
- [10] DUMITRESCU, E. **Accelerating the global shift to a cleaner in-road diesel fleet: An update of the Global Strategy to Introduce Low Sulfur Fuels and Cleaner Diesel Vehicles** (Elisa Dumitrescu, Ed.). Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme - UNEP, 2025. Disponível em: <<https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/files/ACCELERATING%20THE%20GLOBAL%20SHIFT%20TO%20A%20CLEANER%20ON-ROAD%20DIESEL%20FLEET%20-%20V1.3.pdf>>. Acesso em: 20 maio. 2026.

REFERÊNCIAS

- [11] WHO. **Strategies for healthy and sustainable transport**. Disponível em: <<https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/healthy-urban-environments/transport/strategies>>. Acesso em: 27 maio. 2026.
- [12] WHO. **Types of pollutants**. Disponível em: <<https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>>. Acesso em: 26 maio. 2026.
- [13] UNEP - UN ENVIRONMENT PROGRAMME. **Pollution Action Note – Data you need to know**. Disponível em: <<https://www.unep.org/interactives/air-pollution-note/>>. Acesso em: 12 maio. 2026.
- [14] RODRIGUES, P. F. **Recommandations sectorielles d'AQMx : Améliorer la qualité des carburants | AQMx**. Disponível em: <<https://aqmx.org/fr/content/aqmx-sectoral-guidance-improving-fuel-quality>>. Acesso em: 26 maio. 2026.
- [15] IEMA. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. Ano-base 2024**. [s.l.] Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2025. Disponível em: <<https://energiaeambiente.org.br/produto/inventario-nacional-de-emissoes-atmosfericas-por-veiculos-automotores-rodoviaros>>.
- [16] CETESB. **Emissões veiculares no estado de São Paulo 225 (com dados de 2024)**. São Paulo, SP: Governo do Estado de São Paulo Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística Cetesb - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, 25 out. 2025.
- [17] LINKE, C. C.; BRITO, M. The Moment to Electrify Brazil's Urban Buses is Now. **Sustainable Transport Magazine**, p. 23–25, dez. 2025.
- [18] CETESB. **Emissão Veicular: Introdução**. Disponível em: <https://www.cetesb.sp.gov.br/cetesb/qualidade_ambiental/emissao_veicular/www.sggd.sp.gov.br>. Acesso em: 9 jun. 2026.
- [19] ICAO. **Local Air Quality Technology Standards**. Disponível em: <<https://www.icao.int/environmental-protection/LAQ/technology-standards>>. Acesso em: 21 jun. 2026.
- [20] CORAZZA, M. V.; DI MASCIO, P. Strategies to Reduce Pollutant Emissions in the Areas Surrounding Airports: Policy and Practice Implications. **Future Transportation**, v. 4, n. 3, p. 820–833, 1 ago. 2024.
- [21] NYLUND, N.-O.; AAKKO-SAKSA, P.; LE FEUVRE, P. **Air Quality Implications of Transport Biofuel Consumption**. [s.l.] IEA - AMF Technology Collaboration Programme, 2018. Disponível em: <<https://iea-amf.org/content/publications/specialreports/air%20quality%20implications>>. Acesso em: 20 maio. 2026.

REFERÊNCIAS

- [22] EPE. **Impacts on Human Health from the Use of Biofuels in the São Paulo Metropolitan Region**. [s.l.] Empresa de Pesquisa Energética e Ministério de Minas e Energia, fev. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-570/TN-EPE-DPG-SDB-2021-01_TN_Impacts_Human_Health_Biofuels_Use_RMSP.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2026.
- [23] MALINS, C. et al. **Cleaning up the global on-road diesel fleet: A global strategy to introduce low-sulfur fuels and cleaner diesel vehicles** (UNEP - UN Environment Programme, ICCT, Eds.). Paris, France: Heavy - Duty Diesel Initiative of the Climate and Clean Air Coalition, 2016. Disponível em: <https://www.ccacoalition.org/sites/default/files/resources/global%20sulphur%20strategy_final_26%20august.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2026.
- [24] MELLO, A. et al. **Acelerando a Transição: Estratégia para Eletrificar a Frota Brasileira de Ônibus até 2030**. [s.l.] Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento - ITDP Brasil e Scipopulis, ago. 2025. Disponível em: <<https://itdpbrasil.org/wp-content/uploads/2025/08/Estudo-Acelerando-a-Transicao-Estrategia-para-Eletrificar-a-Frota-Brasileira-de-Onibus-ate-2030.pdf>>. Acesso em: 9 jun. 2026.
- [25] WHO. **Lignes Directrices OMS Relatives à la Qualité de L'air: Particules (PM_{2,5} et PM₁₀), Ozone, Dioxyde d'azote, Dioxyde de Soufre et Monoxyde de Carbone. Résumé D'orientation**. Geneva: World Health Organization, 2021. Disponível em: <<https://www.who.int/fr/publications/i/item/9789240034433>>. Acesso em: 5 maio. 2026.
- [26] STATE OF GLOBAL AIR. **Air Pollution and Your health: Understanding your health risks from air pollution exposure**. Disponível em: <<https://www.stateofglobalair.org/>>. Acesso em: 22 jun. 2026.
- [27] KELLY, J. W.; WARREN, J. **Ella Adoo-Kissi-Debrah: Mum settles legal action over air pollution death**. Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/articles/c5yx6leg4nqo>>. Acesso em: 22 jun. 2026.
- [28] BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **RESOLUÇÃO Nº 506 Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação.**, 2024. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=827>
- [29] CHRIS DORE; JUSTIN GOODWIN; RICHARD GERMAN. Methodological choice and Key category analysis. Em: **EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023**. General Guidance. [s.l: s.n.].
- [30] NTZIACHRISTOS, L.; BOULTER, P. Road transport: Automobile tyre and brake wear;Automobile road abrasion. Em: **EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 – Update 2025**. Part B: Sectoral guidance chapters. Chapter 1.A Combustion. [s.l: s.n.].
- [31] NTZIACHRISTOS, L.; SAMARAS, Z. Passenger cars: Light commercial trucks; Heavy-duty vehicles, including buses; Mopeds & motorcycles. Em: **EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 – Update 2025**. [s.l: s.n.].

REFERÊNCIAS

- [32] MORTEN WINTHER; KRISTIN RYPDAL. **Aviation**. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023>>. Acesso em: 17 jun. 2026.
- [33] JOHN NORRIS; LEONIDAS NTZIACHRISTOS. Railways. Em: **EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023**. Part B: Sectoral guidance chapters. Chapter 1. Energ - 1.A Combustion. [s.l: s.n.].
- [34] RICCARDO DE LAURETIS; LEONIDAS NTZIACHRISTOS; LEONIDAS NTZIACHRISTOS. International maritime navigation, international inland. Em: **EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023**. [s.l: s.n.].
- [35] CETESB. **Operação Inverno**. Disponível em: <https://www.cetesb.sp.gov.br/cetesb/qualidade_ambiental/emissao_veicular/www.sggd.sp.gov.br>. Acesso em: 9 jun. 2026.
- [36] INSTITUTO CLIMA E SOCIEDADE - ICS. **Congresso Nacional aprova Política Nacional de Qualidade do Ar**. Disponível em: <<https://climaesociedade.org/congresso-nacional-aprova-politica-nacional-de-qualidade-do-ar/>>. Acesso em: 6 jun. 2026.
- [37] KLAkamp, J. et al. **Plan de Acción Regional para la Calidad del Aire en América Latina y el Caribe - 2022-2025**. [s.l.] Climate and Clean Air Coalition e Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2022. Disponível em: <<https://www.ccacoalition.org/es/resources/regional-air-quality-action-plan-latin-america-and-caribbean-2022-2025>>.
- [38] BRASIL. **Resolução CONAMA nº 492 / 2018**. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=765>. Acesso em: 4 ago. 2026.
- [39] BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. Resolução CONAMA nº 492. Estabelece as Fases PROCONVE L7 e PROCONVE L8 do PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário. . 2018.
- [40] BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Resolução CONAMA nº 492 - Estabelece as Fases PROCONVE L7 e PROCONVE L8 de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE para veículos automotores leves novos de uso rodoviário**. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=765>. Acesso em: 11 jun. 2026.
- [41] BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Resolução CONAMA nº 490 - Estabelece a Fase PROCONVE P8 de exigências do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE para o controle das emissões de gases poluentes e de ruído para veículos automotores pesados novos de uso rodoviário**. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=767>. Acesso em: 19 jun. 2026.

REFERÊNCIAS

- [42] BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Resolução CONAMA nº 513 - Reestrutura o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar**. Disponível em: <https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=850>.
- [43] BRASIL. **Lei 14850 - Institui a Política Nacional de Qualidade do Ar (PNQAr)**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14850.htm>. Acesso em: 19 jun. 2026.
- [44] BRASIL. **MonitorAr: Qualidade do Ar**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/qualidade-do-ar/monitorar/monitorar>>. Acesso em: 19 jun. 2026.
- [45] AGÊNCIA DE AUTORREGULAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES DE PROTEÇÃO VEICULAR E PATRIMONIAL - AAPV. **Proconve L8: nova lei de emissões muda, e muito, os carros brasileiros. AAPV**, 6 jan. 2025. Disponível em: <<https://aapv.org.br/proconve-l8-nova-lei-de-emissoes-muda-e-muito-os-carros-brasileiros/>>. Acesso em: 5 jun. 2026
- [46] BRASIL. **Relatório do Inventário Nacional das Emissões Antrópicas por Fontes e das Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa do Brasil: Primeiro Relatório Bial de Transparência à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima: Relatório do Inventário Nacional l 1990-2022**. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-bienais-de-transparencia-btrs/Relatorio_delnventario_NacionalNIR_2024_PORT.pdf>.
- [47] BRASIL. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Portaria nº192 - Programa MelhorAr.** , 27 fev. 2025. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/noticias/2025/02/ministerio-dos-transportes-lanca-programa-que-busca-reduzir-emissoes-de-gases-poluentes-por-veiculos/portariadou.pdf>>
- [48] MORENO, C. et al. Introducing the “15-Minute City”: Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities. **Smart Cities**, v. 4, n. 1, p. 93–111, 8 jan. 2021.
- [49] C40 CITIES. **C40 Good Practice Guides: Curitiba - Bus Rapid Transit Modernisation.** , 2016. Disponível em: <<https://www.c40.org/case-studies/c40-good-practice-guides-curitiba-bus-rapid-transit-modernisation/>>. Acesso em: 13 jun. 2026
- [50] MUELLER, N. et al. Changing the urban design of cities for health: The superblock model. **Environment International**, v. 134, p. 105132, jan. 2020.
- [51] ITDP. **Implementation of Electronic Road Pricing (ERP)/ Jalan Berbayar Elektronik (JBE) System in Jakarta.** [s.l.] Institute for Transportation & Development Policy, 2025. Disponível em: <<https://itdp-indonesia.org/wp-content/uploads/2025/04/Executive-Summary-ERP.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2026.

REFERÊNCIAS

- [52] ENVIRONMENTAL DEFENSE FUND (EDF). **Singapore: A pioneer in taming traffic.**, 2006. Disponível em: <https://www.edf.org/sites/default/files/6116_SingaporeTraffic_Factsheet.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2026
- [53] BÖRJESSON, M. **Long-Term Effects of the Swedish Congestion Charges**: International Transport Forum Discussion Papers. Paris: International Transport Forum, 12 out. 2018. Disponível em: <https://www.oecd.org/en/publications/long-term-effects-of-the-swedish-congestion-charges_d944f94b-en.html>. Acesso em: 20 jun. 2026.
- [54] HOLGUÍN-VERAS, J. et al. The New York City Off-Hour Delivery Program: A Business and Community-Friendly Sustainability Program. **Interfaces**, v. 48, n. 1, p. 70–86, fev. 2018.
- [55] NEW YORK CITY. **NYC DOT - Deliveries in New York City**. Disponível em: <<https://www.nyc.gov/html/dot/html/motorist/deliveries.shtml>>. Acesso em: 10 jun. 2026.
- [56] CARVALHO NETO, D. D. D. et al. Governing Low- and Zero-Emission Zones in the Global South: An ASIF-Based Framework for Rio de Janeiro. **Urban Science**, v. 10, n. 2, p. 93, 3 fev. 2026.
- [57] LONDON CITY HALL. **London-wide Ultra Low Emission Zone One Year Report**. Disponível em: <<https://www.london.gov.uk/programmes-strategies/environment-and-climate-change/environment-and-climate-change-publications/london-wide-ultra-low-emission-zone-one-year-report>>. Acesso em: 3 jun. 2026.
- [58] AREA C MILANO. **Area C Milano Guide - Zone C Hours, Map, Payment and more**. Disponível em: <<https://www.areacmilano.it/en>>. Acesso em: 20 jun. 2026.
- [59] AREA C MILANO. **Milan's Area C Statistics – Impact on Traffic & Pollution**. Disponível em: <<https://www.areacmilano.it/en/milan-area-c-statistics-ilmpact-traffic-polution.html>>. Acesso em: 20 jun. 2026.
- [60] FRANCE. MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES. **Certificat Qualité de l’Air (Crit’Air): Connaître mon classement**. Disponível em: <<https://www.certificat-air.gouv.fr/>>. Acesso em: 9 jun. 2026.
- [61] PARIS. **Zone à faibles émissions métropolitaine : comment ça marche ?** Disponível em: <<https://www.paris.fr/pages/la-zone-a-faibles-emissions-zfe-pour-lutter-contre-la-pollution-de-l-air-16799>>. Acesso em: 9 jun. 2026.
- [62] CITY OF BERLIN. **Low-Emission Zone**. Disponível em: <<https://www.berlin.de/en/tourism/travel-information/1760452-2862820-environmental-zone.en.html>>. Acesso em: 20 jun. 2026.

REFERÊNCIAS

- [63] ENVIRONMENTAL BADGE. **Berlin Low Emission Zone 2026 | Entry Rules.** , [s.d.]. Disponível em: <<https://www.environmentalbadge.com/zone/berlin/>>. Acesso em: 20 jun. 2026
- [64] GU, J. et al. Low emission zones reduced PM10 but not NO2 concentrations in Berlin and Munich, Germany. **Journal of Environmental Management**, v. 302, p. 114048, jan. 2022.
- [65] EUROCITIES. **Brussels' low-emission zone successfully clears the air.** , 11 dez. 2023. Disponível em: <<https://eurocities.eu/latest/brussels-low-emission-zone-successfully-clears-the-air/>>. Acesso em: 14 jun. 2026
- [66] DUPREZ, L. **Low Emission Zone Assessment 2024 Report.** Brussel: Bruxelles Environment, 2024.
- [67] PREFEITURA DE PEQUIM. **Heavy Air Pollution Contingency Plan of Beijing Municipality.** Disponível em: <https://english.beijing.gov.cn/latest/lawsandpolicies/202007/t20200723_1957677.html>. Acesso em: 16 jun. 2026.
- [68] TIAN, J. et al. Effects of the emergency control measures in Beijing on air quality improvement. **Atmospheric Pollution Research**, v. 10, n. 2, p. 580–586, mar. 2019.
- [69] SÃO PAULO. **Lei nº 12.490/1997 - Programa de Restrição ao Trânsito de Veículos Automotores no Município de São Paulo.** Disponível em: <<https://plpconsulta.saopaulo.sp.leg.br/Forms/MostrarArquivo?TIPO=Lei&NUMERO=12490&ANO=1997&DOCUMENTO=Atualizado>>. Acesso em: 21 jun. 2026.
- [70] INFRA SA. **Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor de Transportes** (G. C. S. Martin, N. G. Ohofugi, N. G. Ohofugi, Eds.): Boletim de Logística. Brasília, DF: Brasil. Ministério dos Transportes. INFRA SA - Observatório Nacional de Transporte e Logística (ONTL), maio 2026. Disponível em: <<https://ontl.infrasa.gov.br/publicacoes-tecnicas/>>.
- [71] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - US EPA. **What You Can Do to Reduce Pollution from Vehicles and Engines.** Overviews and Factsheets. Disponível em: <<https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and-climate-change/what-you-can-do-reduce-pollution-vehicles-and>>. Acesso em: 27 maio. 2026.
- [72] RAHMAN, S. M. A. et al. Impact of idling on fuel consumption and exhaust emissions and available idle-reduction technologies for diesel vehicles – A review. **Energy Conversion and Management**, v. 74, p. 171–182, out. 2013.
- [73] ATRI. **Idling Regulations Compendium.** Disponível em: <<https://truckingresearch.org/2025/06/idling-regulations-compendium/>>. Acesso em: 19 jun. 2026.

REFERÊNCIAS

- [74] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - US EPA. **Alternative Fuels Data Center: Idle Reduction Laws and Incentives in Federal**. Disponível em: <<https://afdc.energy.gov/fuels/laws/IR?state=US>>. Acesso em: 19 jun. 2026.
- [75] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - US EPA. **Clean School Bus Program**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/cleanschoolbus>>. Acesso em: 19 jun. 2026.
- [76] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - US EPA. **Clean School Bus Program Grants**. Overviews and Factsheets. Disponível em: <<https://www.epa.gov/cleanschoolbus/clean-school-bus-program-grants>>. Acesso em: 19 jun. 2026.
- [77] LALOT, F. et al. Driving change: A scoping review of psychological interventions to reduce engine idling and air pollution. **Journal of Environmental Psychology**, v. 106, p. 102691, set. 2025.
- [78] **Idling Enforcement**. Disponível em: <<https://idlingaction.london/idling-enforcement>>. Acesso em: 19 jun. 2026.
- [79] CITY OF LONDON CORPORATION. **Idling Action London: Raising awareness about idling engines as a source of air pollution**. Disponível em: <<https://idlingaction.london>>. Acesso em: 19 jun. 2026.
- [80] KHAN, A. S. et al. Idle Emissions from Heavy-Duty Diesel Vehicles: Review and Recent Data. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 56, n. 10, p. 1404–1419, out. 2006.
- [81] WORLD BANK GROUP. **Shipping and Ports**. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/ext/en/topic/transport/shipping-and-ports>>. Acesso em: 29 maio. 2026.
- [82] INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM. **Shipping Emissions in Ports**. Paris, France: [s.n.].
- [83] DUCRUET, C. et al. Ports and their influence on local air pollution and public health: A global analysis. **Science of The Total Environment**, v. 915, p. 170099, mar. 2024.
- [84] MUELLER, N.; WESTERBY, M.; NIEUWENHUIJSEN, M. Health impact assessments of shipping and port-sourced air pollution on a global scale: A scoping literature review. **Environmental Research**, v. 216, p. 114460, jan. 2023.
- [85] SOFIEV, M. et al. Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 406, 6 fev. 2018.

REFERÊNCIAS

- [86] IMO. **Index of MEPC Resolutions and Guidelines related to MARPOL Annex VI.**, 2020. Disponível em: <<https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/index-of-mepc-resolutions-and-guidelines-related-to-marpol-annex-vi.aspx#3>>. Acesso em: 22 jun. 2026
- [87] IMO. **IMO 2020 – cutting sulphur oxide emissions.** Disponível em: <<https://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/sulphur-2020.aspx>>. Acesso em: 20 jun. 2026.
- [88] IMO. **New sulphur emission limits enter into effect in the Mediterranean.** Disponível em: <<https://www.imo.org/en/mediacentre/pages/whatsnew-2254.aspx>>. Acesso em: 12 maio. 2026.
- [89] EPE. **IMO 2020: Nova Regulação de Combustíveis Marítimos.** Brasília, DF: Empresa de Pesquisa Energética, out. 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/abastece-brasil/resolucao-cnpe-no-18-2019/contribuicoes/apresentacao-epe-bunker.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2026.
- [90] EUROPEAN COMMISSION. **New EU rules aiming to decarbonise the maritime sector take effect - Mobility and Transport.** Disponível em: <https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/new-eu-rules-aiming-decarbonise-maritime-sector-take-effect-2025-01-10_en>. Acesso em: 20 jun. 2026.
- [91] IMO. **GreenVoyage2050: operational measures for ship energy efficiency (trim optimization, hull/propeller maintenance).** Disponível em: <<https://greenvoyage2050.imo.org/the-issue/>>. Acesso em: 10 jan. 2026.
- [92] ESPO. **ESPO Environmental Report 2025: EcoPortsinSights 2025.** [s.l.] European Sea Ports Organisation, 2025. Disponível em: <https://www.espo.be/media/esp-0135_sustainability-report-2025-bw-print.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2026.
- [93] INTERNATIONAL ASSOCIATION OF PORTS AND HARBORS - IAPH. **Environmental Ship Index (ESI).** Disponível em: <<https://www.environmentalshipindex.org/>>. Acesso em: 20 jun. 2026.
- [94] PORTS OF ROTTERDAM. **World Ports Climate Action Program - WPCAP climate program.** Disponível em: <<https://www.portofrotterdam.com/en/port-future/energy-transition/wpcap-climate-program>>. Acesso em: 20 jun. 2026.
- [95] PORT OF LONG BEACH; THE PORT OF LOS ANGELES. **Clean Air Action Plan: Results.** Disponível em: <<https://cleanairactionplan.org/results/>>. Acesso em: 20 jun. 2026.
- [96] PORT OF ROTTERDAM. **Shore power at public berths.** Disponível em: <<https://www.portofrotterdam.com/en/port-future/energy-transition/ongoing-projects/shore-power-rotterdam/shore-power-public-berths>>. Acesso em: 20 jun. 2026.

REFERÊNCIAS

- [97] ANTAQ. **Índice de Desempenho Ambiental (IDA)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/antag/pt-br/assuntos/sustentabilidade/indice-de-desempenho-ambiental-ida-1/indice-de-desempenho-ambiental-ida>>. Acesso em: 20 jun. 2026.
- [98] ANTAQ. **Estudo mostra que portos oferecem incentivos para navios com menos pegada de carbono**. Disponível em: <<https://www.gov.br/antag/pt-br/noticias/2025/estudo-mostra-que-portos-oferecem-incentivos-para-navios-com-menos-pegada-de-carbono>>. Acesso em: 20 jun. 2026.
- [99] BRASIL. MINISTÉRIO DE PORTOS E AEROPORTOS. **Sustentabilidade nos portos: setor avança em soluções para reduzir emissões e ampliar eficiência**. Disponível em: <<https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2026/05/sustentabilidade-nos-portos-setor-avanca-em-solucoes-para-reduzir-emissoes-e-ampliar-eficiencia>>. Acesso em: 20 jun. 2026.
- [100] SAN PEDRO BAY PORTS. **Clean Air Action Plan 2017**. Disponível em: <https://kentico.portoflosangeles.org/getmedia/9d371f7b-9812-4c75-bcfd-23e83a191435/CAAP_2017_Draft_Document-Final>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [101] AUTORIDADE PORTUÁRIA DE SANTOS - APS. **Porto de Santos abriu mão de mais de R\$ 40 milhões em tarifas para incentivar navios e terminais verdes**. , nov. 2025. Disponível em: <<https://www.portodesantos.com.br/2025/11/11/porto-de-santos-abriu-mao-de-mais-de-r-40-milhoes-em-tarifas-para-incentivar-navios-e-terminais-verdes/>>. Acesso em: 20 jun. 2026
- [102] EASA; EEA. **European Aviation Environmental Report 2025: Executive Summary and Recommendations**. [s.l.] European Union Aviation Safety Agency e European Environment Agency, 2025. Disponível em: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/eaer-downloads/EASA_EAER_2025_BROCHURE_WEB_%CE%95%CE%9D_v2.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2026.
- [103] AÉROPORT NICE CÔTE D'AZUR. **Fixed Electrical Ground Power (FEGP)**. Disponível em: <https://aviationbenefits.org/media/100169/aviation-climate-solutions_web-82.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2026.
- [104] SUSTAINABLE AVIATION. **Aircraft on the Ground CO2 Reduction Programme** (UK's Airport Operators Association, Ed.). [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.sustainableaviation.co.uk/wp-content/uploads/2018/06/Aircraft-On-the-Ground-CO2-Reduction-Programme-Best-Practice-Guidance.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2026.
- [105] ANAC. **Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas da Aviação Civil 2019 (ano-base 2018)**. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/arquivos/inventario-nacional-de-emissoes_v6.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2026.

REFERÊNCIAS

- [106] HONG KONG INTERNATIONAL. **Auxiliary Power Unit Ban at HKIA. HKIA 2050 Net Zero Carbon Pledge**, [s.d.]. Disponível em: <<https://netzerocarbon.hongkongairport.com/case-study/auxiliary-power-unit-ban-at-hkia/>>. Acesso em: 22 jun. 2026
- [107] EUROPEAN CLIMATE, INFRASTRUCTURE AND ENVIRONMENT EXECUTIVE AGENCY. **e-handling is making Spanish airports more sustainable -**. Disponível em: <https://cinea.ec.europa.eu/featured-projects/e-handling-making-spanish-airports-more-sustainable_en>. Acesso em: 22 jun. 2026.
- [108] EASA. **European Aviation Environmental Report 2025**. Disponível em: <<https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/european-aviation-environmental-report-2025>>. Acesso em: 21 jun. 2026.
- [109] ICAO. **Sustainable Aviation Fuels (SAF): ICAO Cleaner Energy Tracker Tools**. Disponível em: <<https://www.icao.int/SAF>>. Acesso em: 21 jun. 2026.
- [110] ICAO. **CORSIA Eligible Fuels**. Disponível em: <<https://www.icao.int/CORSIA/corsia-eligible-fuels>>. Acesso em: 21 jun. 2026.
- [111] EUROPEAN COMMISSION. **ReFuelEU Aviation**. Disponível em: <https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air/environment/refueleu-aviation_en>. Acesso em: 15 mar. 2026.
- [112] VON ELM, E. V. et al. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. **Journal of Clinical Epidemiology**, v. 61, n. 4, p. 344–349, abr. 2008.
- [113] WRI BRASIL. **Diretrizes Nacionais para Descarbonizar o Transporte Urbano de Carga**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 7 out. 2025.



infraoficial
infra.oficial
infra-oficial
infraaoficial

observatório@infrasa.gov.br
institucional@infrasa.gov.br
www.ontl.infrasa.gov.br
www.infrasa.gov.br