

# Ares novos para a primeira infância: as crianças são o futuro do planeta

Cleyton Martins da Silva <sup>I</sup>  
Danilo Pinto Moreira Junior <sup>II</sup>  
João Rogério Borges de Amorim Rodrigues <sup>III</sup>

Bruno Siciliano <sup>IV</sup>  
Graciela Arbillá <sup>V</sup>

**Resumo:** Na primeira infância, a poluição do ar leva a um aumento das doenças, mortes prematuras e perturbações no desenvolvimento. O material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>) é considerado o poluente clássico de maior importância. No entanto, no Brasil, o monitoramento de material particulado fino é limitado e restrito a poucas cidades. Na cidade do Rio de Janeiro, apenas uma estação registra as concentrações de MP<sub>2,5</sub> e divulga diariamente os índices de qualidade do ar. Este estudo é parte do projeto “Ares Novos para a Primeira Infância” coordenado pela Fundação Horizonte Cidadão, com o objetivo de obter evidências para estabelecer um plano para reduzir a exposição das crianças à poluição do ar. Os dados são compartilhados numa plataforma virtual global. Os resultados mostram níveis de MP<sub>2,5</sub> altos quando comparados com as recomendações da OMS e a necessidade de ações coordenadas para reduzir as emissões de poluentes primários e de precursores de poluentes secundários.

**Palavras-chave:** Saúde infantil; material particulado fino; monitores de baixo custo; rede cooperativa; poluição do ar e saúde.

<sup>I</sup> Universidade Veiga de Almeida e Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>II</sup> Universidade Veiga de Almeida, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>III</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>IV</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>V</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

São Paulo. Vol. 26, 2023

Artigo Original

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20220004r1vu2023L1AO>

## Introdução

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2016 a poluição do ar foi responsável por 4,2 milhões de mortes prematuras (WHO, 2018). Dessas mortes, aproximadamente 300.000 foram crianças menores de cinco anos. A poluição do ar tem um impacto muito grande na saúde das crianças, especialmente nos países de baixa e média renda (LMICs). Além disso, a poluição do ar interior, principalmente a poluição doméstica produzida pela combustão incompleta de diversos combustíveis (sólidos e querosene) usados para a cocção de alimentos, produziu 3,8 milhões de mortes prematuras (403.000 entre crianças menores de cinco anos). O ar interior doméstico também contribui para a poluição do ar ambiente (externo) principalmente com uma fonte de material particulado ( $PM_{2,5}$ ).

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) colocam em evidência que a saúde, educação, meio ambiente e a mitigação da pobreza são os pilares do desenvolvimento humano em harmonia com a natureza (SDOs, 2022). As crianças são o futuro do planeta e nossa esperança de um mundo mais equitativo, sustentável e justo. As crianças são, também, a faixa da população mais vulnerável aos efeitos da poluição do ar. De acordo com o Observatório Global para a Saúde (*Global Health Observatory*) (WHO, 2018), as principais causas de morte entre crianças menores de cinco anos são o nascimento prematuro (18%) e infecções respiratórias agudas (16%). A probabilidade global de morte prematura até os cinco anos de idade, por cada 1000 nascimentos vivos, é de 38, indo desde 74 na África a 4 na Europa. No Brasil, esse número é 12-15, um valor relativamente alto quando comparado com o Canadá (5) e a Europa ocidental (3) (WHO, 2021a).

Existe ampla evidência de que a poluição do ar afeta a saúde e a sobrevivência das crianças. Apesar de todos os poluentes legislados (material particulado, ozônio, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono) afetarem a saúde em alguma medida, o  $MP_{2,5}$  é particularmente crítico. O material particulado fino pode penetrar profundamente no sistema respiratório e inclusive na corrente sanguínea, levando a danos nos sistemas cardiovasculares e respiratórios e, também, em outros órgãos. Numerosos estudos científicos publicados na última década mostram que a exposição a material particulado está associada ao baixo peso ao nascer, bebês natimortos, prematuros ou com desenvolvimento menor, incompatível com a idade gestacional. A exposição a poluição do ar, em particular a  $MP_{2,5}$ , antes e após o nascimento pode afetar o desenvolvimento cognitivo, neurológico e motor, e levar ou favorecer o desenvolvimento de distúrbios comportamentais, como déficit da atenção e hiperatividade e transtorno do espectro autista. As funções e o desenvolvimento pulmonar também podem ser afetados por  $MP_{2,5}$ ,  $NO_2$  e  $O_3$  e, especialmente, o material particulado fino, pode levar à pneumonia, a outras infecções respiratórias e ao desenvolvimento de asma (WHO, 2018).

Em 2005, a OMS publicou os Guias Globais para a Qualidade do Ar (*Global Air Quality Guidelines*, AQGs), com recomendações para as concentrações máximas de seis poluentes, chamados na literatura de “poluentes clássicos”: material particulado com diâmetro igual ou menor que  $10\ \mu m$  ( $MP_{10}$ ) e  $2.5\ \mu m$  ( $MP_{2,5}$ ), ozônio, dióxido de nitrogênio,

dióxido de enxofre e monóxido de carbono (WHO, 2005). Como escreveu a Dra. Maria Neira, Diretora do Departamento de Saúde Pública, Meio Ambiente e Determinantes Sociais da Saúde da OMS (WHO's Department for Public Health, Environmental and Social Determinants of Health), "Poucos riscos têm impacto maior na saúde pública que a poluição do ar; as evidências sinalizam a necessidade de ações simultâneas para purificar o ar que todos respiramos" (WHO, 2014).

Em 2015, a Assembleia Mundial para a Saúde (World Health Assembly) publicou uma resolução, assinada por 194 Estados Membros, reconhecendo o impacto da poluição do ar na saúde e a necessidade de intensificar os esforços desses estados e da OMS para proteger as populações desses riscos. Como uma resposta a essa resolução, a OMS organizou uma consulta a especialistas sobre esse tema, com o objetivo de identificar e discutir as novas evidências referentes aos efeitos sobre a saúde, e que no futuro seriam utilizadas para uma atualização das AQGs (WHO, 2015). Em setembro de 2021, após 15 anos, foram publicadas as novas AQGs (WHO, 2021b). O novo documento chama a atenção sobre os riscos associados ao material particulado e reduz os valores máximos recomendados. Para  $MP_{10}$ , os valores foram reduzidos de 20 e  $50 \mu\text{g m}^{-3}$  para 15 e  $45 \mu\text{g m}^{-3}$ , para as médias anuais e médias de 24 horas, respectivamente. Para  $MP_{2,5}$  os valores máximos foram reduzidos de 10 e  $25 \mu\text{g m}^{-3}$  para 5 e  $15 \mu\text{g m}^{-3}$ , para as médias anuais e de 24 horas, respectivamente. Os novos valores para as AQGs são um reconhecimento da OMS às fortes evidências do efeito da poluição do ar na saúde, mesmo em níveis relativamente baixos.

No Brasil, perante todos estes fatos, os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar (NAQS) publicados em 19 de novembro de 2018 (CONAMA, 2018), após mais de seis anos de discussões, estão claramente desatualizados, especialmente ao considerar os valores intermediários propostos. A nova Resolução (número 491/2018) está baseada nos AQGs de 2005 e foi discutida detalhadamente por Siciliano et al. (2019). Os primeiros padrões intermediários (PI-1) foram adotados imediatamente, mas não foi fixada uma data ou prazo para a adoção dos padrões subsequentes (PI-2 e PI-3) e os valores finais (NAQS). Para  $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$  as médias anuais, conforme o PI-1 são 40 e  $20 \mu\text{g m}^{-3}$ , respectivamente. Já conforme os PI1, as médias de 24 horas são 120 e  $60 \mu\text{g m}^{-3}$ , para  $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$ , respectivamente. Esses valores são muito altos quando comparados com os AQGs de 2005 e ainda mais altos quando são levadas em consideração as recomendações de 2021, e requerem uma urgente atualização com o objetivo de proteger a saúde pública.

Os Índices de Qualidade do Ar (IQA) são calculados usando os seis poluentes principais ( $MP_{2,5}$ ,  $MP_{10}$ ,  $O_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  e CO). Para  $MP_{10}$  e  $MP_{2,5}$ , os valores máximos para o primeiro nível (correspondente a qualidade do ar Boa) são 50 e  $25 \mu\text{g m}^{-3}$  (médias de 24 horas), respectivamente. Esses valores são maiores que os recomendados pela OMS ( $45$  e  $15 \mu\text{g m}^{-3}$ , respectivamente). A discrepância entre a legislação brasileira e as recomendações da OMS, assim como toda a evidência publicada sobre os riscos à saúde, especialmente ao considerar  $MP_{2,5}$ , indicam a urgência na revisão dos NAQS no país, a necessidade de um monitoramento intensivo da qualidade do ar e da implementação de um plano para controlar a qualidade do ar e as emissões de poluentes (DANTAS et

al., 2021).

A Resolução 491/2018 estabelece que é responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente e das agências ambientais de cada estado e do Distrito Federal, realizar o monitoramento da qualidade do ar e elaborar planos para o controle dos poluentes considerando os NAQS e as especificidades geográficas e econômicas de cada estado. Conforme a legislação, os planos deveriam ter sido implementados até novembro de 2021, e identificado as principais fontes de poluição, as áreas prioritárias e os objetivos e estratégias de controle para atender os NAQS (CONAMA, 2018). Certamente, o gerenciamento da qualidade do ar é um grande desafio nos países de renda média e, ao mesmo tempo, é um passo chave para garantir o direito à saúde da população (DANTAS et al., 2021).

De acordo com o relatório 2018 do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), as primeiras companhias de monitoramento no estado do Rio de Janeiro foram realizadas em 1967 (INEA, 2018). O INEA, que foi criado em 2009, atualmente possui uma rede de monitoramento automático com 58 estações distribuídas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), na Região do Meio Paraíba e na do Norte Fluminense, e uma rede semiautomática com 116 estações que monitoram material particulado de seis em seis dias (INEA, 2022). O último relatório de qualidade do ar foi publicado em 2018 (INEA, 2018) e o inventário de emissões mais recente contém dados da RMRJ referentes a 2013 (INEA, 2016). Já que o boletim diário de qualidade do ar é limitado a algumas estações, a população não tem acesso a informação ampla e recente sobre a qualidade do ar. O Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), uma organização brasileira sem fins lucrativos fundada em 2006, compila e organiza dados de qualidade do ar determinados pelas agências ambientais e possui uma plataforma nacional, atualizada até 2020, onde os dados do INEA podem ser encontrados (IEMA, 2021).

Na cidade do Rio de Janeiro, a Secretaria Municipal de Ambiente e Clima (SMAC) possui um programa de monitoramento, desde 2012, com oito estações automáticas fixas e uma estação automática móvel (que operou entre 2010 e 2018) (DATA RIO, 2022a) e publica diariamente o Boletim de Qualidade do Ar com os IQA (SMAC, 2022). O  $MP_{2,5}$  é determinado somente na estação de Irajá, na zona norte da cidade. Os dados obtidos pela estação móvel no período 2010-2018 mostram que as regiões norte e oeste da cidade possuem os piores valores de IQA e que os poluentes que apresentam as concentrações maiores, considerando os padrões de qualidade do ar, são ozônio e  $MP_{2,5}$  (DATA RIO, 2022a). Finalmente, é importante notar que, apesar da importância das iniciativas em nível municipal, conforme a legislação nacional, a responsabilidade do monitoramento é dos governos estaduais e do Distrito Federal.

É evidente que são necessárias outras iniciativas para obter dados de qualidade do ar e identificar o impacto das diversas fontes e quais são as áreas mais críticas. O monitoramento dos níveis de poluição e a implementação de redes de monitoramento podem contribuir para a identificação de possíveis riscos à saúde da população. Além disso, essas informações devem ser amplamente divulgadas para informar e alertar sobre esses riscos e garantir o direito à saúde e ao bem-estar. De acordo com o relatório IEMA de 2019, as recomendações da OMS e os NAQS são sistematicamente violados e o risco

de morte prematura, associado à poluição do ar aumentou 14% entre 2006 e 2016, sendo responsável por uma importante fração das mortes devidas a doenças crônicas não transmissíveis (IEMA, 2019).

Este trabalho apresenta, como uma alternativa, o uso de monitores da qualidade do ar de baixo custo para a determinação de  $MP_{2,5}$ . Os dados obtidos são compartilhados em uma plataforma *web* global que pode ser acessada livremente desde computadores e aparelhos celulares. O estudo realizado é parte do projeto “Ares Nuevos para a Primeira Infância” (Aires Nuevos para la Primera Infancia) coordenado pela Fundação Horizonte Cidadão (HORIZONTE CIUDADANO, 2021), com o objetivo de obter evidências que permitam elaborar um plano para reduzir a exposição das crianças à poluição do ar. A rede colaborativa envolve 33 cidades do Chile, Argentina, México, Uruguai, Peru, Brasil, Colômbia, Nicarágua, El Salvador e Equador, e inclui 14 universidades e governos municipais.

O projeto está relacionado aos ODS: a) Objetivo 3 (assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar em todas as idades) e as metas associadas (reduzir a taxa de mortalidade materna, acabar com as mortes evitáveis de recém-nascidos e crianças menores de cinco anos e reduzir as mortes devidas a produtos químicos perigosos, contaminação e poluição); b) Objetivo 11 (tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis) e c) Objetivo 17 (fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável) (SDGs, 2022). O projeto reconhece os efeitos da poluição na primeira infância, que levam a um aumento no risco de doenças, morte e prejuízos no desenvolvimento e impactam a vida e o futuro de todas as crianças, principalmente as menores de cinco anos.

Os principais objetivos deste artigo são: a) avaliar a qualidade dos dados obtidos com instrumentos de baixo custo através da comparação com resultados obtidos na estação de monitoramento automático da SMAC; b) divulgar os dados obtidos no primeiro ano de monitoramento; c) apresentar as perspectivas deste projeto e as possibilidades de usar este tipo de monitoramento como uma alternativa para uma análise preliminar da qualidade do ar e na discussão de planos de gerenciamento da qualidade do ar com foco na saúde e no bem-estar das crianças.

## Método experimental

### Área de estudo

A RMRJ já foi descrita por Silva et al. (2017). Possui uma população de aproximadamente 13 milhões de habitantes e uma superfície de 7.535 km<sup>2</sup>. A cidade de Rio de Janeiro é um dos 22 municípios da RMRJ e a capital do estado do mesmo nome.

Mais de 35% da superfície da RMRJ é coberta pela Mata Atlântica, sendo as principais áreas de floresta, a Floresta da Tijuca e os parques Pedra Branca e de Gericinó-Mendanha. A Floresta da Tijuca (com uma superfície de 39,52 km<sup>2</sup>) é a maior floresta

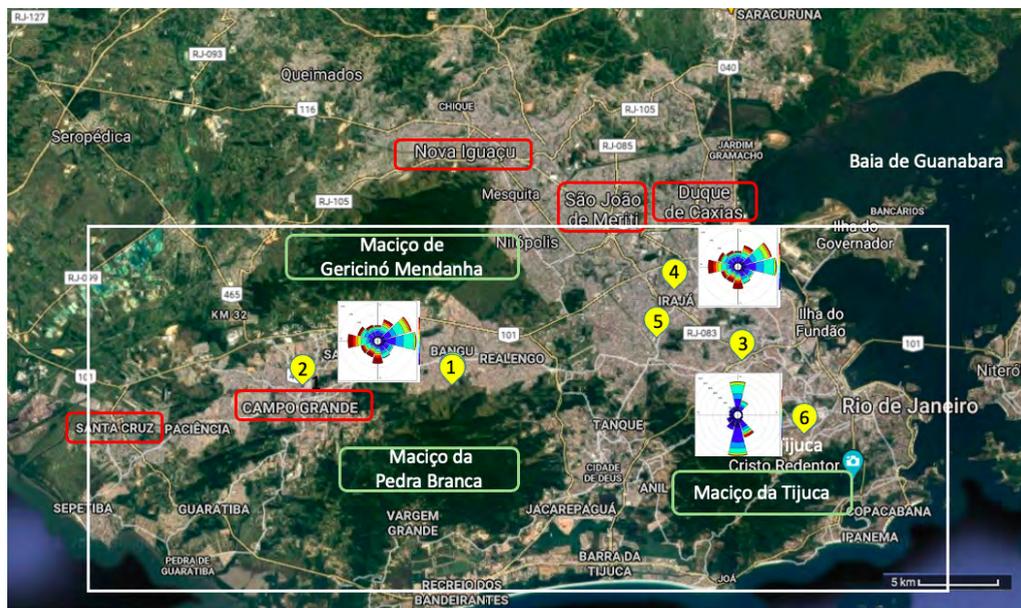
urbana secundária do mundo (CUSTODIO et al., 2010) e divide a cidade do Rio de Janeiro nas regiões norte e sul. As regiões montanhosas, o Oceano Atlântico e as Baías de Guanabara e de Sepetiba regulam o regime dos ventos e a circulação do ar.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o tipo de clima é Aw (clima de savana tropical com invernos secos), com uma estação seca (de abril a setembro), sendo os meses menos e mais chuvosos, agosto e janeiro, respectivamente. A temperatura média anual é de 29,0 °C, com valores médios máximos e mínimos de 32,2 °C (fevereiro) e 26,4 °C (julho) (DANTAS et al., 2021).

As principais indústrias, localizadas nas regiões norte e oeste, foram descritas por Dantas et al. (2021) e incluem os setores químico, petroquímico, farmacêutico, alimentício, metalúrgico e de aço, produção de energia, mineração, agricultura e criação de gado. A região norte é caracterizada por fontes de emissão mistas (veiculares, industriais e biogênicas), enquanto que a região sul da cidade é uma área tipicamente urbana, impactada por emissões veiculares.

Os monitores de baixo custo foram instalados em 5 locais (Figura 1), nas regiões norte e oeste da cidade, com numerosas escolas e creches nas vizinhanças. Outro instrumento foi colocado na estação de monitoramento automático de Irajá, para possibilitar a comparação do instrumento de baixo custo com um monitor que atende as exigências da legislação brasileira (MMA, 2019). As regiões estudadas são caracterizadas por uma qualidade do ar deficiente (DATA RIO, 2022a), índices de desenvolvimento humano baixo ou médio (DATA RIO, 2022b) e, inclusive, problemas como desigualdade social e pobreza.

Figura 1 – Localidades estudadas na cidade do Rio de Janeiro (indicadores amarelos): 1-Bangu, 2- Campo Grande, 3-Irajá, 4-Madureira, 5-Del Castilho e 6-Tijuca. A área aproximada da cidade do Rio de Janeiro está demarcada pelo retângulo branco. As principais áreas industriais estão marcadas em vermelho (Santa Cruz, Campo Grande e as cidades de Duque de Caxias, São João de Meriti, e Nova Iguaçu). As principais regiões montanhosas estão marcadas em verde (Tijuca, Pedra Branca e Gericinó-Mendanha). Foram elaboradas as rosas dos ventos para as áreas estudadas.



Fonte: Adaptado do Google Maps, 2022.

As principais características de cada local e o período estudado (entre parêntesis) são indicados nos próximos parágrafos.

### 1. Bangu (23/04/2021-17/11/2021)

Este bairro, rodeado pelos maciços de Gericinó e Pedra Branca, é atravessado pelas Avenidas Brasil e Santa Cruz (aproximadamente a 3 e 2,5 km do local de monitoramento, respectivamente), que estão entre as maiores fontes emissoras de poluentes veiculares na cidade. As fontes de poluição locais são principalmente as veiculares (principalmente carros, motocicletas, caminhões e ônibus) e as naturais (poeira e vegetação). Os ventos provenientes do oeste e do leste transportam massas de ar originadas na região industrial oeste e emissões veiculares dos bairros situados ao leste e ao oeste. O equipamento foi instalado em uma área residencial com casas, trânsito veicular moderado e numerosas creches, pré-escolas e escolas (Creche Escola Rei Leão, escola Municipal Waldir Azevedo Municipal, Escola Municipal Nações Unidas Municipal, Jardim Escola Bonequinho Doce, Centro Educacional Os Cordeirinhos) e áreas de lazer.

## 2. *Campo Grande (27/03/2021-17/11/2021)*

Campo Grande é o maior bairro da zona oeste da cidade, com casas e prédios baixos. Tem numerosos empreendimentos comerciais, atividades agrícolas e de criação de gado e atividades industriais (metalurgia, eletricidade, alimentação e farmacêutica). Está cercado pelos maciços de Gericinó e Pedra Branca e o Oceano Atlântico está no sudoeste, a aproximadamente 15 km. O monitor foi instalado em uma área residencial com baixo fluxo veicular, duas escolas municipais (Rainha Victória e Embaixador Araújo Castro), um hospital e centro pediátrico (Clínica da Saúde CEMERU) e uma área de lazer (Praça Jarici).

## 3. *Del Castilho (22/01/2021-17/11/2021)*

Del Castilho é uma área com características urbanas no norte da cidade, com atividades comerciais e de serviços. As principais fontes de emissão locais são os veículos (leves e pesados), circulando nas vias expressas (Linha Amarela e Avenida Brasil) e avenidas (Avenida Dom Helder Câmara). Os ventos do norte e nordeste transportam os poluentes originados na região industrial. O monitor foi instalado em uma área residencial com prédios, grande fluxo veicular (carros, ônibus e caminhões), atividade comercial e numerosas creches, pré-escolas e escolas (Creche Plantando o amanhã, Centro Educacional Legião da Boa Vontade-creche e escola), hospitais e centro pediátricos (Clínicas da Família Bárbara Starfield e Sérgio Nicolau Amin).

## 4. *Irajá (18/02/2021-24/08/2021)*

Irajá está localizado em uma área residencial tipicamente urbana no norte da cidade, com atividades comerciais. Os ventos sopram do norte e nordeste (durante a noite e a manhã) e do sul e oeste (durante a tarde). As principais fontes de poluição locais são as emissões veiculares (principalmente carros, motocicletas, ônibus e caminhões) e as fontes naturais (poeira e vegetação). O bairro recebe, também, massas de ar originadas na área industrial, ao norte, e na região do centro da cidade e bairros vizinhos localizados ao sul (emissões de origem veicular). A estação de monitoramento fixa está localizada na Praça Nossa Senhora da Apresentação, uma área de lazer, caminhada e esportes a aproximadamente 100 m de duas vias de trânsito com alto fluxo de carros e ônibus. A estação é, também, próxima ao cemitério de Irajá, e contígua a um ponto de taxis e ao portão de entrada do estacionamento de caminhões de um grande supermercado. A praça está a aproximadamente 100 m de outro supermercado, da Estrada de Água Grande (uma via com grande circulação de veículos) e a menos de 1 km do Centro de Abastecimento de Alimentos (CEASA). Nas proximidades funcionam diversas creches e escolas (Creche Municipal Jeciá de Freitas Ferreira, Jardim de Infância Tia Dida, CIEP Maria Werneck de Castro, Escola Municipal Mario Paulo de Brito), hospitais e centros pediátricos (Clínica

da Família Deputado Pedro F. Filho, Centro Municipal de Saúde Carlos Cruz Lima).

#### 5. *Madureira* (18/02/2021-04/08/2021)

O bairro de Madureira possui atividades comerciais, culturais e de lazer e um grande fluxo de veículos. As principais fontes de poluição são locais, principalmente veiculares (carros, motocicletas, ônibus e caminhões) e o transporte de poluentes provenientes da área industrial no norte, do centro da cidade e outros bairros da zona sul (emissões veiculares). O monitor foi instalado em um prédio no Parque Madureira, onde estava sendo desenvolvido um projeto educacional sobre meio ambiente com aproximadamente 1000 crianças. O Parque de Madureira é uma área de lazer (3.800 m<sup>2</sup>) que inclui ciclovias, pista de corrida, quadras de esportes e espaços para recreação e atividades educativas com crianças. Nas proximidades há escolas (Escola Municipal Astolfo Rezende e Centro Educacional Pedro Faria), uma creche municipal (São Miguel Arcaño) e um hospital (UPA Rocha Miranda). Em agosto de 2021 o projeto educacional foi desativado e o monitor foi transferido para o bairro da Tijuca.

#### 6. *Tijuca* (17/08/2021-17/11/2021)

O bairro da Tijuca possui diversas atividades comerciais, um grande fluxo de veículos (principalmente carros e ônibus) e numerosos restaurantes, bares e atividades de entretenimento. Essa região recebe predominantemente ventos do sul, do tipo brisa de montanha. As principais fontes de poluentes são as emissões veiculares e as fontes naturais (poeira e vegetação). O equipamento foi instalado em uma área residencial, com moderado fluxo veicular (carros e ônibus), nas proximidades de um posto de gasolina e a aproximadamente 200 m do Morro do Sumaré, coberto com vegetação da Mata Atlântica. Nas vizinhanças há duas creches (Casa de Jacira e Creche Municipal Dos Sonhos), dois hospitais (Hospital da Aeronáutica e Casa de Portugal) e uma escola de karatê para crianças.

### Dados experimentais

As concentrações de MP<sub>2,5</sub> foram determinadas usando monitores de baixo custo (Air Visual Pro). Os equipamentos determinam as partículas usando o princípio de dispersão da luz, convertendo o sinal a unidades de concentração e guardando a informação na sua memória interna. As medições em tempo real são mostradas no *display* do monitor e transmitidas via conexão *Wi-Fi* ao centro de processamento. Esses valores e as médias de 1 hora são disponibilizadas globalmente através do aplicativo *Air Visual* e no sistema *online* IQAir (IQAir, 2022). Inicialmente os monitores foram instalados no mesmo local, durante quatro dias, e os resultados entre eles comparados, sendo verificada uma diferença entre os valores individuais e a média de todos os equipamentos < 17%. Dependendo da configuração, o custo deste tipo de monitor é aproximadamente 1-10% do preço de um equipamento de referência (ou equivalente), como os recomendados pelo Guia Técnico

do Ministério de Meio Ambiente no Brasil (MMA, 2019).

Os dados experimentais foram inicialmente analisados para identificar valores espúrios e organizados na forma de planilhas com as médias de 1 hora. A análise estatística foi realizada usando *software* livre (R, 2022) e os algoritmos recomendados na literatura para o cálculo e a diagramação dos *boxplots*, tal como implementados no pacote OpenAir (OPENAIR, 2022).

## Resultados e Discussão

### Comparação com a estação de monitoramento

O  $MP_{2,5}$  é determinado na estação de monitoramento automático de Irajá, conforme a legislação brasileira (CONAMA, 2018) usando um monitor contínuo de material particulado (Met One Instruments Inc., model BAM-1020 Continuous Particulate Monitor, Washington, USA) e informado como valores médios de 24 horas (DATA RIO, 2022a; SMAC, 2022). Esses resultados foram comparados com as médias de 24 horas determinadas com o monitor de baixo custo instalado na mesma estação (Air Visual Pro). Os dados foram obtidos no período 18/02/2021-24/08/2021. Os valores individuais diferem em aproximadamente 20%, enquanto as medianas para o período foram 13,2 e 15,8  $\mu\text{g m}^{-3}$  para os dados obtidos com o monitor de baixo custo e com o equipamento da SMAC, respectivamente (diferença de 19,7%).

Esses resultados mostram que os monitores de baixo custo reproduzem em forma geral os perfis de concentração do  $MP_{2,5}$  e podem ser usados para uma avaliação inicial da composição atmosférica em comparação com os padrões de qualidade do ar e outras áreas urbanas, com o objetivo de identificar que regiões requerem um monitoramento detalhado usando equipamentos de referência conforme a Resolução 491/2018 (CONAMA, 2018). Nas cidades brasileiras e outras cidades da América Latina, onde os recursos são limitados e existe urgência para a realização de estudos que forneçam informações para proteger a saúde da população, o uso de equipamentos de baixo custo pode dar um panorama inicial da situação e ser um indicativo das áreas prioritárias.

### Concentrações de $MP_{2,5}$ determinadas em este projeto

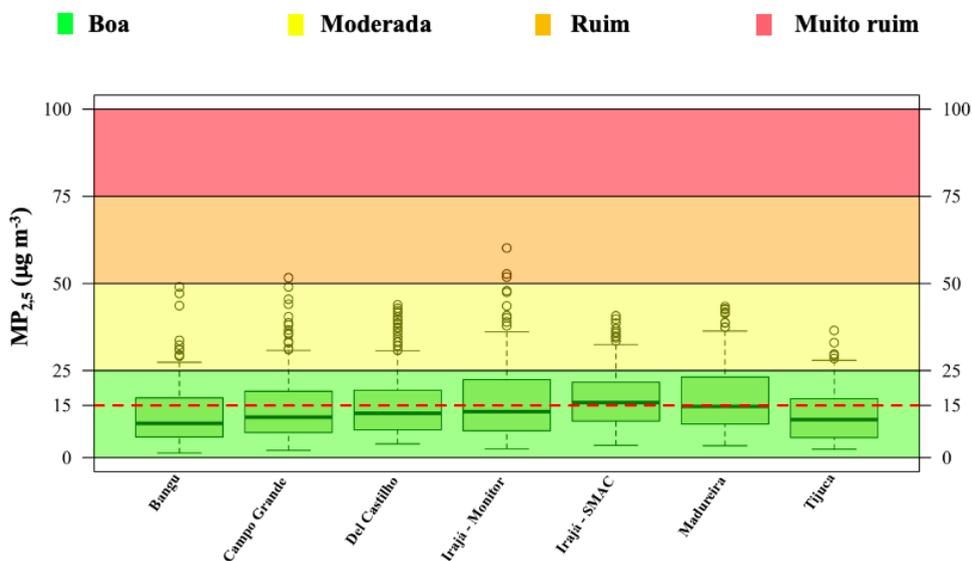
Conforme a legislação brasileira, os valores médios de 24 horas no intervalo 0-25  $\mu\text{g m}^{-3}$  correspondem a IQA “boa”, entanto que nos intervalos  $>25-50 \mu\text{g m}^{-3}$ ,  $>50-75 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $>75-100 \mu\text{g m}^{-3}$  correspondem a “moderada”, “ruim” e “muito ruim”, respectivamente. Esses valores estão indicados na Tabela 1. As concentrações médias para o intervalo de 24 horas, obtidas em cada um dos locais, estão representadas na Figura 2. Os valores obtidos pela estação de monitoramento automático em Irajá (SMAC), para o mesmo período, são mostrados para comparação.

Tabela 1 – Intervalos para determinar a qualidade do ar conforme a legislação brasileira

| IQA        | Concentrações de $MP_{2,5}$ ( $\mu g m^{-3}$ ) |
|------------|--|
| Boa        | 0-25   |
| Moderada   | >25-50   |
| Ruim       | >50-75   |
| Muito ruim | >75-100  |

Fonte: Adaptada de MMA, 2019.

Figura 2 – Concentrações médias de  $MP_{2,5}$  nos locais estudados. Conforme a legislação brasileira, as médias de 24 horas nos intervalos 0-25  $\mu g m^{-3}$ , >25-50  $\mu g m^{-3}$ , >50-75  $\mu g m^{-3}$  corresponde a IQA “boa”, “moderada” e “ruim”. Os valores obtidos na estação de monitoramento automático (Irajá, SMAC) são mostrados para comparação. O limite de 15  $\mu g m^{-3}$ , estabelecido pela OMS, também é indicado.



Fonte: Os autores, 2022.

Os *boxplots* da Figura 2, mostram que todas as medianas correspondem a uma qualidade do ar “boa”, considerando a legislação brasileira. Porém, aproximadamente 40% dos valores são > 15  $\mu g m^{-3}$  (o limite recomendado pela OMS em 2021).

Para uma melhor compreensão dos resultados, na Figura 3 são mostrados os valores de IQA, calculados considerando  $MP_{2,5}$ . Deve ser notado que os valores de IQA devem ser calculados considerando todos os poluentes legislados e, por esse motivo, os valores mostrados na Figura 3 são um limite inferior, podendo ser maiores, especialmente considerando as concentrações de ozônio e  $MP_{10}$  não levadas em consideração no presente

cálculo (SMAC, 2022). As concentrações > 15 µg m<sup>-3</sup> foram indicadas em negrito. O número de dias em cada intervalo de qualidade do ar (“boa”, “moderada”, “ruim”) é indicado na Tabela 2.

Figura 3 – IQA calculados para MP<sub>2,5</sub> considerando a legislação brasileira: “boa” (verde), “moderada” (amarela) e “ruim” (laranja). Os números indicados correspondem as concentrações médias para 24 horas em unidades de µg m<sup>-3</sup>. As concentrações > 15 µg m<sup>-3</sup> são indicadas em negrito.



Fonte: Os autores, 2022.

**Tabela 2 – Número relativo de dias (%) com qualidade do ar “boa”, “moderada”, “ruim”, e com concentrações de  $MP_{2,5} > 15 \mu\text{g m}^{-3}$  no período estudado**

| Local        | Dias | IQA “boa”<br>0-25<br>$\mu\text{g m}^{-3}$ | IQA “moderada”<br>>25-50 $\mu\text{g m}^{-3}$ | IQA “ruim”<br>>50-75<br>$\mu\text{g m}^{-3}$ | > 15 $\mu\text{g m}^{-3}$ | Mediana<br>( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) |
|--------------|------|---|---|--|---------------------------|-------------------------------------|
| Bangu        | 211  | 89,57%                                    | 10,43%  | 0%   | 31,75%                    | 8,9                                 |
| Campo Grande | 232  | 84,48%                                    | 15,09%  | 0,43%  | 34,00%                    | 11,6                                |
| Del Castilho | 303  | 86,14%                                    | 13,86%  | 0%   | 39,60%                    | 12,7                                |
| Irajá        | 185  | 80,00%                                    | 18,38%  | 1,62%  | 43,24%                    | 13,2                                |
| Madureira    | 146  | 80,82%                                    | 19,18%  | 0%   | 47,26%                    | 14,7                                |
| Tijuca       | 95   | 92,63%                                    | 7,37%   | 0%   | 26,31%                    | 10,9                                |

Fonte: Os autores, 2022.

Como esperado, os piores índices de qualidade do ar foram obtidos em outono e inverno (principalmente em julho), durante a estação seca. Em 2021, o período de chuvas começou em outubro (aproximadamente 110 mm) e, assim, as concentrações de material particulado diminuíram como consequência do efeito da deposição produzida pelas chuvas. Infelizmente, devido a dificuldades na implementação do projeto, os períodos estudados são diferentes para os locais considerados. Porém, a Figura 3 mostra que no mês de julho, ao comparar Bangu, Campo Grande, Del Castilho, Madureira e Irajá, as maiores concentrações foram determinadas em Irajá (3 valores  $> 50 \mu\text{g m}^{-3}$ ) e Campo Grande (1 valor  $> 50 \mu\text{g m}^{-3}$ ). Em julho, o número de dias com concentrações  $> 15 \mu\text{g m}^{-3}$ , foi 22 (71% dos valores) em Campo Grande, Del Castilho, Madureira e Irajá, e 16 (52% dos valores) em Bangu.

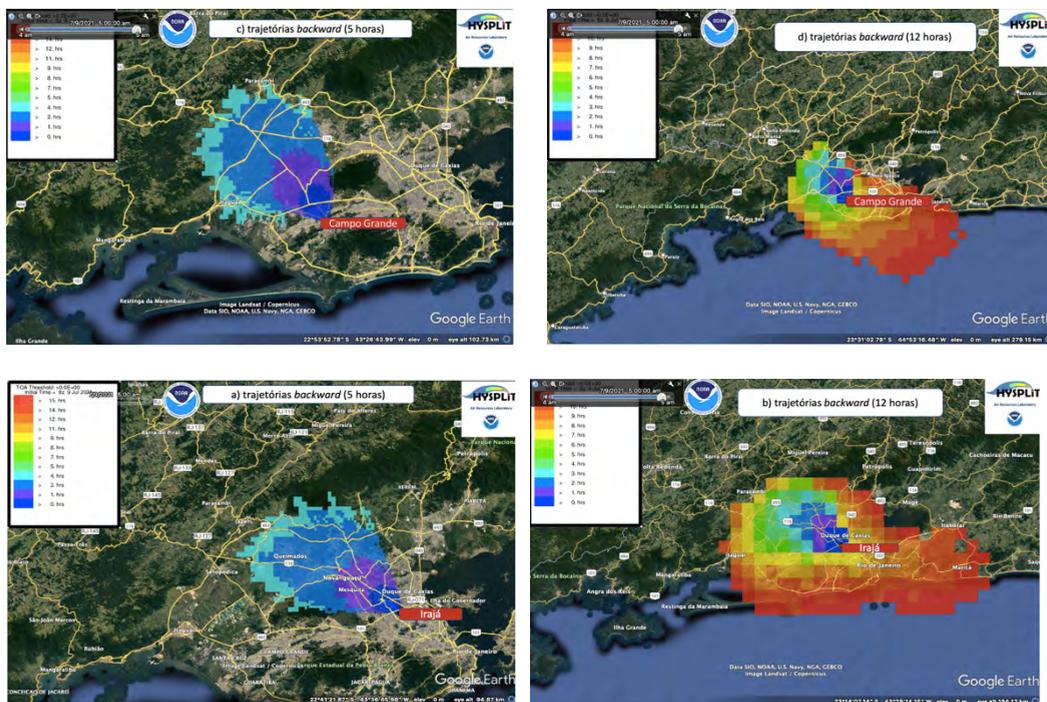
A Tabela 2 mostra que em mais de 80% dos dias as concentrações foram menores que os limite da Resolução CONAMA 2018 (média de 24 horas  $< 25 \mu\text{g m}^{-3}$ ) em todos os locais estudados. Porém, o limite estabelecido pela OMS ( $15 \mu\text{g m}^{-3}$ ), foi excedido 30% dos dias e, especificamente durante o inverno, em 50% dos dias estudados. Ainda, conforme as recomendações mais recentes da OMS (WHO, 2021b), o limite de  $15 \mu\text{g m}^{-3}$  não deve ser ultrapassado mais que 3-4 vezes por ano. Ao considerar as médias anuais, a legislação brasileira e a OMS estabelecem, como limites, valores médios de  $10 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $5 \mu\text{g m}^{-3}$ , respectivamente. Esses valores não foram calculados porque os monitores foram instalados por um período menor, mas os resultados da Figura 2 e da Tabela 2 sugerem que o valor de  $5 \mu\text{g m}^{-3}$  deve, provavelmente, ter sido excedido.

## Simulação do transporte de poluentes

As trajetórias das massas de ar que chegam a cada um dos locais estudados foram simuladas usando o modelo de dispersão HYSPLIT implementado pelo Air Resources Laboratory (NOAA) e o Australian Bureau of Meteorology (HYSPLIT, 2022; ROLPH; STEIN; STUNDER, 2017). Os valores mais altos de concentração de  $MP_{2,5}$  foram determinados no dia 9 de julho de 2021, quando os valores em Irajá e Campo Grande (médias de 24 horas) foram 52,7 e 51,6  $\mu\text{g m}^{-3}$ , respectivamente, e nos outros locais foram  $> 30 \mu\text{g m}^{-3}$ . Assim, usando o modelo de dispersão, foram simuladas as massas de ar chegando em Irajá e Campo Grande nesse dia. Já que os valores máximos foram observados às 5:00 horas (hora local), as simulações foram realizadas considerando esse horário de chegada e um tempo total de simulação de 5 (Figuras 4a e 4c) e 12 horas (Figuras 4b e 4d). A Figura 4a mostra que as massas de ar que chegam a Irajá durante a noite são originadas nas áreas industriais do norte e nordeste de Região Metropolitana do Rio de Janeiro (Duque de Caxias, Nova Iguaçu, Belford Roxo e outras cidades do polo químico e petroquímico; ver a Figura 1). A Figura 4b mostra que na tarde anterior (8 de julho), as massas de ar foram originadas no sul e sudeste, uma área urbana caracterizada por emissões veiculares (veículos leves e pesados).

Para Campo Grande (Figuras 4c e 4d) foram obtidos resultados similares. As massas de ar que chegam à noite são provenientes da cidade de Seropédica (onde são realizadas diversas atividades extrativas e de movimentação de solos) e da área industrial ao oeste.

Figura 4 – Massas de ar chegando a Irajá e Campo Grande às 5:00 h (hora local) do dia 9 de julho de 2021. a) e c): cinco horas de trajetória (durante a noite); b) e d): 12 horas de trajetória (início às 17 h do dia anterior).



Fonte: Os autores e HYSPLIT, 2022.

A Figura 4 mostra a complexidade das fontes de emissão na cidade do Rio de Janeiro e o papel fundamental das emissões originadas em outras áreas da região metropolitana. Assim, um plano de qualidade do ar para controlar as emissões e melhorar a qualidade do ar da cidade, deveria considerar não só as emissões locais quanto as das cidades vizinhas, mudanças no uso da terra, crescimento populacional, áreas verdes, matriz de transportes, vias expressas e avenidas. Os inventários de emissões para a RMRJ são incompletos, limitados e com baixa resolução. Para as fontes veiculares o último inventário (ano base 2013) foi publicado por INEA (2016), mostrando que a maior fonte de material particulado de origem veicular é devida ao uso de diesel (97%), principalmente por caminhões (60%) e ônibus urbanos (aproximadamente 13%). A cidade do Rio de Janeiro contribui com aproximadamente a metade das emissões totais da RMRJ. Godoy et al. (2018) determinaram que a contribuição veicular ao material particulado fino era de 48% em Duque de Caxias e 70% na Tijuca, com um valor médio de 59% para os quatro locais estudados na RMRJ. Recentemente Dantas et al. (2021) compilaram as principais fontes de emissão que afetam a cidade do Rio de Janeiro. Já, Andreão et al. (2020) usaram o inventário de emissões veiculares para o Brasil (*top-down*) e o modelo PREP-CHEM-SRC para modelar quatro áreas metropolitanas no sudeste brasileiro, incluindo Rio de Janeiro.

Enquanto essas são fontes primárias, o material particulado fino tem, também, ori-

gem secundária que depende de processos físico-químicos, assim como das emissões dos precursores (principalmente compostos orgânicos voláteis e óxidos de nitrogênio). Tanto os precursores de aerossóis secundários quanto os aerossóis primários podem ter origem local e, também, serem transportados de outras áreas. A complexidade dos processos de formação e transporte de ozônio e  $MP_{2,5}$  e a relação não linear entre as emissões primárias e as concentrações de poluentes secundários ficou evidente durante o *lockdown* devido à pandemia de COVID-19 (SICILIANO et al., 2020; CAZORLA et al., 2020). Inclusive, num recente estudo, Chiquetto et al. (2020) mostraram que na cidade de São Paulo, as altas concentrações de ozônio (que é também um poluente secundário) estão associadas a condições desfavoráveis de mobilidade urbana e sugeriram que, devido ao transporte atmosférico, as restrições das emissões podem afetar áreas que se encontram (*downwind*) a dezenas de quilômetros do ponto de origem.

A pandemia de COVID-19 levou a um debate sobre a relação entre a qualidade do ar e a incidência e letalidade do vírus (GOUVEIA; KANAI, 2020) e, também, sobre a pandemia como uma consequência da urbanização, globalização e as interferências humanas no meio ambiente (SILVA; ARBILLA, 2020). Assim, investimentos em educação, planejamento urbano e transporte podem levar a uma redução dos níveis de poluição, a uma melhor qualidade de vida da população, redução das epidemias e a uma vida mais saudável para as futuras gerações.

Como já foi discutido por outros autores (ANDREÃO; ALBUQUERQUE, 2021; DANTAS et al., 2020; GIODA et al., 2021), o gerenciamento da qualidade do ar compreende a identificação das áreas e dos poluentes mais críticos e o conhecimento das consequências da exposição aos poluentes sobre saúde humana. Nesse contexto, o projeto “Ares novos para a primeira infância” pode contribuir para melhorar a geração, intercâmbio e divulgação das informações sobre qualidade do ar, através da participação de universidades, governos municipais e as comunidades e sugerir a implementação de ações para reduzir a exposição à poluição, principalmente das crianças. A primeira fase deste projeto é o monitoramento dos níveis de material particulado, a construção de uma base de dados e a interpretação dos mesmos. Em uma segunda fase do projeto será investigado o efeito da poluição na saúde das crianças, principalmente as menores de cinco anos. Finalmente, os resultados serão discutidos com os governos locais. O projeto tem como objetivo chamar a atenção sobre estes tópicos e contribuir para garantir um meio ambiente mais seguro e um planeta mais sustentável para as futuras gerações, reduzindo a mortalidade e promovendo o bem-estar dos futuros cidadãos. Os resultados obtidos neste trabalho são parte da primeira fase do projeto, tendo sido continuado no ano de 2022.

## Conclusões

No Brasil, o  $MP_{2,5}$  foi incluso na listagem de poluentes legislados em 2018. Contudo, o monitoramento do material particulado fino é ainda limitado e restrito a poucas cidades. A falta de recursos para instalar e manter equipamentos para o monitoramento e o escasso número de técnicos especialistas e de estações de monitoramento são consequência das políticas públicas, que têm fracassado na proteção dos direitos inalienáveis da

população referentes a saúde e bem-estar. O projeto “Ares novos para a primeira infância” é a primeira rede colaborativa que une os esforços de cientistas, governos municipais e cidadãos para implementar observatórios regionais da qualidade do ar e da saúde das crianças e para implementar ações locais de baixo custo e alto impacto, para intercambiar experiências e iniciativas com o objetivo de proteger o bem-estar das crianças.

Neste trabalho são apresentados os primeiros resultados do projeto e é mostrado que os equipamentos de baixo custo podem contribuir para obter um panorama preliminar da qualidade do ar e identificar as áreas que requerem investimentos em estações automáticas de monitoramento. Certamente, os níveis de material particulado são altos comparados com as recomendações da OMS e são necessárias ações coordenadas para diminuir as concentrações de poluentes primários e de precursores de aerossóis secundários.

Como já foi indicado pela OMS, não existem níveis seguros para a exposição ao material particulado, especialmente  $MP_{2,5}$ , abaixo dos quais seja possível evitar efeitos nocivos à saúde. A infância é um período no qual o ser humano é extremamente sensível aos efeitos da poluição e os impactos podem ter consequências para a vida futura. Por esse motivo, os padrões de qualidade do ar devem ser tão baixos quanto possível e os governos devem implementar planos de controle efetivo com urgência. As iniciativas das universidades e da sociedade civil, tal como as de este projeto, são bem-vindas e poderão contribuir na conscientização sobre os problemas da poluição do ar e seus efeitos sobre a saúde.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento dos equipamentos e o apoio da Fundación Horizonte Ciudadano, e o financiamento parcial do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa no Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ). GA agradece uma bolsa de Produtividade em Pesquisa do CNPq e uma bolsa CNE da FAPERJ. CMS agradece uma bolsa da FUNADESP e uma bolsa JCNE da FAPERJ. GD agradece uma bolsa de Doutorado do CNPq e JRBAR uma bolsa PIBIC/CNPq. Os autores agradecem a Secretaria Municipal de Ambiente e Clima (SMAC) por ceder os dados obtidos pela estação de monitoramento de Irajá e pelo auxílio para instalar os monitores de baixo custo em Irajá e Madureira.

## Referências

ANDREÃO, W. L.; ALONSO, M. F.; KUMAR, P.; PINTO, J. A.; PEDRUZZI, R.; ALBUQUERQUE, T. T. de A. Top-down vehicle emission inventory for spatial distribution and dispersion modeling of particulate matter. **Environmental Science and Pollution Research International**, v. 27, n. 29, p. 35952-35970, 2020.

ANDREÃO, W. L.; ALBUQUERQUE, T. T. de A. Avoidable mortality by implementing more restrictive fine particle standards in Brazil: An estimation using satellite surface data. **Environmental Research**, v. 192, p. 110288, 2021.

CAZORLA, M.; HERRERA, E.; PALOMEQUE, E.; SAUD, N. What the COVID-19 lockdown revealed about photochemistry and ozone production in Quito, Ecuador. **Atmospheric Pollution Research**, v.12, p. 124-132., 2020.

CHIQUETTO, J. B.; YNOUE, R. Y.; IBARRA-ESPINOSA, S. A.; RIBEIRO, F. N.D.; CABRAL-MIRANDA, W.; SILVA, M. E. S. Ozone pollution and urban mobility scenarios in the São Paulo Megacity. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, p. 1-21, 2020.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução número 491 (19/11/2018), 2018. Disponível em: [https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895). Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

CUSTODIO, D.; GUIMARAES, C. S.; VARANDAS, L. S.; ARBILLA, G. Pattern of volatile aldehydes and aromatic hydrocarbons in the largest urban rainforest in the Americas. **Chemosphere**, v. 79, p. 1064-1069, 2010.

DANTAS, G.; SICILIANO, B.; FRANÇA, B. B.; ESTEVAM, D. O.; DA SILVA, C. M.; ARBILLA, G. Using mobility restriction experience for urban air quality management, **Atmospheric Pollution Research**, v.12, p. 101119, 2021.

DATA RIO. Estações de Monitoramento da Qualidade do Ar. MonitorAr, 2022a. Disponível em: <https://www.data.rio/datasets/esta%C3%A7%C3%B5es-de-monitoramento-da-qualidade-do-ar-monitorar/explore?location=-22.925661%2C-43.402788%2C11.82>. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

DATA RIO, Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) municipal, por ordem de IDH, segundo os bairro ou grupo de bairros no município do Rio de Janeiro em 1991/2000, 2022b. Disponível em: <https://www.data.rio/documents/58186e41a2ad410f9099af99e46366fd/about>. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

GIODA, A.; BERINGUI, K.; JUSTO, E. P. S.; VENTURA, L. M. B.; MASSONE, C. G.; COSTA, S. S. L.; OLIVEIRA, S. S.; ARAUJO, R. G. O.; NASCIMENTO, N. DE M.; SEVERINO, H. G. S.; DUYCK, C. B.; SOUZA, J. R. DE; SAINT PIERRE, T. D. A review on atmospheric analysis focusing on public health, environmental legislation and chemical characterization. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v.1, p. 1-23, 2021. DOI: 10.1080/10408347.2021.1919985.

GODOY, M. L. D. P.; ALMEIDA, A. C.; TONIETTO, G. B.; GODOY, J. M. Fine and Coarse Aerosol at Rio de Janeiro prior to the Olympic Games: Chemical Composition and Source Apportionment. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.29, p. 499-508, 2018.

GOUVEIA, N.; KANAI, C. Pandemic, cities and public health. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, p. 1-10, 2020.

HORIZONTE CIUDADANO. Disponível em: <http://www.horizonteciudadano.cl/english-ver>

sion/. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

HUANG, X.; DING, A. J.; GAO, J.; ZHENG, B.; ZHOU, D. R.; QI, X.; TANG, R.; WANG, J.; REN, C.; WEI, N.; CHI, X.; XU, Z.; CHEN, L.; LI, Y.; CHE, F.; PANG, N.; WNANG, H.; TONG, D.; QIN, W.; CHENG, W.; LIU, W.; FU, Q.; LIU, B.; CHAI, F.; DAVIS, S. J.; ZHANG, Q.; HE, K. Enhanced secondary pollution offset reduction of primary emissions during COVID-19 lockdown in China. **National Science Review**, v. 8, p. nwaa137, 2020.

HYSPLIT, Air Resources Laboratory, NOAA, 2022. Disponível em: <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>. Acesso: 3 de janeiro de 2022.

IEMA, Instituto de Energia e Ambiente. IEMA Annual Report, 2019. Disponível em: [http://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2020/12/IEMA\\_AnnualReport2019.pdf](http://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2020/12/IEMA_AnnualReport2019.pdf). Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

IEMA, Instituto de Energia e Ambiente. Plataforma da Qualidade do Ar, 2021. Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/qualidadedoar>. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

INEA, Instituto Estadual do Ambiente. Inventário Emissões de Fontes Veiculares, Região Metropolitana do Rio de Janeiro, Ano base 2013, 2016. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Invent%C3%A1rio-de-Emiss%C3%B5es-de-Fontes-Veiculares.pdf>. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

INEA, Instituto Estadual do Ambiente. Relatório da Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro, Ano base 2018, 2018. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/11/relatorio-qualidade-ar-2018.pdf>. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

INEA, Instituto Estadual do Ambiente. Qualidade do ar, 2022. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/qualidade-do-ar>. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

IQAir. Explore the air quality, 2022. Disponível em: <https://www.iqair.com/>. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Guia Técnico para a Avaliação e Monitoramento da Qualidade do Ar, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana/ar-puro/GuiaTecnicoParaQualidadedoAr.pdf>. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

R, The R Project for statistical computer, 2022. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

OPENAIR. Open source tools for air quality data analysis. Disponível em: <https://davidcarslaw.github.io/openair/>. Acesso em: 10 de julho de 2022.

ROLPH, G.; STEIN, A.; STUNDER, B. Real-time Environmental Applications and Display sYstem: READY. **Environmental Modelling & Software**, v. 95, p. 210-228, 2017.

SDGs, Sustainable Development Goals, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2021. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

SICILIANO, B.; DANTAS, G.; DA SILVA, C. M.; ARBILLA, G. The Updated Brazilian National Air Quality Standards: A Critical Review. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 31, n. 3, p. 523-535, 2019.

SICILIANO, B.; DANTAS, G.; DA SILVA, C. M.; ARBILLA, G. Increased ozone levels during COVID-19 lockdown: Analysis for the city of Rio de Janeiro, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 737, p. 139765, 2020.

SILVA, C. M.; ARBILLA, G. COVID-19: challenges for a new epoch. **Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 53, p. e202000270, 2020.

SILVA, C. M.; DA SILVA, L. L.; CORRÊA, S. M.; ARBILLA, G. Análise de Especificação de Compostos Orgânicos Voláteis Precusores de Ozônio nas Bacias Aéreas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 5, p.1887-1909, 2017.

SMAC, Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Boletim de Qualidade do Ar, 2022. Disponível em: <http://jeap.rio.rj.gov.br/je-metinfosmac/boletim>. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

WHO, 2005. World Health Organization. Air Quality Guidelines. Global Update 2005. Disponível em: [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/78638/E90038.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf). Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

WHO, World Health Organization. 7 million premature deaths annually linked to air pollution, 2014. Disponível em: <https://www.who.int/news/item/25-03-2014-7-million-premature-deaths-annually-linked-to-air-pollution>. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

WHO, World Health Organization. WHO expert consultation: available evidence for the future update of the WHO Global Air Quality Guidelines (AQGs), 2015. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/341714>. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

WHO, World Health Organization 2018. Air Pollution and Child Health. Prescribing clear air. World Health Organization, 2018. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/air-pollution-and-child-health>. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

WHO, World Health Organization. The Global Health Observatory. Under-five mortality rate, 2021a. Disponível em: [https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/under-five-mortality-rate-\(probability-of-dying-by-age-5-per-1000-live-births\)](https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/under-five-mortality-rate-(probability-of-dying-by-age-5-per-1000-live-births)). Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

WHO, World health Organization. What are the WHO air quality guidelines?, 2021b. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/what-are-the-who-air-quality-guidelines>. Acesso em: 3 de janeiro de 2022.

**Cleyton Martins da Silva**

✉ [martins.cleyton@gmail.com](mailto:martins.cleyton@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5216-4977>

Submetido em 26/01/2022

Aceito em 11/10/2022

2023;26:e00041

**Danilo Pinto Moreira Junior**

✉ [danilo.dj@gmail.com](mailto:danilo.dj@gmail.com)

**João Rogério Borges de Amorim Rodrigues**

✉ [joao\\_rogerio.borges\\_amorim@hotmail.com](mailto:joao_rogerio.borges_amorim@hotmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5969-1489>

**Bruno Siciliano**

✉ [sicilianoiq@gmail.com](mailto:sicilianoiq@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9932-0607>

**Graciela Arbilla**

✉ [gracielaiq@gmail.com](mailto:gracielaiq@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7732-8336>

# Aires nuevos para la primera infancia: los niños son el futuro del planeta

Cleyton Martins da Silva  
Danilo Pinto Moreira Junior

Bruno Siciliano  
Graciela Arbilla

João Rogério Borges de Amorim Rodrigues

**Resumen:** En la niñez, la contaminación del aire lleva a un aumento de las enfermedades, muerte prematura y problemas en el desarrollo. El material particulado fino ( $MP_{2,5}$ ) es considerado un contaminante clásico de mayor importancia. Sin embargo, en Brasil, el monitoreo de material particulado es limitado y restringido a pocas ciudades. En la ciudad de Río de Janeiro, solamente una estación registra las concentraciones de  $MP_{2,5}$  y publica diariamente los índices de calidad del aire. Este estudio es parte del proyecto “Aires Nuevos para la Primera Infancia” coordinado por la Fundación Horizonte Ciudadano, con el objetivo de generar evidencias para proponer un plan para reducir la exposición de los niños a la contaminación del aire. Los datos son compartidos en una plataforma virtual. Los resultados muestran niveles de  $MP_{2,5}$  altos en comparación con las recomendaciones de la OMS y la necesidad de acciones coordinadas para disminuir las emisiones de contaminantes.

São Paulo. Vol. 26, 2023

*Artículo original*

**Palabras-clave:** Salud infantil; material particulado fino; monitores de bajo costo; red cooperativa; contaminación del aire y salud.

# Clean air for a good start: children are the future of the planet

Cleyton Martins da Silva  
Danilo Pinto Moreira Junior

Bruno Siciliano  
Graciela Arbilla

João Rogério Borges de Amorim Rodrigues

---

**Abstract:** In early childhood, air pollution leads to an increased risk of disease, premature death and development of disruptions. Fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) is considered the classical pollutant of major concern. However, in Brazil, fine particulate monitoring is still limited and restricted to a few cities. In particular, in the city of Rio de Janeiro, only one automatic station obtains PM<sub>2.5</sub> concentrations and publishes the air quality indexes daily. This study is part of the project “Clean air for a good start” managed by the Horizon Citizen Foundation, with the goal of obtaining evidences to set a plan to reduce children exposition to air pollution. Data are shared on a global web platform. Results showed that PM<sub>2.5</sub> levels are high when compared with WHO guidelines and coordinated actions would be needed to decrease emissions of primary pollutants and secondary aerosol’s precursors.

São Paulo. Vol. 26, 2023

*Original Article*

**Keywords:** Childhood health; fine particulate matter; low-cost monitoring; cooperative network; air pollution and health.