



*Coalizão
Respira Amazônia:*

**Desafios e
perspectivas do
monitoramento da
qualidade do ar na
Amazônia Legal:
uma visão integrada entre
tecnologias, contextos
socioambientais e
políticas públicas**

policy brief



respira
AMAZÔNIA



respira AMAZÔNIA

Realização

Coalizão Respira Amazônia

Autores

Ane Auxiliadora Costa Alencar
Artur de Souza Moret
Domingos de Jesus Rodrigues
Eduardo Marques
Evangelina Araujo
Filipe Viegas de Arruda
Foster Brown
Franciele Oliveira Campos Da Rocha
Geórgia Franco
Hernani F. M. Oliveira
Marcia Macedo
Monique Rodrigues da Silva Andrade Maia
Patricia Ferrini Rodrigues
Reinaldo Imbrozio
Rodrigo Augusto Ferreira de Souza
Sílvia Fernanda Mardegan
Tailine Corrêa dos Santos
Thatiana Lameira Maciel Amaral
Valéria Moreira da Silva
Viviane Vilhena Amanajás
Willian Flores

Corpo editorial

Camila Acosta Camargo
Evangelina Araujo
Filipe Arruda Viegas
Franciele Oliveira Campos Da Rocha
Hernani F. M. Oliveira
Marcia Macedo
Martina Buazar Egredi Horvath

Edição e revisão

Patrícia Ferrini Rodrigues

Articulação do projeto

Martina Buazar Egredi Horvath

Comunicação

Maria Victória Beligni

Design

Agência+

Integrantes da Coalizão Respira Amazônia

Instituto Ar
Instituto de Pesquisa Ambiental
da Amazônia
Instituto Nacional de Pesquisas
da Amazônia
Secretaria Estadual de Meio Ambiente
do Amapá
Secretaria Estadual de Meio Ambiente
do Maranhão
Secretaria Estadual de Meio Ambiente
do Mato Grosso
Universidade de Brasília
Universidade do Estado do Amazonas
Universidade Federal de Mato Grosso
Universidade Federal de Rondônia
Universidade Federal de Roraima
Universidade Federal do Acre
Universidade Federal do Ceará
Universidade Federal do Pará
Universidade Federal do Paraná
Woodwell Climate Research Center

Apoio

Instituto Clima e Sociedade
Ministério do Meio Ambiente
e Mudança do Clima

Sobre a Coalizão Respira Amazônia

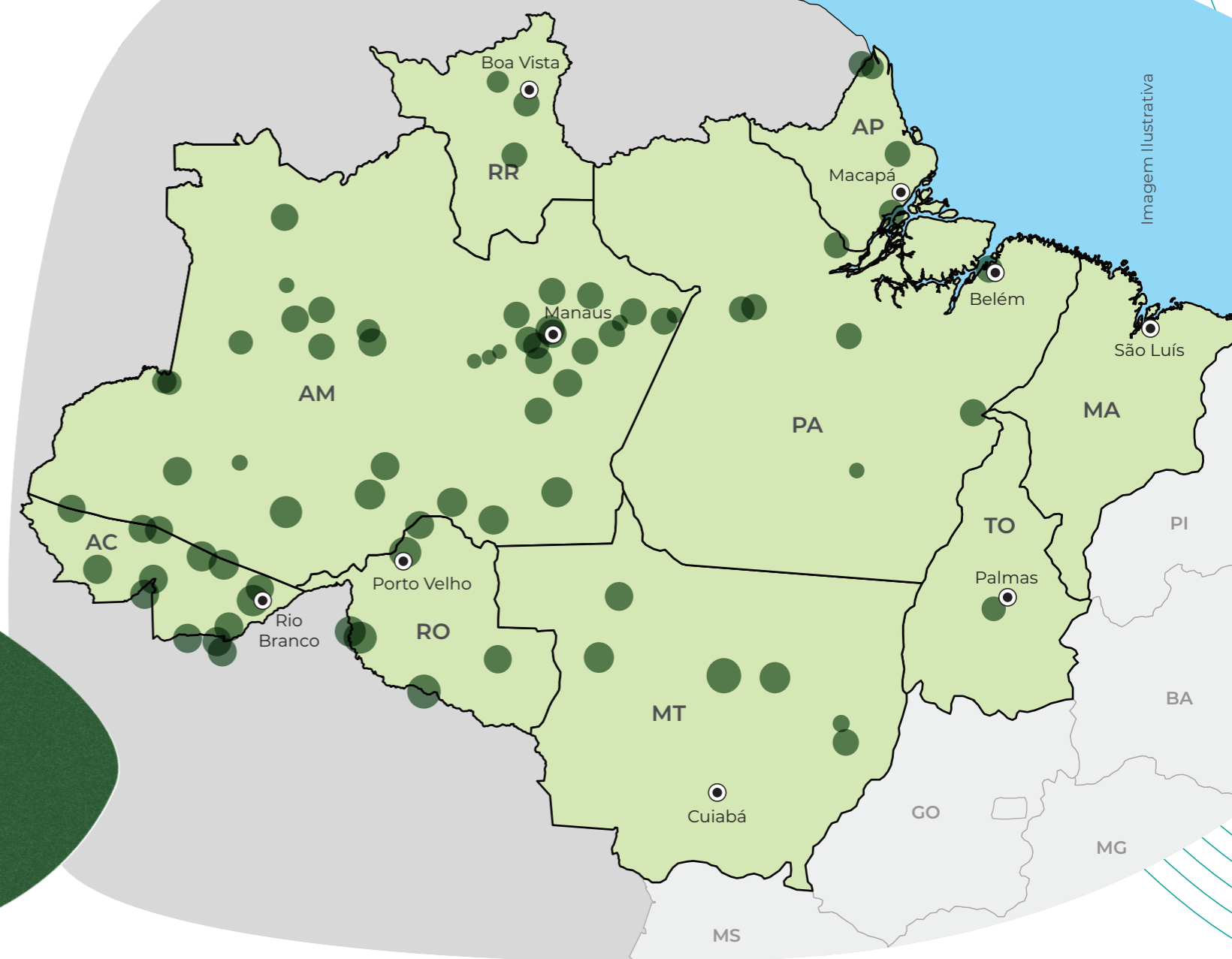
A Coalizão Respira Amazônia é uma iniciativa inovadora que reúne entidades públicas, privadas e organizações da sociedade civil para fomentar o monitoramento da qualidade do ar na Amazônia Legal, região que enfrenta uma grave falta de dados e informações localizadas devido à escassez de equipamentos de referência. Focada no uso de sensores de baixo custo e integração com outras tecnologias, o objetivo geral da Coalizão Respira Amazônia é estimular a ampliação do monitoramento, especialmente em áreas de difícil acesso, onde a infraestrutura é limitada. Para incentivar políticas ambientais mais eficazes e fortalecer a resposta aos desafios climáticos, a iniciativa busca ampliar a conscientização e a capacidade de ação na região, protegendo a saúde pública e o meio ambiente.

Até o momento,
187 sensores
são gerenciados por parceiros da Coalizão Respira Amazônia na região.

A Coalizão Respira Amazônia elaborou este *policy brief* com o intuito de oferecer uma visão abrangente do monitoramento da qualidade do ar na Amazônia Legal, com destaque para o papel inovador dos sensores de baixo custo. O documento apresenta o contexto atual da região, os principais desafios e oportunidades, assim

como as iniciativas existentes que utilizam essas tecnologias para coletar dados em tempo real sobre a qualidade do ar. Além disso, discute os benefícios da integração desses dados com os sistemas de monitoramento tradicionais, bem como as implicações para a tomada de decisões e a formulação de

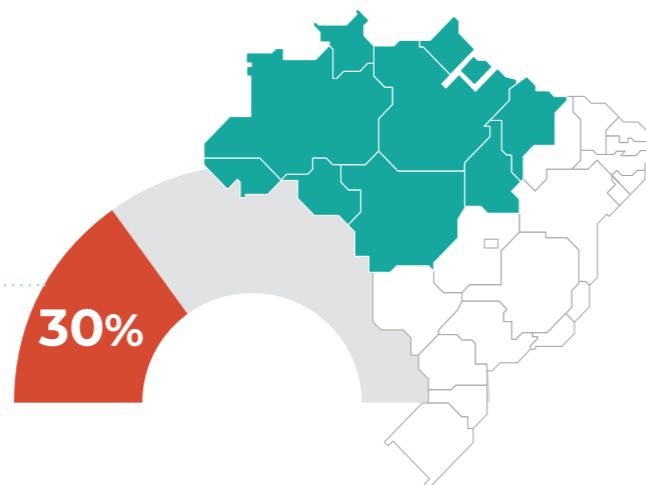
políticas públicas mais eficazes para a gestão da qualidade. Por meio de exemplos concretos, o *policy brief* exemplifica como essas tecnologias podem contribuir para melhorar a saúde da população, proteger o meio ambiente e fortalecer a participação da sociedade civil na gestão ambiental.



Resumo

Segundo o relatório *World Air Quality*, das 38 cidades brasileiras com a pior qualidade do ar em 2023, 13 estão localizadas na Amazônia Legal, o que representa cerca de **30% do total**. A poluição atmosférica na Amazônia, impulsionada principalmente pelas queimadas e pela expansão agropecuária, gera impactos devastadores no meio ambiente e na saúde pública. O uso do fogo, que era uma técnica tradicional de manejo do solo, se tornou descontrolado, liberando grandes quantidades de poluentes nocivos, como partículas em suspensão e monóxido de carbono, entre outros. Esse cenário afeta tanto as áreas rurais quanto os centros urbanos, onde as emissões industriais e de transporte se somam à poluição gerada pelas queimadas, agravando a qualidade do ar.

Apesar da criação da nova Política Nacional de Qualidade do Ar (Lei n. 14.850) em 2024, a implementação de sistemas de monitoramento na Amazônia Legal enfrenta diversos desafios. A infraestrutura necessária para a instalação e gestão de tais sistemas é insuficiente em muitas regiões e a maioria dos estados carece



de profissionais tecnicamente capacitados para operar esses equipamentos de forma eficaz. A ausência de um acompanhamento contínuo dificulta a resposta a picos de poluição, especialmente durante a temporada de queimadas, quando os níveis de poluentes aumentam drasticamente. Nesse contexto, sensores de baixo custo surgem como uma alternativa viável para expandir a rede de monitoramento, principalmente em áreas remotas e de difícil acesso. Esses sensores são uma solução prática e financeiramente mais acessível, permitindo uma coleta de dados mais ampla, que é essencial para o desenvolvimento de estratégias e políticas eficazes contra poluição do ar, queimadas e desmatamento. Embora apresentem menor precisão em comparação com sensores

de referência, sua facilidade de instalação e manutenção torna esses dispositivos mais adequados para regiões com recursos limitados, contribuindo significativamente para a cobertura do monitoramento ambiental na região.

Ainda que os sensores de baixo custo sejam uma solução viável para monitorar a qualidade do ar em áreas remotas, o uso de tecnologias integradas é fundamental para garantir uma cobertura abrangente na Amazônia Legal. Sensores de baixo custo apresentam limitações, como menor precisão, durabilidade reduzida, necessidade de validação junto a equipamentos de referência e manutenção e limpeza frequentes. Por isso, a combinação dessas tecnologias com outras, como o monitoramento por satélite e modelagem, é essencial

para suprir as lacunas deixadas por sensores isolados. Investir em pesquisas que melhorem a precisão dos dados gerados por tais dispositivos e ampliar o uso de soluções complementares permitirá o desenvolvimento de uma rede de monitoramento mais eficaz, especialmente em áreas onde a instalação de equipamentos tradicionais é inviável. Dessa forma, será possível obter dados mais confiáveis e abrangentes para embasar políticas públicas e estratégias de combate à poluição atmosférica.

Diversas iniciativas, tanto cidadãs quanto institucionais, estão sendo implementadas para suprir a carência de monitoramento da qualidade do ar na Amazônia. Entre 2019 e 2021, com o apoio do Ministério Público do Acre e da Universidade Federal do Acre, foi instalada uma rede de sensores



de baixo custo em 22 municípios, com foco principalmente no monitoramento durante o período de queimadas. No Amazonas, a Plataforma SELVA, lançada em 2021, integra dados sobre poluição atmosférica e focos de queimada, servindo como uma ferramenta importante tanto para o monitoramento quanto para a educação ambiental. Entre os anos de 2021 e 2024 pesquisadores do *Woodwell Climate Research Center* e do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) instalaram 60 sensores de baixo custo distribuídos nos nove estados da Amazônia Legal, ampliando a rede de monitoramento da qualidade do ar. Em 2023, a Rede de Proteção e Conservação da Biodiversidade por meio de Tecnologias (Redt Amazonas), em parceria com a Coreia do Sul, deu início à instalação de 100 sensores para monitorar a qualidade do ar, conectados à Plataforma SELVA, com o objetivo de combater o desmatamento e melhorar a gestão ambiental. Essas iniciativas foram integradas pela Coalizão Respira Amazônia, criada também em 2023, unindo entidades públicas e privadas para expandir o monitoramento com tecnologias acessíveis e fortalecer políticas voltadas à proteção ambiental e à saúde pública.

A colaboração entre diversos atores, como pesquisadores, gestores públicos e comunidades locais, é essencial para o sucesso de iniciativas que visam expandir e aprimorar o monitoramento da qualidade do ar na Amazônia.

Enquanto os pesquisadores garantem a precisão dos dados coletados, os gestores públicos são responsáveis por utilizar as informações na criação de políticas que protejam as populações mais vulneráveis. O envolvimento ativo das comunidades, especialmente nas áreas remotas, é vital para disseminar essas informações e promover conscientização local. Superar os desafios logísticos e técnicos do monitoramento exige, portanto, investimentos contínuos em infraestrutura e pesquisa, além da cooperação entre os setores público e privado. Somente através dessa colaboração será possível garantir políticas eficazes que protejam a saúde da população e preservem os ecossistemas da Amazônia.

O território da Amazônia Legal

A Amazônia Legal, que abrange nove estados brasileiros (Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins) e 772 municípios, corresponde a cerca de 58,9% do território nacional, totalizando aproximadamente 5 milhões de quilômetros quadrados.¹ Esta vasta região desempenha um papel importante na regulação do clima global e na preservação da biodiversidade, sendo um dos ecossistemas mais importantes do planeta.

No entanto, apesar de sua importância ecológica, a Amazônia vem enfrentando níveis crescentes de poluição do ar, em grande parte resultantes das queimadas realizadas para a remoção de vegetação nativa, principalmente devido à expansão agropecuária. De acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), os focos de incêndio na Amazônia Legal aumentaram 96% entre setembro de 2023 e setembro de 2024.² A localização desses focos, assim como das áreas desmatadas, reflete diretamente a expansão da fronteira agrícola, que envolve atividades como a extração de madeira, a conversão de florestas em pastagens e o cultivo intensivo de grãos, como soja, milho e arroz.³ Essas práticas, além de contribuírem para o desmatamento, também são responsáveis pelo aumento da poluição atmosférica, afetando tanto a biodiversidade quanto as comunidades que dependem da floresta.

01

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Amazônia Legal. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html> Acesso em: 3 out.2024

02

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Programa Queimadas, 2024. Disponível em: https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/situacao-atual/situacao_atual/ Acesso em: 3.out.2024

03

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Fronteira Agrícola – Amazônia Legal. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15976-fronteira-agricola-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e> Acesso em: 3.out.2024



A queima de áreas extensas da floresta libera grandes quantidades de material particulado e gases tóxicos, com impactos profundos tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente. De acordo com o relatório *World Air Quality*,⁴ entre as 38 cidades brasileiras com pior qualidade do ar em 2023, 13 estão localizadas nessa região, representando cerca de 30% do total. Poluentes, como partículas em suspensão (PM₁₀ e PM_{2,5}), carbono negro e monóxido de carbono, apesar de se originarem em áreas rurais, espalham-se por grandes distâncias, alcançando centros urbanos e se somando a poluição industrial e do transporte. Isso agrava a degradação da qualidade do ar e os impactos ambientais e de saúde pública.

A biodiversidade é profundamente afetada pela presença de poluentes atmosféricos, que comprometem processos fundamentais como o crescimento das plantas e a fotossíntese, essenciais para manter os ciclos hidrológicos equilibrados. Além disso, a contaminação de solos e corpos d'água provoca alterações nos ciclos de nutrientes, prejudicando os ecossistemas aquáticos e ameaçando a sobrevivência de diversas espécies nativas. Esse desequilíbrio ecológico tem reflexos diretos na saúde humana. Em centros urbanos, comunidades ribeirinhas e indígenas a exposição contínua a partículas finas (PM_{2,5}) leva a um aumento de doenças respiratórias, como asma e bronquite, além de agravar condições cardiovasculares, como hipertensão e derrames. Esses efeitos se intensificam durante os períodos de seca, resultando em um aumento significativo das internações hospitalares, com crianças e idosos, os grupos mais vulneráveis.

Em 2019, a Organização Mundial da Saúde (OMS) destacou a poluição do ar e as mudanças climáticas como a principal prioridade entre as dez emergências para a assistência em saúde que afetariam um bilhão de pessoas globalmente.⁵ O relatório *Global Burden of Disease*⁶ revelou que a poluição do ar por material particulado foi o maior fator de risco para a carga de doenças globais em 2021⁷, contribuindo para 8% do total de DALYs (Disability Adjusted Life Years), uma métrica que quantifica a gravidade das doenças e equivale ao número de anos perdidos por mortalidade precoce e vividos com incapacidade.

A poluição atmosférica tem se mostrado um problema crescente, com 8,1 milhões de mortes atribuídas a impurezas no ar em 2021, superando o número de óbitos causados pelo tabagismo. Mais de 95% da população mundial está exposta a níveis prejudiciais de poluição do ar. A inalação de material particulado impacta a saúde de diversas maneiras, afetando todos os sistemas do organismo. Fetos em desenvolvimento já sofrem as consequências da exposição à poluição por parte das mães, por exemplo.

Os impactos da poluição atmosférica na Amazônia, portanto, vão além da destruição ambiental; eles afetam diretamente a saúde das populações locais e o equilíbrio socioambiental. O conceito de "Saúde Única" é aplicável aqui, reconhecendo que as saúdes

humana, animal e ambiental estão intrinsecamente ligadas. Para proteger a Amazônia e suas comunidades, é essencial uma abordagem integrada que considere essas conexões.

04

IQAir. World Air Quality Report, 2023.
Disponível em: https://www.iqair.com/dl/2023_World_Air_Quality_Report.pdf
Acesso em: 3.out.2024

05

World Health Organization (WHO). Ten threats to global health in 2019.
Disponível em: <https://www.who.int/news-room/spotlight/ten-threats-to-global-health-in-2019>
Acesso em: 3.out.2024

06

Brauer, Michael et al. Global burden and strength of evidence for 88 risk factors in 204 countries and 811 subnational locations, 1990-2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *The Lancet*, v. 403, n. 10440, 2024.

07

Levando em conta todos os fatores de risco, incluindo os metabólicos, ambientais e comportamentais.

Tecnologias de monitoramento

As tecnologias de monitoramento da qualidade do ar existentes incluem uma variedade de instrumentos e técnicas, além de modelos de qualidade do ar que ajudam a integrar e interpretar esses dados. Dentre essas tecnologias, destacam-se os equipamentos padrão, o monitoramento por satélite, os equipamentos de baixo custo e a modelagem da qualidade do ar, recentemente reforçadas pelo uso da inteligência artificial.



EQUIPAMENTOS PADRÃO

São considerados a principal referência no monitoramento da qualidade do ar. Também conhecidos como equipamentos de referência ou equivalentes, esses dispositivos utilizam técnicas robustas e precisas para a medição de poluentes específicos. Instalados geralmente em locais com condições controladas, como laboratórios ou *containers*, esses equipamentos garantem uma medição precisa e confiável dos poluentes atmosféricos, sendo amplamente utilizados em estações fixas de monitoramento. Cada tipo de equipamento padrão é projetado para detectar e quantificar um poluente específico, utilizando técnicas que podem variar dependendo do tipo de poluente, como partículas finas (PM_{2,5}), gases ou compostos voláteis.



MONITORAMENTO POR SATÉLITE

É uma técnica de sensoriamento remoto que permite a coleta de dados atmosféricos em grande escala. Utilizando instrumentos a bordo de satélites, o sensoriamento remoto mede os poluentes em diferentes altitudes e detecta partículas e moléculas em suspensão na atmosfera de forma indireta, proporcionando uma visão global e detalhada da distribuição dos poluentes na atmosfera. Essa tecnologia é especialmente útil para monitorar regiões remotas e de difícil acesso, como grandes áreas da Amazônia Legal, onde o acesso físico pode ser limitado. O monitoramento por satélite é uma ferramenta fundamental para observar a dispersão de poluentes, identificar fontes de emissão e analisar as condições atmosféricas em tempo real.



EQUIPAMENTOS DE BAIXO CUSTO

São uma alternativa mais acessível às estações de referência. Embora não ofereçam a mesma precisão dos equipamentos padrão, eles têm se tornado cada vez mais populares devido ao seu custo reduzido e à capacidade de fornecer dados em tempo real. Esses dispositivos são menores e mais portáteis, o que permite uma maior cobertura de monitoramento em áreas que não possuem infraestrutura para estações de referência. Os equipamentos de baixo custo são amplamente utilizados para medir parâmetros como material particulado e gases, e sua implementação tem crescido em áreas urbanas e regiões com menos recursos.



MODELAGEM DA QUALIDADE DO AR

Embora não seja uma tecnologia de monitoramento direta, ela desempenha um papel primordial na integração e interpretação dos dados obtidos por outras tecnologias. A modelagem do ar utiliza dados numéricos e estatísticos para criar simulações que ajudam a prever e diagnosticar a qualidade do ar em diferentes áreas. Essa ferramenta permite unir especialmente os dados coletados por sensores padrão, satélites e equipamentos de baixo custo, proporcionando uma visão mais ampla e completa da situação da qualidade do ar. Além disso, a modelagem é fundamental para prognósticos e para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e controle da poluição atmosférica.

O monitoramento da qualidade do ar na Amazônia Legal

O monitoramento dos níveis de poluentes e das variáveis atmosféricas, como temperatura e umidade, é essencial para identificar problemas ambientais e avaliar a eficácia das medidas de controle. Esse monitoramento contínuo permite a adaptação de estratégias de mitigação da poluição, além de fornecer subsídios para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à saúde humana e à preservação ambiental. Além disso, os dados coletados contribuem para a formação de séries históricas essenciais à pesquisa científica e à compreensão dos padrões de longo prazo da poluição do ar. Essas informações fortalecem as pesquisas regionais, permitindo a identificação das principais fontes de poluição, das mudanças climáticas e de seus impactos específicos na Amazônia Legal. Esses estudos são importantes para o desenvolvimento de soluções adaptadas às particularidades da região, considerando as complexas interações climáticas e ambientais que a caracterizam.

No entanto, atualmente, cerca de 80% das 250 estações automáticas (equipamentos padrão) estão concentradas no Sudeste do Brasil, enquanto essa forma de monitoramento

na Amazônia Legal ocorre apenas no Maranhão (7 estações) e no Pará (3 estações),^{8,9} evidenciando a grande desigualdade regional e espacial da cobertura dessas estações nas diversas partes do país. O monitoramento nesses dois estados é realizado por equipamentos de referência privados e operados em nome dos órgãos ambientais, com informações disponibilizadas no Relatório Anual de Acompanhamento de Qualidade do Ar 2023 e pelo MonitorAr, ambos do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Por fim, a falta de estações limita a capacidade de gestores públicos de responder a crises de poluição.

Neste contexto, a implementação e expansão de redes de monitoramento da qualidade do ar na região é fundamental, porém enfrenta desafios importantes, sendo os maiores relacionados à escassez

de recursos humanos e materiais, infraestrutura limitada e à vasta extensão territorial. Diante dessas limitações e desafios, os sensores de baixo custo emergem como uma solução viável para o monitoramento em áreas remotas, possibilitando uma cobertura mais ampla. A seguir, destacamos os principais benefícios e limitações dessa tecnologia como um recurso para a expansão da rede de monitoramento na Amazônia.

O que são sensores de baixo custo

São dispositivos compactos, de reduzida complexidade e economicamente mais acessíveis que monitoram poluentes atmosféricos e variáveis ambientais, como temperatura e umidade, em tempo real, sendo este último um de seus maiores benefícios. Esses sensores monitoram continuamente temperatura, umidade e partículas em suspensão, como o $PM_{2,5}$, e registram dados a cada 90 segundos, gerando mais de 1000 registros diários. Esses dados podem ser imediatamente disponibilizados na internet, permitindo uma avaliação instantânea da qualidade do ar em diferentes locais. Isso possibilita a identificação rápida de picos de poluição, como aqueles gerados por queimadas.

Além disso, outro ponto importante é a cobertura espacial

08

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Relatório Anual de Acompanhamento de Qualidade do Ar 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/qualidade-ambiental-e-meio-ambiente-urbano/qualidade-do-ar/relatorio-anual-2023>
Acesso em: 3.out.2024

09

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. MonitorAr. Disponível em: <https://monitorar.mma.gov.br/painel>
Acesso em: 3.out.2024

que esses sensores podem oferecer. Devido ao seu custo mais acessível e fácil instalação, é possível criar redes de monitoramento mais densas e abrangentes, especialmente em áreas remotas e de difícil acesso, onde as estações padrão são inviáveis. Esses dispositivos custam em torno de 0,2% do valor da padrão, tornando-os financeiramente viáveis para implementação em larga escala. Além de serem mais baratos, eles exigem menos manutenção e têm custos operacionais reduzidos, necessitando apenas de energia elétrica e acesso à internet para funcionar corretamente. Isso permite que redes de monitoramento sejam criadas de forma colaborativa, envolvendo a comunidade local em todo o processo, desde a instalação até a interpretação dos dados.

Além do baixo custo, a facilidade de instalação e manutenção é também um dos benefícios desses sensores. Com a instalação simples e rápida, qualquer pessoa pode configurar um sensor de baixo custo, desde que haja disponibilidade de uma tomada e uma conexão Wi-Fi. Isso facilita a criação de redes de monitoramento colaborativas, permitindo que escolas, universidades, instituições comunitárias e até indivíduos participem ativamente da coleta e análise de dados sobre a qualidade do ar. O uso de plataformas online permite que esses dados sejam acessados de qualquer

lugar, democratizando o acesso à informação e aumentando a conscientização pública sobre os riscos à saúde associados à poluição atmosférica.

Por fim, devido a essas características de monitoramento da qualidade do ar em tempo real e da possibilidade de ampliação da cobertura espacial, sensores de baixo custo podem ser grandes auxiliares na detecção precoce de queimadas na Amazônia. Como esses dispositivos registram mudanças na concentração de poluentes atmosféricos a cada 90 segundos, eles são capazes de identificar rapidamente picos de poluição associados ao início de incêndios. Esse monitoramento contínuo e em tempo real é especialmente útil em regiões onde as queimadas podem se espalhar rapidamente, permitindo uma resposta mais ágil e eficiente das autoridades para combater os focos de incêndio, principalmente em queimadas na Amazônia, em que o fogo se espalha de forma mais rasteira, dificultando a sua detecção por satélite. A capacidade de detectar essas mudanças instantaneamente, aliada à possibilidade de cobrir vastas áreas remotas, faz desses sensores uma ferramenta importante na mitigação dos impactos das queimadas, tanto no meio ambiente quanto na saúde pública.

Desafios logísticos e a necessidade de tecnologias integradas

Cobertura territorial

O vasto território da Amazônia Legal e sua difícil acessibilidade tornam o monitoramento do ar um desafio logístico. Estados como Amazonas, Amapá, Roraima e Acre têm infraestrutura limitada, com malha rodoviária precária e rios como principais vias de transporte, o que dificulta a instalação e manutenção de equipamentos. Além disso, a preservação de grandes áreas de floresta aumenta as dificuldades de acesso, agravando o custo e a logística de implementação de sensores. Diante desse cenário e das especificidades do território, o desenho da distribuição dos diferentes tipos de equipamentos se torna relevante para uma cobertura eficiente do monitoramento do ar na região. Em áreas remotas, a falta de infraestrutura básica, como eletricidade e internet, inviabiliza a operação de sensores autônomos em tempo real. Nessas regiões, a amostragem passiva ou

a coleta manual de dados pode ser uma alternativa, mas compromete a frequência das medições e a capacidade de monitoramento contínuo. Outra solução também é a utilização de tecnologias de internet via satélite somadas à adoção de energia solar.

Custo de instalação, manutenção e confiabilidade dos dados

O custo elevado de instalação e manutenção de sensores padrão, que exigem mão de obra qualificada e calibração regular, é um dos maiores obstáculos para a expansão de uma rede de monitoramento abrangente na Amazônia. Os sensores de baixo custo são mais fáceis de instalar e operar, o que reduz significativamente os custos operacionais. No entanto, esses sensores apresentam limitações, como menor precisão, maior

sensibilidade às variações climáticas e durabilidade reduzida, exigindo validações periódicas com sensores de maior precisão para garantir a confiabilidade dos dados coletados.

Acesso aos dados

Há o desafio de garantir que os dados sejam acessíveis ao público de forma aberta e transparente. A criação de uma base de dados pública requer uma plataforma robusta e segura para processar e armazenar grandes volumes de informações, além de especialistas para realizar análises integradas que considerem a variabilidade nas medições e os impactos na saúde pública. A integração desses dados com outras plataformas de monitoramento é fundamental para decisões informadas e eficazes.

Capacidade técnica e infraestrutura

Embora o monitoramento por satélite e o uso de modelos sejam úteis para superar desafios de cobertura espacial, essas tecnologias exigem grande capacidade técnica e infraestrutura para processar os dados e apresentam maior incerteza em comparação aos sensores terrestres. Assim, enquanto essas ferramentas são valiosas, não devem ser utilizadas isoladamente, mas em conjunto com outras para garantir medições mais confiáveis.

Em conclusão, a implementação de uma rede de monitoramento da qualidade do ar na Amazônia Legal depende de uma combinação estratégica de tecnologias que possam superar as barreiras logísticas e financeiras da região. Sensores de baixo custo oferecem uma solução viável para ampliar a cobertura, especialmente em áreas remotas, mas precisam ser integrados a sistemas de referência e validação contínua para garantir a confiabilidade dos dados. Além disso, o acesso público a esses dados por meio de plataformas robustas e transparentes é essencial para promover a conscientização e orientar políticas públicas eficazes. Embora o monitoramento por satélite e modelos preditivos complementem essas ferramentas, eles não podem substituir a importância de uma infraestrutura técnica sólida e da integração de diferentes tecnologias para uma resposta mais eficaz aos desafios da poluição atmosférica e da preservação ambiental.



A recente Lei Nacional de Qualidade do Ar

A política pública de qualidade do ar é determinante para garantir direitos fundamentais previstos na Constituição Federal, dado o papel vital da atmosfera no equilíbrio ecológico e na qualidade de vida. O monitoramento contínuo é especialmente importante, pois permite medir as concentrações de poluentes atmosféricos, gerar dados precisos sobre as condições atuais do ar e construir um histórico robusto. Essas informações capacitam os tomadores de decisão a planejar e implementar políticas públicas eficazes, visando assegurar uma boa qualidade do ar, melhorar a informação ao cidadão e proteger a saúde da população e do meio ambiente.

A ausência de uma estrutura legal unificada dificultava a coordenação eficiente entre estados e municípios, resultando em falhas tanto na fiscalização quanto no monitoramento da poluição atmosférica. Mesmo com normas ambientais em vigor, esses instrumentos eram insuficientes

para lidar com a complexidade dos desafios impostos pela poluição do ar, especialmente nas regiões mais afetadas por queimadas e desmatamento, onde a degradação ambiental é acelerada e os impactos na saúde pública são graves.

A implementação do monitoramento de qualidade do ar no território nacional foi determinada pelo Programa Nacional de Qualidade do Ar, o Pronar (Resolução Conama 05/1989), atribuindo aos Estados a responsabilidade pelo monitoramento, mas isso não ocorreu na Amazônia Legal.¹⁰

10

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). Resolução Conama N. 005, de 15 de junho de 1989. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0005-150689.PDF>
Acesso em: 3.out.2024



A aprovação recente da Lei n. 14.850, de 2 de maio de 2024, que institui a nova Política Nacional de Qualidade do Ar,¹¹ representa um marco importante e deve auxiliar na alteração da situação atual, pois estabelece a criação da Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade do Ar. Esse passo é essencial para padronizar o monitoramento em todo o país, possibilitando uma abordagem mais coordenada e baseada em dados confiáveis. Contudo, a implementação plena dessa lei ainda enfrenta grandes desafios, como a falta de recursos, a falta de infraestrutura adequada e a carência de capacitação técnica em muitos estados e municípios.

11

BRASIL. Lei n. 14.850, de 2 de maio de 2024. Institui a Política Nacional de Qualidade do Ar. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/38430678> Acesso em: 3.out.2024

Apesar dos avanços trazidos pela Lei n. 14.850, ainda há muito a ser feito para garantir sua implementação eficaz. O fortalecimento da infraestrutura de monitoramento e o alinhamento das políticas de qualidade do ar com os sistemas de monitoramento da qualidade do ar e saúde pública são ações essenciais para que essa política atenda plenamente às necessidades da população e do meio ambiente. Sem tais medidas coordenadas, o impacto das políticas será limitado, especialmente em regiões que sofrem com poluição severa e eventos como queimadas. Além disso, o cruzamento dos dados de poluição com informações dos sistemas de saúde, como índices de internações por problemas respiratórios, aprofundaria o entendimento dos impactos. Isso possibilitaria a criação de políticas públicas mais eficazes e preventivas, protegendo a população de maneira mais abrangente. A integração entre o Sistema Único de Saúde (SUS) e o monitoramento ambiental fortaleceria as estratégias de prevenção e resposta, garantindo que as intervenções na saúde pública sejam mais rápidas e eficientes, sobretudo em situações de piora significativa na qualidade do ar.

Casos internacionais de sucesso

ULAN BATOR, MONGÓLIA¹²

Esta cidade é uma das mais poluídas do mundo, principalmente devido ao uso de carvão como principal fonte de aquecimento nas “gers” mongóis – moradia tradicional onde vive grande parte da população. A forte dependência do carvão apresenta sérios riscos à saúde, incluindo o aumento das chances de doenças cardiovasculares e respiratórias. Para enfrentar a falta de monitoramento da qualidade do ar em locais tão remotos, uma equipe de pesquisadores desenvolveu um sensor de baixo custo, capaz de transmitir dados atmosféricos em tempo real e projetado para funcionar em condições desafiadoras. Esses equipamentos oferecem às organizações humanitárias uma forma de medir os efeitos de suas ações para diminuir a poluição nessas comunidades. O projeto é significativo não apenas pela inovação técnica, mas também pelas lições aprendidas com a implantação desses sensores em ambientes tão únicos.



12

BRASIL. Lei n. 14.850, de 2 de maio de 2024. Institui a Política Nacional de Qualidade do Ar. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/norma/38430678> Acesso em: 3.out. 2024

DAR ES SALAAM, TANZÂNIA¹³

Dar es Salaam, como uma cidade em rápido crescimento, enfrenta desafios significativos em termos de poluição do ar devido ao aumento da urbanização e a dependência de combustíveis fósseis. A cidade vem utilizando sensores de baixo custo para expandir sua rede de monitoramento da qualidade do ar. Esses equipamentos oferecem uma alternativa acessível aos caros monitores de referência, permitindo que a cidade cubra uma área maior e obtenha uma visão mais detalhada dos padrões de poluição. Os sensores ajudam a medir poluentes como o material particulado e os gases emitidos principalmente pelos veículos.



13

C40 Cities Climate Leadership Group. Sensing Change: How cities are using new sensing technologies to achieve air quality goals. C40 Knowledge Hub.

Disponível em: <https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Sensing-Change-How-cities-are-using-new-sensing-technologies-to-achieve-air-quality-goals>
Acesso em: 3.out.2024

Iniciativas e projetos em curso na Amazônia

Em todos os estados da região, existem iniciativas voltadas para a ampliação do monitoramento utilizando sensores de baixo custo. Destacam-se aqui quatro casos de sucesso de parceiros da Coalizão Respira Amazônia.

Rede de monitoramento no Acre

A instalação de uma rede de sensores de baixo custo no Acre surgiu para enfrentar os graves problemas de qualidade do ar, exacerbados pela falta de monitoramento oficial local e regional. Entre 2019 e 2021, o aumento das queimadas e desmatamentos intensificou a urgência por soluções inovadoras. Com apoio do Ministério Público do Acre e da Universidade Federal do Acre, uma rede de monitoramento de qualidade do ar foi criada utilizando sensores de baixo custo em 22 municípios, financiados por recursos de transações penais. Esse projeto, que exemplifica a articulação entre sociedade civil, pesquisadores e promotores de justiça, surgiu para suprir a lacuna deixada pela ausência de políticas públicas voltadas ao monitoramento ambiental.

Embora inovador, o projeto enfrenta desafios contínuos, principalmente relacionados à governança e à falta de recursos para manter e operar o sistema, que é, em grande parte, conduzido por voluntários locais. Os sensores utilizados são mais acessíveis financeiramente do que as estações padrão, o que permite a disseminação mais ampla dos dados sobre a qualidade do ar. No entanto, a precisão desses sensores depende das condições climáticas e das partículas monitoradas (PM_{1.0}, PM_{2.5}, PM₁₀), o que representa mais um desafio em termos de calibração e manutenção.



BANGALORE, ÍNDIA¹⁴

A campanha de monitoramento da qualidade do ar em Bangalore, utilizando sensores de baixo custo e monitoramento móvel, gerou mapas de poluição de alta resolução. A pesquisa teve como objetivo preencher as lacunas do monitoramento convencional, combinando redes de sensores estacionários e unidades móveis para medir carbononegro e partículas ultrafinas. As principais conclusões foram a identificação de altos níveis de poluição nas principais estradas em comparação com áreas residenciais, bem como um aumento sazonal da poluição durante o inverno. A iniciativa demonstrou que o monitoramento com sensores de baixo custo pode fornecer dados espaciais valiosos para orientar decisões políticas na redução de emissões relacionadas ao tráfego. As recomendações de política incluíram a expansão do monitoramento para áreas rurais e o enfrentamento das emissões de tráfego em zonas de alta poluição de Bangalore.

14

CSTEP. Mapping air pollution in Bengaluru using low-cost sensors and mobile monitoring data, 23 mar. 2023.

Disponível em: <https://cstep.in/publications-details.php?id=2321>
Acesso em: 3.out.2024

Os dados gerados são acessíveis em plataformas como Acre BioClima, fornecendo informações em tempo real sobre a qualidade do ar em diversas regiões. Contudo, a ausência de uma série histórica estruturada e a interface em inglês limitam o acesso da população local a essas informações. Mesmo assim, o projeto tem promovido conscientização pública sobre os impactos das queimadas e tem mobilizado órgãos governamentais para enfrentar o problema.

Com planos para expandir o monitoramento para outras áreas da Amazônia Legal, o projeto já tem mostrado sua eficácia. Além disso, foi reconhecido por prêmios como o INNOVARE, que destaca inovações em práticas judiciais e políticas públicas, e serviu de base para a criação da Coalizão Respira Amazônia, reforçando sua importância no contexto da proteção ambiental e da saúde pública na região.

Plataforma SELVA

A Plataforma SELVA (Sistema Eletrônico de Vigilância Ambiental) é uma ferramenta de educação ambiental do Projeto “EducAir – Educação Ambiental em Qualidade do Ar”. O desenvolvimento da Plataforma SELVA teve início em 2021, com professores e alunos do Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiental (PPG-CLIAMB – INPA/UEA), na Escola Superior de



Tecnologia (EST), da Universidade do Estado do Amazonas (UEA). O primeiro apoio financeiro veio de uma parceria entre a Cuomo Foundation (Mônaco, França), a UEA e a Fundação Universitas de Estudos Amazônicos (FUEA), voltada para trazer à tona os problemas da poluição do ar na Amazônia brasileira, com foco em educar e alertar os estudantes das escolas públicas do Amazonas e suas famílias sobre a importância da conservação da floresta e da boa qualidade do ar, da proteção da saúde pública e prevenção das mudanças climáticas.

A plataforma SELVA integra diferentes dados ambientais, dentre eles: o monitoramento da poluição atmosférica (material particulado fino) a partir de sensores de qualidade do ar de baixo custo, dados de concentração

de material particulado fino na atmosfera estimados por modelos numéricos de qualidade do ar (CAMS – *Copernicus Atmosphere Monitoring Service*), dados de focos de queima identificados por satélites ambientais, além de dados de precipitação estimada por radares meteorológicos, entre outros dados ambientais. Atualmente, o projeto conta com a parceria da Secretaria Estadual de Meio Ambiente, do Ministério Público do Estado do Amazonas, da Defesa Civil do Estado do Amazonas e da Secretaria Estadual de Educação e Desporto Escolar do Amazonas, na instalação de sensores de baixo custo de qualidade do ar para cobrir todos os municípios do Estado do Amazonas.

Neste contexto, o objetivo do projeto é que a plataforma de monitoramento SELVA se torne a principal fonte de informações rápidas para a população em geral, bem como para as instituições e governos, nas áreas mais afetadas pelas queimadas na Amazônia brasileira. A meta é contribuir para a melhoria da qualidade de vida das pessoas, dia após dia, disponibilizando informações para ajudar nas tomadas de decisões e mudanças reais das ações da sociedade. Continuar crescendo, aumentar a equipe e a estrutura, para o desenvolvimento de equipamentos e tecnologias digitais de modo a fornecer o melhor serviço de monitoramento e soluções de problemas ambientais nas cidades e em áreas remotas da Amazônia é o que almeja a SELVA. Iniciativas como essa ressaltam a urgência de implementar medidas de prevenção e gestão da poluição do ar na Amazônia, incluindo o desenvolvimento de alertas eficazes para eventos de grande escala e estratégias aprimoradas de

gestão de incêndios florestais para mitigar seu impacto na qualidade do ar nas cidades da região.

Projeto de ampliação da rede de monitoramento na Amazônia legal - IPAM

Motivados pela iniciativa da Rede de Monitoramento do Acre, entre os anos de 2021 e 2024, houve uma ampliação da rede de monitoramento de qualidade do ar para toda a Amazônia Legal, com a instalação de 60 sensores de baixo custo distribuídos nos nove estados da Amazônia Legal pelo Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) e o *Woodwell Climate Research Center*. A ampliação da rede teve como objetivo avaliar a qualidade do ar não apenas nas cidades, mas ampliar o monitoramento para áreas de diferentes categorias fundiárias (Unidades de Conservação, Territórios Indígenas e Territórios Agrícolas). Os resultados demonstram que, independentemente da categoria fundiária, durante o período de seca e com o aumento das queimadas, a qualidade do ar atinge níveis de material particulado (MP_{2,5}) muito acima do recomendado pela Organização Mundial da Saúde e pelo Ministério do Meio Ambiente, demonstrando a importância da ampliação da rede de monitoramento não apenas nas cidades.

Redt Amazonas

Em novembro de 2023, o Governo do Estado do Amazonas e a Embaixada da Coreia do Sul firmaram um acordo de cooperação técnica para a criação da Rede de Proteção e Conservação da Biodiversidade por meio de Tecnologias (Redt/AM). A iniciativa visa aprimorar os esforços no combate ao desmatamento e às queimadas ilegais no Amazonas, estendendo o monitoramento da qualidade do ar para todos os 62 municípios do estado. Como parte do projeto, o governo adquiriu 100 sensores de baixo custo, com o objetivo de monitorar a concentração de material particulado em toda a região.

Os sensores serão instalados com o apoio da Defesa Civil do Estado ao longo de 2024, cobrindo todos os municípios. Esses dados de qualidade do ar serão integrados à plataforma SELVA, à medida que as instalações forem concluídas, fortalecendo a capacidade de resposta e a gestão ambiental no Amazonas. A Redt/AM reflete o esforço colaborativo entre o Brasil e a Coreia do Sul para usar tecnologia de ponta no monitoramento e proteção ambiental.

Infográfico

PROBLEMA SOLUÇÃO

TERRITÓRIO

A vasta extensão do território amazônico dificulta o monitoramento abrangente da qualidade do ar.



FONTES DE EMISSÃO

As queimadas e incêndios florestais são as principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos na região.



MUDANÇA E USO DA TERRA

A expansão da fronteira agrícola tem intensificado a degradação ambiental e aumentado as emissões.



AUSÊNCIA DE INFORMAÇÃO

Existe uma lacuna significativa de dados oficiais sobre a qualidade do ar na Amazônia.



DISSEMINAÇÃO DE INFORMAÇÃO

A falta de comunicação adequada impede que a população compreenda a gravidade do problema e tome medidas preventivas para a saúde.



EQUIPAMENTOS DE BAIXO CUSTO

Sensores de baixo custo são eficazes para mitigar o “apagão de informações”, fornecendo dados relevantes sobre a qualidade do ar.



DISTRIBUIÇÃO ESTRATÉGICA

Instalação estratégica desses equipamentos ao longo do território amazônico para garantir a obtenção de dados e o acompanhamento em tempo real.



COMPLEMENTARIDADE DOS DADOS

Os dados coletados pelos equipamentos de baixo custo complementam outros métodos de monitoramento, fornecendo uma análise detalhada em nível de superfície.



DISSEMINAÇÃO EFICIENTE DA INFORMAÇÃO

A disponibilização de informações em tempo real permite que a população compreenda a situação da qualidade do ar e tome ações preventivas adequadas.

É essencial ampliar os investimentos em sensores de baixo custo e estações de referência para melhorar a cobertura e qualidade do monitoramento. A infraestrutura robusta, com equipes qualificadas para análise e divulgação de dados, também é necessária.

Além disso, incentivar a produção nacional de sensores pode reduzir custos e expandir a rede de monitoramento. O investimento em infraestrutura tecnológica, como servidores para armazenar grandes volumes de dados, é igualmente importante.

A incorporação de sensores de baixo custo à rede de monitoramento pode complementar estações automáticas e satélites, principalmente em áreas remotas. A política nacional de qualidade do ar deve estar integrada ao monitoramento de queimadas, e a colaboração entre o setor público e privado é fundamental para garantir a expansão e eficiência das redes de monitoramento.



Considerações



A vasta extensão e a complexidade geográfica da Amazônia Legal apresentam enormes desafios para o monitoramento da qualidade do ar. No entanto, dada a importância geopolítica e ambiental da área, e dadas as constantes ameaças à qualidade do ar na região, especialmente pelas queimadas, é essencial que esse monitoramento seja realizado de maneira robusta e abrangente. A integração de novas tecnologias, surge como a solução mais promissora para enfrentar esses obstáculos. Equipamentos de monitoramento padrão, conhecidos por sua alta precisão e robustez, são essenciais para garantir a qualidade dos dados. Contudo, os altos custos e as dificuldades logísticas de instalação e manutenção desses dispositivos em uma região tão extensa e de difícil acesso limitam sua implementação. Nesse contexto, os sensores de baixo custo aparecem como uma alternativa estratégica, pois são mais acessíveis e fáceis de instalar, possibilitando a expansão da rede de monitoramento para áreas remotas.

Os sensores de baixo custo ainda enfrentam desafios, como menor precisão e vida útil reduzida em comparação aos equipamentos de referência. Por isso, é fundamental calibrá-los e validá-los regularmente com base em sensores padrão, para assegurar a confiabilidade dos dados. Além disso, é necessário continuar investindo em pesquisas e inovações que aprimorem esses dispositivos, garantindo que operem com maior precisão, mesmo em condições climáticas extremas, como as encontradas na Amazônia. Superar esses desafios tecnológicos permitirá uma cobertura de monitoramento mais densa e precisa, especialmente em locais onde a instalação de equipamentos tradicionais é inviável.

A colaboração entre diferentes atores é igualmente fundamental nesse processo. Pesquisadores, gestores públicos, técnicos e comunidades locais precisam trabalhar juntos para garantir o sucesso da implementação das redes de monitoramento. A expertise dos pesquisadores é essencial para a análise e interpretação eficaz dos dados, enquanto os gestores públicos devem estar capacitados para utilizar essas informações na formulação de políticas que combatam a poluição do ar e protejam as populações vulneráveis. O engajamento das comunidades locais, particularmente em áreas remotas, é fundamental para garantir a disseminação de informações e a mobilização social em torno da qualidade do ar.

Por fim, a superação dos desafios relacionados ao monitoramento da qualidade do ar na Amazônia Legal depende da criação de uma infraestrutura adequada, que inclua energia e internet em áreas remotas, além de investimentos contínuos em pesquisa para aprimorar as tecnologias de monitoramento. A colaboração entre os setores público e privado também é um ponto chave. Somente com essa sinergia será possível garantir a eficácia das políticas públicas na redução da poluição atmosférica e na proteção dos ecossistemas amazônicos. Um esforço coletivo, associado ao uso estratégico de tecnologias avançadas, será a chave para enfrentar os complexos desafios ambientais da Amazônia Legal, preservando tanto a saúde das populações locais quanto um dos mais importantes patrimônios naturais do planeta.



respira
AMAZÔNIA

