

AMAZÔNIA EM CHAMAS: A QUALIDADE DO AR EM 2024 E 2025

Filipe V. de Arruda¹, Ane A. C. Alencar¹, Newton C. Monteiro¹, Vera L. S. Arruda¹,
Ana Carolina M. Pessoa¹, João P. F. M. Ribeiro¹, Marcia Macedo^{2,3}, Luiz Felipe M. Martenexen¹,
Renata da Costa⁴, Antônio Willian F. de Melo⁵, Ray P. Alves¹, Wallace V. Silva¹, Vanessa S. Ribeiro⁴

¹ Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), Brasília, DF, Brasil

² Columbia Climate School, New York, NY, Estados Unidos

³ Woodwell Climate Research Center, Falmouth, MA, Estados Unidos

⁴ Instituto Ar, São Paulo, SP, Brasil

⁵ Universidade Federal do Acre, Cruzeiro do Sul, AC, Brasil

1. Resumo

A análise da qualidade do ar na Amazônia Legal em 2024–2025 evidencia forte variabilidade interanual na exposição ao material particulado fino (PM_{2.5}), estreitamente associado à dinâmica do fogo e às condições meteorológicas. Em 2024, os episódios foram mais intensos e persistentes, concentrando-se no arco do desmatamento (especialmente no corredor Acre–Rondônia–sul do Amazonas e no norte do Mato Grosso), com municípios registrando até 138 dias consecutivos (≈ 139 dias contínuos) de excedência do limiar da OMS (PM_{2.5} $\geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Em 2025, observou-se uma redução expressiva tanto da extensão quanto da persistência destes eventos, além de um deslocamento relativo dos hotspots para o leste da região (Pará e Maranhão). A fração da área da Amazônia Legal com PM_{2.5} $\geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ diminuiu de 13,85% (2024) para 4,03% (2025) ($\approx -71\%$). Em escala estadual, 2024 foi marcado por médias anuais mais elevadas e maior recorrência em Rondônia, Acre, Mato Grosso e Amazonas; em 2025, Maranhão e Rondônia registraram os maiores indicadores

Destaques

- Queda acentuada da exposição territorial: a área da Amazônia Legal com PM_{2.5} $\geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ reduziu-se de 13,85% em 2024 para 4,03% em 2025 ($\approx -71\%$).
- 2024 como o ano mais crítico: padrões contínuos, intensos e espacialmente extensos, concentrando-se no arco do desmatamento, com destaque para o corredor Acre–Rondônia–sul do Amazonas e para a transição com o norte do Mato Grosso.
- Alta persistência em 2024 (municípios): Novo Aripuanã (AM) registrou 138 dias consecutivos (≈ 139 dias contínuos) e 140 dias totais com PM_{2.5} $\geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

agregados. Esses resultados reforçam a necessidade de integrar o monitoramento da qualidade do ar, a prevenção do fogo e os protocolos de saúde pública para reduzir os riscos sanitários associados à fumaça de queimadas.

2. Introdução

A poluição atmosférica é reconhecida como um dos principais fatores de risco ambiental para a saúde humana em escala global. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a exposição ao material particulado fino (PM_{2.5}) está associada a aproximadamente 4,2 milhões de mortes prematuras por ano, principalmente em decorrência de doenças cardiovasculares e respiratórias e de câncer de pulmão (WHO, 2021). Em razão de suas características físicas — diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 micrômetros — o PM_{2.5} pode penetrar profundamente no sistema respiratório e parte dessas partículas pode alcançar a corrente sanguínea, contribuindo para o aumento de internações hospitalares e para a exacerbação de doenças crônicas (WHO, 2021; US EPA, 2025). Além dos impactos diretos sobre a saúde, estudos conduzidos na Europa (Dechezleprêtre et al., 2019), na América Latina (Madaniyazi et al., 2024) e no Brasil (Wen et al., 2024) indicam impactos econômicos significativos associados à poluição do ar, incluindo elevação dos gastos com saúde, perda de produtividade laboral e redução da qualidade de vida. Esses impactos tendem a ser mais intensos em grupos vulneráveis, como crianças, idosos, gestantes e povos indígenas e comunidades tradicionais (Carmo et al., 2010; Silva et al., 2010). Embora o debate sobre a qualidade do ar frequentemente enfatize as

- 2025 apresentou eventos mais curtos e deslocados: redução da intensidade e hotspots no leste e no centro-leste (principalmente no Pará e no Maranhão), sem concentrações > 120 µg/m³.
- Estados mais afetados: 2024 — Rondônia, Acre, Mato Grosso e Amazonas; 2025 — Maranhão e Rondônia.
- Ligação direta com queimadas: padrões de PM_{2.5} ≥ 15 µg/m³ coincidem com maior área queimada, reforçando a integração entre o manejo do fogo e a saúde pública. adaptadas à nova geografia do desmatamento.

fontes urbanas e industriais, regiões rurais e florestais também podem apresentar níveis críticos de poluição atmosférica, especialmente quando sujeitas à queima de biomassa (Chen et al., 2021).

Na Amazônia brasileira, o uso do fogo no manejo agropecuário, combinado ao desmatamento e aos incêndios florestais, expõe milhões de pessoas a concentrações de PM_{2.5} acima dos limites recomendados pela OMS por períodos prolongados, frequentemente entre três e cinco meses consecutivos ao ano (Sant'Anna et al., 2020; Gioda et al., 2023). Essas emissões geram extensas plumas de aerossóis e gases-traço que podem se dispersar por milhares de

quilômetros, afetando não apenas populações locais, mas também centros urbanos do Centro-Sul do Brasil e países vizinhos, como Bolívia, Peru e Paraguai (Bonilla et al., 2023). A expansão do monitoramento da qualidade do ar, incluindo emissões de fumaça e exposição na Amazônia, pode ser uma ótima ferramenta para proteger a saúde humana (Oliveira et al. 2025).

Em 2024, a Amazônia registrou uma das temporadas de seca e fogo mais severas desde 2010, em um contexto de seca extrema intensificada pelo fenômeno El Niño (Alencar et al., 2024). Esse cenário resultou em elevação expressiva da carga de poluentes atmosféricos — incluindo PM2.5, monóxido de carbono e compostos orgânicos voláteis — comprometendo a qualidade do ar em extensas áreas da Amazônia Legal e ampliando a exposição da população, sobretudo das populações de maior vulnerabilidade socioambiental. Em contraste, 2025 apresentou condições meteorológicas distintas, com maior regularidade no regime de chuvas associada ao fenômeno La Niña, resultando em uma dinâmica diferenciada de ocorrência e propagação do fogo. Essa variabilidade interanual constitui uma base relevante para comparar padrões de exposição e avaliar a relação entre o fogo e a degradação da qualidade do ar.

Diante desse contexto, esta Nota Técnica apresenta uma análise espaço-temporal da qualidade do ar nos 804 municípios da Amazônia Legal ao longo dos anos de 2024 e 2025. Foram utilizados dados diários de concentração de PM2.5 do Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS), integrados a registros de área queimada do Monitor do

Fogo do MapBiomas. Especificamente, buscou-se: (i) quantificar o número de dias com concentrações de PM2.5 acima de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, limite recomendado pela OMS para médias de 24 horas; (ii) identificar os estados e municípios com maior exposição; (iii) caracterizar a distribuição espacial e temporal dos episódios de poluição atmosférica; e (iv) avaliar a relação entre a ocorrência de fogo e a degradação da qualidade do ar. Os resultados visam subsidiar ações e políticas públicas de monitoramento, prevenção e mitigação dos impactos sanitários associados ao fogo na Amazônia.

3. Métodos

3.1. Monitoramento da qualidade do ar

As informações sobre a qualidade do ar foram obtidas a partir do Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS), acessado via Google Earth Engine por meio da coleção ECMWF/CAMS/NRT (CAMS Global Near-Real-Time). Trata-se de um sistema de assimilação e previsão operacional que produz previsões globais de composição atmosférica (aerossóis e espécies químicas), com atualizações regulares e resolução espacial de aproximadamente 44,5 km (ECMWF, 2024).

O período de análise compreendeu de 1º de janeiro de 2024 a 31 de dezembro de 2025, totalizando 731 dias. Utilizou-se a banda *particulate_matter_d_less_than_25_um_surface*, correspondente à concentração de PM2.5 na superfície. Os valores originais, expressos em kg/m^3 no Earth Engine, foram convertidos para $\mu\text{g}/\text{m}^3$ por meio do fator 10^9 .

Para cada dia do período, estimou-se a concentração média diária de PM_{2.5} a partir da agregação de 24 imagens horárias (00:00–23:00 UTC) disponíveis para aquele dia-calendário. A série temporal diária foi então agregada espacialmente para cada unidade político-administrativa (municípios e estados) da Amazônia Legal por meio de estatística zonal, calculando-se a média dos valores de PM_{2.5} dos pixels contidos em cada polígono. A partir dessas séries, derivaram-se as estatísticas de média e de máximo para o período analisado.

Para identificar os dias com qualidade do ar inadequada, aplicou-se o critério de excedência em relação à média diária; foram contabilizados os dias em que a concentração de PM_{2.5} foi igual ou superior a 15 µg/m³, limite recomendado pela Organização Mundial da Saúde para exposição de curta duração (WHO, 2021). Os rasters binários diários foram acumulados ao longo do período, produzindo mapas do número de dias acima do limiar por pixel, que foram posteriormente agregados por município e por estado.

O cálculo do número máximo de dias consecutivos com concentração de material particulado fino (MP_{2.5}) igual ou superior a 15 µg/m³ foi realizado por meio da análise temporal das séries diárias de dados. Inicialmente, os registros foram ordenados cronologicamente e filtrados para incluir apenas os dias que apresentaram concentrações acima do limiar estabelecido pela OMS. Em seguida, identificaram-se sequências ininterruptas de datas por meio do cálculo da diferença em dias entre registros consecutivos. Quando a diferença entre duas datas

sucessivas era igual a 1 dia, considerou-se que pertenciam ao mesmo bloco de dias consecutivos; diferenças superiores a 1 dia indicavam o início de um novo bloco. Para cada unidade de análise (município ou estado), contabilizou-se o tamanho de todos os blocos identificados, sendo o valor máximo registrado como o número de dias consecutivos daquela localidade. Sequências com apenas um dia de duração foram consideradas como eventos isolados, exigindo-se um mínimo de dois dias para caracterizar um período consecutivo. Esta metodologia permite identificar episódios prolongados de exposição à poluição atmosférica, informação essencial para a avaliação de impactos à saúde pública e para a gestão da qualidade do ar.

Para fins de caracterização espacial e de apresentação cartográfica, as superfícies diárias ou agregadas foram classificadas em faixas de concentração. Quando aplicado o filtro de suavização (ex.: gaussiano), seu uso foi restrito à visualização cartográfica, não sendo incorporado às métricas quantitativas principais (médias, máximas e contagem de dias), de modo a evitar a mistura espacial e a distorção de valores extremos.

3.2. Monitoramento da atividade de fogo

A atividade de fogo foi representada por dados de área queimada do Monitor do Fogo, produto desenvolvido pelo projeto MapBiomas para mapeamento mensal das cicatrizes de fogo no Brasil a partir de 2019 (Alencar et al., 2022). O produto baseia-se em imagens multiespectrais do satélite Sentinel-2, com resolução espacial de 10

metros, processadas no ambiente de computação em nuvem (Google Earth Engine).

O Monitor do Fogo utiliza mosaicos mensais construídos a partir de composições do Sentinel-2 (Surface Reflectance harmonizada), com filtragem de nuvens por probabilidade e ordenação dos pixels com base no valor mínimo do índice NBR (*Normalized Burn Ratio*). Essa abordagem seleciona, para cada pixel, a observação com assinatura espectral mais compatível com a área queimada no mês. Adicionalmente, define-se uma área potencial de mapeamento mensal a partir de um buffer de 5 km em torno dos focos de calor detectados pelo INPE no mês corrente e no mês anterior, visando otimizar o processamento computacional e reduzir erros de omissão.

Para esta análise, as áreas queimadas mensais do período de janeiro de 2024 a dezembro de 2025 foram agregadas por município e integradas aos indicadores de qualidade do ar. A relação entre fogo e poluição atmosférica foi avaliada comparando, para cada município, a área queimada mensal ao número de dias no mês em que a concentração de PM_{2.5} excedeu 15 µg/m³, bem como às médias mensais de PM_{2.5}.

4. Resultados e discussão

Em 2024, os estados da Amazônia Legal concentraram 55% da área do Brasil que registrou ao menos um dia com PM_{2.5} ≥ 15 µg/m³. Os maiores valores de PM_{2.5} concentraram-se principalmente no arco do desmatamento, abrangendo Acre, Rondônia, sul do Amazonas, norte do Mato Grosso, sudoeste do Pará e porções de Roraima

(Figura 1A). A presença de estações de gás natural na região central do estado do Amazonas faz com que dois dos pixels apresentem, em todos os anos, níveis elevados de PM_{2.5}.

A persistência dos episódios de poluição também foi expressiva em 2024. O indicador de dias consecutivos apresentou valores elevados no sudoeste da Amazônia Legal (eixo Acre–Rondônia–sul do Amazonas) e na transição com o norte do Mato Grosso (Figura 1B), indicando ocorrência de sequências prolongadas de dias com PM_{2.5} ≥ 15 µg/m³ e, portanto, maior risco associado à exposição contínua.

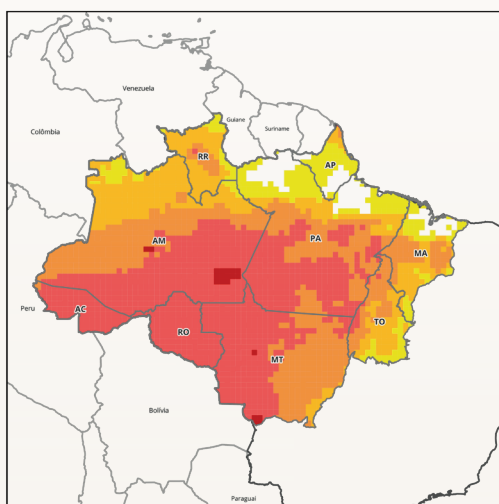
A comparação entre 2024 e 2025 revela um contraste marcante na exposição à poluição por PM_{2.5} (Figura 1). Em 2024, grande parte da Amazônia Legal registrou elevada recorrência de dias com PM_{2.5} ≥ 15 µg/m³, com padrões espaciais contínuos e intensos, sobretudo no sudoeste — incluindo Acre, Rondônia, sul do Amazonas e norte do Mato Grosso — e em áreas do Pará. Além da frequência, os episódios de 2024 foram caracterizados por alta persistência: em algumas localidades, o valor máximo de dias consecutivos ultrapassou 130, o que corresponde a sequências superiores a 131 dias consecutivos acima do limiar.

Em contraste, 2025 registrou uma redução acentuada na extensão e na persistência dos episódios de PM_{2.5} ≥ 15 µg/m³. Os padrões espaciais tornaram-se mais fragmentados e restritos a áreas específicas, com maior concentração relativa no leste e no centro-leste da região, especialmente em porções do Pará, do Maranhão e do

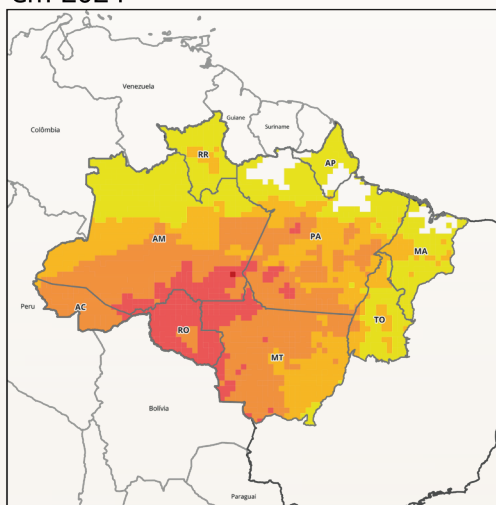
Mato Grosso (Figura 1C-D). Em termos territoriais, a área da Amazônia Legal nas faixas $\geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ reduziu de 13,85%

(2024) para 4,03% (2025), reforçando a queda na magnitude e na abrangência dos episódios.

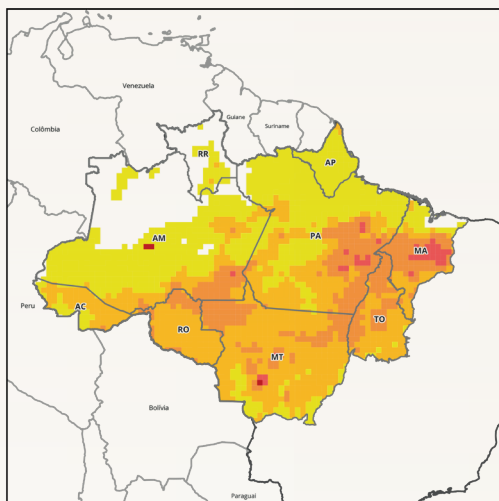
(A) N° de dias $> \text{PM}_{2.5}$ em 2024



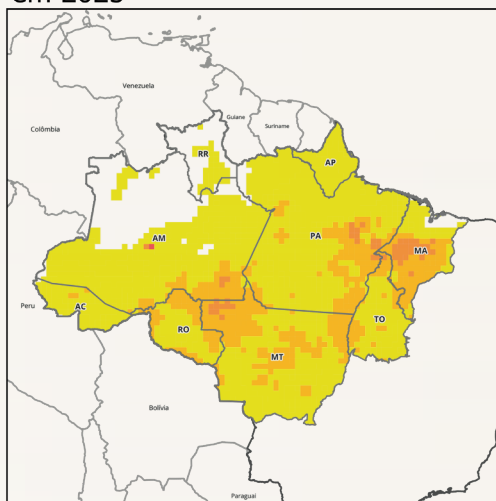
(B) N° de dias consecutivos $> \text{PM}_{2.5}$ em 2024



(C) N° de dias $> \text{PM}_{2.5}$ em 2025



(D) N° de dias consecutivos $> \text{PM}_{2.5}$ em 2025



0 dias ≤ 10 dias $> 10 - 30$ dias $> 30 - 60$ dias $> 60 - 120$ dias > 120 dias

Figura 1. Distribuição geográfica do número de dias com $\text{PM}_{2.5} \geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (limite recomendado pela OMS) nos estados da Amazônia Legal em 2024 (A) e 2025 (C), e distribuição espacial do número máximo de dias consecutivos em 2024 (B) e 2025 (D). As classes indicam o total anual (A, C) e a maior persistência anual (B, D) acima do limiar. Siglas: **AC** — Acre; **AM** — Amazonas; **AP** — Amapá; **MA** — Maranhão; **MT** — Mato Grosso; **PA** — Pará; **RO** — Rondônia; **RR** — Roraima; **TO** — Tocantins.

4.1. Ranking da Qualidade do Ar por Estado

Entre os estados da Amazônia Legal, o ranking evidencia diferenças expressivas na exposição ao PM_{2.5} e permite comparar a severidade relativa entre 2024 e 2025 (Tabela 1). Nesta tabela, o N° de dias (≥ 15) refere-se aos dias em que a média diária estadual (média espacial do PM_{2.5} no território do estado) atingiu $\text{PM}_{2.5} \geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Em 2024, Rondônia apresentou a maior concentração média anual de PM_{2.5} ($16,98 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 100 dias) e o maior número de dias com média diária estadual $\geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguida por Acre ($14,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 79 dias) e Mato Grosso ($11,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 73 dias). Amazonas ($10,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 67 dias) e Pará ($8,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 48 dias) completam o grupo com maior recorrência de excedências em escala estadual. Os períodos máximos de persistência (dias consecutivos) foram particularmente elevados em Rondônia (89), Mato Grosso (59) e Acre (51), evidenciando um cenário intenso e persistente de degradação da qualidade do ar, compatível com a localização desses estados no arco do desmatamento.

Em 2025, observou-se uma redução expressiva da exposição em estados do sudoeste da Amazônia Legal, enquanto parte dos episódios críticos se concentrou relativamente mais no leste (Tabela 1). Maranhão e Rondô-

nia apresentaram os maiores indicadores em 2025, com concentrações médias anuais de $7,47$ e $7,34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e 25 e 23 dias com média diária estadual $\geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Maranhão também registrou maior persistência (13 dias consecutivos), reforçando o deslocamento relativo dos episódios críticos para o leste da Amazônia Legal.

Os máximos de dias consecutivos diminuíram expressivamente em estados do sudoeste: de 89 para 11 em Rondônia, de 59 para 12 em Mato Grosso e de 51 para 4 no Acre. Por outro lado, Maranhão aumentou de 2 para 13 dias consecutivos, o que é consistente com o reposicionamento espacial dos episódios de maior persistência.

A redução da área queimada acompanhou a diminuição da exposição em diversos estados: Rondônia passou de 1,41 milhão de hectares em 2024 para 173 mil hectares em 2025 (-88%); Mato Grosso, de 6,88 milhões para 1,66 milhão de hectares (-76%); e Pará, de 7,37 milhões para 1,11 milhão de hectares (-85%). Em escala estadual, Amazonas e Pará não registraram dias com média diária $\geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2025. Ainda assim, a análise municipal evidencia a ocorrência localizada de episódios acima do limiar em determinados municípios, indicando que a agregação estadual pode mascarar *hotspots* sub-regionais.

Tabela 1. Ranking dos estados da Amazônia Legal por qualidade do ar em 2024 e 2025: dias consecutivos, concentração média anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), número de dias em que a média diária estadual atingiu $\text{PM}_{2.5} \geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e área total queimada (ha).

RANKING	ESTADO	2024				2025			
		Máx. Dias Consec.	Conc. Média ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nº Dias ($> 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	Área queimada (ha)	Máx. Dias Consec.	Conc. Média ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nº Dias ($> 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$)	Área queimada (ha)
1º	RONDÔNIA (RO)	89	16,98	100	1.409.950	11	7,34	23	172.908
2º	MATO GROSSO (MT)	59	11,57	73	6.882.363	12	7,1	20	1.663.955
3º	ACRE (AC)	51	14,32	79	309.436	4	6,7	15	117.408
4º	AMAZONAS (AM)	36	10,67	67	2.012.237	0	6,05	0	410.950
5º	PARÁ (PA)	18	8,53	48	7.365.717	0	6,34	0	1.111.437
6º	TOCANTINS (TO)	8	7,28	22	2.781.137	7	7,01	23	1.836.901
7º	RORAIMA (RR)	7	7,57	13	2.517.997	0	5,07	0	731.625
8º	MARANHÃO (MA)	2	7,21	3	2.118.432	13	7,47	25	1.751.505
9º	AMAPÁ (AP)	0	5,42	1	390.498	3	4,23	4	226.132

4.2. Ranking da Qualidade do Ar por faixa de concentração

EA análise por faixas de concentração caracterizou a intensidade territorial da exposição ao $\text{PM}_{2.5}$ na Amazônia Legal (Figura 2).

Em 2024, a maior parte da área com $\text{PM}_{2.5} \geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ concentrou-se nas faixas de menor intensidade. A faixa de $15\text{--}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ representou 9,31% da área total, seguida por $30\text{--}60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3,33%) e $60\text{--}120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1,16%). Concentrações mais elevadas foram raras: 0,05% da área registrou valores entre $120\text{--}320 \mu\text{g}/\text{m}^3$, com valores

residuais ou nulos nas faixas superiores ($\geq 320 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Em 2025, observou-se redução expressiva da área com $\text{PM}_{2.5} \geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A faixa de $15\text{--}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ passou a representar 3,93% da área (redução de 58% em relação a 2024), enquanto a faixa de $30\text{--}60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ reduziu-se para 0,10% (redução de 97%). Não foram registradas áreas com níveis superiores a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Em conjunto, a soma das faixas $\geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ caiu de 13,85% (2024) para 4,03% (2025), reforçando a menor intensidade territorial e a menor persistência dos episódios em 2025.

**Comparativo:
Área Média
de Cobertura
de MP2.5 por
Faixa (2024
vs 2025)**

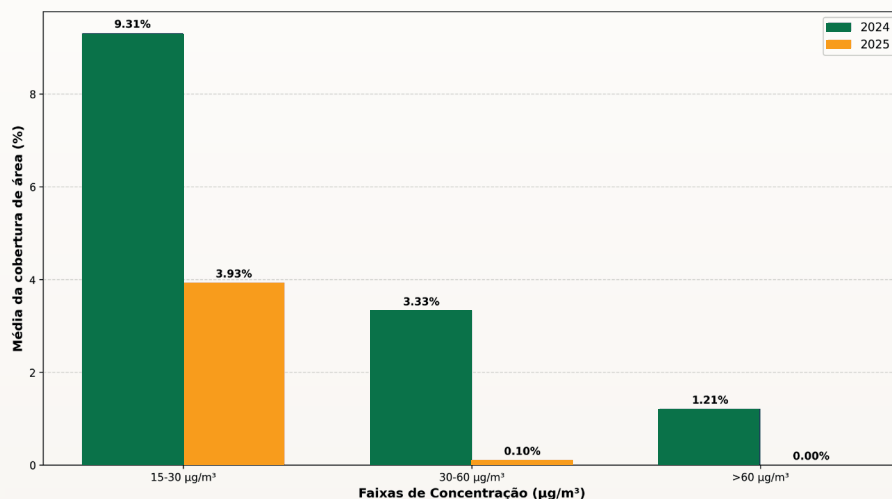


Figura 2. Distribuição da área da Amazônia Legal por faixas de concentração de PM2.5 (µg/m³) em 2024 e 2025. As barras indicam o percentual da área total em cada faixa.

4.3. Qualidade do ar dos municípios da Amazônia e a área queimada

A distribuição espacial do número de dias com $PM_{2.5} \geq 15 \mu g/m^3$ nos municípios da Amazônia Legal apresentou padrões distintos entre 2024 e 2025 (Figura 3).

Em 2024, os maiores valores concentraram-se no arco do desmatamento, com destaque para municípios do sul do Amazonas, Rondônia, Acre, norte do Mato Grosso e sudoeste do Pará (Figura 3A). Entre os municípios mais afetados destacam-se Novo Aripuanã e Apuí (AM), Porto Velho, Guajará-Mirim e Candeias do Jamari (RO) e Lábrea (AM), todos com mais de 115 dias com $PM_{2.5} \geq 15 \mu g/m^3$. Esse padrão se reflete também na proporção da área municipal afetada (Figura 3B), indicando ampla exposição territorial a episódios recorrentes.

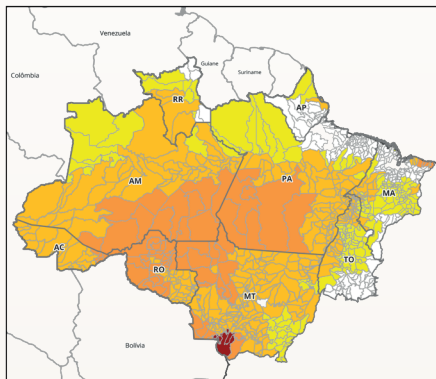
A distribuição da área queimada em 2024 (Figura 3C) apresenta forte correspondência espacial com as áreas de maior número

de dias com $PM_{2.5} \geq 15 \mu g/m^3$, reforçando a relação entre a ocorrência de fogo e a degradação da qualidade do ar. As regiões com maior intensidade de queimadas coincidem com os núcleos mais críticos de exposição, especialmente no sudoeste e no centro-sul da Amazônia Legal.

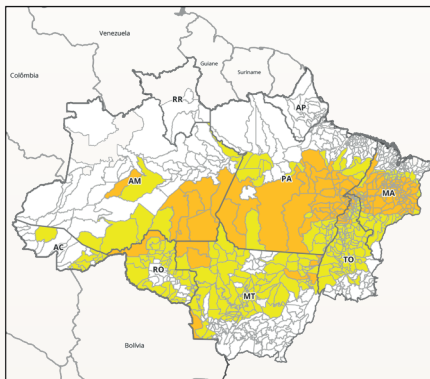
Em 2025, os indicadores municipais (Figura 3D–F) mantiveram maior concentração no arco do desmatamento, porém com menor intensidade e menor abrangência territorial. Os municípios mais afetados passaram a se concentrar predominantemente no Pará (Rondon do Pará, Jacundá, Novo Repartimento, Abel Figueiredo) e no Maranhão (Codó, Brejo de Areia, Lago da Pedra), evidenciando deslocamento relativo dos episódios críticos para o leste da Amazônia Legal.

A integração entre indicadores de poluição atmosférica e de áreas queimadas permite identificar regiões prioritárias para ações de prevenção e mitigação de riscos socioambientais.

(A) N° de dias com concentração de PM2.5 acima do limite em 2024

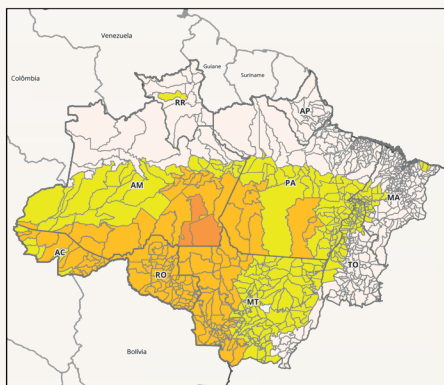


(D) N° de dias com concentração de PM2.5 acima do limite em 2025

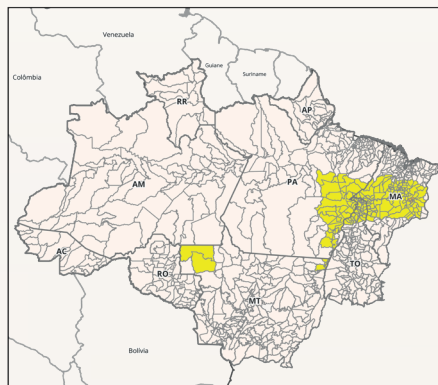


Numero de dias com concentração de PM2.5 acima de 15 μ g/m³:
 0 - 25 dias 25 - 50 dias 50 - 100 dias 100 - 150 dias > 150 dias

(B) Percentual de cobertura com concentração de PM2.5 acima do limite em 2024

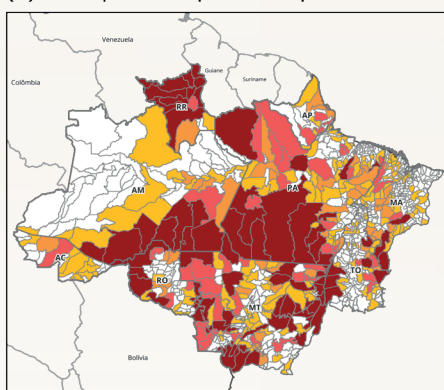


(E) Percentual de cobertura com concentração de PM2.5 acima do limite em 2025

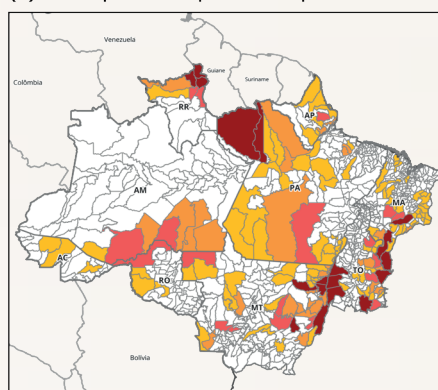


Percentual de cobertura do município com concentração de PM2.5 acima de 15 μ g/m³:
 0 - 10% 10 - 20% 20 - 30% 30 - 50% 50 - 100%

(C) Área queimada por município em 2024



(F) Área queimada por município em 2025



Área total queimada no município:
 0 - 5000ha 5000 - 10000ha 10000 - 30000ha 30000 - 50000ha 50000 - 100000ha > 100000ha

Figura 3. Distribuição espacial dos indicadores de qualidade do ar e da área queimada nos municípios da Amazônia Legal em 2024 e 2025. (A) N° de dias com PM2.5 $\geq$ 15 μ g/m³ em 2024; (B) proporção da área municipal com PM2.5 $\geq$ 15 μ g/m³ em 2024; (C) área queimada em 2024; (D) N° de dias com PM2.5 $\geq$ 15 μ g/m³ em 2025; (E) proporção da área municipal com PM2.5 $\geq$ 15 μ g/m³ em 2025; (F) área queimada em 2025.

4.4. Ranking dos municípios mais afetados

O ranking dos municípios com pior qualidade do ar evidencia mudanças significativas no padrão espacial da poluição por PM_{2.5} entre 2024 e 2025 (Tabela 2).

Em 2024, os municípios mais críticos concentraram-se no sul do Amazonas e em Rondônia. Novo Aripuanã (AM) liderou o ranking com 138 dias consecutivos (sequência de 139 dias) e 140 dias totais com PM_{2.5} $\geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido por Apuí (AM), com 118 dias consecutivos e 133 dias totais. Porto Velho (RO) e Humaitá (AM) registraram 110 dias consecutivos, enquanto Candeias do Jamari (RO) apresentou a maior concentração média anual ($21,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Esses resultados evidenciam um cenário extremo e persistente de degradação da qualidade do ar no sudoeste da Amazônia, com municípios expostos a níveis potencialmente prejudiciais por vários meses.

Em 2025, o ranking passou a ser dominado por municípios do Pará e do Maranhão, com menor persistência relativa. Rondon

do Pará (PA) liderou com 54 dias consecutivos e 64 dias totais com PM_{2.5} $\geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido por Jacundá (PA) e Novo Aripuanã (AM). As concentrações médias anuais municipais foram substancialmente mais baixas ($8,06\text{--}9,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$), porém, a ocorrência de dias $\geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ indica episódios agudos relevantes. Municípios como Codó (MA) apresentaram elevada recorrência de dias com $\geq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (85 dias), reforçando a necessidade de atenção contínua em áreas do leste da região.

A comparação entre os dois anos evidencia redução geral da persistência e uma mudança espacial dos *hotspots*: houve queda de 61% no máximo de dias consecutivos ($138 \rightarrow 54$) e redução de 54% nos dias totais máximos ($140 \rightarrow 64$). Paralelamente, observou-se deslocamento geográfico dos municípios mais afetados, de Amazonas e Rondônia (2024) para Pará e Maranhão (2025), coerente com a influência combinada do regime de fogo, do uso da terra e da variabilidade meteorológica na distribuição da exposição ao PM_{2.5}.

Tabela 2. Ranking dos 10 municípios com maior persistência de episódios de $PM_{2.5} \geq 15 \mu g/m^3$ na Amazônia Legal em 2024 e 2025.

RANKING	2024					2025				
	MUNICÍPIO	UF	Máx. Dias Consecutivos	Nº de Dias ($\geq 15 \mu g/m^3$)	Concentração Média ($\mu g/m^3$)	MUNICÍPIO	UF	Máx. Dias Consecutivos	Nº de Dias ($\geq 15 \mu g/m^3$)	Concentração Média ($\mu g/m^3$)
1	Novo Aripuanã	AM	138	140	16,45	Rondon do Pará	PA	54	64	9,15
2	Apuí	AM	118	133	16,3	Jacundá	PA	51	60	8,17
3	Porto Velho	RO	110	127	19,03	Novo Aripuanã	AM	48	62	8,06
4	Humaitá	AM	110	128	15,92	Novo Repartimento	PA	47	69	8,6
5	Lábrea	AM	102	118	16,19	Apuí	AM	46	66	8,45
6	Guajará-Mirim	RO	98	117	18,25	Abel Figueiredo	PA	46	60	8,91
7	Candeias do Jamari	RO	94	115	21,04	Codó	MA	46	85	9,14
8	Costa Marques	RO	93	117	19,21	Bom Jesus do Tocantins	PA	45	60	8,85
9	Machadinho D'Oeste	RO	92	116	17,87	Brejo de Areia	MA	45	58	9,34
10	Ji-Paraná	RO	91	109	14,56	Lago da Pedra	MA	45	63	9,39

5. Recomendações

Os resultados indicam elevada variabilidade interanual da exposição ao $PM_{2.5}$ na Amazônia Legal, com episódios críticos associados à dinâmica do fogo e às condições meteorológicas. Em 2024, ocorreram eventos prolongados (com dias consecutivos acima do limiar da OMS em diversos municípios), enquanto, em 2025,

houve redução da intensidade e mudança parcial do padrão espacial, com maior relevância no leste da região.

Diante disso, recomenda-se a adoção de medidas integradas de monitoramento, prevenção, resposta em saúde e comunicação de risco, articuladas entre os níveis federal, estadual e municipal, conforme os três eixos a seguir.

5.1. Ampliação e qualificação do monitoramento

A cobertura do monitoramento automático no Brasil permanece limitada e desigual: há concentração de estações nas regiões Sudeste e Sul e ausência ou baixa densidade em extensas áreas, incluindo porções relevantes da Amazônia Legal.

Recomendações específicas:

- 1** A implantação de novas estações e o uso de sensores de baixo custo devem seguir um plano estratégico alinhado às novas diretrizes nacionais. A Resolução CONAMA nº 506, de 2024, estabelece um cronograma progressivo para a adoção de padrões de qualidade do ar mais restritivos, alinhados às recomendações da OMS. A expansão da rede de monitoramento na Amazônia é condição essencial para que os estados possam diagnosticar sua situação, elaborar os Planos de Gestão da Qualidade do Ar e cumprir as metas estabelecidas pela legislação federal, evitando assim a perpetuação de 'zonas de sacrifício' sanitário e ambiental.
- 2** Priorizar o monitoramento em municípios com maior recorrência de episódios críticos identificados nesta análise: no Amazonas e Rondônia (Novo Aripuanã, Apuí, Humaitá, Lábrea, Porto Velho, Guajará-Mirim, Candeias do Jamari) e no leste da região (Rondon do Pará, Jacundá, Novo Repartimento, Abel Figueiredo, Codó, Brejo de Areia e Lago da Pedra).
- 3** Adotar sensores de baixo custo como estratégia complementar, com protocolos explícitos de controle e de garantia de qualidade — QA/QC (calibração, colocação periódica com estações de referência e rastreabilidade metrológica) — para ampliar rapidamente a cobertura em áreas remotas e em populações vulneráveis.
- 4** Integrar sistematicamente estimativas por satélite e modelagem com medições de superfície, de modo a melhorar a representatividade espacial e a robustez das estimativas de PM_{2.5} em condições amazônicas (fumaça de queimadas, sazonalidade e transporte atmosférico).
- 5** Publicar dados e alertas em plataforma pública (painéis, séries históricas, metadados e métodos), com atualização regular e em formatos abertos para uso por órgãos públicos, pesquisadores e pela sociedade civil.

5.2. Prevenção e gestão integrada do fogo

A correspondência espacial entre a área queimada e a degradação da qualidade do ar reforça a ideia de que políticas de prevenção e controle do fogo também são medidas de proteção à saúde.

Recomendações específicas:

- 1** Fortalecer sistemas operacionais de alerta e resposta rápida, integrando focos de calor, áreas queimadas, meteorologia e indicadores de qualidade do ar para apoiar decisões de fiscalização, brigadas e defesa civil.
- 2** Ampliar e qualificar brigadas de prevenção e combate, com prioridade para municípios do arco do desmatamento e para áreas com recorrência de episódios críticos de PM2.5.
- 3** Escalar alternativas ao uso do fogo no manejo agropecuário, com assistência técnica, incentivos e instrumentos de regularização que reduzam a dependência de queimadas.
- 4** Integrar metas e ações de qualidade do ar aos planos de controle do desmatamento e do fogo, incluindo o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) e os planos estaduais correlatos.

5.3. Proteção à saúde e resposta a emergências

A exposição prolongada ao PM2.5 aumenta os riscos à saúde, especialmente para povos indígenas e comunidades tradicionais, que enfrentam maior vulnerabilidade devido à dependência de recursos naturais e ao acesso limitado à saúde. Seus territórios, porém, são barreiras-chave ao desmatamento e ao fogo e respondem por cerca de 27% da remoção potencial de PM2.5 na Amazônia brasileira, evitando milhões de casos de doenças e elevados custos em saúde (Prist et al. 2023).

Recomendações específicas:

- 1** Estabelecer protocolos de resposta a episódios de poluição por fumaça, com níveis de alerta, medidas recomendadas e critérios para gestão de atividades ao ar livre (escolas, trabalho e eventos).
- 2** Capacitar equipes da atenção primária e da vigilância em saúde para identificar, manejar e notificar agravos associados à

exposição à fumaça, com foco nos municípios prioritários.

3

Planejar a logística e a distribuição de máscaras respiratórias (PFF2/N95) para episódios agudos, com atenção a territórios indígenas, ribeirinhos e populações isoladas.

4

Incorporar indicadores de qualidade do ar à rotina de vigilância epidemiológica, cruzando séries de atendimentos e internações com episódios de exposição.

A melhora observada em 2025 não elimina o risco estrutural associado ao fogo e ao uso da terra. A implementação das recomendações acima é urgente e demanda coordenação intersetorial entre as políticas ambientais, de saúde, de defesa civil e de desenvolvimento regional.

6. Agradecimentos

Nós agradecemos ao apoio da Fundação Mott, Climate and Land Use Alliance (CLUA), National Aeronautics and Space Administration - NASA (#80NSSC24K0301) e [Google.org](https://www.google.org). Nós também agradecemos aos nossos parceiros, UFAc, Instituto Ar, Mapbiomas Fogo e Woodwell Climate Research Center.

Referências bibliográficas

- ALENCAR, A. et al. Long-Term Landsat-Based Monthly Burned Area Dataset for the Brazilian Biomes Using Deep Learning. *Remote Sensing*, 14(11), 2510. 2022. DOI:10.3390/rs14112510
- ALENCAR, A. et al. Fogo na Amazônia em 2024: um ponto fora da curva? Belém: IPAM, 2024. Disponível em: <https://ipam.org.br/bibliotecas/fogo-na-amazonia-em-2024-um-ponto-fora-da-curva/>. Acesso em: 29 jan. 2026.
- BONILLA, K. J. et al. Health impacts of smoke exposure in South America: increased risk for populations in the Amazonian Indigenous territories. *Environmental Research: Health*, v. 1, n. 2, 021007, 2023. DOI: 10.1088/2752-4309/acbbcb.
- CARMO, C. N. et al. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. *Revista Panamericana de Salud Pública*, v. 27, n. 1, p. 10-16, 2010. DOI: 10.1590/S1020-49892010000100002.
- CHEN, G. et al. Mortality risk attributable to wildfire-related PM_{2.5} pollution: a global time series study in 749 locations. *The Lancet Planetary Health*, v. 5, n. 9, e579 - e587, 2021. DOI: 10.1016/S2542-5196(21)-00200-X.
- COMANA, Resolução nº 506, de 5 de julho de 2024. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar e fornece diretrizes para sua aplicação. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 jul. 2024. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=827. Acesso em: 29 jan. 2026."
- DECHEZLEPRÊTRE, A.; RIVERS, N.; STADLER, B. The economic cost of air pollution: Evidence from Europe. Paris: OECD Publishing, 2019. (OECD Economics Department Working Papers, n. 1584). DOI: 10.1787/56119490-en.
- EUROPEAN CENTRE FOR MEDIUM-RANGE WEATHER FORECASTS (ECMWF). CAMS global atmospheric composition forecasts (CAMS NRT). Copernicus Atmosphere Monitoring Service, 2024. Disponível em: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ECMWF_CAMS_NRT?hl=pt-br Acesso em: 29 jan. 2026.
- GIODA, A. et al. Assessing over decadal biomass burning influence on particulate matter composition in subequatorial Amazon: A comprehensive insight. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 95, e20220932, 2023. DOI: 10.1590/0001-3765202320220932.
- MADANIYAZI, L. et al. Health and economic benefits of complying with the World Health Organization air quality guidelines for particulate matter in nine major Latin American cities. *International Journal of Public Health*, v. 69, 1606909, 2024. DOI: 10.3389/ijph.2024.1606909.

- MAPBIOMAS. Método Monitor do Fogo: Coleção 1. [S.l.]: MapBiomass, 2022. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/metodo-mapbiomas-monitor-do-fogo/>. Acesso em: 29 jan. 2026.
- OLIVEIRA, H.F.M. et al. Expand air quality monitoring of smoke emissions and exposure in Amazonia to safeguard human health. *Discover Environment* 3, 171 (2025). DOI: 10.1007/s44274-025-00340-5.
- PRIST, P.R. et al. Protecting Brazilian Amazon Indigenous territories reduces atmospheric particulates and avoids associated health impacts and costs. *Commun Earth Environ* 4, 34 (2023). DOI: 10.1038/s43247-023-00704-w.
- SANT'ANNA, A. A.; ROCHA, R. Health impacts of deforestation-related fires in the Brazilian Amazon. [S.l.]: IEPS, 2020. Disponível em: https://ieps.org.br/wp-content/uploads/2021/11/NT11_Amazon_eng-vf.pdf. Acesso em: 29 jan. 2026.
- SILVA, A. M. C. et al. Material particulado (PM_{2,5}) de queima de biomassa e mortalidade por doenças cardiorrespiratórias na Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 13, n. 2, p. 337-351, 2010. DOI: 10.1590/S1415-790X2010000200015.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM). Washington, DC: EPA, 2025. Disponível em: <https://www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm>. Acesso em: 29 jan. 2026.
- WEN, J. et al. Ambient PM_{2.5} and productivity-adjusted life years lost: A novel metric to quantify the economic losses attributable to air pollution. *Journal of Hazardous Materials*, v. 479, 133676, 2024. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.133676.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/publications/item/9789240034228>. Acesso em: 29 jan. 2026.