

Custos das hospitalizações como impacto da poluição atmosférica por queimadas e incêndios florestais na Amazônia Legal e Cerrado setentrional no Brasil (2010-2021)

Cardiorespiratory hospitalization costs due to air pollution from biomass burning and wildfires in the Legal Amazon and Northern Cerrado regions (2010-2021)

Maria Gabrielle Correa¹, Eliane Ignotti², Beatriz Fátima Alves de Oliveira³, Ludmilla da Silva Viana Jacobson⁴, Carlos Eduardo Frickmann Young⁵

DOI: 10.1590/2358-28982026E210705P

RESUMO A pesquisa estimou os custos das internações hospitalares no Sistema Único de Saúde (SUS) associadas a doenças cardiorrespiratórias decorrentes da exposição ao Material Particulado fino (PM_{2,5}) proveniente da queima de biomassa na Amazônia Legal e no Cerrado setentrional, entre 2010 e 2021. Trata-se de um estudo ecológico retrospectivo, no qual foram utilizados dados do Sistema de Informações Hospitalares do SUS e foi aplicada metodologia recomendada pela Organização Mundial da Saúde para cálculo de frações atribuíveis. Identificou-se um impacto financeiro médio anual de aproximadamente R\$ 17,6 milhões. Os maiores custos foram registrados nos municípios do Arco do Desmatamento, onde a exposição à poluição atmosférica por queima de biomassa é mais intensa. Este estudo destacou os efeitos da degradação ambiental na saúde, orientando os decisores de políticas públicas para um desenvolvimento mais sustentável.

PALAVRAS-CHAVE Material particulado. Poluição do ar. Custos hospitalares. Doenças cardiorrespiratórias. Amazônia.

ABSTRACT This study estimated the financial costs to the Brazilian Unified Health System (SUS) from hospitalizations due to cardiorespiratory diseases associated with exposure to fine particulate matter (PM_{2.5}) emitted by biomass burning in cities of the Legal Amazon and northern Cerrado from 2010 to 2021. This retrospective ecological study used data from the SUS Hospital Information System (SIH) and applied the methodology recommended by the World Health Organization to calculate attributable fractions. The results indicate an average annual impact on the SUS of approximately BRL 17.6 million. The highest hospitalization costs were concentrated in municipalities within the Deforestation Arc, where exposure to pollution from biomass burning is most intense. The study highlighted the effects of environmental degradation on health, guiding public policy decision-makers toward more sustainable development.

KEYWORDS Particulate matter. Air pollution. Hospital costs. Cardiorespiratory diseases. Amazon.

¹Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.
correa.mgc@gmail.com

²Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat) – Cuiabá (MT), Brasil.

³Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

⁴Universidade Federal Fluminense (UFF) – Niterói (RJ), Brasil.

⁵Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

Introdução

Dados do Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), disponíveis no banco BDQueimadas no portal TerraBrasilis, mostram um elevado número de incêndios florestais na região Amazônica nos últimos anos. Esses incêndios, associados à desregulação ambiental promovida pelo governo federal, tendem a trazer consequências graves para o meio ambiente e para a saúde pública.

Na região conhecida como Arco do Desmatamento, que abrange a borda sul da Amazônia brasileira, são verificados elevados números de focos de calor, principalmente em decorrência de queimadas descontroladas impulsionadas por atividades humanas e pelo desmatamento extensivo para expansão da agricultura e exploração madeireira ilegal^{1,2}. Segundo estimativas do Instituto Socioambiental (ISA) de 2018, essa área responde por cerca de 75% do desmatamento na Amazônia, evidenciando a necessidade de compreender de forma abrangente os impactos socioambientais nas regiões Amazônica e do Cerrado.

Os efeitos da degradação ambiental, quando não mitigados por seus causadores, geram externalidades negativas para a economia. Tais externalidades impõem custos a terceiros sem que haja a devida compensação. Como resultado, as atividades econômicas podem desconsiderar os impactos ambientais, estimulando padrões de consumo que não refletem os custos reais. Isso resulta em um modelo de exploração do capital natural no qual os usuários se beneficiam sem arcar com os custos, os quais recaem sobre grupos marginalizados ou excluídos³.

A queima de biomassa nas regiões da Amazônia Legal e do norte do Cerrado emite quantidades substanciais de gases-traço e partículas de aerossol para a atmosfera, afetando o clima regional, a ecologia, o ciclo da água e as atividades humanas⁴. Essas externalidades negativas geram custos diretos, como prejuízos à produção agrícola e perdas de recursos

florestais, bem como externalidades sociais mais amplas, incluindo aquelas relacionadas às emissões de CO₂ e aos impactos sobre a saúde humana⁵.

A Amazônia Legal é uma região administrativa criada pelo governo brasileiro. Visa promover o desenvolvimento socioeconômico amazônico. A região abrange Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. Representa cerca de 59% do território brasileiro e tem população estimada em 28 milhões de habitantes^{6,7}.

Diversos estudos têm destacado a relação entre sazonalidade climática e morbimortalidade por doenças respiratórias, especialmente durante os períodos de seca na região Amazônica. Esses períodos estão associados ao aumento de hospitalizações e óbitos por doenças respiratórias, agravados pela maior exposição a poluentes atmosféricos oriundos da queima de biomassa⁸⁻¹⁰. Contudo, urge aprofundar a compreensão de como o desmatamento e a queima de biomassa afetam a saúde humana, especialmente para evidenciar toda a carga imposta ao sistema de saúde pública. Isso é particularmente relevante em uma região já financeiramente vulnerável e com acesso limitado a serviços essenciais de saúde^{11,12}.

A valoração econômica ambiental busca quantificar, em termos monetários, os impactos que as mudanças nos recursos naturais impõem ao bem-estar humano. Esse procedimento é essencial para incorporar os custos ambientais às análises econômicas, informar políticas públicas e subsidiar processos decisórios relacionados à preservação ambiental¹³.

Na região Amazônica, a queima de biomassa resulta em emissões consideráveis de Material Particulado fino (PM_{2,5}), cujos efeitos adversos sobre a saúde humana têm sido amplamente documentados na literatura científica. Estima-se que a exposição ao PM_{2,5}, associada à poluição atmosférica decorrente da combustão de combustíveis para aquecimento doméstico e preparo de refeições, bem como ao ozônio ao nível do solo, contribua para aproximadamente 40% das mortes por doença

pulmonar obstrutiva crônica e para até 30% dos casos de infecções respiratórias menos graves¹⁴. No entanto, os custos associados a essas externalidades, como as hospitalizações por doenças cardiorrespiratórias financiadas pelo Sistema Único de Saúde (SUS), muitas vezes não são incorporados às avaliações econômicas convencionais.

A qualidade do ar afeta a saúde cardiorrespiratória na Amazônia Legal e no Cerrado setentrional. A piora da qualidade do ar, especialmente o aumento do PM_{2,5}, pode agravar problemas de saúde entre as populações locais. Isso leva ao aumento da morbidade e dos custos de hospitalização por condições cardio-pulmonares. Evidências recentes da Amazônia brasileira mostram que um aumento de um (1) desvio-padrão no PM_{2,5} causa um incremento de 1,5% nas hospitalizações mensais por doenças respiratórias¹⁵.

Uma base teórica robusta é crucial para estimar esses custos por meio de métodos de valoração econômica ambiental. Isso revela o ônus financeiro que a degradação ambiental impõe à saúde pública e subsidia políticas ambientais e de saúde mais eficazes e equitativas.

A avaliação dos custos incorridos pelo SUS é crucial para ampliar a compreensão dos impactos econômicos da queima de biomassa por meio da avaliação dessas externalidades. Compreender esses custos é mister para formular políticas públicas voltadas à redução da poluição atmosférica e à mitigação de seus efeitos econômicos, bem como para avançar a pesquisa sobre os impactos na saúde pública e nos gastos estatais.

Este estudo objetiva quantificar o custo financeiro para o SUS decorrente de hospitalizações relacionadas a doenças cardiorrespiratórias causadas pela exposição ao PM_{2,5} emitido pela queima de biomassa em municípios da Amazônia Legal e do norte do Cerrado entre 2010 e 2021.

Material e métodos

A metodologia deste estudo busca avaliar a valoração ambiental dos custos de hospitalização por doenças cardiorrespiratórias relacionadas à exposição à poluição atmosférica nas regiões da Amazônia Legal e do norte do Cerrado.

Este trabalho aplica a valoração econômica ambiental pelo método do mercado de bens substitutos. Aqui, a variável de estado de saúde Z é de difícil mensuração direta. Variáveis de bens substitutos auxiliam na estimativa de seu valor³. A fundamentação teórica parte da premissa de que os custos de hospitalização por doenças cardiorrespiratórias, financiados pelo SUS, podem servir como proxy para a valoração da qualidade do ar. Assim, a função de produção em saúde é especificada como:

$$Z = F(X, E + S) \quad (1)$$

Onde:

Z denota o nível de saúde humana;

X é um vetor de insumos composto por bens e serviços privados;

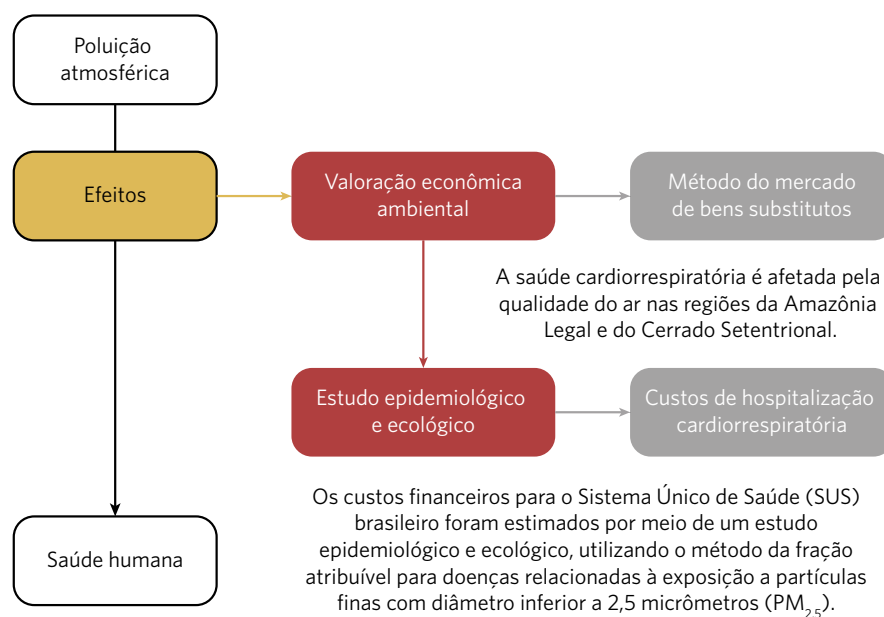
E refere-se à qualidade do ar;

S representa o número de hospitalizações por condições cardiorrespiratórias registradas pelo SUS.

Este estudo estimou os custos financeiros para o SUS por meio de um estudo epidemiológico ecológico. Foi utilizado o método da Fração Atribuível (FA) para doenças associadas à exposição ao PM_{2,5}. Essa abordagem fornece uma forma robusta de estimar os impactos da poluição atmosférica sobre a saúde¹⁶.

A *figura 1* apresenta o arcabouço metodológico do estudo para avaliar os impactos da poluição atmosférica sobre a saúde por meio da valoração econômica com a abordagem de mercados de bens substitutos. Essa análise estima os custos de hospitalização por doenças cardiorrespiratórias a partir de um estudo epidemiológico ecológico.

Figura 1. Arcabouço metodológico

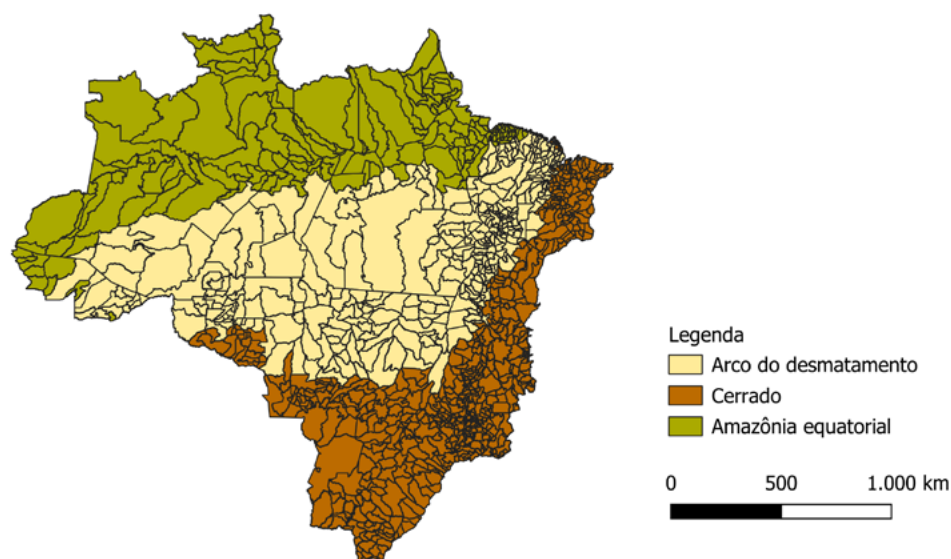


Fonte: elaborado pelos autores.

Este estudo abrange a Amazônia Legal e o norte do Cerrado. Inclui Acre, Amazonas, Amapá, Distrito Federal, Goiás, Maranhão,

Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. O período de estudo é de 2010 a 2021 (*figura 2*).

Figura 2. Grupos de municípios



Fonte: elaborado pelos autores.

Fontes de dados

Os dados de internação foram obtidos no Sistema Brasileiro de Informações Hospitalares (SIH). Ele é disponibilizado pelo Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DataSUS). Os dados analisados corresponderam às hospitalizações diárias por doenças cardiorrespiratórias no SUS, abrangendo todas as idades e a população com 30 anos ou mais.

As hospitalizações cardiorrespiratórias foram classificadas segundo os Capítulos IX (I00-I99) e X (J00-J99) da CID-10¹⁷. Os dados foram extraídos da biblioteca ‘Microdatasus’ no R (versão 4.1.1)¹⁸. Os dados diários de internação foram obtidos e somados por ano de 2010 a 2021, agrupados por municípios da Amazônia Legal e áreas do entorno.

Os dados de exposição ao PM_{2,5} foram obtidos no Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS Global Reanalysis). Foram coletados dados diários de poluição atmosférica de 1.134 municípios da Amazônia Legal e de seu entorno, e posteriormente calculadas as médias anuais de 2010 a 2021.

Os dados populacionais foram extraídos das bases do Ministério da Saúde/SVS/DASNT/CGIAE. A população dos municípios brasileiros baseou-se no Estudo de Estimativas Populacionais por Município, Idade e Sexo. Incluiu todas as idades e a população acima de 30 anos nos 1.134 municípios da Amazônia Legal e áreas do entorno, de 2010 a 2021.

Cálculo da fração atribuível

Com os dados coletados, estimou-se a FA das hospitalizações relacionadas a doenças cardiorrespiratórias em decorrência da exposição ao PM_{2,5} nas regiões da Amazônia Legal e do norte do Cerrado.

O cálculo fundamentou-se no método descrito por Ostro¹⁶, desenvolvido como ‘orientação metodológica’ para mensurar a FA de doenças relacionadas à exposição ao PM_{2,5}.

Para calcular o número de hospitalizações relacionadas à exposição ao PM_{2,5} em um município específico, adotou-se quatro premissas definidas pela metodologia¹⁶:

1. Dados de exposição ao PM_{2,5}, conforme indicado na seção anterior ‘Fontes de dados’.
2. A população-alvo aqui é definida como adultos com 30 anos ou mais, conforme especificado na seção anterior ‘Fontes de dados’.
3. Além disso, a metodologia requer a identificação dos desfechos de saúde específicos estudados, com foco nos capítulos da CID-10 ‘IX – Doenças do Aparelho Circulatório’ e ‘X – Doenças do Aparelho Respiratório’.
4. Funções de Concentração-Resposta (CR) derivadas da literatura epidemiológica. A função CR é utilizada para estimar a magnitude e a forma da relação entre a exposição ao PM_{2,5} e os impactos sobre a saúde.

Com base nessas premissas, a FA foi calculada. Ela representa a proporção de hospitalizações cardiorrespiratórias que pode ser atribuída à exposição ao PM_{2,5} nas regiões da Amazônia Legal e do Cerrado setentrional. Para o cálculo do número anual esperado de hospitalizações por doenças cardiorrespiratórias atribuídas à exposição crônica ao PM_{2,5}, primeiro foi calculado o risco relativo para cada um dos 1.134 municípios (i), de acordo com a equação (2):

$$RR_i = e^{CR * \Delta C_{PM_{2.5}i}} \quad (2)$$

Onde:

$$CR = \frac{\ln 1.06}{10} \quad (3)$$

$$\Delta C_{PM_{2.5}i} = \overline{PM_{2.5}i} - 7.5$$

$$\Delta C_{PM_{2.5}i} \quad (4)$$

CR é a função Concentração-Resposta baseada na literatura¹⁵ e $\Delta C_{PM_{2.5}i}$ é a variação entre a média anual de PM_{2,5} do município e um valor basal de 7,5 g/m³. Por fim, para calcular a FA anual de cada município, utilizou-se a equação (5):

$$AF_i = \frac{RR_i - 1}{RR_i} \quad (5)$$

Adicionalmente, para calcular o número anual esperado de hospitalizações atribuíveis à exposição crônica ao PM_{2,5}, a FA foi aplicada ao número total anual de hospitalizações. Assim, para cada ano, aplicou-se a equação (6):

$$E_i = T_i * I_i * AF_i \quad (6)$$

Onde:

E_i é o número esperado de hospitalizações por exposição ao PM_{2,5} no município i ;

I_i é a incidência populacional de doença cardiorrespiratória no município i (isto é, a taxa de internação da população acima de 30 anos por desfechos cardiorrespiratórios por mil habitantes);

T_i é o tamanho da população exposta de indivíduos com 30 anos ou mais no município i .

Cálculo dos custos de hospitalização

Com base na FA das doenças cardiorrespiratórias causadas pela exposição ao PM_{2,5} na Amazônia Legal e no Cerrado setentrional, foram calculados os custos para o SUS. Consideraram-se os dados sobre o número de hospitalizações por desfechos cardiorrespiratórios no SUS, o valor total pago por essas hospitalizações com base nas Autorizações de Internação Hospitalar (AIH) e o tempo de permanência dos pacientes. Os custos foram obtidos pela multiplicação do total anual de valores pagos por hospitalizações (V) pela FA:

$$E_i = T_i * I_i * AF_i \quad (7)$$

Como resultado, os custos de hospitalização foram verificados a preços correntes. O Deflator Implícito do PIB¹⁹, índice que mede a variação média anual do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, foi adotado para compilar os custos para análise a preços constantes de 2021. Os custos anuais de hospitalização, expressos a preços constantes (VFA), foram atualizados multiplicando-se pelos respectivos Deflatores Implícitos do PIB (D):

$$DV_i = VFA_i * D_i \quad (8)$$

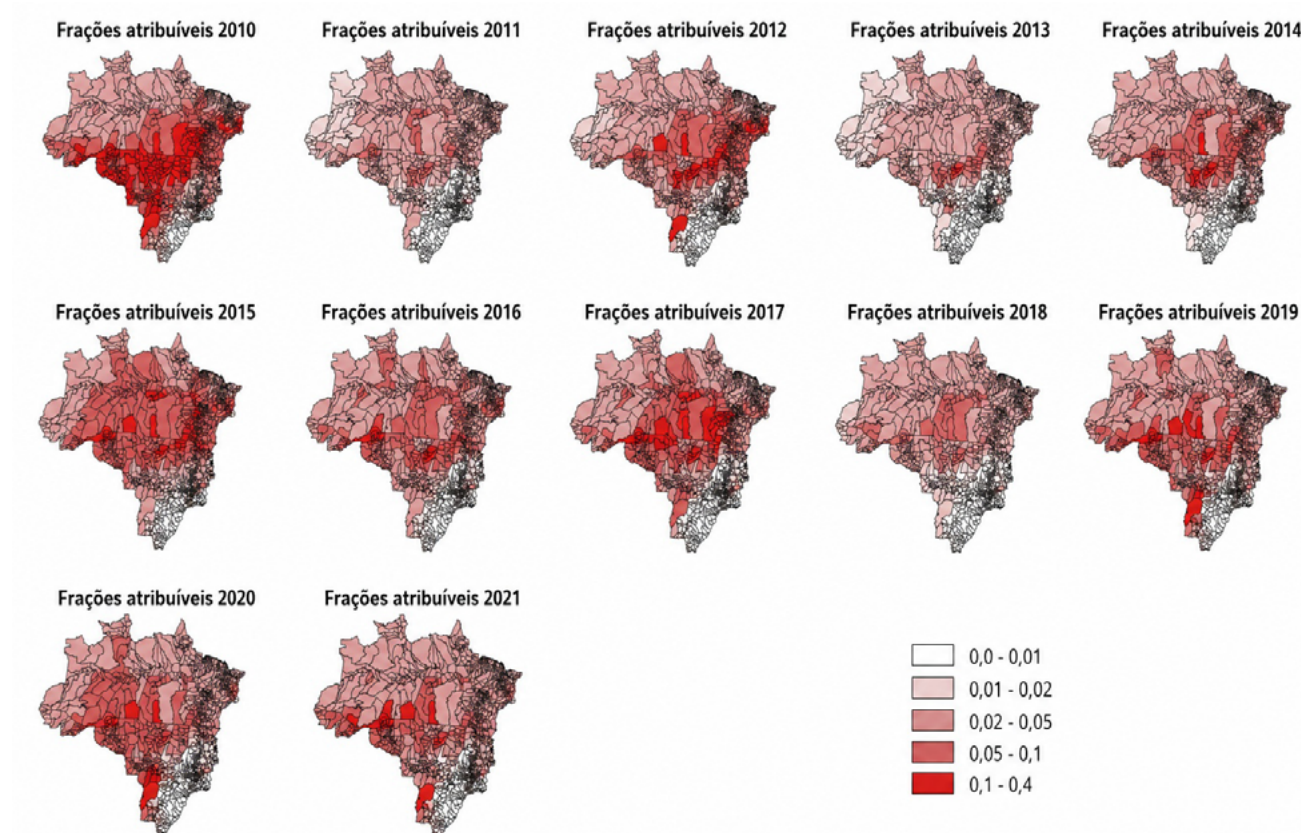
Resultados

Com a metodologia descrita, obtivemos as FAs e estimativas de custos de hospitalização associados à exposição ao PM_{2,5} na região Amazônica, a preços correntes, para todos os 1.134 municípios analisados.

Análise das frações atribuíveis

Em 2010, foram registradas as maiores FAs de toda a série, com 18,5% dos municípios apresentando percentuais acima de 10%. Esses municípios localizavam-se principalmente no chamado 'Arco do Desmatamento'. Destaca-se que 211 municípios apresentaram FAs iguais ou superiores a 10%, distribuídos pelos estados de Mato Grosso, Pará, Tocantins, Rondônia, Acre, Maranhão, Mato Grosso do Sul e Amazonas. Os municípios com as maiores FAs foram Vila Rica/MT, com 35%, Santana do Araguaia (PA), com 34,9%, Confresa/MT, com 33,5%, Porto Alegre do Norte/MT, com 32,9%, e Canabrava do Norte/MT, com 32% (figura 3).

Figura 3. Proporção das frações atribuíveis das hospitalizações por doenças cardiorrespiratórias causadas pela exposição ao PM_{2,5} na região Amazônica, por estado, na Amazônia Legal e no Cerrado, de 2010 a 2021



Fonte: elaborado pelos autores.

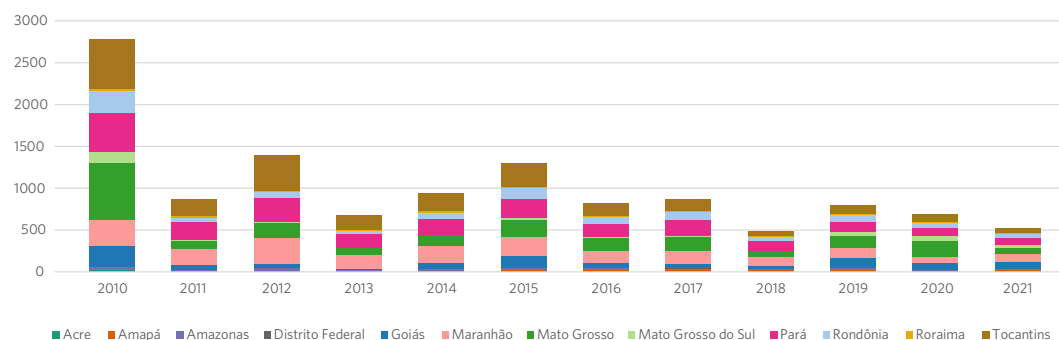
Adicionalmente, analisou-se o número de hospitalizações por doenças cardiorrespiratórias atribuíveis à exposição ao PM_{2,5} por estado. Em 2010, ocorreu o maior número de queimadas e a maior exposição ao PM_{2,5}, resultando no maior número de hospitalizações atribuíveis na Amazônia Legal e nas regiões do Cerrado setentrional.

Análise do custo para o SUS

Quanto aos custos das hospitalizações por doença cardiorrespiratória atribuíveis à

exposição ao PM_{2,5} (*gráfico 1*), cabe destacar que 2010 apresentou valores mais elevados do que os demais anos, principalmente devido aos altos custos nos estados do Pará, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Além disso, ao longo do período analisado, o estado do Pará se manteve entre aqueles com os maiores custos atribuíveis à exposição ao PM_{2,5}.

Gráfico 1. Valor *per capita* atribuível às hospitalizações por doenças cardiorrespiratórias (capítulos IX e X da CID-10) causadas pela exposição a PM_{2,5} em populações com mais de 30 anos, a preços constantes de 2021, 2010-2021



Fonte: elaborado pelos autores.

Posteriormente, as flutuações nos custos atribuíveis das hospitalizações persistiram até 2015, seguidas por uma queda nos custos associados à exposição ao PM_{2,5} na região. Contudo, observou-se uma nova elevação em 2019, estreitamente relacionada ao aumento dos incêndios florestais naquele ano.

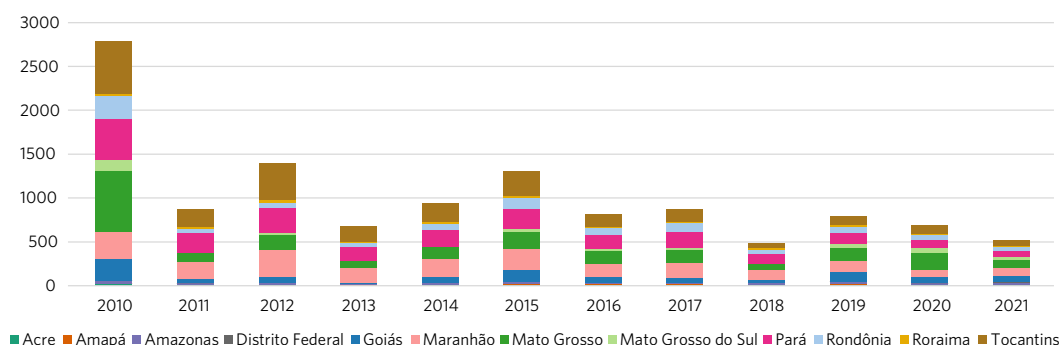
Embora 2020 e 2021 tenham registrado uma queda nos custos atribuíveis totais dos estados analisados, observou-se aumento dos custos atribuíveis em Mato Grosso em 2020, bem como altas sucessivas em 2018, 2019 e 2021 no Distrito Federal (*gráfico 1*).

Há forte conexão entre a região do Arco do Desmatamento e os custos totais, com alta concentração de municípios entre aqueles com

os maiores custos totais atribuíveis à exposição ao PM_{2,5}. O estado do Pará apresentou o maior custo total no período, respondendo por cerca de 27% das hospitalizações relacionadas a desfechos cardiorrespiratórios ocasionados pela exposição ao PM_{2,5} entre 2010 e 2021.

O município de Porto Velho/RO, localizado no Arco do Desmatamento, destaca-se como um dos 10 municípios com maior custo total na série histórica, registrando o maior custo comparativo entre os municípios em 2017. Em termos de custos per capita atribuíveis por estado, observou-se tendência semelhante à dos valores totais atribuíveis, com os maiores valores per capita registrados em Tocantins, seguido de Mato Grosso (*gráfico 2*).

Gráfico 2. Valor *per capita* atribuível às hospitalizações por doenças cardiorrespiratórias (capítulos IX e X da CID-10) causadas pela exposição a PM_{2,5} em populações com mais de 30 anos, a preços constantes de 2021, 2010-2021



Fonte: elaborado pelos autores.

Discussão

A análise revelou número significativo de hospitalizações por doenças cardiorrespiratórias atribuíveis à exposição ao PM_{2,5}, principalmente oriundo da queima de biomassa na Amazônia Legal. Também foram identificadas FAs expressivas em todos os estados da região ao longo do período estudado. Além disso, o número de hospitalizações atribuíveis à exposição ao PM_{2,5} aumentou significativamente em períodos e áreas com maior incidência de incêndios, destacando a forte associação entre a queima de biomassa e os desfechos adversos à saúde nessas regiões, bem como o aumento do custo financeiro para o sistema de saúde pública.

Em 2010, o custo das hospitalizações atribuíveis atingiu aproximadamente R\$ 37,5 milhões, com os maiores valores em Mato Grosso (R\$ 9,3 milhões), seguido do Pará (R\$ 8,6 milhões). Em 2011, observou-se redução significativa das queimadas, da poluição atmosférica por PM_{2,5} e das hospitalizações por causas cardiorrespiratórias. Consequentemente, houve importante redução dos custos para o SUS atribuídos à exposição à poluição, sendo o estado do Pará aquele com os maiores custos (R\$ 5,2 milhões), refletindo o impacto financeiro da queima de biomassa na Amazônia Legal e no Cerrado setentrional.

Latorre²⁰ destaca uma intensa anomalia nos padrões de precipitação em 2010, influenciada pelo El Niño, que, juntamente com o aumento da temperatura da superfície do mar no oceano Atlântico Norte, levou à elevação das temperaturas na região Amazônica. Esse evento é identificado como potencial intensificador dos impactos dos incêndios florestais na região.

Cabe notar que, em 2010 e 2011, os impactos foram limitados nos estados do Amazonas e Roraima. Entretanto, a partir de 2012, os efeitos da exposição à queima de biomassa expandiram-se no estado do Amazonas. Nos anos seguintes, essa disseminação alcançou outros municípios do Amazonas e, em 2015, também chegou ao estado de Roraima. Essa

expansão geográfica dos impactos na saúde é compatível com a crescente frequência de incêndios nessas regiões, ressaltando a necessidade de monitoramento contínuo e de intervenções para mitigar a degradação ambiental e sua carga associada para a saúde pública.

Segundo dados do Inpe, em 2017 o Brasil registrou o maior número de incêndios florestais desde o início da série histórica do Inpe, em 1999, sendo o bioma Amazônia o mais afetado em área total destruída²¹. O bioma Cerrado, que apresentou a segunda maior área impactada, também registrou a maior ocorrência de focos de incêndio em unidades de conservação federais, refletindo o aumento no número de hospitalizações atribuíveis à exposição ao PM_{2,5} naquele ano.

Em 2018, observou-se aproximadamente 8% mais áreas desmatadas na região da Amazônia Legal em comparação com o ano anterior, juntamente com uma redução de 39% no número de focos de incêndio. Em 2019, por sua vez, verificou-se forte elevação da área desmatada, com aumento de 34% em relação ao ano anterior. O número de incêndios também cresceu, com aumento de 39% nos focos em comparação ao ano precedente^{22,23}.

Um evento particular ocorreu em 10 de agosto de 2019, conhecido como ‘Dia do Fogo’, quando uma série de incêndios florestais coordenados foi iniciada na região de Novo Progresso (PA), levando a um aumento estimado de 300% nas queimadas em um único dia. Esse evento comprometeu severamente a qualidade do ar em diversos estados brasileiros, alcançando até estados como São Paulo, localizado a quase 2.000 quilômetros de distância²⁴.

O elevado número de queimadas na região da Amazônia Legal em 2019 pode ser associado ao mesmo patamar de hospitalizações atribuíveis observado em 2017, com aumento de 48% em comparação ao ano anterior. Os custos totais atribuíveis também aumentaram cerca de 50% em relação a 2018. O estado do Pará apresentou o maior custo atribuível (R\$ 3,7 milhões), seguido por Rondônia (R\$ 2,17 milhões) e Mato Grosso (R\$ 2,15 milhões).

Como já observado, a área desmatada na Amazônia Legal apresentou tendência de crescimento a partir de 2019, com aumento de 7,1% nas áreas desmatadas e de 20% no número de queimadas naquele ano. Em 2020, houve redução de 26% nas hospitalizações atribuíveis à poluição atmosférica decorrente da queima de biomassa na Amazônia Legal e no Cerrado setentrional em comparação com o ano anterior.

Entretanto, 2020 também foi marcado por incêndios florestais de grande escala no bioma Pantanal, que provavelmente contribuíram para o aumento dos custos hospitalares em Mato Grosso. Mais de 3.500 focos foram identificados, representando aumento superior a 300% em relação ao período 2012-2019, devastando cerca de um terço do território do bioma^{25,26}.

Em 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou o surto de coronavírus uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII), e, em março de 2020, ele foi classificado como pandemia. Como resultado da covid-19, foram detectados casos de síndrome respiratória aguda grave, com cerca de 7,6 milhões de casos diagnosticados em 2020^{27,28}.

Um estudo de 2023 identificou correlação entre a poluição atmosférica por material particulado e a incidência, mortalidade e gravidade da covid-19 em cinco estados da Amazônia brasileira. O estudo explorou a possibilidade de que o material particulado produzido pelos incêndios florestais quase duplicasse o risco de infecção, morte e gravidade da covid-19 entre indivíduos expostos a altas concentrações de PM_{2,5}²⁹.

Cabe observar que este estudo utilizou dados de hospitalização do SUS, os quais podem refletir distorções causadas pela dificuldade de diagnóstico das doenças respiratórias em razão da covid-19, iniciada em 2020³⁰.

Em 2021, observou-se aumento significativo das áreas desmatadas na Amazônia Legal, com aproximadamente 20% mais perda de vegetação do que no ano anterior, ao passo que o

número de queimadas caiu cerca de 32% em relação a 2020. Em conclusão, a queima de biomassa na região da Amazônia Legal produz importante impacto social e econômico nos municípios analisados. Os resultados apresentados estão alinhados aos estudos referenciados neste trabalho, ressaltando a importância de enfrentar esse problema de saúde pública.

A contenção do desmatamento ilegal depende diretamente da capacidade fiscalizatória dos entes públicos, tendo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) como principal agente. Nesse sentido, as ações de fiscalização ambiental da instituição exigem alocação de recursos financeiros para diversas finalidades. Contudo, cabe destacar que, nos últimos anos, o orçamento do Ibama foi restringido em razão de limitações fiscais no governo Temer, impulsionadas pela recessão econômica, e, posteriormente, por severos cortes orçamentários na prevenção e no combate a incêndios no governo Bolsonaro^{31,32}.

Historicamente, o Arco do Desmatamento tem experimentado altas taxas de desmatamento, exigindo medidas específicas de fiscalização e controle por parte do governo brasileiro. Nos últimos anos, esse raio de devastação expandiu-se para novos municípios, motivando uma reavaliação do território em 2019^{33,34}.

Essa devastação progressiva interage fortemente com os indicadores de saúde pública e de bem-estar. Os achados deste estudo revelam que a exposição ao material particulado proveniente da queima de biomassa na Amazônia Legal e em seu entorno tem impacto significativo no número de hospitalizações por doenças cardiorrespiratórias na região.

Foram coletados dados de internação por causas cardiorrespiratórias da população residente na Amazônia Legal e no Cerrado setentrional para analisar os impactos da poluição atmosférica decorrente da queima de biomassa sobre a saúde humana. Para isso, utilizaram-se dados secundários fornecidos pelo DataSUS. Cabe observar que muitos

municípios brasileiros não dispõem de infraestrutura suficiente no SUS para tratar doenças cardiorrespiratórias, o que leva a população a se deslocar para municípios com melhor infraestrutura de saúde pública. Por essa razão, a análise deste estudo foi conduzida com base no município de residência e não no local da internação.

A morbidade por condições cardiorrespiratórias aumenta a demanda por atenção nas redes do SUS, com maior impacto sobre municípios com menos estabelecimentos de saúde. Isso também pode afetar o tratamento de outras doenças e impor pressão adicional sobre o sistema de saúde como um todo.

A queima de biomassa pode produzir efeitos desiguais sobre as comunidades afetadas, especialmente no que diz respeito à disponibilidade de recursos em saúde. Os cortes orçamentários reduzem ainda mais a disponibilidade e a qualidade dos serviços públicos, agravando os impactos sobre aqueles que dependem da rede pública de saúde³⁵.

A valoração econômica ambiental busca avaliar monetariamente os impactos que alterações nos recursos naturais produzem sobre o bem-estar humano por meio de indicadores específicos³⁶. É importante destacar, entretanto, que a metodologia empregada neste trabalho provavelmente subestima os custos totais relacionados à saúde decorrentes da exposição ao material particulado, uma vez que considera apenas as despesas de hospitalização cobertas pelo SUS por condições cardiorrespiratórias. Esta análise não incluiu outros custos relevantes, como perdas de produtividade resultantes do comprometimento da saúde.

Uma limitação deste estudo é a impossibilidade de distinguir os poluentes presentes no material particulado fino com diâmetro inferior a 2,5 micrômetros. É amplamente reconhecido que a maior fonte de emissão de aerossóis para a atmosfera da América do Sul deriva de incêndios florestais e de savana, especialmente durante a estação seca entre agosto e outubro³⁷. Ainda assim, a análise não pode desconsiderar o impacto de outros

poluentes sobre a saúde humana, particularmente nas áreas mais urbanizadas. Assim, uma compreensão mais aprofundada da distribuição dos poluentes permite entendimento mais refinado dos impactos da queima de biomassa na região.

Outra limitação importante refere-se ao uso de dados secundários do DataSUS para analisar hospitalizações por causas cardiorrespiratórias. Esses dados podem refletir subnotificação, uma vez que o uso de dados secundários depende da qualidade das informações registradas nos diversos estabelecimentos de saúde do SUS. Nossa abordagem não incluiu resultados nem discussão sobre os efeitos cumulativos da exposição de longo prazo, particularmente em populações vulneráveis. Trata-se de aspecto relacionado a doenças respiratórias crônicas, redução do crescimento pulmonar e aumento da prevalência e gravidade de condições como a asma, conforme apresentado pelo Ministério da Saúde do Brasil³⁸.

Além disso, é necessário reconhecer que as limitações para diferenciar causas específicas podem ser particularmente relevantes a partir de 2020 em razão da pandemia de covid-19. Ainda assim, é importante ressaltar que os dados utilizados permitem ampla cobertura territorial a partir de uma base unificada, seguindo parâmetros consistentes para as AIH.

Por fim, cabe mencionar que a metodologia de Ostro foi desenvolvida para calcular o número de óbitos atribuíveis à exposição ao material particulado atmosférico com partículas menores que 10 micrômetros ou 2,5 micrômetros e foi adaptada para este estudo. No entanto, as complexas interações entre variáveis ambientais, de saúde e sociais sugerem a necessidade de estudos contínuos e direcionados sobre o tema, especialmente por meio de pesquisas epidemiológicas e análises das dinâmicas socioambientais da região.

O estudo também reflete os resultados de discussões entre a academia brasileira e a Organização Pan-Americana da Saúde, contribuindo para o desenvolvimento de um marco

integrado e para o uso de metodologias reconhecidas. Como resultado, o trabalho amplia a literatura sobre valoração ambiental ao integrar perspectivas de saúde e meio ambiente, introduzindo novas discussões sobre o tema.

Assim, nossa análise oferece compreensão mais aprofundada dos custos da queima de biomassa nas regiões da Amazônia Legal e do Cerrado setentrional, com foco nos custos para a saúde pública associados às hospitalizações por doenças cardiorrespiratórias em unidades do SUS.

Em conclusão, houve impacto substancial da exposição ao PM_{2,5} resultante da queima de biomassa nas regiões da Amazônia Legal e do norte do Cerrado sobre as taxas de internação por doenças cardiorrespiratórias, representando um custo médio anual de aproximadamente 2,5 bilhões de reais para o SUS.

Além disso, observou-se relação direta entre o aumento das áreas desmatadas e a ocorrência de focos de incêndio, contribuindo para uma elevação significativa dos custos de hospitalização em anos de maior intensidade desses eventos, como 2010 e 2019.

Portanto, nossa proposta de análise dos custos de hospitalização pode ajudar a dimensionar os efeitos da degradação ambiental, orientando formuladores de políticas públicas rumo a um desenvolvimento mais sustentável.

Garantir o direito ao ar limpo exige mais do que o desenvolvimento de ferramentas técnicas e a geração de dados; exige um arcabouço jurídico e institucional robusto. Em 2024, o Brasil instituiu sua Política Nacional de Qualidade do Ar (PNQA) e estabeleceu formalmente padrões nacionais de qualidade do ar alinhados às diretrizes da OMS, por meio de resolução nacional^{39,40}.

Este estudo enfatiza a necessidade de que políticas públicas relacionadas à gestão ambiental, ao ordenamento do uso do solo e à vigilância em saúde atuem de forma coordenada, promovendo estratégias de prevenção,

monitoramento e resposta aos riscos causados pela perda de vegetação e pela má qualidade do ar. Somente a coordenação efetiva entre saúde e meio ambiente pode sustentar ações governamentais que protejam a vida e promovam sustentabilidade de longo prazo.

Contribuições de autoria

Correa MGC (0000-0003-2965-7228)* contribuiu para a análise e interpretação dos dados, redação do manuscrito, aprovação final da versão a ser publicada e responsabilidade por todos os aspectos do trabalho, assegurando a exatidão e a integridade de qualquer parte do estudo. Ignotti E (0000-0002-9743-1856)* contribuiu para a concepção e o delineamento do estudo, revisão crítica de todo o manuscrito, aprovação final da versão a ser publicada e responsabilidade por todos os aspectos do trabalho, assegurando a exatidão e a integridade de qualquer parte do estudo. Oliveira BFA (0000-0003-0103-3309)* contribuiu para a concepção e o delineamento do estudo, revisão crítica de todo o manuscrito, aprovação final da versão a ser publicada e responsabilidade por todos os aspectos do trabalho, assegurando a exatidão e a integridade de qualquer parte do estudo. Jacobson LSV (0000-0002-6698-4431)* contribuiu para a concepção e o delineamento do estudo, revisão crítica de todo o manuscrito, aprovação final da versão a ser publicada e responsabilidade por todos os aspectos do trabalho, assegurando a exatidão e a integridade de qualquer parte do estudo. Young CEF (0000-0002-4225-4936)* contribuiu para a concepção e o delineamento do estudo, revisão crítica de todo o manuscrito, aprovação final da versão a ser publicada e responsabilidade por todos os aspectos do trabalho, assegurando a exatidão e a integridade de qualquer parte do estudo. ■

*Orcid (Open Researcher and Contributor ID).

Referências

1. Silva RAM, Hacon SS, Ignotti E. Hospitalization of children for asthma in the Brazilian Amazon: trend and spatial distribution. *J Pediatr* (Rio J). 2009;85(6):541-6. DOI: <https://doi.org/10.2223/jped.1952>
2. Oviedo A, Lima WP, Augusto C. O arco do desmatamento e suas flechas. Instituto Socioambiental [Internet]. 2020 [accessed on 2022 Jun 20]. Available from: https://site-antigo.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/nova_geografia_do_arco_do_desmatamento_isa.pdf
3. Seroa da Motta, R. Manual para valoração econômica de recursos ambientais. Rio de Janeiro: Ipea; MMA; PNUD; CNPq; 1998.
4. Longo KM, Freitas SR, Andreae MO, et al. Biomass burning in Amazonia: Emissions, long-range transport of smoke and its regional and remote impacts. *Amazonia and Global Change*. 2009;186:207-32. DOI: <https://doi.org/10.1029/2008GM000717>
5. Diaz MDCV, Nepstad DC, Mendonça MJC, et al. O preço oculto do fogo: os custos econômicos associados às queimadas e incêndios florestais [Internet]. Belém: Ipam: Ipea: WHRC; 2002 [accessed on 2022 Jun 20]. Available from: https://www.researchgate.net/publication/267683182_O_Precio_Oculto_do_Fogo_na_Amazonia_Os_Custos_Economicos_Associados_as_Queimadas_e_Incendios_Florestais?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InByb2ZpbGUlLCJwYWdlIjoicHJvZmlsZSJ9fQ
6. Presidência da República (BR). Lei nº. 1806, de 6 de janeiro de 1953. Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia, cria a superintendência da sua execução e dá outras providências [Internet]. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 1953 Jan 7 [accessed on 2025 May 10]. Available from: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/11806.htm
7. Santos D, Salomão R, Veríssimo A. Fatos da Amazônia 2021 [Internet]. [unknown location]: Amazônia 2030; 2021 [accessed on 2025 May 10]. Available from: <https://amazonia2030.org.br/wp-content/uploads/2021/04/AMZ2030-Fatos-da-Amazonia-2021-3.pdf>
8. Duarte A, Dênis M, Marcarenhas M. Manifestações do bioclima do Acre sobre a saúde humana no contexto socioeconômico da Amazônia. *Amazônia: Ci. & Desenv* [Internet]. 2007 [accessed on 2025 May 10];3(5):149-62. Available from: https://www.acre-bioclima.net/abcpublications/Environment_and_Health/C&D_Vol_V_Manifestacoes_Bioclim.pdf
9. Rosa AM, Ignotti E, Botelho C, et al. Doença respiratória e sazonalidade climática em menores de 15 anos em um município da Amazônia brasileira. *J Pediatr* (Rio J). 2008;84(6):543-9. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0021-75572008000700012>
10. Requia WJ, Vicedo-Cabrera AM, Schrijver E, et al. Association of high ambient temperature with daily hospitalization for cardiorespiratory diseases in Brazil: A national time-series study between 2008 and 2018. *Environ Pollut*. 2023;331:121851. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121851>
11. Rodrigues PCO, Ignotti E, Hacon SS. Distribuição espaço-temporal das queimadas e internações por doenças respiratórias em menores de cinco anos de idade em Rondônia, 2001 a 2010. *Epidemiol Serv Saúde*. 2013;22(3):455-64. DOI: <https://doi.org/10.5123/S1679-49742013000300010>
12. Sousa TCM, Barcellos C, Gracie R, et al. Covid-19 e queimadas na Amazônia Legal e no Pantanal: aspectos cumulativos e vulnerabilidades [Internet]. Rio de Janeiro: Observatório de Clima e Saúde; 2020 [accessed on 2025 May 10]. Available from: <https://climaesaude.iciet.fiocruz.br/sites/climaesaude.iciet.fiocruz.br/files/notaqueimadascovidnovo.pdf>
13. Perman, R. Natural resource and environmental economics. 3rd ed. Harlow: Pearson Education; 2003.

14. Health Effects Institute. State of Global Air 2020. Special Report. Boston (MA): HEI; 2020.
15. Rocha R, Sant'Anna AA. Winds of fire and smoke: Air pollution and health in the Brazilian Amazon, *World Dev.* 2022;151:105722. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105722>
16. Ostro B, Prüss-Üstün A, Campbell-Lendrum D, et al. Outdoor air pollution: Assessing the environmental burden of disease at national and local levels [Internet]. Geneva: WHO; 2004 [accessed on 2025 May 10]. (WHO Environmental Burden of Disease Series, No. 5). Available from: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42909/9241591463.pdf>
17. TABNET [Internet]. Brasília, DF: DATASUS; [unknown date]. Morbidade Hospitalar do SUS - CID-10: Lista de Tabulação para Morbidade; [2025] [accessed on 2025 Oct 23]. Available from: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sih/mxcid10lm.htm>
18. Saldanha RF, Bastos RR, Barcellos C. Microdatasus: pacote para download e pré-processamento de microdados do Departamento de Informática do SUS (DATASUS). *Cad Saúde Pública.* 2019;35(9):e00032419. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00032419>
19. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada [Internet]. Brasília, DF: IPEA; [unknown date]. Deflator implícito: variação anual (SCN10_DIPIBG10); [2025] [accessed on 2025 Oct 23]. Available from: <https://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=1184389724&module=M>
20. Latorre NS, Aragão LEOEC, Anderson LO, et al. Impactos de queimadas sobre diferentes tipos de cobertura da terra no leste da Amazônia Legal brasileira. *Rev Bras Cartogr.* 2016;69(1):1-18. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv69n1-44039>
21. Carvalho C. Brasil termina 2017 com número recorde de queimadas desde 1999. *O Globo* [Internet]. 2017 Dec 18 [accessed on 2025 Oct 23]; Política. Available from: <https://oglobo.globo.com/politica/brasil-termina-2017-com-numero-recorde-de-queimadas-desde-1999-22204556>
22. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [Internet]. São José dos Campos (SP): INPE; [unknown date]. TerraBrasilis: Deforestation Dashboard – Legal Amazon; [2025] [accessed on 2025 Oct 23]. Available from: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legalAmazon/increments>
23. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [Internet]. São José dos Campos (SP): INPE; [unknown date]. TerraBrasilis: Queimadas – Banco de Dados de Queimadas; [2025] [accessed on 2025 Oct 23]. Available from: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>
24. Aragão T. O 'Dia do Fogo' nunca acabou na Amazônia. Instituto Socioambiental [Internet]. 2021 Aug 10 [accessed on 2025 Oct 23]; Notícias. Available from: <https://site-antigo.socioambiental.org/pt-br/noticias-socioambientais/o-dia-do-fogo-nunca-acabou-na-amazonia>
25. Gonzaga CAC, Roquette JG, Silva NM, et al. Ações governamentais para a mitigação e prevenção de danos ambientais no Pantanal Mato-grossense após o grande incêndio de 2020. *Res Soc Dev.* 2022;11(7):e48111730413. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30413>
26. Pletsch MAJS, Silva Junior CHL, Penha TV, et al. The 2020 Brazilian Pantanal fires. *An Acad Bras Ciênc.* 2021;93(3):e20210077. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-376520210210077>
27. Organização Pan-Americana da Saúde. Não polua o meu futuro! O impacto do ambiente na saúde das crianças [Internet]. Brasília, DF: Opas; 2018 [accessed on 2025 May 15]. Available from: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/49123>
28. Ministério do Meio Ambiente (BR). Os planos de prevenção e controle do desmatamento em âmbito federal [Internet]. Brasília, DF: MMA; [unknown date] [accessed on 2025 May 15]. Available from: <http://combateadesmatamento.mma.gov.br/>
29. Gonçalves KS, Cirino GG, Costa MO, et al. The potential impact of PM2.5 on the covid-19 crisis in

- the Brazilian Amazon region. *Rev Saúde Pública*. 2023;57:67. DOI: <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2023057005134>
30. Oliveira IN, Oliveira BFA, Silveira IH, et al. Air pollution from forest burning as environmental risk for millions of inhabitants of the Brazilian Amazon: an exposure indicator for human health. *Cad Saúde Pública* [Internet]. 2023;39(6):e00131422. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311xen131422>
31. Benites A. Encurralada, gestão Temer vê ameaça de colapso em mais serviços públicos. *El País Brasil* [Internet]. 2017 Jul 10 [accessed on 2025 May 15]; Política. Available from: https://brasil.elpais.com/brasil/2017/07/08/politica/1499468453_733256.html
32. Menegassi D. Bolsonaro corta 35 milhões do orçamento do Ministério do Meio Ambiente para 2022. ((o))eco [Internet]. 2022 Jan 25 [accessed on 2025 May 15]; Notícias. Available from: <https://oeco.org.br/noticias/bolsonaro-corta-35-milhoes-do-orcamento-do-ministerio-do-meio-ambiente-para-2022>
33. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. A estimativa da taxa de desmatamento por corte raso para a Amazônia Legal em 2019 é de 9.762 km². *Inpe* [Internet]. 2019 Nov 18 [accessed on 2025 May 15]; Notícias. Available from: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5294
34. Instituto Socioambiental. Novo arco do desmatamento: fronteira de destruição avança em 2019 na Amazônia. *ISA* [Internet]. 2019 Dec 17 [accessed on 2025 May 15]; Notícias. Available from: <https://site-antigo.socioambiental.org/pt-br/noticias-socioambientais/novo-arco-do-desmatamento-fronteira-de-destruicao-avanca-em-2019-na-amazonia>
35. Alvarenga Junior M, Costa LAN, Young CEF. Um Green New Deal para o Brasil. *GV-Exec*. 2022;21(1):27-34. DOI: <https://doi.org/10.12660/gv-exec.v21n1.2022.85513>
36. Pearce D. Economic valuation and health damage from air pollution in the developing world. *Energy Policy*. 1996;24(7):627-30. DOI: [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(96\)00051-1](https://doi.org/10.1016/0301-4215(96)00051-1)
37. Andrade Filho VS. Estudo da associação entre material particulado emitido em queimadas e doenças respiratórias no município de Manaus, AM [thesis on the internet]. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia; 2024 [accessed on 2025 May 15]. Available from: <https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/126>
38. Microsoft Power BI Dashboard [Internet]. [unknown location]: Microsoft Power BI; 2025. Ministério da Saúde – Vigiar: Poluição atmosférica e saúde humana; 2024 [accessed on 2025 May 15]. Available from: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojNmRhODQwNzItNThlOS00ZmQ4LWJjZmItZDYxO-TNhOTRmYmFhIiwidCI6IjIhNTU0YWQzLWl1M-mItNDg2MilhMzZmLTg0ZDg5MWU1YzZwNSJ9>
39. Instituto Clima e Sociedade. The National Congress approves the National Policy for Air Quality. *ICS* [Internet]. 2024 [accessed on 2025 May 15]. Available from: <https://climaesociedade.org/en/the-national-congress-approves-the-national-policy-for-air-quality/>
40. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (BR), Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 506, de 5 de julho de 2024. *Diário Oficial da União, Brasília, DF*. 2024 Jul 9; Edição 130; Seção I:133.

Recebido em 30/05/2025

Aprovado em 28/10/2025

Conflito de interesses: inexistente

Disponibilidade de dados: os dados de pesquisa estão contidos no próprio manuscrito

Suporte financeiro: não houve

Editor responsável: Guilherme Franco Netto, Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Rio de Janeiro (Rio de Janeiro/RJ), Brasil. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5162760718464160>, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8861-8897>, e-mail: guilherme.netto@fiocruz.br