



# Impacto da exposição à fumaça da queima de biomassa na Floresta Amazônica na saúde humana

Marilyn Urrutia-Pereira<sup>1,2,3</sup>, Luciana Varanda Rizzo<sup>4</sup>,  
Herberto José Chong-Neto<sup>5,6,7,8</sup>, Dirceu Solé<sup>3,9,10,11</sup>

1. Departamento de Medicina, Universidade Federal do Pampa, Uruguiana (RS) Brasil.
2. Departamento Científico de Toxicologia e Saúde Ambiental, Sociedade Brasileira de Pediatria, São Paulo (SP) Brasil.
3. Departamento Científico de Contaminación, Sociedad Latinoamericana de Alergia, Asma e Inmunología, Asunción, Paraguay.
4. Departamento de Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Paulo, Diadema (SP) Brasil.
5. Departamento de Pediatria, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR) Brasil.
6. Diretoria de Educação à Distância, Associação Brasileira de Alergia e Imunologia, São Paulo (SP) Brasil.
7. Departamento Científico de Alergia, Sociedade Brasileira de Pediatria, São Paulo (SP) Brasil.
8. Departamento Científico de Conjuntivitis, Sociedad Latinoamericana de Alergia, Asma e Inmunología, Asunción, Paraguay.
9. Departamento de Pediatria, Escola Paulista de Medicina, São Paulo (SP) Brasil.
10. Departamentos Científicos, Sociedade Brasileira de Pediatria, São Paulo (SP) Brasil.
11. Diretoria de Pesquisas, Associação Brasileira de Alergia e Imunologia, São Paulo (SP) Brasil.

Recebido: 27 maio 2021.

Aprovado: 12 agosto 2021.

## RESUMO

Este estudo de revisão teve como objetivo determinar a relação entre a exposição à fumaça da queima de biomassa na Floresta Amazônica e suas implicações para a saúde humana nessa região do Brasil. Foi realizada uma revisão não sistemática por meio de buscas nas bases de dados PubMed, Google Scholar, SciELO e EMBASE de artigos publicados entre 2005 e 2021, em português ou inglês, utilizando os termos de busca "biomass burning" OU "Amazon" OU "burned" E "human health". A revisão mostrou que os efeitos negativos para a saúde resultantes da exposição à fumaça da queima de biomassa na Amazônia foram pouco estudados na região. Há uma necessidade urgente de identificar intervenções efetivas de saúde pública que possam ajudar a melhorar o comportamento das populações vulneráveis expostas à fumaça da queima de biomassa, reduzindo a morbimortalidade relacionada a essa exposição.

**Descritores:** Incêndios; Poluição do ar; Floresta úmida; Brasil.

## INTRODUÇÃO

A Amazônia é a maior floresta tropical do mundo, cobrindo uma área de 5,5 milhões de km<sup>2</sup>, a maior parte dela (60%) localizada no Brasil. Representa metade da área de floresta tropical remanescente e possui a maior biodiversidade do mundo. Cerca de 27 milhões de pessoas vivem na área denominada "Amazônia Legal" no Brasil (Figura 1), a qual inclui nove estados brasileiros.<sup>(1,2)</sup>

A Floresta Amazônica tem duas estações distintas. Na estação chuvosa, que normalmente ocorre entre dezembro e março, são observados altos níveis de precipitação (> 250 mm/mês). Na estação seca, que ocorre entre maio e setembro, também chove, mas a precipitação é menor (20-70 mm/mês).<sup>(3)</sup> Os incêndios florestais predominam durante a estação seca,<sup>(4)</sup> com um aumento de dez vezes nas concentrações de poluentes atmosféricos,<sup>(5)</sup> tendo impacto na saúde humana.<sup>(6)</sup>

Este estudo de revisão teve como objetivo determinar a relação entre a exposição à fumaça da queima de biomassa na Floresta Amazônica e suas implicações para a saúde humana nessa região do Brasil.

## FONTE DOS DADOS

Foi realizada uma revisão não sistemática da literatura por meio de buscas nos bancos de dados PubMed, Google Scholar, SciELO e EMBASE por artigos publicados entre 2005 e 2021, em português ou inglês, utilizando os termos de busca "biomass burning" OU "Amazon" OU "burned" E "human health". A pesquisa bibliográfica foi realizada entre novembro de 2020 e maio de 2021. Inicialmente, foram encontrados 126 artigos científicos, dos quais 72 efetivamente contemplavam o tema da fumaça de incêndios na Amazônia brasileira e suas repercussões na saúde humana. Além disso, foi consultado o banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.<sup>(7)</sup>

## QUEIMADAS OU INCÊNDIOS FLORESTAIS?

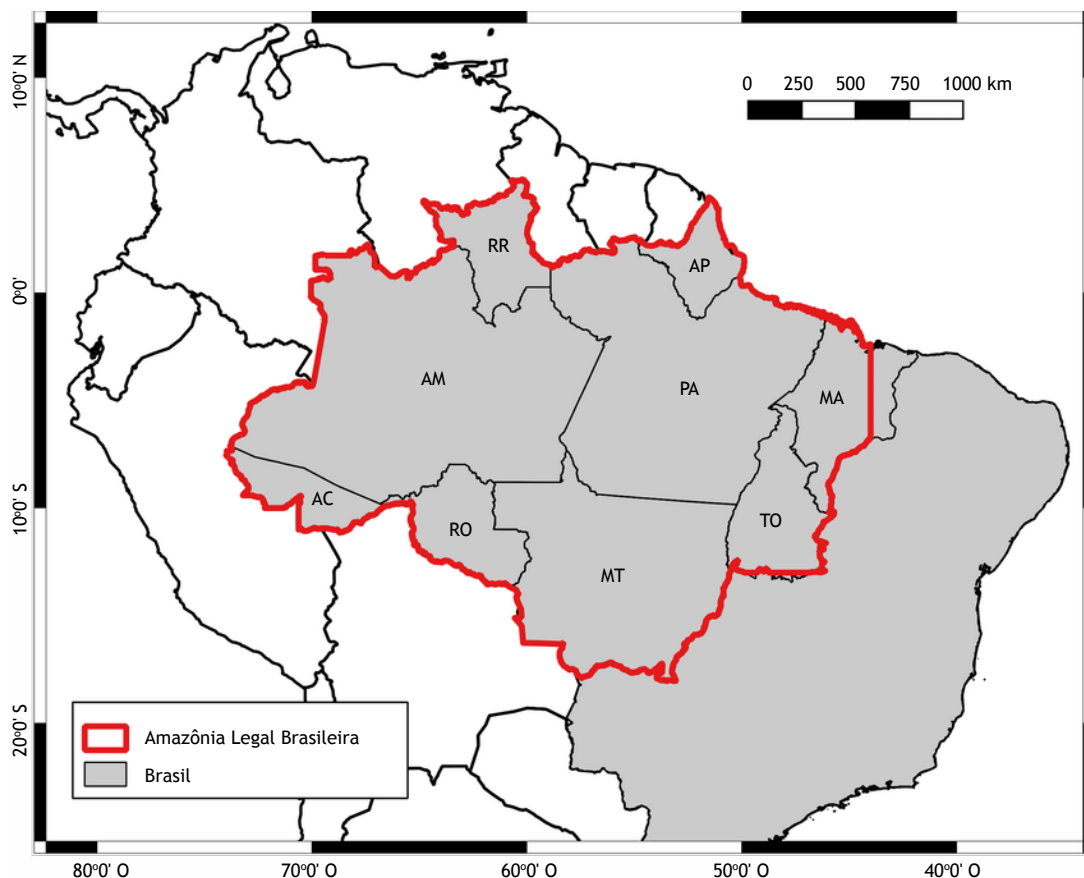
O fogo na Amazônia pode ser classificado em três tipos principais.<sup>(8,9)</sup> O primeiro tipo é o fogo de desmatamento, que inclui o corte raso da floresta que é deixada para secar e a subsequente queima das árvores cortadas como forma de preparar o solo para a agricultura e a pecuária.<sup>(8)</sup> O segundo tipo de fogo está associado à

### Endereço para correspondência:

Marilyn Urrutia-Pereira. Rua 15 de novembro, 1402/15, CEP 97501-570, Uruguiana, RS, Brasil.

Tel.: 55 55 3411-4822. E-mail: urrutiamarilyn@gmail.com

Apoio financeiro: Nenhum.



**Figura 1.** Limites da Amazônia Legal Brasileira, incluindo nove estados federativos. AC: Acre; AM: Amazonas; AP: Amapá; MA: Maranhão; MT: Mato Grosso; PA: Pará; RO: Rondônia; RR: Roraima; e TO: Tocantins. Modificado de Müller-Hansen et al.<sup>(1)</sup>

manutenção das áreas previamente desmatadas e visa eliminar as árvores cortadas e ervas daninhas para as atividades agrícolas e pecuárias. Esse tipo de fogo pode secar a floresta circundante e aumentar a vulnerabilidade ao fogo nos anos subsequentes. Nem todo fogo em áreas previamente desmatadas é intencional, e algumas queimadas se expandem além dos limites pretendidos.<sup>(8)</sup> O terceiro tipo de fogo é chamado de incêndios florestais, que consomem a floresta em pé, seja pela primeira vez, com as chamas limitando-se principalmente ao sub-bosque, ou como eventos repetidos, resultando em fogo mais intenso.<sup>(8)</sup>

O desmatamento, a manutenção de áreas desmatadas e os incêndios florestais são responsáveis por 8%, 39% e 53% dos focos de fogo,<sup>(9)</sup> respectivamente, com impactos sociais e ambientais distintos.<sup>(8)</sup> No entanto, todos esses eventos resultam em emissões significativas de poluentes na atmosfera. Na Amazônia, os diferentes tipos de fogo são de origem antrópica, pois raramente ocorre fogo natural<sup>(9)</sup> dado o alto teor de umidade do solo e da vegetação.<sup>(10-14)</sup>

Secas intensas ocorreram em 2005, 2007 e 2010, o que aumentou o número de incêndios causados pelo homem. Por isso, o fogo na Amazônia tornou-se um problema ambiental persistente, parcialmente ligado à crescente incidência de desmatamento que não deve ser subestimada, mas sim considerada na implementação

de medidas de proteção à Floresta Amazônica.<sup>(9,15)</sup> No entanto, um estudo recente relatou redução nas taxas de desmatamento entre 2004 e 2012, com diminuição de 30% nas concentrações de material particulado (MP) durante a estação seca, evitando até 1.700 mortes prematuras por ano e demonstrando os benefícios diretos da manutenção das áreas florestais.<sup>(11,16)</sup>

Até o momento, estimativas independentes indicam que 15-20% da cobertura florestal natural da Amazônia Legal foi desmatada.<sup>(2,10,17-19)</sup> O último relatório do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa de 2019<sup>(17)</sup> indicou que o desmatamento, especialmente na Amazônia, aumenta as emissões de poluentes. Nas últimas cinco décadas, a quantidade de gases de efeito estufa lançada na atmosfera pelo setor de mudança do uso do solo aumentou para 23% e representa 44% do total de emissões no Brasil.<sup>(18)</sup>

Se a área desmatada continuar a aumentar, existe a possibilidade de chegarmos a um ponto de inflexão em que o ecossistema não terá resiliência para se recuperar, sendo gradualmente transformado em uma paisagem de savana tropical degradada.<sup>(15)</sup> Estima-se que as sinergias entre o desmatamento e as mudanças climáticas tornem as florestas mais quentes e secas e, portanto, mais propensas a sustentar incêndios descontrolados<sup>(8,19)</sup> com impactos na saúde humana.<sup>(3,20)</sup> As projeções climáticas regionais sugerem que os

regimes de fogo na Amazônia irão se intensificar, afetando a qualidade do ar externo e interno em comunidades rurais e urbanas.<sup>(13,15,20,21)</sup>

## EMISSÕES DE INCÊNDIOS E QUALIDADE DO AR

As emissões dos incêndios florestais são física e quimicamente complexas; a formação de fumaça, o intemperismo físico e químico e o transporte atmosférico são influenciados por vários fatores como tipo de combustível, tipo de incêndio, características da paisagem, taxa de consumo de combustível e condições climáticas.<sup>(22,23)</sup> As principais emissões primárias que agravam a qualidade do ar e continuam sendo uma preocupação de saúde pública incluem MP, monóxido de carbono, óxido de nitrogênio, benzeno — que é um composto orgânico volátil (COV) primário — e traços de metais. A qualidade do ar é afetada ainda pela formação de poluentes secundários como ozônio, COV secundários (como acetona) e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP). No entanto, esses produtos secundários são ainda mais difíceis de prever em virtude dos vários fatores envolvidos.<sup>(24-27)</sup>

A região Norte do Brasil não possui redes de monitoramento contínuo da qualidade do ar,<sup>(28)</sup> exceto por uma iniciativa pioneira estabelecida pela Universidade Federal do Acre, que passou a monitorar MP com diâmetro médio < 2,5 µm (MP<sub>2,5</sub>) em 22 cidades do estado do Acre em 2019.<sup>(29)</sup> Os resultados mostraram que, durante a estação seca, a concentração média de MP<sub>2,5</sub> nos 22 municípios ficou em torno de 40 µg/m<sup>3</sup>, muitas vezes ultrapassando o limite recomendado pela OMS (média em 24 h de 25 µg/m<sup>3</sup>).<sup>(5,29,30)</sup>

A composição química do MP<sub>2,5</sub> dos incêndios florestais na Amazônia mostra uma predominância de compostos orgânicos (cerca de 80%), contendo 10-15% de partículas de fumaça conhecidas como carbono negro. Os compostos inorgânicos correspondem a 10-20% do MP<sub>2,5</sub>, sendo os sulfatos os mais abundantes.<sup>(30)</sup>

Os níveis de HAP e COV presentes na fumaça de incêndios na Amazônia podem ser relativamente altos e incluir substâncias potencialmente cancerígenas, como pireno (equivalente de benzo[a]pireno), formaldeído e benzeno.<sup>(31)</sup> A exposição recorrente às emissões de fumaça pode aumentar o risco de câncer na população exposta.<sup>(23)</sup> Um estudo realizado no estado de Rondônia mostrou que o risco de câncer de pulmão por exposição em longo prazo a equivalentes de benzo[a]pireno presentes nas emissões de fumaça de incêndios era duas vezes maior do que o recomendado pela OMS.<sup>(32)</sup>

Algumas partículas podem permanecer na atmosfera por dias a semanas e percorrer longas distâncias, às vezes centenas de quilômetros,<sup>(23,24)</sup> afetando a concentração de poluentes em regiões distantes da fonte. Como exemplos, podemos citar a presença de partículas provenientes dos incêndios florestais australianos na cidade de Porto Alegre no início de 2020<sup>(33)</sup> e a presença de partículas provenientes da Bacia Amazônica e da Bolívia na cidade de São Paulo em

agosto de 2019,<sup>(34)</sup> bem como a presença de partículas na neve e geleiras andinas mostrada em imagens de satélite, levantando a hipótese de que parte do carbono negro encontrado naquela região possivelmente tenha origem em incêndios na Amazônia.<sup>(35)</sup>

## POLUIÇÃO DO AR E EFEITOS NA SAÚDE

Três mecanismos principais explicam os efeitos bioquímicos, fisiológicos e clínicos da exposição a partículas de poluição do ar.<sup>(27)</sup> Em primeiro lugar, as partículas inaladas podem reagir com os receptores neurais pulmonares e ativar o reflexo que está envolvido na comunicação química e elétrica entre o pulmão e o sistema nervoso. Os sinais de retorno do cérebro que viajam pelo sistema nervoso autônomo podem desencadear aumento dos níveis de pressão arterial e alterações do ritmo cardíaco.<sup>(25)</sup> Em segundo lugar, os poluentes atmosféricos interagem com as membranas alvéolo-capilares e geram reações de estresse oxidativo, bem como respostas inflamatórias locais e sistêmicas.<sup>(36)</sup> Essas respostas induzem oxidação e distúrbios lipídicos do sangue, ativação de plaquetas e alterações pró-trombóticas em proteínas, afetando as funções dos vasos sanguíneos e aumentando a coagulação sanguínea.<sup>(25)</sup> Em terceiro lugar, o MP<sub>0,1</sub> ultrafino (diâmetro médio < 0,1 µm) pode ser translocado através da membrana alveolar e agir sistemicamente, à distância do pulmão.<sup>(31)</sup>

As respostas bioquímicas e fisiológicas contribuem para uma série de alterações funcionais, incluindo disfunção endotelial e ativação e formação de lesões. As alterações locais nos pulmões aumentam as respostas pulmonares que podem afetar a função das vias aéreas e diminuir a resistência a vírus e bactérias, aumentando o risco de infecções.<sup>(24,37)</sup>

## FUMAÇA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS E EFEITOS NA SAÚDE

A emissão e o transporte atmosférico da fumaça de incêndios florestais são um crescente e dispendioso problema de saúde pública global que afeta principalmente comunidades vulneráveis e pessoas mais sensíveis, como crianças (bebês e crianças pequenas), gestantes, fetos, pessoas de meia-idade, idosos (> 65 anos de idade), pessoas com doenças pulmonares e/ou cardíacas, fumantes (ativos e passivos), trabalhadores propensos a doenças ocupacionais e populações socialmente vulneráveis.<sup>(38-42)</sup>

As características físicas e químicas dos poluentes atmosféricos, sejam de áreas urbanas ou emissões de incêndios florestais, são dinâmicas, variando no tempo e no espaço; portanto, a avaliação de seus impactos permanece um desafio. Além disso, os esforços atuais para estudar os efeitos da fumaça de incêndios florestais são limitados em virtude da falta de medições da qualidade do ar na região Norte do Brasil.<sup>(28)</sup> A Tabela 1 lista alguns dos estudos mais relevantes sobre os efeitos da fumaça dos incêndios florestais na Amazônia na saúde humana no Brasil.

**Tabela 1.** Principais estudos avaliando os efeitos da fumaça de incêndios na saúde humana na Amazônia brasileira.

Estudo	Ano	Cidade ou região	Poluentes considerados	Grupo populacional	Desfecho estudado	Tipo de estudo
Mascarenhas et al. <sup>(47)</sup>	2008	Rio Branco, AC	MP <sub>2,5</sub>	Várias faixas etárias	Visitas ao PS relacionadas a doenças respiratórias	Estudo ecológico de séries temporais
Carmo et al. <sup>(37)</sup>	2010	Alta Floresta, MT	MP <sub>2,5</sub>	Várias faixas etárias	Consultas ambulatoriais por doenças respiratórias	Estudo epidemiológico
Ignotti et al. <sup>(48)</sup>	2010	Tangará da Serra e Alta Floresta, MT	MP <sub>2,5</sub>	Crianças e idosos	Hospitalizações por doenças respiratórias	Estudo ecológico de séries temporais
Prass et al. <sup>(50)</sup>	2012	Porto Velho, RO	Número de incêndios	Crianças e gestantes	Baixo peso ao nascer	Estudo retrospectivo de coorte
Carmo et al. <sup>(42)</sup>	2013	Rio Branco, AC	MP <sub>2,5</sub>	Crianças	Hospitalizações por doenças respiratórias	Estudo ecológico de séries temporais
Andrade Filho et al. <sup>(46)</sup>	2013	Manaus, AM	MP <sub>2,5</sub>	Crianças	Hospitalizações por doenças respiratórias	Estudo ecológico de séries temporais
Jacobson et al. <sup>(44)</sup>	2014	Tangará da Serra, MT	MP <sub>10</sub> , MP <sub>2,5</sub> , “carbono negro”	Crianças	Alterações no PFE	Estudo longitudinal
Cândido da Silva et al. <sup>(49)</sup>	2014	Tangará da Serra e Alta Floresta, MT	MP <sub>2,5</sub> e CO	Crianças e gestantes	Baixo peso ao nascer	Estudo retrospectivo de coorte
Reddington et al. <sup>(16)</sup>	2015	Amazônia	MP <sub>2,5</sub>	Várias faixas etárias	Mortes prematuras	Modelagem computacional e avaliação de risco
de Oliveira Alves et al. <sup>(31)</sup>	2015	Porto Velho, RO	MP <sub>10</sub> e HAP	N/A	N/A	Caracterização química do MP <sub>10</sub> e avaliação de risco à saúde
Silva et al. <sup>(45)</sup>	2016	Rio Branco, AC	O <sub>3</sub> e MP <sub>2,5</sub>	Crianças	N/A	Avaliação de risco toxicológico
de Oliveira Alves et al. <sup>(32)</sup>	2017	Porto Velho, RO	MP <sub>10</sub> e HAP	N/A	Efeitos tóxicos e mutagênicos nas células pulmonares	Testes de exposição de células pulmonares a MP <sub>10</sub> decorrente de incêndio
de Oliveira et al. <sup>(36)</sup>	2018	Porto Velho, RO	MP <sub>2,5</sub> e Hg	Crianças e adolescentes	Biomarcadores de estresse oxidativo	Estudo transversal
Nawaz et al. <sup>(51)</sup>	2020	Amazônia	MP <sub>2,5</sub>	Várias faixas etárias	Mortes prematuras	Modelagem computacional e avaliação de risco

MP<sub>2,5</sub>: material particulado com diâmetro < 2,5 µm; MP<sub>10</sub>: material particulado com diâmetro < 10 µm; CO: monóxido de carbono; HAP: hidrocarbonetos aromáticos policíclicos; AC: Acre; RO: Rondônia; AM: Amazonas; e MT: Mato Grosso.

A fumaça de incêndios florestais consiste principalmente em MP, especialmente o MP<sub>0,1</sub>. A concentração de MP é maior perto da fonte emissora. Durante os períodos de fogo ativo, o MP<sub>2,5</sub> foi significativamente associado a efeitos respiratórios em virtude da deposição direta de partículas inaladas nos pulmões, conseqüentemente causando estresse oxidativo local e inflamação e, potencialmente, sua migração para a circulação sistêmica.<sup>(25,36)</sup>

Estudos anteriores mostraram que a exposição das células pulmonares ao MP<sub>10</sub> (diâmetro médio < 10 µm) aumenta significativamente os níveis de espécies reativas de oxigênio e citocinas inflamatórias, o risco de autofagia e os danos ao DNA. A exposição contínua ao MP<sub>10</sub> ativa a apoptose e necrose celular.<sup>(32)</sup> As morbidades respiratórias incluem asma, DPOC, bronquite e pneumonia.<sup>(43-46)</sup> As más condições socioeconômicas aumentam a associação entre a

exposição ao MP<sub>2,5</sub> proveniente de incêndios florestais e as internações hospitalares e em PS por asma e insuficiência cardíaca.<sup>(6,41,47,48)</sup>

Foi encontrada uma relação significativa e positiva entre as concentrações de ozônio durante o período de incêndios e as internações em PS por asma<sup>(6)</sup> em áreas ao redor de um incêndio florestal. A fumaça pesada pode causar irritação nos olhos, abrasões na córnea e uma redução significativa da visibilidade, aumentando o risco de acidentes de trânsito.<sup>(40)</sup>

O feto também pode ser exposto a altos níveis de HAP no útero, o que é particularmente preocupante no início da vida porque essa exposição pode ocorrer durante a chamada "janela de suscetibilidade", período que tem impacto nos mecanismos estruturais e na sinalização celular e que pode resultar no desenvolvimento de doenças na idade adulta.<sup>(25)</sup> A exposição de gestantes a MP no primeiro trimestre da gestação tem sido associada a maior risco de baixo peso ao nascer. Essa exposição em qualquer momento da gestação aumenta o risco de nascimento pré-termo.<sup>(25,49,50)</sup>

As crianças são especialmente vulneráveis à exposição a MP. Como estão em crescimento e desenvolvimento, apresentam maior volume corrente em proporção ao peso corporal, filtragem nasal menos eficiente, o que facilita a penetração mais profunda das partículas nos pulmões, e maior exposição ao ar livre. Além disso, como possuem longa expectativa de vida, os efeitos adversos dessa exposição podem ter consequências para toda a vida. Até crianças saudáveis podem apresentar sintomas de vias aéreas superiores, bem como aumento de tosse e sibilância, quando expostas à fumaça de incêndios florestais.<sup>(25)</sup>

Pessoas que vivem em áreas afetadas por incêndios florestais apresentam maior risco de doença mental, incluindo transtorno de estresse pós-traumático, depressão e insônia, em virtude de experiências traumáticas, perda de propriedade e necessidade de deslocamento.<sup>(40)</sup>

As emissões da queima de biomassa em incêndios em todo o Brasil contribuem significativamente para mortes prematuras, com os maiores incêndios ocorrendo na região Norte do Brasil. Nawaz et al.<sup>(51)</sup> relataram que as mortes prematuras atribuíveis às emissões de incêndios representaram 10% de todas as mortes prematuras relacionadas ao MP<sub>2,5</sub> no Brasil durante a temporada de incêndios de 2019.

## INCÊNDIOS E COVID-19

Estudos recentes estabeleceram fatores fisiopatológicos e associações epidemiológicas entre a exposição a MP e as infecções virais.<sup>(52)</sup> Landguth et al.<sup>(53)</sup> relataram recentemente que a exposição a altas concentrações de MP<sub>2,5</sub> durante a temporada de incêndios florestais pode estar positivamente associada ao aumento da incidência de influenza na temporada seguinte.

A associação entre a poluição do ar e a incidência de COVID-19 já foi documentada.<sup>(54)</sup> O MP pode trazer

vírus para ambientes internos, prejudicar a imunidade, aumentar a suscetibilidade individual a patógenos e facilitar a entrada de vírus no trato respiratório, possivelmente causando infecções mais graves.<sup>(55)</sup>

Estudos ecológicos recentes sugerem uma ligação entre a exposição a altos níveis de MP<sub>2,5</sub> e o aumento da mortalidade por COVID-19,<sup>(56)</sup> embora as influências de outros fatores, como densidade populacional, fatores socioeconômicos e cumprimento das medidas de distanciamento social, também devam ser consideradas.<sup>(21,57)</sup>

As populações mais vulneráveis à exposição à fumaça de incêndios florestais também são suscetíveis à infecção por SARS-CoV-2. A exposição à fumaça de incêndios florestais também pode aumentar a probabilidade de infecção por SARS-CoV-2, bem como a gravidade da COVID-19.<sup>(58)</sup>

Um estudo na cidade de São Francisco, uma das regiões afetadas por incêndios florestais na Califórnia, EUA, documentou uma associação positiva dos níveis de MP<sub>2,5</sub> e monóxido de carbono com o aumento do número de casos diários de infecção por SARS-CoV-2, destacando a importante contribuição desses poluentes ambientais como fatores desencadeantes de COVID-19 e de mortalidade. O aumento da incidência de COVID-19 e as mortes associadas também foram relacionados à exposição a poluentes ambientais de incêndios florestais (MP<sub>2,5</sub>, monóxido de carbono e ozônio) em dez diferentes localidades no estado da Califórnia.<sup>(58,59)</sup>

De acordo com Navarro et al.,<sup>(60)</sup> a ocorrência concomitante de infecção por SARS-CoV-2 e inalação de fumaça de incêndios florestais pode aumentar o risco de COVID-19 entre bombeiros florestais em virtude do transporte de SARS-CoV-2 pelo MP e da regulação da enzima conversora de angiotensina II, facilitando a entrada do vírus nas células epiteliais. A exposição à fumaça de incêndios descontrolados também pode aumentar o risco de desenvolvimento de formas mais graves de COVID-19, como síndrome de liberação de citocinas, hipotensão e SDRA.<sup>(60)</sup>

O aumento do desmatamento e o espectro da seca podem agravar a pandemia de COVID-19 e colocar em risco a vida das pessoas que vivem na Amazônia.<sup>(61)</sup> Os incêndios na Amazônia respondem por 80% do aumento regional da poluição de MP<sub>2,5</sub> e afetam 24 milhões de amazônicos. Assim, destacamos que a potencial relação entre a exposição ao MP<sub>2,5</sub> e a COVID-19 tem especial relevância para a saúde pública no Brasil, onde as taxas de infecção e mortalidade estão entre as mais altas do mundo,<sup>(62)</sup> especialmente em populações vulneráveis que podem estar altamente expostas (por exemplo, povos indígenas, cujas taxas de mortalidade por COVID-19 são quase o dobro da média brasileira).<sup>(21)</sup>

Manaus, a capital do estado do Amazonas, foi uma das cidades brasileiras mais afetadas pela pandemia de COVID-19. Um estudo anterior de detecção de anticorpos séricos indicou que 76% da população de Manaus havia sido infectada por SARS-CoV-2 até outubro de 2020, percentual superior ao estimado

para chegar à imunidade coletiva (67%).<sup>(63)</sup> Em Manaus, a chamada primeira onda atingiu o pico em abril de 2020, chegando a 120 mortes por dia em decorrência da SDRA. Nesse contexto, o forte ressurgimento da COVID-19 em janeiro de 2021 foi surpreendente, sendo a evasão imune e o aumento da transmissibilidade das variantes do SARS-CoV-2 apontados como possíveis causas.<sup>(64)</sup> É interessante notar que os picos da primeira e segunda ondas da COVID-19 em Manaus ocorreram durante a estação chuvosa, quando os incêndios não são comuns. Esse fato sugere a ausência de uma associação direta entre a exposição em curto prazo a emissões de incêndios florestais e a morbidade e mortalidade por COVID-19 na região. No entanto, a exposição em longo prazo pode aumentar a vulnerabilidade da população às infecções virais. Um estudo recente relatou que a distribuição espacial da COVID-19 no Brasil resulta de múltiplas causas, incluindo as desigualdades nos serviços de saúde, o fluxo de pessoas e as redes de conexão entre as cidades, bem como a falta de coordenação nacional e de sincronia na implementação das medidas não farmacológicas para conter a propagação do vírus, como o uso de máscaras e restrições de mobilidade.<sup>(65)</sup>

### REDES DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR

A maior conscientização sobre os riscos à saúde representados pelos incêndios florestais obriga as autoridades de saúde pública e os profissionais de saúde a aconselhar as pessoas em risco a adotar medidas que impeçam a exposição à fumaça de incêndios florestais.<sup>(25,66)</sup>

Uma fonte primária de informações disponíveis e atualizadas para auxiliar a saúde pública e os profissionais de saúde é o *Wildfire Smoke: Guide for Public Health Officials*<sup>(67)</sup>: é uma diretriz útil para ajudar os formuladores de políticas de saúde a se preparar para a fumaça dos incêndios florestais e fornece informações que podem ser compartilhadas com o público para que ele possa se proteger durante esses eventos.

A contenção das emissões (práticas de manejo da terra/fogo) e os esforços preventivos contra a exposição, além da identificação de populações suscetíveis, podem ajudar na preparação para episódios de poluição do ar e garantir que a população em risco seja evacuada de áreas perigosas quando os eventos ameaçarem sua segurança. Portanto, estratégias efetivas de comunicação em saúde pública devem ser desenvolvidas em colaboração com comunidades, formuladores de políticas de saúde, profissionais de saúde, autoridades estaduais e autoridades do corpo de bombeiros, pois os impactos da fumaça dos incêndios florestais na saúde pública continuarão a aumentar.<sup>(68-71)</sup>

É fundamental expandir a rede de monitoramento da qualidade do ar nos estados da Amazônia Legal. Sem esse monitoramento, o tamanho do problema ambiental relacionado à exposição aos poluentes emitidos pelos

incêndios não pode ser determinado. Isso dificulta a formulação de políticas públicas efetivas para a redução desse problema. As agências ambientais estaduais são responsáveis por monitorar a qualidade do ar, divulgar informações precisas e claras sobre ela e proporcionar a melhor comunicação por meio de campanhas públicas de conscientização destinadas a capacitar as pessoas a modificar seu comportamento a fim de melhorar sua saúde e a qualidade do ar que respiram.<sup>(24)</sup>

### RECOMENDAÇÕES GERAIS PARA REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO EM ÁREAS COM FUMAÇA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS/QUEIMADAS<sup>(67)</sup>

- Evitar trabalhos extenuantes ou prolongados: se estiver trabalhando ao ar livre, prestar atenção à ocorrência de sintomas; eles são uma indicação de que a exposição precisa ser reduzida.
- Reforçar a hidratação para proteção das vias aéreas.
- Se for necessário aconselhar o paciente a ficar dentro de ambientes internos, o ar interno deve ser mantido o mais limpo possível.
- Se forem utilizados sistemas de ar condicionado em casa, manter a entrada de ar fresco fechada e o filtro limpo para evitar que partículas adicionais contaminem o ar interno.
- Se não houver sistemas de ar condicionado em casa, pode ser perigoso ficar dentro de casa com as janelas fechadas em climas extremamente quentes; recomenda-se o uso de abrigos alternativos, como ficar na casa de um parente ou amigo ou em um abrigo com ar mais limpo.
- Se for necessário dirigir, ligar o sistema de ar condicionado do carro no modo de recirculação para evitar que o ar enfumaçado entre no carro, embora a capacidade desses filtros seja limitada.
- Evitar atividades que aumentem a poluição interna, como o uso de qualquer coisa que possa queimar (lareiras a lenha, fogões a gás, velas, incensos, repelentes de mosquitos, entre outros).
- Os pacientes devem ser encorajados a parar de fumar, pois o tabagismo aumenta a quantidade de poluentes nos pulmões dos fumantes e daqueles ao seu redor.
- Aconselhar os pacientes a procurar um serviço de saúde de referência ao apresentarem novos sintomas cardiovasculares ou respiratórios ou se outros problemas de saúde existentes piorarem.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A exposição às emissões de incêndios florestais é um importante e crescente problema clínico e de saúde pública. As mudanças no padrão climático, incluindo as secas, aumentam os riscos de incêndios florestais e de comorbidades. A exposição à fumaça dos incêndios florestais na Amazônia tem impacto na saúde das populações de maior risco, incluindo aquelas com doenças cardíacas ou pulmonares crônicas, idosos, crianças, gestantes e fetos.

São necessárias políticas públicas para melhorar a comunicação de informações acionáveis por parte dos

profissionais de saúde pública para que as populações propensas a exposição à fumaça de incêndios possam

agir de forma adequada, melhorando efetivamente sua saúde e qualidade de vida.

## REFERÊNCIAS

- Müller-Hansen F, Cardoso M, Dalla-Nora EL, Donges JF, Heitzig J, Kurths J, et al. A matrix clustering method to explore patterns of land-cover transitions in satellite-derived maps of the Brazilian Amazon. *Nonlin Processes Geophys* 2017; 24:113-123. <https://doi.org/10.5194/npg-24-113-2017>
- Davidson EA, de Araújo AC, Artaxo P, Balch JK, Brown IF, C Bustamante MM, et al. Amazon basin in transition [published correction appears in *Nature*. 2012 Mar 8;483(7388):232]. *Nature*. 2012;481(7381):321-328. <https://doi.org/10.1038/nature10717>
- Marengo JA, Souza CM Jr, Thonicke K, Burton C, Halladay K, Betts RA, et al. Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability. *Front Earth Sci*. 2018;6:1-21. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228>
- Bodmer R, Major P, Antunez M, Chota K, Fang T, Puertas P, et al. Major shifts in Amazon wildlife populations from recent intensification of floods and drought. *Conserv Biol*. 2018;32(2):333-344. <https://doi.org/10.1111/cobi.12993>
- Artaxo P, Rizzo LV, Brito JF, Barbosa HM, Arana A, Sena ET, et al. Atmospheric aerosols in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions. *Faraday Discuss*. 2013;165:203-235. <https://doi.org/10.1039/c3fd00052d>
- Reid CE, Brauer M, Johnston FH, Jerrett M, Balmes JR, Elliott CT. Critical Review of Health Impacts of Wildfire Smoke Exposure. *Environ Health Perspect*. 2016;124(9):1334-1343. <https://doi.org/10.1289/ehp.1409277>
- Santos RM. O aporte de poeira do Saara aos aerossóis na Amazônia Central determinada com medidas in situ e sensoriamento remoto [dissertation]. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA); 2018. Available from: <https://btd.inpa.gov.br/handle/tede/2554>
- Barlow J, Berenguer E, Carmenta R, Franca F. Clarifying Amazonia's burning crisis. *Glob Chang Biol*. 2020;26(2):319-321. <https://doi.org/10.1111/gcb.14872>
- Libonati R, Pereira JMC, Da Camara CC, Peres LF, Oom D, Rodrigues JA, et al. Twenty-first century droughts have not increasingly exacerbated fire season severity in the Brazilian Amazon. *Sci Rep*. 2021;11(1):4400. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82158-8>
- Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) [homepage on the Internet]. Brasília: INPE; c2021 [cited 2021 Apr 01]. Programa Queimadas. Monitoramento dos Focos Ativos por Estado. Available from: [https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas\\_estados/](https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados/)
- Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). TerraBrasilis [homepage on the Internet]. Brasília: INPE; c2021 [cited 2021 Apr 01]. Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Brasileira por Satélite (PRODES). Taxas de Desmatamento. Amazônia Legal. Estados. Available from: [http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal\\_amazon/rates](http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates)
- Burke M, Driscoll A, Heft-Neal S, Xue J, Burney J, Wara M. The changing risk and burden of wildfire in the United States. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2021;118(2):e2011048118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2011048118>
- da Silva Junior CA, Teodoro PE, Delgado RC, Teodoro LPR, Lima M, de Andréa Pantaleão A, et al. Persistent fire foci in all biomes undermine the Paris Agreement in Brazil. *Sci Rep*. 2020;10(1):16246. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72571-w>
- Morgan WT, Darbyshire E, Spracklen DV, Artaxo P, Coe H. Non-deforestation drivers of fires are increasingly important sources of aerosol and carbon dioxide emissions across Amazonia. *Sci Rep*. 2019;9(1):16975. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53112-6>
- Nobre CA, Sampaio G, Borma LS, Castilla-Rubio JC, Silva JS, Cardoso M. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2016;113(39):10759-10768. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113>
- Reddington CL, Butt EW, Ridley DA, Artaxo P, Morgan WT, Coe H, et al. Air quality and human health improvements from reductions in deforestation-related fire in Brazil. *Nature Geosci*. 2015;8:768-771. <https://doi.org/10.1038/ngeo2535>
- Observatório do Clima. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) Brasil [homepage on the Internet]. Brasília: SEEG Brasil [cited 2021 Mar 01]. MAPBIOMAS. Available from: <https://mapbiomas.org>
- Albuquerque I, Alencar A, Angelo C, Azevedo T, Barcellos F, Coluna I, et al. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019. [monograph on the Internet] Brasília: Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) Brasil; 2020 [cited 2021 May 01]. Available from: <https://energiaambiente.org.br/produto/analise-das-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-2020>
- Brando PM, Soares-Filho B, Rodrigues L, Assunção A, Morton D, Tuschneider D, et al. The gathering firestorm in southern Amazonia. *Sci Adv*. 2020;6(2):eaay1632. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay1632>
- Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMCC) [homepage on the Internet]. Rio de Janeiro: PBMCC, c2013 [cited 2021 Mar 01]. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo do GT2. Available from: <https://www.pbmcc.coppe.ufrj.br/index.php/pt/publicacoes/relatorios-pbmcc>
- Marlier ME, Bonilla EX, Mickle LJ. How Do Brazilian Fires Affect Air Pollution and Public Health?. *Geohealth*. 2020;4(12):e2020GH000331. <https://doi.org/10.1029/2020GH000331>
- Castro MC, Baeza A, Codeço CT, Cucunubá ZM, Dal'Asta AP, De Leo GA, et al. Development, environmental degradation, and disease spread in the Brazilian Amazon. *PLoS Biol*. 2019;17(11):e3000526. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000526>
- Black C, Tesfaigzi Y, Bassein JA, Miller LA. Wildfire smoke exposure and human health: Significant gaps in research for a growing public health issue. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2017;55:186-195. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2017.08.022>
- Kelly FJ, Fussell JC. Global nature of airborne particle toxicity and health effects: a focus on megacities, wildfires, dust storms and residential biomass burning. *Toxicol Res (Camb)*. 2020;9(4):331-345. <https://doi.org/10.1093/toxres/taaa044>
- Holm SM, Miller MD, Balmes JR. Health effects of wildfire smoke in children and public health tools: a narrative review. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2021;31(1):1-20. <https://doi.org/10.1038/s41370-020-00267-4>
- Pope RJ, Arnold SR, Chipperfield MP, Reddington CLS, Butt EW, Keslake TD. Substantial Increases in Eastern Amazon and Cerrado Biomass Burning-Sourced Tropospheric Ozone. *Geophys Res Lett*. 2020;47(3):1-10. doi:10.1029/2019gl084143 <https://doi.org/10.1029/2019GL084143>
- Wang T, Zhao G, Tan T, Yu Y, Tang R, Dong H, et al. Effects of biomass burning and photochemical oxidation on the black carbon mixing state and light absorption in summer season. *Atmos Environ*. 2021;248:118230. doi:10.1016/j.atmosenv.2021.118230 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118230>
- Fundação Oswaldo Cruz. Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde (ICICT). Instituto de Energia e Meio Ambiente [homepage on the Internet]. Rio de Janeiro: ICICT/IEMA; c2014 [cited 2021 Apr 01]. 1o Diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil. [Adobe Acrobat document, 277p.]. Available from: [https://www.icict.fiocruz.br/sites/www.icict.fiocruz.br/files/Diagnostico\\_Redde\\_de\\_Monitoramento\\_da\\_Qualidade\\_do\\_Ar.pdf](https://www.icict.fiocruz.br/sites/www.icict.fiocruz.br/files/Diagnostico_Redde_de_Monitoramento_da_Qualidade_do_Ar.pdf)
- Acre Qualidade do Ar [homepage on the Internet]. Rio Branco: Ministério Público do Acre; Universidade Federal do Acre; c2021 [cited 2021 Apr 01]. Monitoramento da Qualidade do Ar do Acre. Available from: <http://www.acrequalidadedoar.info>
- Martin ST, Andreae MO, Artaxo P, Baumgardner S, Chen Q, Goldstein AH, et al. Sources and properties of Amazonian aerosol particles. *Rev Geophys*. 2010;48(2):RG2002. <https://doi.org/10.1029/2008RG000280>
- de Oliveira Alves N, Brito J, Caumo S, Arana A, de Souza Hacon S, Artaxo P, et al. Biomass burning in the Amazon region: Aerosol source apportionment and associated health risk assessment. *Atmos Environ*. 2015;120:277-285. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.059>
- de Oliveira Alves N, Vessoni AT, Quinet A, Fortunato RS, Kajitani GS, Peixoto MS, et al. Biomass burning in the Amazon region causes DNA damage and cell death in human lung cells. *Sci Rep*. 2017;7(1):10937. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11024-3>
- Floutsi AA, Baars H, Radenz M, Haaring M, Yin Z, Seifert P, et al. Advection of Biomass Burning Aerosols towards the Southern Hemispheric Mid-Latitude Station of Punta Arenas as Observed with Multiwavelength Polarization Raman Lidar. *Rem Sensing*. 2021;13(1):138. <https://doi.org/10.3390/rs13010138>

34. Pereira GM, da Silva Caumo SE, Grandis A, do Nascimento EM, Correia AL, Barbosa HMJ, et al. Physical and chemical characterization of the 2019 "black rain" event in the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil. *Atmos Environ*. 2021;248:118229. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118229>
35. Bourgeois Q, Ekman AML, Krejci R. Aerosol transport over the Andes from the Amazon Basin to the remote Pacific Ocean: A multiyear CALIOP assessment. *J Geoph Res Atmosph*. 2015;120:8411-8425. <https://doi.org/10.1002/2015JD023254>
36. de Oliveira BF, Carvalho L, Mourão DS, Mattos RC, de Castro HA, Artaxo P, et al. Environmental Exposure Associated with Oxidative Stress Biomarkers in Children and Adolescents Residents in Brazilian Western Amazon. *J Environ Prot*. 2018;9(4):347-367. <https://doi.org/10.4236/jep.2018.94023>
37. Carmo CN, Hacon S, Longo KM, Freitas S, Ignotti E, Leon AP, et al. Association between particulate matter from biomass burning and respiratory diseases in the southern region of the Brazilian Amazon [Article in Portuguese]. *Rev Panam Salud Publica*. 2010;27(1):10-16. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892010000100002>
38. Oliveira BF, Ignotti E, Hacon SS. A systematic review of the physical and chemical characteristics of pollutants from biomass burning and combustion of fossil fuels and health effects in Brazil. *Cad Saude Publica*. 2011;27(9):1678-1698. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2011000900003>
39. Ellwanger JH, Kulmann-Leal B, Kaminski VL, Valverde-Villegas JM, Veiga ABGD, Spilki FR, et al. Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. *An Acad Bras Cienc*. 2020;92(1):e20191375. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020191375>
40. Xu R, Yu P, Abramson MJ, Johnston FH, Samet JM, Bell ML, et al. Wildfires, Global Climate Change, and Human Health. *N Engl J Med*. 2020;383(22):2173-2181. <https://doi.org/10.1056/NEJMs2028985>
41. Gonçalves Kdos S, Siqueira AS, Castro HA, Hacon Sde S. Indicator of socio-environmental vulnerability in the Western Amazon. The case of the city of Porto Velho, State of Rondônia, Brazil [Article in Portuguese]. *Cien Saude Colet*. 2014;19(9):3809-3818. <https://doi.org/10.1590/1413-81232014199.14272013>
42. Carmo CN, Alves MB, Hacon SS. Impact of biomass burning and weather conditions on children's health in a city of Western Amazon region. *Air Qual Atmos Health*. 2013;6:517-525. <https://doi.org/10.1007/s11869-012-0191-6>
43. Cascio WE. Wildland fire smoke and human health. *Sci Total Environ*. 2018;624:586-595. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.086>
44. Jacobson Lda S, Hacon Sde S, de Castro HA, Ignotti E, Artaxo P, Saldiva PH, et al. Acute effects of particulate matter and black carbon from seasonal fires on peak expiratory flow of schoolchildren in the Brazilian Amazon. *PLoS One*. 2014;9(8):e104177. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0104177>
45. Silva PR, Ignotti E, Oliveira BF, Junger WL, Morais F, Artaxo P, et al. High risk of respiratory diseases in children in the fire period in Western Amazon. *Rev Saude Publica*. 2016;50:29. <https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2016050005667>
46. Andrade Filho VS, Artaxo P, Hacon S, Carmo CN, Cirino G. Aerosols from biomass burning and respiratory diseases in children, Manaus, Northern Brazil. *Rev Saude Publica*. 2013;47(2):239-247. <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004011>
47. Mascarenhas MD, Vieira LC, Lanzieri TM, Leal AP, Duarte AF, Hatch DL. Anthropogenic air pollution and respiratory disease-related emergency room visits in Rio Branco, Brazil—September, 2005. *J Bras Pneumol*. 2008;34(1):42-46. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132008000100008>
48. Ignotti E, Hacon Sde S, Junger WL, Mourão D, Longo K, Freitas S, et al. Air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in the subequatorial Amazon: a time series approach. *Cad Saude Publica*. 2010;26(4):747-761. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2010000400017>
49. Cândido da Silva AM, Moi GP, Mattos IE, Hacon Sde S. Low birth weight at term and the presence of fine particulate matter and carbon monoxide in the Brazilian Amazon: a population-based retrospective cohort study. *BMC Pregnancy Childbirth*. 2014;14:309. <https://doi.org/10.1186/1471-2393-14-309>
50. Prass TS, Lopes SR, Dórea JG, Marques RC, Brandão KG. Amazon forest fires between 2001 and 2006 and birth weight in Porto Velho. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2012;89(1):1-7. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0621-z>
51. Nawaz MO, Henze DK. Premature Deaths in Brazil Associated With Long-Term Exposure to PM2.5 From Amazon Fires Between 2016 and 2019. *Geohealth*. 2020;4(8):e2020GH000268. <https://doi.org/10.1029/2020GH000268>
52. Wang B, Wang Z, Zhao J, Zeng X, Wu M, Wang S, et al. Epidemiological and clinical course of 483 patients with COVID-19 in Wuhan, China: a single-center, retrospective study from the mobile cabin hospital. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2020;39(12):2309-2315. <https://doi.org/10.1007/s10096-020-03927-3>
53. Landguth EL, Holden ZA, Graham J, Stark B, Mokhtari EB, Kaleczyc E, et al. The delayed effect of wildfire season particulate matter on subsequent influenza season in a mountain west region of the USA. *Environ Int*. 2020;139:105668. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105668>
54. Urrutia-Pereira M, Mello-da-Silva CA, Solé D. COVID-19 and air pollution: A dangerous association?. *Allergol Immunopathol (Madr)*. 2020;48(5):496-499. <https://doi.org/10.1016/j.aller.2020.05.004>
55. Setti L, Passarini F, De Gennaro G, Barbieri P, Perrone MG, Borelli M, et al. SARS-Cov-2RNA found on particulate matter of Bergamo in Northern Italy: First evidence. *Environ Res*. 2020;188:109754. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109754>
56. Rodriguez-Diaz CE, Guilamo-Ramos V, Mena L, Hall E, Honer mann B, Crowley JS, et al. Risk for COVID-19 infection and death among Latinos in the United States: examining heterogeneity in transmission dynamics. *Ann Epidemiol*. 2020;52:46-53.e2. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2020.07.007>
57. Urrutia-Pereira M, Mello-da-Silva CA, Solé D. Household pollution and COVID-19: irrelevant association?. *Allergol Immunopathol (Madr)*. 2021;49(1):146-149. <https://doi.org/10.15586/aei.v49i1.48>
58. Meo SA, Abukhalaf AA, Alomar AA, Alessa OM. Wildfire and COVID-19 pandemic: effect of environmental pollution PM-2.5 and carbon monoxide on the dynamics of daily cases and deaths due to SARS-COV-2 infection in San-Francisco USA. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2020;24(19):10286-10292. [https://doi.org/10.26355/eurrev\\_202010\\_23253](https://doi.org/10.26355/eurrev_202010_23253)
59. Meo SA, Abukhalaf AA, Alomar AA, Alessa OM, Sami W, Klonoff DC. Effect of environmental pollutants PM-2.5, carbon monoxide, and ozone on the incidence and mortality of SARS-COV-2 infection in ten wildfire affected counties in California. *Sci Total Environ*. 2021;757:143948. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143948>
60. Navarro KM, Clark KA, Hardt DJ, Reid CE, Lahm PW, Domitrovich JW, et al. Wildland firefighter exposure to smoke and COVID-19: A new risk on the fire line. *Sci Total Environ*. 2021;760:144296. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144296>
61. de Oliveira G, Chen JM, Stark SC, Berenguer E, Moutinho P, Artaxo P, et al. Smoke pollution's impacts in Amazonia. *Science*. 2020;369(6504):634-635. <https://doi.org/10.1126/science.abd5942>
62. Johns Hopkins University [homepage on the Internet]. Baltimore (MD): the University; c2020 [cited 2021 Apr 10]. COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE). Available from: <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>
63. Buss LF, Prete CA Jr, Abraham CMM, Mendrone A Jr, Salomon T, de Almeida-Neto C, et al. Three-quarters attack rate of SARS-CoV-2 in the Brazilian Amazon during a largely unmitigated epidemic. *Science*. 2021;371(6526):288-292. <https://doi.org/10.1126/science.abe9728>
64. Sabino EC, Buss LF, Carvalho MPS, Prete CA Jr, Crispim MAE, Fraiji NA, et al. Resurgence of COVID-19 in Manaus, Brazil, despite high seroprevalence. *Lancet*. 2021;397(10273):452-455. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00183-5)
65. Castro MC, Kim S, Barberia L, Ribeiro AF, Gurzenda S, Ribeiro KB, et al. Spatiotemporal pattern of COVID-19 spread in Brazil. *Science*. 2021;372(6544):821-826. <https://doi.org/10.1126/science.abh1558>
66. Lapola DM, Silva JMCD, Braga DR, Carpigiani L, Ogawa F, Torres RR, et al. A climate-change vulnerability and adaptation assessment for Brazil's protected areas. *Conserv Biol*. 2020;34(2):427-437. <https://doi.org/10.1111/cobi.13405>
67. AirNow [homepage on the Internet]. Research Triangle Park (NC): US Environmental Protection Agency/ Office of Air Quality Planning and Standards [cited 2021 Mar 01]. Wildfire Smoke: Guide for Public Health Officials. Available from: <https://www.airnow.gov/publications/wildfire-smoke-guide/wildfire-smoke-a-guide-for-public-health-officials/>
68. Liu JC, Micklely LJ, Sulprizio MP, Dominici F, Yue X, Ebisu K, et al. Particulate Air Pollution from Wildfires in the Western US under Climate Change. *Clim Change*. 2016;138(3):655-666. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1762-6>
69. Navarro K. Working in Smoke: Wildfire Impacts on the Health of Firefighters and Outdoor Workers and Mitigation Strategies. *Clin Chest Med*. 2020;41(4):763-769. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2020.08.017>
70. Balmes JR. The Changing Nature of Wildfires: Impacts on the Health of the Public. *Clin Chest Med*. 2020;41(4):771-776. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2020.08.006>
71. Rice MB, Hendersom SB, Lambert AA, Cromar KR, Hall JA, Cascio WE, et al. Respiratory Impacts of Wildland Fire Smoke: Future Challenges and Policy Opportunities. An Official American Thoracic Society Workshop Report. *Ann Am Thorac Soc*. 2021;18(6):921-930. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.202102-148ST>