

Capítulo 21 Em Síntese

Impactos na saúde e bem-estar humano devido à degradação dos ecossistemas terrestres e aquáticos



Queimadas em Rio Branco, no Acre, 2020 (Foto: Sérgio Vale/Amazônia Real)



THE AMAZON WE WANT
Science Panel for the Amazon

Impactos na saúde e bem-estar humano devido à degradação dos ecossistemas terrestres e aquáticos

Dolors Armenteras^{a}, Erika Berenguer^{b,c*}, Cecilia S. Andreazzi^d, Liliana M. Dávalos^e, Fabrice Duponchelle^f, Sandra Hacon^d, Andres G. Lescano^g, Marcia N. Macedo^h, Nathália Nascimentoⁱ*

Mensagens Principais e Recomendações

- 1) Existe evidência substancial de que a degradação ambiental pode ter um impacto agudo e crônico sobre a saúde humana.
- 2) A degradação dos ecossistemas terrestres e aquáticos gera complexas reações em cadeia com vários impactos sobre o bem-estar e a saúde humana.
- 3) Epidemias e a crescente incidência de diferentes doenças infecciosas emergentes, reemergentes e endêmicas na Amazônia podem ser associados a mudanças ambientais, incluindo o desmatamento.
- 4) A poluição, inclusive poluição do ar derivada de desmatamentos e queimadas, bem como a contaminação dos sistemas aquáticos por mercúrio devido a atividades de mineração, impactam a saúde humana no longo e curto prazos.
- 5) Existe a necessidade de melhorias nos serviços de saúde pública em toda a região amazônica, incluindo maior acesso a esses serviços e saneamento ambiental, bem como maior vigilância sobre doenças infecciosas na população humana, a fim de reduzir o risco de emergência viral a partir de populações silvestres.
- 6) A prevenção de doenças infecciosas exige um robusto sistema de monitoramento focado na circulação de patógenos no ambiente (água, solo e sedimentos), bem como nas populações de hospedeiros e reservatórios animais.
- 7) Interações complexas entre causas do desmatamento e degradação de ecossistemas e a resultante incidência de doenças na região amazônica precisa ser investigadas com maior profundidade. É especialmente importante destacar o papel do desmatamento e das mudanças climáticas nos modelos de doenças transmissíveis por vetores.
- 8) A redução do desmatamento e, como consequência, das queimadas causadas pelo desmatamento é essencial para a diminuição das síndromes respiratórias na região.
- 9) O combate eficaz às operações ilegais de mineração é crucial para deter a contaminação dos rios e peixes por mercúrio.
- 10) São necessários métodos e abordagens inovadoras para combater os impactos cumulativos e amplos da degradação dos ecossistemas florestais e aquáticos sobre a saúde humana.
- 11) Políticas legítimas de gestão participativa, desenvolvidas em uma estrutura intercultural (por exemplo, Indígena, acadêmica e institucional) são necessárias para melhorar as estratégias voltadas à segurança alimentar e saúde humana. A promoção de práticas socialmente justas e culturalmente sensíveis pode ser atingida através de pesquisa orientada à ação, onde os atores da academia e da comunidade desenvolvem soluções práticas em conjunto.

^a Ecología del Paisaje y Modelación de Ecosistemas ECOLMOD, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Colombia, armenterasp@unal.edu.co

^b Environmental Change Institute, School of Geography and the Environment, University of Oxford, OX1 3QY, Oxford, UK, erika.berenguer@ouce.ox.ac.uk

^c Lancaster Environment Centre, Lancaster University, LA1 4YQ, Lancaster, UK

^d Instituto Oswaldo Cruz (IOC), FIOCRUZ, Av. Brasil, 4365, Manguinhos, Rio de Janeiro RJ, 21040-900, Brazil

^e State University of New York at Stony Brook, 100 Nicolls Rd, Stony Brook NY 11794, United States

^f Institut de Recherche pour le Développement (IRD), MARBEC (Univ Montpellier, CNRS, IFREMER, IRD), Montpellier, France

^g Universidad Peruana Cayetano Heredia, Latin American Center of Excellence for Climate Change and Health, San Martín de Porres, Peru

^h Woodwell Climate Research Center, Falmouth, USA / Amazon Environmental Research Center (IPAM), Brasília, Brazil

ⁱ Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Instituto de Estudos Climáticos, Vitória, Espírito Santo, Brazil

Resumo As florestas da Amazônia e os ecossistemas aquáticos são a base para vários serviços ecossistêmicos, todos com um papel crucial para a subsistência das pessoas, bem-estar e saúde humana. Alguns dos problemas de saúde mais relevantes e desafiadores na Amazônia estão associados ao desmatamento e à degradação dos ecossistemas terrestres e aquáticos, incluindo o risco de doenças infecciosas, problemas respiratórios causados pela exposição à fumaça de desmatamentos e queimadas e à contaminação por mercúrio causada pela mineração de ouro. Neste documento, demonstramos como a degradação ambiental afeta a saúde de milhões de pessoas na região amazônica.

Introdução De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), saúde é “um estado de completo bem-estar físico, mental e social”, que vai além da ausência de doenças¹. Desfrutar de um ambiente limpo e sustentável é essencial para a saúde e o bem-estar humano², e preservar regiões cruciais como a Bacia Amazônica é fundamental para atingir esse objetivo. Entretanto, a quantificação dos riscos e impactos da degradação ambiental na saúde humana impõe vários desafios metodológicos, especialmente quando se consideram questões complexas, como a saúde mental ou o bem-estar social. Por exemplo, a perda da cultura, dialetos e tradições indubitavelmente possui um profundo impacto no longo prazo sobre o bem-estar dos já vulneráveis povos Indígenas e das comunidades locais^{3,4}.

Existem múltiplos fatores para o desmatamento e a degradação geral do meio-ambiente na Amazônia, incluindo a expansão agrícola, exploração madeireira, queimadas, mineração, expansão urbana e represas hidrelétricas^{5,6}. O tipo e o grau de degradação associada a cada atividade podem ter impactos específicos sobre a transmissão de doenças infecciosas, especialmente doenças zoonóticas ou transmitidas por vetores⁷. Esses fatores também podem contribuir para outros problemas de saúde, como síndromes respiratórias, contaminação por mercúrio e insegurança alimentar. Os processos relacionados a essas atividades podem ter impactos adicionais, muitas vezes cumulativos sobre o bem-estar humano.

Impactos do desmatamento sobre a diversidade e a disseminação de doenças As mudanças ambientais na Amazônia, especialmente alterações no clima, microclimas e uso da terra, têm sido vinculadas ao crescente risco (e incidência) de doenças infecciosas emergentes e reemergentes, com a expectativa de seu aumento com os desmatamentos e a mudança climática antropogênica. Existem diferenças importantes que dependem da dinâmica de cada agente infeccioso. Alguns casos são discutidos a seguir.

Malária Décadas de trabalho sobre o desmatamento na Amazônia e dos parasitas do gênero *Plasmodium*, os quais causam malária nos seres humanos, comprovaram as relações não lineares dependentes de escala com a incidência da doença⁸, além de importantes descobertas a partir da incidência da doença em relação ao desmatamento⁹. Análises da densidade do mosquito *Anopheles darlingi*, principal vetor na América do Sul, apresentam uma relação positiva com o desmatamento recente¹⁰⁻¹², implicando que o desmatamento florestal aumenta o risco da incidência de malária perto das bordas da floresta. Em regiões com assentamentos humanos consolidados, contudo, a incidência de malária é relacionada positivamente com a cobertura florestal^{13,14}. Essa aparente não linearidade pode ser explicada em parte pela ecologia do *A. darlingi*, que favorece as bordas das florestas, o que se traduz em maior risco de incidência de malária tanto em áreas recém-desmatadas^{15,16} quanto em trechos de florestas em áreas urbanas.

Fatores socioeconômicos, incluindo a época da atividade humana e padrões de migração, também podem ser importantes na modulação do risco de malária e surtos da doença, refletindo uma forte relação entre a ecologia do vetor e as atividades humanas. Da mesma forma, em uma escala espacial diferente, a presença da mineração de ouro foi vinculada à incidência de malária no Brasil¹⁴, demonstrando como a velocidade das mudanças ambientais pode aumentar a exposição. Finalmente, na escala da Amazônia brasileira como um todo, trabalhos recentes sugerem uma complexa relação bidirecional entre o risco da incidência de malária e o

desmatamento. Embora o desmatamento tenha aumentado significativamente a transmissão de malária (aumento de 10% na taxa de desmatamento levou a um aumento de 3,3% na incidência da doença), uma alta incidência de malária simultaneamente reduziu o desmatamento florestal (aumento de 1% na incidência de malária levou a uma redução de 1,4% no desmatamento). O último foi presumivelmente associado a alterações no comportamento humano, atividade econômica, migração e assentamento, sendo que a força das interações foi atenuada à medida que o uso da terra se intensificou⁹.

Doença de chagas A doença de chagas, transmitida pelos triatomíneos *Rhodnius* e *Triatoma*, também reage a mudanças ambientais. Na interface entre os assentamentos humanos e os habitats florestais, os vetores da doença de chagas parecem ter se adaptado rapidamente aos assentamentos improvisados, uma relação positiva entre a fragmentação da floresta e a incidência da doença¹⁷. Ambientes urbanizados, contudo, não são totalmente isentos da transmissão, a despeito da ausência de cobertura florestal. Isso porque a doença de chagas pode ser contraída por via oral, através da ingestão de sucos de frutas contaminados, tais como açaí e bacaba¹⁸⁻²⁰. Dessa forma, apesar de novos assentamentos na floresta experimentarem ciclos selváticos da doença, os assentamentos urbanizados, onde seria esperada uma menor incidência de vetores devido a temperaturas mais altas e menor cobertura florestal¹⁷, experimentam surtos através de um mecanismo epidemiológico diferente⁷.

Leishmaniose tegumentar americana Fatores ambientais como o desmatamento podem se relacionar positivamente com a incidência de leishmaniose tegumentar americana (LTA)^{21,22}. Entretanto, nos municípios amazônicos, a leishmaniose tegumentar diminuiu com a melhoria na eficácia do sistema de saúde²³. Além disso, a introdução de animais domésticos nas áreas recém-assentadas também pode contribuir para a aclimatização dos vetores nas paisagens humanas, aumentando os riscos da doença em vistas do desmatamento²⁴. Dessa forma, relações não lineares entre perda florestal e risco da doença são mediadas por interações com a fauna

diversa do vetor e os sistemas locais de saúde.

Emergência de novas doenças Medidas de vigilância para identificar os pontos de acesso dos coronavírus zoonóticos com potencial de transbordamento sinalizaram a Amazônia como uma região com diversidade excepcionalmente alta, apesar de pouco conhecida, para vírus e hospedeiros virais²⁵. O crescente contato entre humanos e a natureza também aumenta o potencial para transbordamentos zoonóticos²⁶. As previsões de riscos foram originariamente baseadas em descobertas de coronavírus alfa e beta em algumas espécies de morcegos, esse último como notadamente uma subespécie de coronavírus que inclui patógenos humanos que causam SARS, MERS e COVID-19²⁵ (apesar de não terem sido encontrados parentes próximos desses patógenos humanos na fauna das Américas). Outros vírus também circulam na região amazônica e apresentam sérios riscos de surtos generalizados, incluindo arboviroses em Rocio, Oropouche, Mayaro e Saint Louis^{27,28}, hantaviroses²⁹, e arenaviroses³⁰. Das 500 espécies de arbovírus registrados no Catálogo Internacional de Arbovírus, 220 ocorriam somente na Amazônia Brasileira³¹. Em vista da escassez de dados, nosso entendimento do potencial de uma mudança no uso da terra aumentar o risco de transbordamento continua limitado.

Como a diversidade de vírus nas populações de animais silvestres é ampla, mas o potencial de transbordamento para maioria dos vírus é limitado, uma vigilância robusta das doenças infecciosas na população humana é uma forma eficaz de prevenir futuras pandemias^{32,33}. Melhorias nos serviços de saúde pública em toda a região também reduziriam a incidência de patógenos bem conhecidos, como *Plasmodium* ou *Leishmania*, sendo necessárias para reduzir o risco de emergência viral a partir das populações silvestres. Enquanto a Amazônia abriga uma variedade extremamente diversificada de hospedeiros e diversas comunidades de vírus de potencial patogênico humano desconhecido, prevenir uma pandemia catastrófica exige a implementação de estratégias que melhorem a saúde humana de uma forma mais ampla.

A pandemia da COVID-19 lembrou ao mundo sobre os riscos de transbordamentos zoonóticos. Entretanto, o potencial de transbordamento reverso ou poluição de patógenos de humanos para a vida silvestre é igualmente importante para a biodiversidade³⁴. Décadas de pesquisa sobre arbovírus transmitidos por vetores já revelaram as consequências do transbordamento inverso. Fora da Amazônia, no estado do Espírito Santo (Brasil), um surto de febre amarelo matou dezenas de primatas e levou a uma reação rápida das autoridades de saúde pública para a vacinação das pessoas³⁵. Embora uma cadeia de transmissão não tenha sido estabelecida entre os primatas selvagens, foram documentados mosquitos selváticos que abrigam os recentemente introduzidos vírus da Chikungunya e Zika, indicando um risco plausível à vida silvestre³⁶. A descoberta de que os macacos-da-noite (*Aotus*) endêmicos não contraem dengue após exposição aos mosquitos infectados em Iquitos sugere que a transmissão da dengue permanece confinada a humanos e os vetores insetos, e não geram um ciclo selvático³⁶. Quanto ao risco de emergência zoonótica, combater o estabelecimento de reservatórios zoonóticos para arbovírus exige investimentos permanentes no monitoramento da diversidade de vírus que circulam entre a população humana.

Impactos da contaminação por mercúrio, proveniente de atividades de mineração, na saúde humana e segurança alimentar Os garimpos de ouro são geralmente associados à contaminação por vários elementos, incluindo arsênico (As), cobalto (Co), chumbo (Pb), manganês (Mn) e zinco (Zn)^{37,38}. Esses elementos são relacionados a vários efeitos adversos à saúde, inclusive mortalidade infantil. Entretanto, os impactos dessas substâncias na saúde humana na Amazônia ainda são largamente desconhecidos. O principal impacto das minas de ouro sobre a saúde humana na região é a contaminação por mercúrio (Hg). As comunidades que vivem próximas a operações de extração de ouro são expostas a concentrações prejudiciais de mercúrio emitidas durante a extração de ouro e descarregadas em cursos d'água, solos e na atmosfera³⁹. Após o mercúrio metálico inorgânico ser liberado por atividades antropogênicas, ele é transformado por

certas bactérias em sua forma orgânica tóxica, o metilmercúrio (MeHg). Esse processo permite que o metilmercúrio penetre nas redes alimentares aquáticas, onde pode se acumular em organismos individuais (bioacumulação), um processo que é ampliado à medida que avança para níveis tróficos mais altos (ex.: biomagnificação em peixes predatórios)^{40,41}. Esse processo pode afetar os peixes que são de grande importância para a segurança alimentar das comunidades locais⁴².

A despeito da falta de análises sistemáticas, estudos da Colômbia, Peru e Bolívia durante os últimos 20 anos têm documentado envenenamento por mercúrio mesmo em populações indígenas remotas. Além disso, a exposição ao mercúrio pode ser tóxica mesmo em doses muito pequenas e os efeitos toxicológicos do mercúrio são preocupantes para a saúde pública, em vista de sua capacidade de atravessar a placenta e a barreira hematoencefálica⁴³. O mercúrio alcança altos níveis na circulação materna e do feto, com potencial de causar danos irreversíveis ao desenvolvimento da criança, incluindo a redução da capacidade intelectual e motora³⁹. Estudos que investigam associações entre níveis de mercúrio no cabelo e o desempenho neuropsicológico observaram fortes vínculos entre a presença de mercúrio e deficiências cognitivas em crianças e adolescentes na Amazônia⁴⁴⁻⁴⁶. O mercúrio também pode impactar a saúde dos adultos, afetando os sistemas digestivo, renal, nervoso e cardiovascular; pode causar depressão, irritabilidade extrema, alucinações e perda de memória⁴⁷. A doença de Minamata foi recentemente confirmada nas comunidades amazônicas como resultado da exposição a altos níveis de mercúrio, com sintomas como tremores, insônia, ansiedade, sensibilidade tátil e vibratória alterada, deficiência no perímetro da visão e que levavam, por fim, à morte.

Impactos de queimadas na qualidade do ar e saúde humana O desmatamento e as queimadas emitem grandes quantidades de partículas em suspensão e outros poluentes na atmosfera. Esses elementos degradam a qualidade do ar, afetando a saúde humana, especialmente entre grupos vulneráveis, como crianças pequenas⁴⁸. A estação seca é o

período mais crítico para exposição da população à fumaça das queimadas; os níveis de partículas em suspensão durante esses meses são geralmente muito mais altos do que a OMS recomenda como um nível seguro. As visitas ao setor de emergências aumentam durante a estação seca, especialmente entre crianças até 10 anos. Esse aumento está positivamente relacionado às concentrações de $MP_{2,5}$ (isto é, partículas finas que medem menos de 2,5 micrômetros em diâmetro), o que correspondem a partículas finas presentes na fumaça⁴⁹. As partículas finas podem permanecer na atmosfera por até uma semana e ser transportadas pelo vento para áreas urbanas, onde poderão impactar a saúde das populações mesmo distantes da origem das queimadas^{50,51}.

Outros componentes da fumaça são MP_{10} (isto é, partículas que medem menos de 10 micrômetros em diâmetro, mas acima de 2,5 micrômetros) e carbono negro, ambos altamente tóxicos aos humanos. O MP_{10} tem o potencial de causar danos ao DNA e morte celular⁵², levando ao desenvolvimento de câncer do pulmão em vista do poluente MP_{10} ⁵³. Essas partículas podem penetrar nas regiões alveolares do pulmão, atravessar a membrana celular, atingir a corrente sanguínea e se acumular em outros órgãos. O $MP_{2,5}$ e o carbono negro estão associados com a redução na função pulmonar em crianças de 6 a 15 anos⁵⁴⁻⁵⁶. Os alunos em municípios com altos níveis de desmatamento e, portanto, queimadas e fumaças, possuem grande incidência de asma^{20,57}. Mulheres gestantes são altamente vulneráveis à poluição causada pela fumaça. A exposição às partículas em suspensão ($MP_{2,5}$) e ao monóxido de carbono (CO) provenientes da queima da biomassa durante o segundo e o terceiro trimestre causou o aumento de 50% na incidência de bebês com baixo peso no nascimento⁵⁸.

Interações entre causas e impactos As interações entre as causas e os impactos da degradação são complexas, afetando as pessoas e a biodiversidade através de múltiplos caminhos específicos ao contexto. Por exemplo, a mineração de ouro e a extração madeireira introduzem uma degradação ambiental que facilita a transmissão de doenças

transmissíveis por vetores como a malária⁵⁹⁻⁶¹, leishmaniose^{62,63}, hantavirose⁶⁴, e doença de chagas⁶⁵. A criação de novos nichos ecológicos prepara o caminho para a introdução de vetores de doenças bem adaptados e que podem sustentar a incidência de doenças no longo prazo^{10,11}. A transformação da terra para a agricultura cria um cenário similar para a invasão da malária nas “fronteiras”⁶⁶ e possivelmente leishmaniose. Com o tempo, a agricultura industrial em larga escala exacerba as mudanças climáticas^{67,68}, e reduz a diversidade e a qualidade da oferta de alimentos. Esses fatores contribuem para o duplo peso da desnutrição e o crescente risco de obesidade e doenças cardiovasculares na idade adulta.

Muitas das sinergias descritas acima estão presentes há décadas e, com frequência, aumentam as desigualdades que historicamente afetam a Bacia Amazônica⁶⁹. O que hoje é diferente é a magnitude e a escala de degradação já infligida, seus efeitos cumulativos e a redução do potencial de reverter esses processos.

Incertezas e lacunas de conhecimento A complexidade das relações não permite amplas generalizações sobre o impacto abrangente da degradação ambiental sobre o bem-estar e a saúde humana. Caracterizar essas relações complexas exige estudos mais detalhados, que cubram escalas temporais e espaciais mais amplas. Além disso, existe uma grande necessidade de expandir a pesquisa para além da saúde física, a fim de ampliar o entendimento de como a degradação ambiental afeta a saúde mental. Analisar e prever os diversos impactos que interagem em várias escalas exige estruturas conceituais amplas e flexíveis. As abordagens dos ecossistemas podem ser importantes para um melhor entendimento das interações, sinergias e complexidades gerais inerentes às relações entre perda florestal, degradação dos recursos aquáticos e saúde humana. De forma similar, pesquisas multidisciplinares combinando campos como observação da terra, ciências de dados, modelos matemáticos, economia, ciências sociais e antropologia serão cruciais para quantificar essas lacunas de conhecimento e abordar incertezas.

Conclusões A relação entre conservação e fragmentação florestal e a incidência de doenças infecciosas é complexa, dependente de escalas e, com frequência, modulada por retroalimentações socioecológicas. Certos vetores de doenças podem aumentar ao longo das fronteiras desmatadas, enquanto doenças emergentes associadas ao transbordamento zoonótico de hantavírus e arenavírus têm sido vinculadas a atividades de desmatamento. Além disso, a matriz espacial, a abundância de animais domésticos e atividades humanas específicas modulam a incidência de doenças de forma complexa. Existe uma necessidade urgente de esclarecer melhor a relação entre os impactos individuais e cumulativos dos diferentes distúrbios ambientais a fim de melhor abordar as políticas para redução desses impactos. A degradação ambiental não é apenas um problema ecológico, mas também uma questão socioeconômica e de saúde, afetando milhões de pessoas na Amazônia.

Referências

1. World Health Organization. CONSTITUTION of the World Health Organization. *Chronicle of the World Health Organization* vol. 1 29–43 <https://www.who.int/about/who-we-are/constitution> (1947).
2. European Environment Agency. Environment and Health. (2020).
3. Athayde, S. & Silva-Lugo, J. Adaptive Strategies to Displacement and Environmental Change Among the Kaiabi Indigenous People of the Brazilian Amazon. *Soc. Nat. Resour.* 31, 666–682 (2018).
4. Damiani, S., Guimarães, S. M. F., Montalvão, M. T. L. & Passos, C. J. S. “All That’s Left is Bare Land and Sky”: Palm Oil Culture and Socioenvironmental Impacts on a Tembé Indigenous Territory in the Brazilian Amazon. *Ambient. Soc.* 23, (2020).
5. Kalamandeen, M. *et al.* Pervasive Rise of Small-scale Deforestation in Amazonia. *Sci. Rep.* 8, 1–10 (2018).
6. Piotrowski, M. & Ortiz, E. Nearing the Tipping Point. Drivers of Deforestation in the Amazon Region. *Dialogue. Leadersh. Am.* 1–28 (2019).
7. Ellwanger, J. H. *et al.* Beyond diversity loss and climate change: Impacts of Amazon deforestation on infectious diseases and public health. *An. Acad. Bras. Cienc.* 92, 20191375 (2020).
8. Laporta, G. Z. Amazonian rainforest loss and declining malaria burden in Brazil. *The Lancet Planetary Health* vol. 3 e4–e5 (2019).
9. MacDonald, A. J. & Mordecai, E. A. Amazon deforestation drives malaria transmission, and malaria burden reduces forest clearing. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 116, 22212–22218 (2019).
10. Vittor, A. Y. *et al.* The effect of deforestation on the human-biting rate of *Anopheles darlingi*, the primary vector of falciparum malaria in the Peruvian Amazon. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 74, 3–11 (2006).
11. Vittor, A. Y. *et al.* Linking deforestation to malaria in the Amazon: Characterization of the breeding habitat of the principal malaria vector, *Anopheles darlingi*. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 81, 5–12 (2009).
12. Burkett-Cadena, N. D. & Vittor, A. Y. Deforestation and vector-borne disease: Forest conversion favors important mosquito vectors of human pathogens. *Basic Appl. Ecol.* 26, 101–110 (2018).
13. Valle, D. & Clark, J. Conservation Efforts May Increase Malaria Burden in the Brazilian Amazon. *PLoS One* 8, e57519 (2013).
14. Valle, D. & Tucker Lima, J. M. Large-scale drivers of malaria and priority areas for prevention and control in the Brazilian Amazon region using a novel multi-pathogen geospatial model. *Malar. J.* 13, 443 (2014).
15. Barros, F. S. M. & Honório, N. A. Deforestation and Malaria on the Amazon Frontier: Larval Clustering of *Anopheles darlingi* (Diptera: Culicidae) Determines Focal Distribution of Malaria. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 93, 939–953 (2015).
16. Terrazas, W. C. M. *et al.* Deforestation, drainage network, indigenous status, and geographical differences of malaria in the State of Amazonas. *Malar. J.* 14, 379 (2015).
17. Brito, R. N. *et al.* Drivers of house invasion by sylvatic Chagas disease vectors in the Amazon-Cerrado transition: A multi-year, state-wide assessment of municipality-aggregated surveillance data. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 11, e0006035 (2017).
18. de Barros Moreira Beltrão, H. *et al.* Investigation of two outbreaks of suspected oral transmission of acute Chagas disease in the Amazon region, Pará State, Brazil, in 2007. *Trop. Doct.* 39, 231–232 (2009).
19. Valente, S. A. da S. *et al.* Analysis of an acute Chagas disease outbreak in the Brazilian Amazon: human cases, triatomines, reservoir mammals and parasites. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 103, 291–297 (2009).
20. Sousa Júnior, A. da S. *et al.* Análise espaço-temporal da doença de Chagas e seus fatores de risco ambientais e demográficos no município de Barcarena, Pará, Brasil. *Rev. Bras. Epidemiol.* 20, 742–755 (2017).
21. Olalla, H. R. *et al.* An analysis of reported cases of leishmaniasis in the southern Ecuadorian Amazon region, 1986–2012. *Acta Trop.* 146, 119–126 (2015).
22. Gonçalves, N. V. *et al.* Cutaneous leishmaniasis: Spatial distribution and environmental risk factors in the state of Pará, Brazilian Eastern Amazon. *J. Infect. Dev. Ctries.* 13, 939–944 (2019).
23. Rodrigues, M. G. de A., Sousa, J. D. de B., Dias, Á. L. B., Monteiro, W. M. & Sampaio, V. de S. The role of deforestation on American cutaneous leishmaniasis incidence: spatial-temporal distribution, environmental and socioeconomic factors associated in the Brazilian Amazon. *Trop. Med. Int. Heal.* 24, 348–355 (2019).
24. Rosário, I. N. G., Andrade, A. J., Ligeiro, R., Ishak, R. & Silva, I. M. Evaluating the Adaptation Process of Sandfly Fauna to Anthropized Environments in a Leishmaniasis Transmission Area in the Brazilian Amazon. *J. Med. Entomol.* 54, tjw182

- (2016).
25. Anthony, S. J. *et al.* Global patterns in coronavirus diversity. *Virus Evol.* 3, (2017).
 26. Olival, K. J. *et al.* Host and viral traits predict zoonotic spillover from mammals. *Nature* 546, 646–650 (2017).
 27. Vasconcelos, P. F. C. *et al.* Inadequate management of natural ecosystem in the Brazilian Amazon region results in the emergence and reemergence of arboviruses. *Cad. Saude Publica* 17, S155–S164 (2001).
 28. Araújo, P. A. *et al.* Investigation about the Occurrence of Transmission Cycles of Arbovirus in the Tropical Forest, Amazon Region. *Viruses* 11, 774 (2019).
 29. Guterres, A., de Oliveira, R. C., Fernandes, J., Schrago, C. G. & de Lemos, E. R. S. Detection of different South American hantaviruses. *Virus Res.* 210, 106–113 (2015).
 30. Bausch, D. G. & Mills, J. N. Arenaviruses: Lassa Fever, Lujo Hemorrhagic Fever, Lymphocytic Choriomeningitis, and the South American Hemorrhagic Fevers. in *Viral Infections of Humans* 147–171 (Springer US, 2014). doi:10.1007/978-1-4899-7448-8_8.
 31. Medeiros, D. B. A. & Vasconcelos, P. F. C. Is the Brazilian diverse environment a crib for the emergence and maintenance of exotic arboviruses? *An. Acad. Bras. Cienc.* 91, (2019).
 32. Holmes, E. C., Rambaut, A. & Andersen, K. G. Pandemics: Spend on surveillance, not prediction comment. *Nature* vol. 558 180–182 (2018).
 33. Carlson, C. J. From PREDICT to prevention, one pandemic later. *The Lancet Microbe* 1, e6–e7 (2020).
 34. Nuñez, G. n. B., A. *et al.* IUCN SSC Bat Specialist Group (BSG) Recommended Strategy for Researchers to Reduce the Risk of Transmission of SARS-CoV-2 from Humans to Bats MAP: Minimize, Assess, Protect. (2020).
 35. Fernandes, N. C. C. de A. *et al.* Outbreak of Yellow Fever among Nonhuman Primates, Espirito Santo, Brazil, 2017. *Emerg. Infect. Dis.* 23, 2038–2041 (2017).
 36. Valentine, M. J., Murdock, C. C. & Kelly, P. J. Sylvatic cycles of arboviruses in non-human primates. *Parasites and Vectors* vol. 12 (2019).
 37. Filho, S. R. & Maddock, J. E. L. Mercury pollution in two gold mining areas of the Brazilian Amazon. *J. Geochemical Explor.* 58, 231–240 (1997).
 38. Pereira, W. V. da S. *et al.* Chemical fractionation and bioaccessibility of potentially toxic elements in area of artisanal gold mining in the Amazon. *J. Environ. Manage.* 267, 110644 (2020).
 39. Gibb, H. & O’Leary, K. G. Mercury Exposure and Health Impacts among Individuals in the Artisanal and Small-Scale Gold Mining Community: A Comprehensive Review. *Environ. Health Perspect.* 122, 667–672 (2014).
 40. Morel, F. M. M., Kraepiel, A. M. L. & Amyot, M. The Chemical Cycle and Bioaccumulation Of Mercury. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29, 543–566 (1998).
 41. Ullrich, S. M., Tanton, T. W. & Abdrashitova, S. A. Mercury in the Aquatic Environment: A Review of Factors Affecting Methylation. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 31, 241–293 (2001).
 42. Diringier, S. E. *et al.* River transport of mercury from artisanal and small-scale gold mining and risks for dietary mercury exposure in Madre de Dios, Peru. *Environ. Sci. Process. Impacts* 17, 478–487 (2015).
 43. Rice, K. M., Walker, E. M., Wu, M., Gillette, C. & Blough, E. R. Environmental Mercury and Its Toxic Effects. *J. Prev. Med. Public Heal.* 47, 74–83 (2014).
 44. Santos-Lima, C. dos *et al.* Neuropsychological Effects of Mercury Exposure in Children and Adolescents of the Amazon Region, Brazil. *Neurotoxicology* 79, 48–57 (2020).
 45. Grandjean, P., White, R. F., Nielsen, A., Cleary, D. & de Oliveira Santos, E. C. Methylmercury neurotoxicity in Amazonian children downstream from gold mining. *Environ. Health Perspect.* 107, 587–591 (1999).
 46. Reuben, A. *et al.* Elevated Hair Mercury Levels Are Associated With Neurodevelopmental Deficits in Children Living Near Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Peru. *GeoHealth* 4, (2020).
 47. World Health Organization. *Guidance For Identifying Populations At Risk From Mercury Exposure.* <http://www.who.int/foodsafety/en/> (2008).
 48. Smith, L. T., Aragão, L. E. O. C., Sabel, C. E. & Nakaya, T. Drought impacts on children’s respiratory health in the Brazilian Amazon. *Sci. Rep.* 4, 3726 (2015).
 49. Mascarenhas, M. D. M. *et al.* Anthropogenic air pollution and respiratory disease-related emergency room visits in Rio Branco, Brazil - September, 2005. *J. Bras. Pneumol.* 34, 42–46 (2008).
 50. Freitas, S. R. *et al.* Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. *Environ. Fluid Mech.* 5, 135–167 (2005).
 51. Liana Anderson & Marchezini, V. Incêndios Florestais na Amazônia: O Que Dizem os Dados Sobre Desenvolvimento, Desastres e Emergências em Saúde Pública. (2020) doi:10.1590/0103-11042020E220.
 52. Alves, L. Surge of respiratory illnesses in children due to fires in Brazil’s Amazon region. *Lancet Respir. Med.* 8, 21–22 (2020).
 53. de Oliveira Alves, N. *et al.* Biomass burning in the Amazon region causes DNA damage and cell death in human lung cells. *Sci. Rep.* 7, 10937 (2017).
 54. Jacobson, L. da S. V. *et al.* Association between fine particulate matter and the peak expiratory flow of schoolchildren in the Brazilian subequatorial Amazon: A panel study. *Environ. Res.* 117, 27–35 (2012).
 55. Jacobson, L. da S. V. Efeitos adversos da poluição atmosférica em crianças e adolescentes devido a queimadas na Amazônia : uma abordagem de modelos mistos em estudos de painel. (Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2013).
 56. Jacobson, L. da S. V. *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* 9, e104177 (2014).
 57. Rosa, A. M., Ignotti, E., Hacon, S. de S. & Castro, H. A. de. Prevalência de asma em escolares e adolescentes em um município na região da Amazônia brasileira. *J. Bras. Pneumol.* 35, 7–13 (2009).
 58. Cândido da Silva, A. M., Moi, G. P., Mattos, I. E. & Hacon, S. de

- 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* 14, 309 (2014).
59. Galardo, A. K. R., Zimmerman, R. & Galardo, C. D. Larval control of *Anopheles* (*Nyssorhynchus*) darlingi using granular formulation of *Bacillus sphaericus* in abandoned gold-miners excavation pools in the Brazilian Amazon Rainforest. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* 46, 172–177 (2013).
60. Adhin, M., Labadie-Bracho, M. & Vreden, S. Gold mining areas in Suriname: reservoirs of malaria resistance? *Infect. Drug Resist.* 7, 111 (2014).
61. Sanchez, J. F. *et al.* Unstable Malaria Transmission in the Southern Peruvian Amazon and Its Association with Gold Mining, Madre de Dios, 2001–2012. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 96, 304–311 (2017).
62. Rotureau, B., Joubert, M., Clyti, E., Djossou, F. & Carme, B. Leishmaniasis among gold miners, French Guiana [6]. *Emerging Infectious Diseases* vol. 12 1169–1170 (2006).
63. Loiseau, R. *et al.* American cutaneous leishmaniasis in French Guiana: an epidemiological update and study of environmental risk factors. *Int. J. Dermatol.* 58, 1323–1328 (2019).
64. Terças-Trettel, A. C. P. *et al.* Malaria and Hantavirus Pulmonary Syndrome in Gold Mining in the Amazon Region, Brazil. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16, 1852 (2019).
65. Almeida, C. E. *et al.* Could the bug triatoma sherlocki be vectoring chagas disease in small mining communities in Bahia, Brazil? *Med. Vet. Entomol.* 23, 410–417 (2009).
66. Bourke, B. P. *et al.* Exploring malaria vector diversity on the Amazon Frontier. *Malar. J.* 17, 342 (2018).
67. Schiesari, L. & Grillitsch, B. Pesticides meet megadiversity in the expansion of biofuel crops. *Front. Ecol. Environ.* 9, 215–221 (2011).
68. Schiesari, L., Waichman, A., Brock, T., Adams, C. & Grillitsch, B. Pesticide use and biodiversity conservation in the Amazonian agricultural frontier. *Philos. Trans. Biol. Sci.* 368, 1–9 (2013).
69. Dávalos, L. M. *et al.* Pandemics' historical role in creating inequality. *Science (80-.)*. 368, 1322.2-1323 (2020).