

Relatório sobre o Estado do Clima 2023. Entrando em território desconhecido

William J. Ripple, Christopher Wolf, Jillian W. Gregg, Johan Rockström, Thomas M. Newsome, Beverly E. Law, Luiz Marques, Timothy M. Lenton, Chi Xu, Saleemul Huq, Leon Simons, Sir David Anthony King. *BioScience*, 24 de outubro de 2023.

The 2023 state of the climate report: Entering uncharted territory 

BioScience



<<https://doi.org/10.1093/biosci/biad080>>

Tradução: Maristela Jardim Gaudio; revisão: Luiz Marques

Nota da tradução: o presente texto situa-se na continuidade de três advertências sobre o agravamento da emergência ambiental e climática, publicadas em 2017, 2020 e 2021 por William Ripple e colegas e subscritas por dezenas de milhares de cientistas de mais de 180 países. São eles:

- W. Ripple *et al.*, “World Scientists’ Warning to Humanity: A Second Notice”. *BioScience*, 67, 13/XI/2017 <https://doi.org/10.1093/biosci/bix125> (português: <https://scientistswarning.forestry.oregonstate.edu/sites/sw/files/Portuguese_version_11-13-17.pdf>);
- W. Ripple *et al.*, “World Scientists’ Warning of a Climate Emergency”. *BioScience*, 70, 1/I/2020; <https://doi.org/10.1093/biosci/biz152>
- W. Ripple *et al.*, “World Scientists’ Warning of a Climate Emergency 2021”. *BioScience*, 79, 28/VII/2021 <https://doi.org/10.1093/biosci/biab079>

A vida no planeta Terra está ameaçada. Estamos agora em território desconhecido. Por várias décadas, os cientistas alertaram consistentemente sobre um futuro marcado por condições climáticas extremas causadas pelo aumento das temperaturas globais, decorrente das atuais emissões antropogênicas de nocivos gases de efeito estufa na atmosfera. Infelizmente, o tempo se esgotou. Estamos testemunhando a materialização dessas previsões à medida que uma sucessão alarmante e sem precedentes de recordes climáticos são quebrados, provocando o desenrolar de cenas de sofrimento profundamente angustiantes. As crises climáticas estão nos lançando em um mundo desconhecido, jamais vivido pelos humanos em toda a história de nossa espécie.

No presente relatório, apresentamos um conjunto diversificado de sinais vitais do planeta e os impulsionadores potenciais das mudanças climáticas, bem como as respostas do clima, conforme apresentados pela primeira vez por Ripple e Wolf e colegas (2020), que elaboraram uma declaração de emergência climática, agora com mais de 15.000 cientistas signatários. As tendências revelam novos recordes climáticos e padrões profundamente preocupantes de desastres relacionados ao clima. Ao mesmo tempo, reportamos progressos mínimos por parte da humanidade no combate às alterações climáticas. Diante de tão angustiantes desdobramentos, nosso objetivo é comunicar fatos acerca do clima e recomendações de políticas aos cientistas, aos governantes e ao público. Cientistas e suas instituições têm o

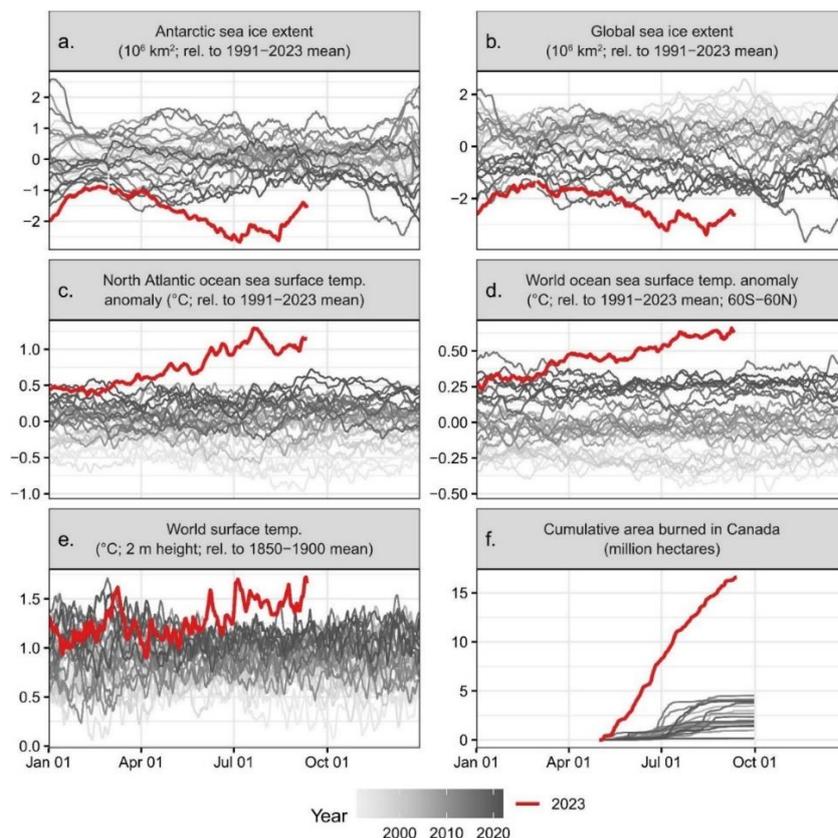
dever moral de alertar claramente a humanidade sobre qualquer potencial ameaça existencial, devendo também mostrar liderança nas tomadas de decisão. Este relatório faz parte de nossa série de atualizações anuais concisas e de fácil acesso sobre o estado da crise climática.

Recordes históricos no clima

Em 2023, assistimos a uma série extraordinária de quebras de recordes climáticos no mundo todo. A velocidade das mudanças surpreendeu os cientistas; os perigos envolvidos em condições meteorológicas extremas, os riscos de alças de retroalimentação e a proximidade maior que prevista de pontos de não retorno suscitaram preocupação (Armstrong McKay *et al.* 2022, Ripple *et al.* 2023).

Neste ano, ondas de calor excepcionais varreram o mundo, ocasionando temperaturas recordes. Os oceanos têm estado historicamente quentes, com quebras de recordes nas temperaturas superficiais oceânicas globais e no Atlântico Norte, e com diminuições sem precedentes de gelo marinho em torno da Antártida (figura 1a-1d). Além disso, o período de junho a agosto deste ano foi o mais quente jamais registrado, e no início de julho, registrou-se a temperatura média diária global mais alta já medida na Terra, possivelmente a mais alta temperatura da Terra nos últimos 100.000 anos (figura 1e). Isso é um sinal de que estamos levando nossos sistemas planetários a uma instabilidade perigosa.

Figura 1



Anomalias climáticas incomuns em 2023 (a linha vermelha em negrito). Extensão do gelo marinho (a, b), temperaturas (c - e) e a área dos incêndios no Canadá (f) estão atualmente muito fora de suas variações históricas. Essas anomalias podem-se dever às mudanças climáticas e a outros fatores. Fontes e detalhes adicionais sobre cada variável são fornecidos no arquivo suplementar S1. Cada linha corresponde a um ano diferente, com o cinza mais escuro representando anos mais recentes.

Estamos nos aventurando em um território climático desconhecido. Antes de 2000, as temperaturas médias diárias globais nunca excederam 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais, e apenas ocasionalmente ultrapassaram esse número desde então. No entanto, até 12 de setembro de 2023, já foram registrados 38 dias com temperaturas médias globais acima de 1,5 °C, número de dias superior ao de qualquer outro ano, e esse total pode continuar a aumentar. Ainda mais impressionante são as margens enormes pelas quais as condições de 2023 estão superando os extremos do passado (figura 1). Da mesma forma, em 7 de julho de 2023, o gelo marinho da Antártida atingiu sua menor extensão diária desde o início dos dados fornecidos por satélite, com 2,67 milhões de km² abaixo da média de 1991-2023 (figura 1a). Outras variáveis muito fora de seus limites históricos incluem a área queimada por incêndios florestais no Canadá (figura 1f), o que pode indicar um ponto de não retorno para um novo regime de incêndios.

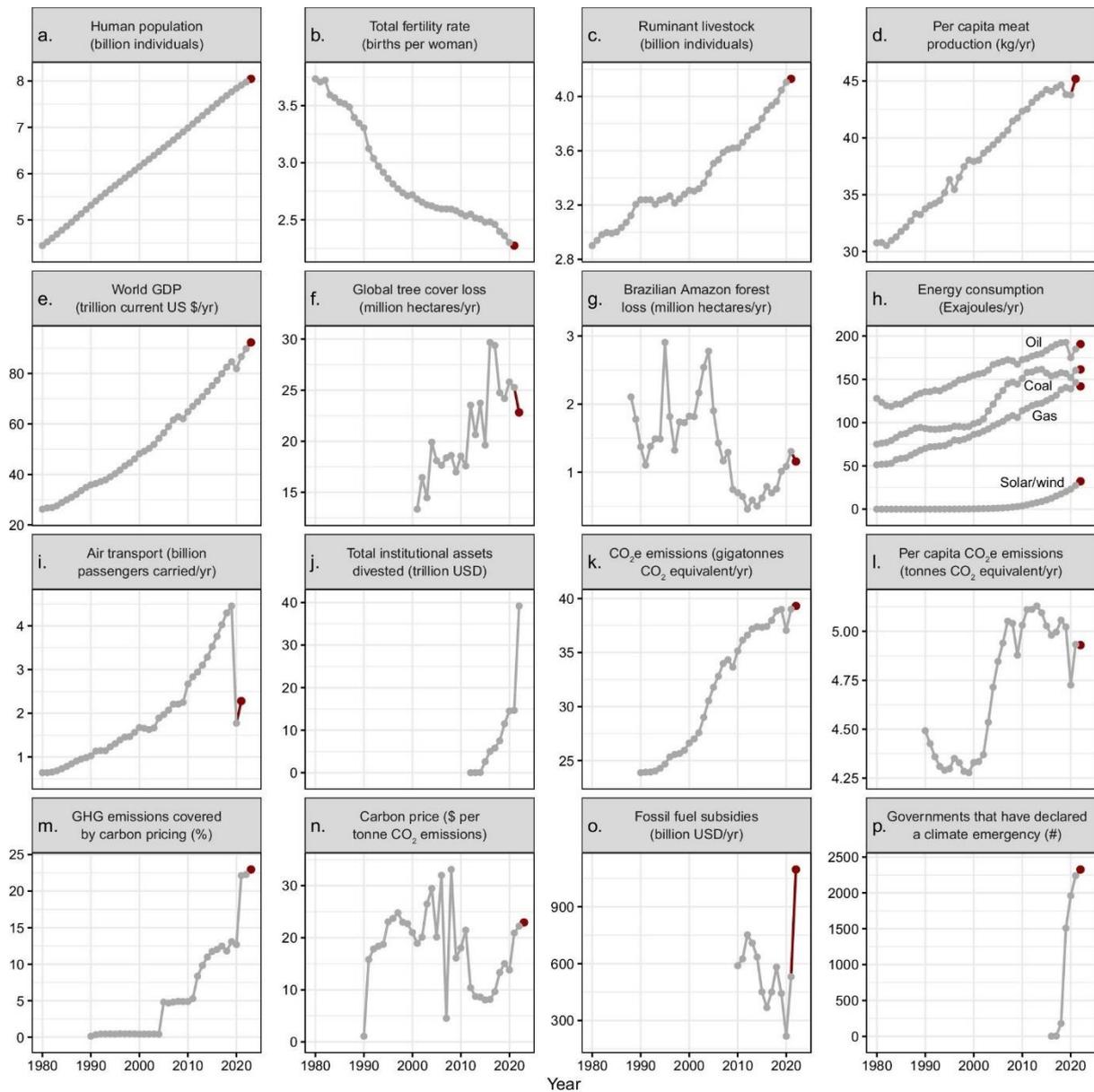
O aquecimento global antropogênico é um fator-chave em muitos desses extremos recentes. No entanto, os processos específicos envolvidos podem ser bastante complexos. Por exemplo, o aumento das temperaturas do oceano Atlântico pode estar associado às chuvas no Sahel e à poeira proveniente da África (Wang *et al.* 2012). Outro fator potencial é o vapor de água (um gás de efeito estufa) injetado na estratosfera pela erupção de um vulcão submarino (Jenkins *et al.* 2023). O aumento recente também pode estar ligado à exigência regulatória de uso de combustíveis com baixo teor de enxofre no transporte marítimo, pois os aerossóis de sulfato, uma vez na atmosfera, dispersam diretamente a luz solar e provocam a formação de nuvens reflexivas (veja-se o arquivo suplementar S1 para uma discussão mais detalhada). O aumento repentino das temperaturas também está provavelmente ligado ao início de um evento de El Niño – um fenômeno que ocorre naturalmente no sistema climático, mas que por sua vez pode ser afetado pelas mudanças climáticas (Cai *et al.* 2021). Em todo caso, à medida que o sistema climático da Terra se afasta das condições associadas ao bem-estar humano, essas anomalias podem se tornar mais frequentes e ter impactos cada vez mais catastróficos (Xu *et al.* 2020, Lenton *et al.* 2023).

Tendências recentes nos sinais vitais do planeta

Com base em dados de séries temporais, 20 dos 35 sinais vitais apresentam agora recordes extremos (figuras 2 e 3, tabela suplementar S1). Como descrevemos abaixo, esses dados mostram como a posição de “continuar como sempre” levou, ironicamente, a uma pressão

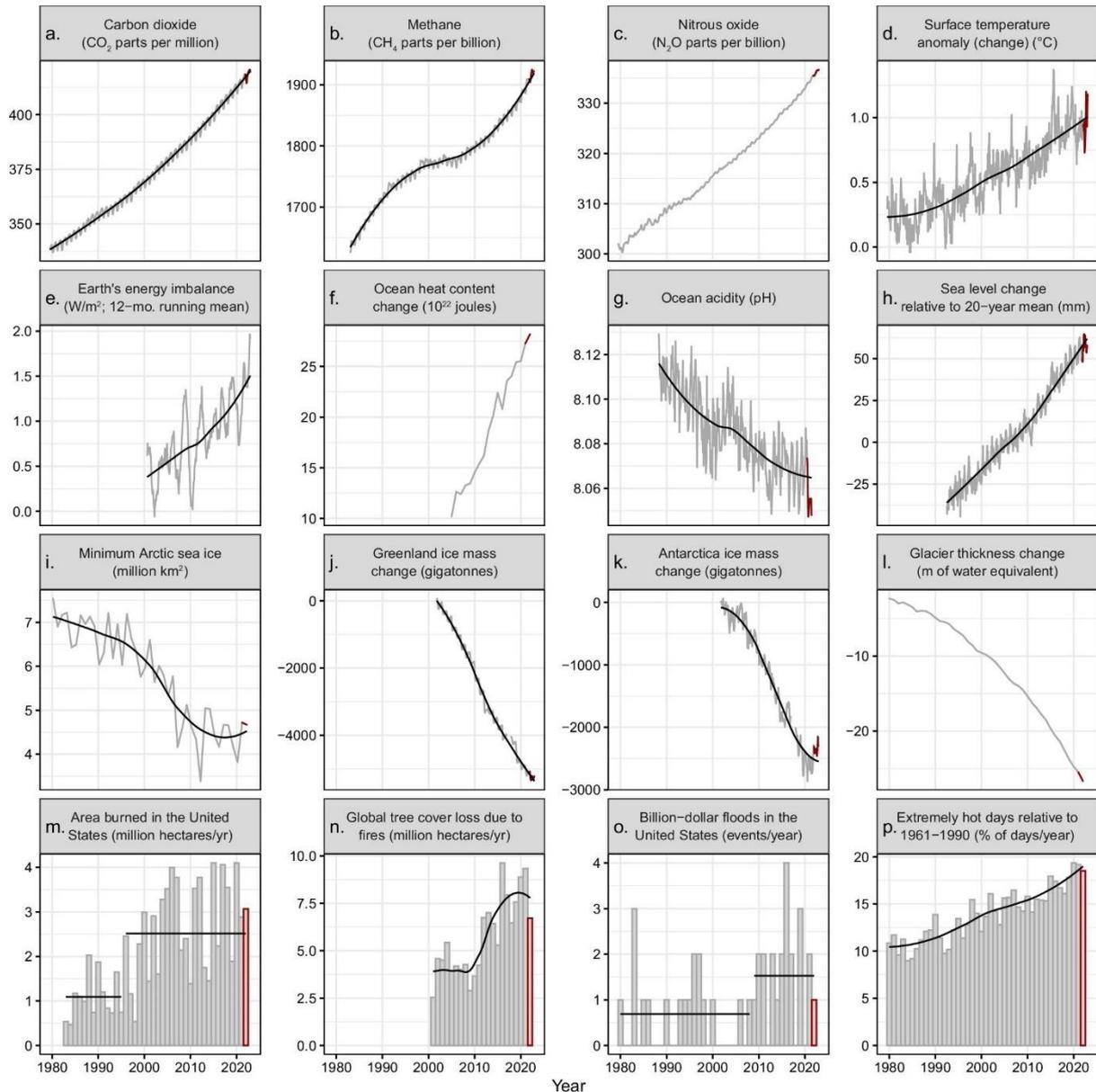
sem precedentes sobre o sistema Terra, resultando em muitas variáveis relacionadas ao clima, situado agora em território desconhecido (figuras 1 e 3).

Figura 2



Série temporal de atividades humanas relacionadas ao clima. Os dados obtidos desde a publicação de Ripple e colegas (2021) estão destacados em vermelho. No painel (f), a perda de cobertura arbórea não leva em conta o ganho de florestas e inclui perdas devido a qualquer causa. Para o painel (h), a energia hidrelétrica e a energia nuclear são mostradas na figura S1. Fontes e detalhes adicionais sobre cada variável são fornecidos no arquivo suplementar S1.

Figura 3



Série temporal de respostas relacionadas ao clima. Dados obtidos antes e depois da publicação de Ripple e colegas (2021) são mostrados em cinza e vermelho, respectivamente. Para a área queimada (m) e a frequência de inundações com prejuízos de bilhões de dólares nos Estados Unidos (o), as linhas horizontais pretas mostram estimativas modelizadas de pontos de mudança, que permitem transições abruptas (consulte o suplemento). Para outras variáveis com variabilidade relativamente alta, as linhas de tendência de regressão local são mostradas em preto. As variáveis foram medidas em diversas frequências (por exemplo, anual, mensal, semanal). Os rótulos no eixo x correspondem aos pontos médios dos anos. A frequência de inundações gerando prejuízos de bilhões de dólares (o) é provavelmente influenciada por exposição e vulnerabilidade, além das mudanças climáticas. Fontes e detalhes adicionais sobre cada variável são fornecidos no arquivo suplementar S1.

Energia

A recuperação verde após a COVID-19, que muitos esperavam, em grande parte não se materializou (Zhang *et al.* 2023). Em vez disso, as emissões de carbono continuaram a aumentar, e os combustíveis fósseis permanecem dominantes, com o consumo anual de carvão atingindo um quase recorde de 161,5 exajoules em 2022 (figura 2h). Embora o consumo de energia renovável (solar e eólica) tenha crescido robustamente - 17% entre 2021 e 2022, ele ainda é aproximadamente 15 vezes menor do que o consumo de energia de combustíveis fósseis (figura 2h). Um impulsionador maior das tendências econômicas e energéticas é a invasão em curso da Ucrânia pela Rússia, que acelerou a transição para energias renováveis na Europa, mas que também pode fazer com que alguns países mudem do gás fornecido pela Rússia para o carvão (Tollefson 2022). Esse conflito já contribuiu para um aumento maciço de 107% nos subsídios aos combustíveis fósseis, de US\$ 531 bilhões em 2021 para US\$ 1.097 bilhões em 2022, devido ao aumento dos preços da energia (figura 2o). Embora tais subsídios podem proteger parcialmente os consumidores de aumentos de preços, muitas vezes eles não são bem direcionados e contribuem para promover o uso de combustíveis fósseis relacionados à geração de energia e os lucros corporativos, ao invés de promover alternativas de baixo carbono (Muta e Erdogan 2023).

Florestas

Entre 2021 e 2022, a taxa global de perda de cobertura arbórea diminuiu 9,7%, para 22,8 milhões de hectares (ha) por ano (figura 2f). Da mesma forma, a taxa de perda de floresta na Amazônia brasileira diminuiu 11,3%, para 1,16 milhão de ha por ano (figura 2g), e novas reduções provavelmente ocorrerão como resultado da eleição de um novo presidente no Brasil e de vários decretos recentes (Vilani *et al.* 2023). No entanto, a humanidade não está a caminho de zerar e reverter o desmatamento até 2030, apesar das promessas de mais de 100 líderes mundiais em 2021, na COP 26 (UNEP 2022a). Além disso, as florestas estão cada vez mais ameaçadas por potentes alças de retroalimentação climáticas, envolvendo processos como infestações por insetos, mortalidade (*dieback*) e incêndios florestais (Flores & Staal 2022, Ripple *et al.* 2023). Por exemplo, os incêndios florestais que estabeleceram recordes históricos no Canadá, queimando 16,6 milhões de hectares este ano até 13 de setembro (figura 1f), estão parcialmente relacionados às mudanças climáticas. Eles resultaram em emissões de mais de um gigatonelada de dióxido de carbono (Copernicus 2023), o que é substancial, dado que as emissões totais de gases de efeito estufa do Canadá em 2021 foram de aproximadamente 0,67 gigatonelada de dióxido de carbono equivalente (Environment and Climate Change Canada 2023). A rapidez com que essas emissões podem ser reabsorvidas pela recuperação pós-incêndio é incerta, e há um risco real de que o aumento da gravidade dos incêndios cause perda de carbono irreversível em um futuro sempre mais quente (Bowman *et al.* 2021).

Média global de gases de efeito estufa e temperatura

Com base em estatísticas acumuladas no ano de 2023, três importantes gases de efeito estufa - dióxido de carbono, metano e óxido nitroso - estão em níveis recorde (figura 3a–3c). A concentração média global de dióxido de carbono é agora de aproximadamente 420 partes por milhão, muito acima do limite planetário proposto de 350 partes por milhão (Rockström *et al.* 2009). Além disso, 2023 está a caminho de se tornar um dos anos mais quentes já registrados (figuras 1e e 3d). Embora as emissões de gases de efeito estufa relacionados aos combustíveis fósseis sejam o principal impulsionador do aumento das temperaturas, um declínio global nas emissões de dióxido de enxofre é provavelmente um fator contribuinte para esse aumento das temperaturas (figura suplementar S2). O dióxido de enxofre forma sulfatos na atmosfera, que são o agente de resfriamento antropogênico mais forte, ocultando parte do aquecimento causado pelos gases de efeito estufa (consulte o arquivo suplementar S1 para uma discussão mais ampla).

Oceanos e gelo

A acidez oceânica, a espessura das geleiras e a massa de gelo da Groenlândia atingiram níveis mínimos (figura 3g, 3j e 3l), enquanto o aumento do nível do mar e o calor armazenado nos oceanos (*ocean heat content*) atingiram máximos recordes (figura 3f, 3h). O aumento do calor armazenado nos oceanos e o rápido aumento das temperaturas marítimas superficiais (figura 1c, 1d) são especialmente perturbadores, pois podem ter muitos impactos sérios, incluindo perda de vida marinha, morte de recifes de coral por branqueamento e aumento na intensidade de grandes tempestades tropicais (Reid *et al.* 2009). Também há crescente preocupação de que a circulação meridional de capotamento do Atlântico (AMOC) possa atingir um ponto de não retorno e começar a colapsar neste século, possivelmente entre 2025 e 2095 (Ditlevsen e Ditlevsen 2023), o que alteraria significativamente os padrões globais de precipitação e temperatura, com potenciais consequências danosas para ecossistemas e sociedades, incluindo a redução dos sumidouros naturais de carbono (Armstrong McKay *et al.* 2022).

Impactos climáticos e eventos meteorológicos extremos

As mudanças climáticas estão contribuindo significativamente para o sofrimento humano (figura 4). Os impactos relacionados ao clima em 2022 incluíram outra enchente de bilhões de dólares nos Estados Unidos, ocorrida em Kentucky e Missouri, entre 26 e 28 de julho, e a terceira maior frequência de dias extremamente quentes (figura 3o, 3p). Entre 2021 e 2022,

a área queimada por incêndios florestais diminuiu 28% em todo o mundo (de 9,34 milhões de ha para 6,72 milhões de ha), mas a extensão dos incêndios florestais nos Estados Unidos aumentou 6,3% (de 2,88 milhões de ha para 3,07 milhões de ha) no mesmo período (figura 3m, 3n). Muitos impactos climáticos devem se intensificar nos próximos anos, e talvez já tenhamos experimentado aumentos abruptos em certos tipos de eventos climáticos extremos, possivelmente acima da taxa de aumento de temperatura (figuras 3m, 3o, S3, S4; Calvin 2020)

Figura 4.

Inaudito sofrimento humano em imagens

Untold Human Suffering in Pictures



Série de fotografias representando desastres relacionados ao clima. Primeira fileira (da esquerda para a direita): Moradores vasculham escombros, após incêndios destruírem suas casas no estado da Califórnia (Estados Unidos, 2008; FEMA/Michael Mancino), "Guarda [nacional] carrega uma mulher em enchentes que chegam até a cintura" (Estados Unidos, 2017; Zachary West/National Guard; CC BY 2.0). Segunda fileira: "Meninas apanhadas por uma tempestade de areia a caminho da escola"

(Afeganistão, 2019, Solmaz Daryani/Climate Visuals Countdown; Creative Commons); "Mulher madura sentada em sua casa, submersa em águas profundas, fumando um cigarro" (Brasil, 2015; Fabrice Fabola, CC BY-SA 2.0). Terceira fileira: Consequências do Ciclone Idai (Moçambique, 2019; Denis Onyodi: IFRC/DRK/Climate Centre, CC BY-NC 2.0), "Moradores caminham por uma estrada cheia de destroços após o Super Tufão Haiyan devastar a cidade de Tacloban" (Filipinas, 2013; Erik de Castro/Reuters; CC BY 2.0). Todas as citações são do projeto Climate Visuals (<https://climatevisuals.org>). Consulte o arquivo suplementar S1 para obter detalhes e mais imagens.

Em 2023, as alterações climáticas provavelmente contribuíram para numerosos eventos meteorológicos extremos e catástrofes. Vários destes acontecimentos demonstram como os extremos climáticos estão ameaçando áreas mais vastas, que normalmente não eram propensas a tais extremos; por exemplo, graves inundações no norte da China, perto de Pequim, mataram pelo menos 33 pessoas. Outros desastres recentes incluem inundações repentinas e deslizamentos de terra mortais no norte da Índia, ondas de calor recorde nos Estados Unidos e uma tempestade no Mediterrâneo excepcionalmente intensa, que matou milhares de pessoas, principalmente na Líbia (ver tabela 1 para detalhes e atribuição). À medida que estes impactos continuam a se acelerar, mais urgentes e necessários tornam-se os financiamentos para compensar as perdas e danos relacionados ao clima nos países em desenvolvimento. O novo fundo global para perdas e danos das Nações Unidas, estabelecido na COP27, é um desenvolvimento promissor, mas seu sucesso exigirá um apoio robusto por parte dos países ricos.

Tabela 1. Desastres recentes relacionados ao clima desde novembro de 2022.

Novembro-Dezembro de 2022

Ondas de calor sem precedentes na Argentina e no Paraguai contribuíram para quedas de energia, incêndios florestais e más colheitas. Estima-se que esse calor extremo tenha se tornado 60 vezes mais provável devido às mudanças climáticas.

Dezembro de 2022 a Março de 2023

Chuvas intensas causadas por rios atmosféricos levaram a várias inundações no oeste dos Estados Unidos. Houve pelo menos 22 mortes e os prejuízos materiais foram estimados em US\$ 3,5 bilhões. As mudanças climáticas podem estar aumentando a probabilidade de tais inundações catastróficas, embora seu efeito sobre essas tempestades específicas seja menos claro.

Fevereiro de 2023

Fevereiro de 2023, o ciclone Gabrielle causou chuvas extremas em Aotearoa, Te Ika-a-Māui (Ilha do Norte), na Nova Zelândia, resultando em bilhões de dólares em danos e em 225.000 residências sem energia. Essas chuvas intensas podem ter sido parcialmente causadas pelo aquecimento climático.

Março a Maio de 2023

Temperaturas recordes foram registradas em partes do Sudeste Asiático, China e Ásia do Sul. O calor extremo causou mortes e fechamento de escolas na Índia e fez com que mais de 100 estudantes necessitassem de tratamento para desidratação nas Filipinas. Provavelmente, ao menos em parte, o evento pode ser atribuído às mudanças climáticas. Como exemplo, as mudanças climáticas aumentaram em pelo menos 30 vezes a probabilidade de ocorrer um evento desse tipo em Bangladesh e na Índia.

Janeiro a Julho de 2023

Incêndios florestais intensos no Canadá queimaram cerca de 10 milhões de hectares, deslocando 30 mil pessoas no seu auge, e piorando a qualidade do ar em grandes áreas do Canadá e dos Estados Unidos. Esses incêndios florestais extremos podem ser parcialmente devidos às mudanças climáticas, embora muitos outros fatores também estejam envolvidos.

Maio de 2023

O ciclone tropical Mocha teria matado pelo menos 145 pessoas em Mianmar e afetado cerca de 800.000 pessoas na região. As mudanças climáticas podem ter tornado tais tempestades mais intensas.

Maio a Junho de 2023

A tempestade tropical Mawar causou inundações e queda de energia em partes de Guam. Mawar foi o ciclone mais forte já registrado no hemisfério norte em maio. As mudanças climáticas podem estar causando um aumento na intensidade dos ciclones tropicais (Wu *et al.* 2022).

Junho de 2023

Um calor mortífero causou mais de uma dúzia de mortes no sul e centro-oeste dos Estados Unidos. As mudanças climáticas estão levando a um aumento na frequência e duração de ondas de calor desse tipo.

Julho de 2023

Até seis pessoas morreram no sudoeste do Japão em decorrência de chuvas extremamente intensas que causaram inundações e deslizamentos de terra. As mudanças climáticas provavelmente estão tornando eventos de chuvas intensas mais graves. Dias depois, inundações e deslizamentos de terra, que podem ser parcialmente relacionados às mudanças climáticas, mataram mais de 26 pessoas e levaram à evacuação de milhares na Coreia do Sul.

Julho de 2023

Monções intensas causaram inundações repentinas e deslizamentos de terra no norte da Índia, que mataram mais de 100 pessoas. As mudanças climáticas provavelmente estão tornando as monções nessa região mais variáveis, causando frequentes deslizamentos de terra e inundações. Monções intensas também danificaram colheitas de arroz na Índia, causando preocupação com os preços globais dos alimentos e com a segurança alimentar, e levando a uma proibição de exportação de variedades não basmati.

Junho a Agosto de 2023

O calor extremo nos Estados Unidos matou pelo menos 147 pessoas. Na ausência das mudanças climáticas, o calor extremo observado em julho de 2023 nos Estados Unidos teria sido altamente improvável.

Julho a Agosto de 2023

Pequim, na China, registrou as chuvas mais intensas em pelo menos 140 anos, resultando em grandes inundações que afetaram quase 1,29 milhão de pessoas, danificaram 147.000 residências e causaram pelo menos 33 mortes. As inundações intensas provavelmente estão se tornando mais comuns devido às mudanças climáticas.

Agosto de 2023

No Havaí, Estados Unidos, incêndios florestais catastróficos na ilha de Maui mataram pelo menos 111 pessoas, com mais de 1.000 pessoas desaparecidas até 18 de agosto de 2023. As mudanças climáticas podem ter reduzido a precipitação e aumentado as temperaturas nesta região, contribuindo potencialmente para esses incêndios.

Setembro de 2023

A tempestade Daniel causou inundações extremas na Líbia e em partes do sudeste da Europa, resultando em milhares de mortes e em mais de 2 bilhões de dólares em danos. As mudanças climáticas podem estar aumentando a intensidade de tais tempestades.

Nota: Listamos diversos desastres recentes que podem estar pelo menos parcialmente relacionados às mudanças climáticas. Esta lista não se pretende exaustiva. Devido à natureza recente desses eventos, nossas fontes frequentemente incluem artigos de notícias da mídia. Para cada evento, geralmente fornecemos referências que indicam que a probabilidade ou intensidade de tal evento pode ter aumentado devido às mudanças climáticas antropogênicas. As referências a artigos científicos são fornecidas diretamente na tabela, e os links para artigos de notícias são fornecidos no arquivo suplementar S1. Alguns desses desastres podem ser pelo menos parcialmente atribuídos às mudanças nas correntes de jato - jet streams - relacionadas às mudanças climáticas (Stendel *et al.* 2021, Rousi *et al.* 2022).

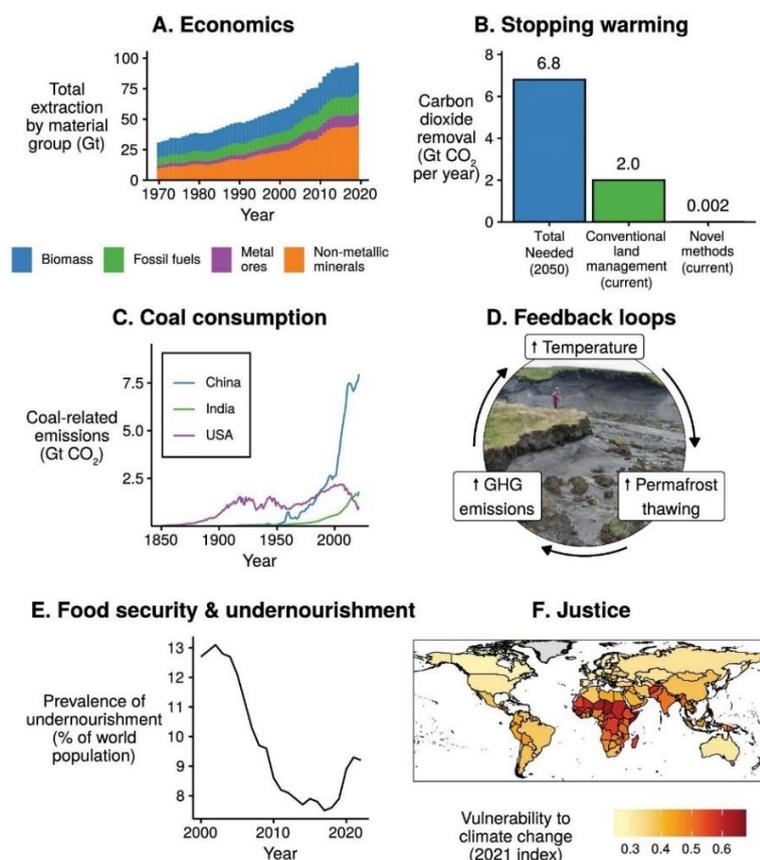
Alertas e recomendações dos cientistas

Motivados por eventos e tendências recentes, continuamos a emitir alertas e recomendações específicas envolvendo tópicos que vão da segurança alimentar à justiça climática. Esforços coordenados em cada uma dessas áreas poderiam ajudar a apoiar uma agenda mais ampla, centrada em políticas climáticas holísticas e equitativas.

Economia

É improvável que o crescimento econômico, conforme tradicionalmente perseguido, nos permita alcançar nossos objetivos sociais, climáticos e de biodiversidade. O desafio fundamental está na dificuldade de desacoplar o crescimento econômico de impactos ambientais danosos (figura 5a). Embora avanços tecnológicos e de eficiência possam contribuir até certo ponto para esse desacoplamento, frequentemente não se consegue mitigar a pegada ecológica geral das atividades econômicas (Hickel *et al.* 2021). Os impactos variam amplamente de acordo com a riqueza; em 2019, os 10% principais emissores foram responsáveis por 48% das emissões globais, enquanto os 50% inferiores foram responsáveis por apenas 12% (Chancel 2022). Portanto, precisamos mudar nossa economia para um sistema que apoie a satisfação das necessidades básicas de todas as pessoas, em vez de um consumo excessivo pelos ricos (O'Neill *et al.* 2018).

Figura 5



Tópicos Especiais de Ação Climática. Muitos modelos pressupõem que o crescimento do PIB pode ser amplamente desacoplado das emissões e de outros impactos ambientais relacionados ao consumo (a) e que os métodos de captura de carbono podem ser rapidamente ampliados (b). Se essas suposições não forem realistas e o uso de carvão e de outros combustíveis fósseis não for imediatamente reduzido (c), então as alças de retroalimentação do sistema Terra (d) poderão levar a uma rápida aceleração dos impactos climáticos, incluindo desnutrição (e) e desastres climáticos, os quais serão especialmente graves em países menos desenvolvidos e que historicamente tiveram poucas emissões (f). Consulte o arquivo suplementar S1 para fontes de dados e detalhes. Fotografia: Boris Radosavljevic (CC BY 2.0).

Deter o Aquecimento

As taxas elevadas de desastres climáticos e outros impactos, que estamos vendo atualmente, são em grande parte consequência das emissões históricas e contínuas de gases de efeito estufa. Para mitigar as emissões passadas e deter o aquecimento global, os esforços devem ser direcionados para a eliminação das emissões provenientes de combustíveis fósseis e da mudança no uso dos solos, e para o aumento de sequestro de carbono com soluções climáticas baseadas na natureza. No entanto, é crucial explorar outras estratégias possíveis para remover eficientemente o dióxido de carbono adicional, o que pode contribuir para o resfriamento planetário a longo prazo. As tecnologias de emissões negativas estão em estágio inicial de desenvolvimento, apresentando incertezas quanto à sua eficácia, escalabilidade e impactos ambientais e sociais (figura 5b; Anderson e Peters 2016). Como tal, não devemos depender de técnicas de remoção de carbono não comprovadas. Embora os esforços de pesquisa devam ser acelerados, depender fortemente de estratégias de remoção de carbono em larga escala no futuro pode criar uma percepção enganosa de segurança e adiar as ações de mitigação imperativas, essenciais para enfrentar as mudanças climáticas agora.

Eliminar o consumo de carvão

Além de seus efeitos destrutivos para os ecossistemas e para a saúde global, o carvão responde por mais de 80% do dióxido de carbono adicionado à atmosfera desde 1870 e cerca de 40% das emissões de dióxido de carbono atuais (Burke e Fishel 2020). Em 2022, o consumo global de carvão estava próximo de níveis recordes (figura 2h). Em 2021, as emissões de dióxido de carbono relacionadas ao carvão foram maiores na China (53,1%), seguidas pela Índia (12,0%) e pelos Estados Unidos (6,7%; figura 5c). O uso de carvão na China acelerou rapidamente nas últimas décadas, e o país ainda produz quase um terço de todas as emissões de dióxido de carbono e metano provenientes de combustíveis fósseis (tabela suplementar S2; Normile 2020). Em resposta a essa situação, apoiamos a Aliança Rumo ao Fim do Carvão (Powering Past Coal Alliance) e recomendamos a adoção do Tratado Internacional de Eliminação do Carvão (International Coal Elimination Treaty) para eliminar gradualmente o uso do carvão e, de forma mais ampla, o Tratado de Não Proliferação de Combustíveis Fósseis (Fossil Fuel Non-Proliferation) - (van Asselt e Newell 2022). Esses tratados podem fornecer

apoio aos países menos desenvolvidos na transição para a eliminação do uso do carvão e de outros combustíveis fósseis, incluindo financiamento para expandir a capacidade de energia renovável e para requalificar e reorientar os trabalhadores da indústria de combustíveis fósseis.

Alças de retroalimentação

As alças de retroalimentação do sistema climático afetam diretamente a relação entre emissões e aquecimento. Por exemplo, o aquecimento faz com que os pergelissolos (*permafrost*) descongelem, emitindo metano e dióxido de carbono que resultam em um maior aquecimento (figura 5d). O reforço das alças de retroalimentação amplifica o efeito das emissões de gases de efeito estufa, levando a um aquecimento adicional. Compreender, assim sendo, as alças de retroalimentação e suas interações pode informar as estratégias de mitigação e adaptação às alterações climáticas. Apesar de sua importância, a combinação de múltiplas alças de retroalimentação não é bem compreendida, e a força potencial de algumas delas ainda é altamente incerta (Ripple *et al.* 2023). Devido a essa incerteza, lançamos um apelo ao Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) para que produza um relatório especial com foco no exame das alças de retroalimentação climáticas perigosas, nos pontos de não retorno e, como precaução, no cenário possível, mas menos provável, de mudanças climáticas desenfreadas ou apocalípticas.

Segurança alimentar e desnutrição

Após declinar por muitos anos, a prevalência da desnutrição está aumentando (figura 5e). Em 2022, estima-se que 735 milhões de pessoas enfrentaram fome crônica, um aumento de aproximadamente 122 milhões de pessoas desde 2019 (FAO *et al.* 2023). Esse aumento, que afastou a humanidade do objetivo de erradicar a fome até 2030, deve-se a vários fatores, incluindo extremos climáticos, recessões econômicas e conflitos armados (FAO *et al.* 2023). As mudanças climáticas reduziram a extensão do crescimento da produtividade agrícola global (Ortiz-Bobea *et al.* 2021). Existe, assim, o perigo de que a fome aumente na ausência de ações climáticas imediatas. Em particular, pode haver riscos futuros sérios e subestimados de quebras simultâneas de safras causadas pelo aumento da ondulação das correntes de jato (Kornhuber *et al.* 2023). Devido ao crescente risco de grandes perdas de colheitas em múltiplas regiões do mundo, são necessários esforços focados na adaptação para melhorar a resiliência e a resistência dos cultivos ao calor, à seca e a outros fatores climáticos de estresse (Raza *et al.* 2019). Uma mudança para dietas baseadas em vegetais, especialmente em países ricos, pode melhorar a segurança alimentar global e ajudar a mitigar as mudanças climáticas (Figura 2d; Cassidy *et al.* 2013).

Justiça

Os impactos das mudanças climáticas já são catastróficos para muitos. Não atingem o mundo, contudo, de maneira uniforme. Na realidade, afetam de forma desproporcional os mais pobres, que, ironicamente, foram os menos responsáveis pelo problema (figura 5f; Harlan *et al.* 2015). Para alcançar justiça socioeconômica e bem-estar humano universal, é crucial lutar por uma convergência no consumo per capita de recursos e energia em todo o mundo. Isso implica trabalhar em direção a níveis equilibrados e justos de consumo de energia e recursos tanto no norte global quanto no sul global (Hickel *et al.* 2021).

Conclusões

Os efeitos do aquecimento global estão se tornando progressivamente mais graves, e a eventualidade de um colapso social global é possível e perigosamente pouco avaliada (Kemp *et al.* 2022). Até o final deste século, estima-se que de 3 a 6 bilhões de indivíduos – entre um terço e metade da população global - poderão se encontrar confinados fora da região habitável, enfrentando calor intenso, disponibilidade limitada de alimentos e taxas elevadas de mortalidade devido aos efeitos das mudanças climáticas (Lenton *et al.* 2023). Grandes problemas exigem grandes soluções. Devemos assim mudar nossa perspectiva sobre a emergência climática, que deve deixar de ser uma questão ambiental isolada para se tornar uma ameaça sistêmica e existencial. Embora devastador, o aquecimento global representa apenas um aspecto da crise ambiental crescente e interconectada que enfrentamos (por exemplo, perda de biodiversidade, escassez de água doce, pandemias). Precisamos de políticas que visem as questões subjacentes à ultrapassagem dos limites ecológicos (*ecological overshoot*), onde a demanda humana pelos recursos da Terra resulta na exploração excessiva de nosso planeta e no declínio da biodiversidade (figuras 5a, S5; McBain *et al.* 2017). Enquanto a humanidade continuar a exercer uma pressão extrema sobre a Terra, qualquer tentativa de soluções apenas climáticas apenas redistribuirá essa pressão.

Para atacar a superexploração de nosso planeta, contestamos a noção predominante de crescimento infinito e superconsumo por parte de países e indivíduos ricos e a consideramos insustentável e injusta (Rockström *et al.* 2023). Defendemos, ao contrário, a redução do superconsumo de recursos; a redução, reutilização e reciclagem de resíduos em uma economia mais circular, de modo a priorizar o florescimento humano e a sustentabilidade. Enfatizamos a justiça climática e a distribuição justa dos custos e benefícios da ação climática, especialmente para comunidades vulneráveis (Gupta *et al.* 2023). Apelamos a uma transformação da economia global para dar prioridade ao bem-estar humano e proporcionar uma distribuição mais equitativa dos recursos (Hickel *et al.* 2021). Defendemos também a estabilização e gradual diminuição da população humana com justiça de gênero, por meio de planejamento familiar voluntário e do apoio à educação e aos direitos de mulheres e meninas, o que reduz as taxas de fertilidade e eleva o padrão de vida (Bongaarts e O'Neill 2018). Essas estratégias ambientalmente conscientes e socialmente equitativas exigem transformações

abrangentes e holísticas a longo prazo, que possam ser alcançadas por meio de etapas graduais, mas significativas a curto prazo (ou seja, incrementalismo radical; Halpern e Mason 2015).

Como cientistas, somos cada vez mais solicitados a contar ao público a verdade sobre as crises que enfrentamos, de maneira simples e direta. A verdade é que estamos chocados com a ferocidade dos eventos climáticos extremos em 2023. Tememos o território desconhecido em que agora entramos. As condições vão se tornar muito angustiantes e potencialmente incontrolláveis em grandes regiões do mundo, com o aquecimento de 2,6°C esperado ao longo do século, mesmo que os compromissos nacionais autoimpostos de redução de emissões do Acordo de Paris sejam cumpridos (UNEP 2022b). Alertamos para o potencial colapso de sistemas naturais e socioeconômicos em um mundo no qual enfrentaremos calor insuportável, frequentes eventos climáticos extremos, escassez de alimentos e de água doce, aumento do nível do mar, surgimento de mais doenças e aumento da instabilidade social e de conflitos geopolíticos. O sofrimento em grande escala devido às mudanças climáticas já está acontecendo, e ultrapassamos muitos limites seguros e justos do sistema terrestre, pondo em risco a estabilidade e os sistemas de suporte à vida (Rockström *et al.* 2023). Dado o iminente fracasso do ambicioso objetivo de conter o aquecimento médio global em 1,5 °C acima do período pré-industrial, estipulado no Acordo de Paris, faz-se absolutamente necessário reduzir imediatamente o uso de combustíveis fósseis e impedir qualquer aumento adicional de 0,1 °C no aquecimento global futuro. Em vez de nos concentrarmos apenas na redução de carbono e nas mudanças climáticas, atacar a questão subjacente da ultrapassagem dos limites ecológicos nos dará a melhor chance de sobreviver a esses desafios a longo prazo. Este é o nosso momento de fazer uma diferença profunda para toda a vida na Terra, e devemos abraçá-lo com coragem e determinação inabaláveis para criar um legado de mudança que resistirá ao teste do tempo.

Agradecimentos

Agradecemos a William H. Calvin, Katherine Graubard, Karen Wolfgang e Holly Jean Buck por fornecerem sugestões úteis. Agradecemos a Susan Christie pela assistência neste projeto. Recebemos financiamento parcial da Fundação CO2 e de Roger Worthington.

Sobre os Autores

William J. Ripple (bill.ripple@oregonstate.edu) é afiliado ao Departamento de Ecossistemas Florestais e Sociedade da Universidade do Estado de Oregon (OSU), em Corvallis, Oregon, nos Estados Unidos, e ao Instituto de Biologia da Conservação (CBI), em Corvallis, Oregon, nos Estados Unidos. Christopher Wolf (christopher.wolf@oregonstate.edu) e Jillian W. Gregg são afiliados à Terrestrial Ecosystems Research Associates, em Corvallis, Oregon, nos Estados Unidos. Johan Rockström é afiliado ao Instituto Potsdam de Pesquisa sobre Impacto Climático, em Potsdam, Alemanha. Thomas M. Newsome é

afiliado à Escola de Ciências da Vida e do Meio Ambiente da Universidade de Sydney, em Sydney, Nova Gales do Sul, Austrália. Beverly E. Law é afiliada ao Departamento de Ecossistemas Florestais e Sociedade da OSU e ao CBI. Luiz Marques (luiz.marques4@gmail.com) é afiliado à Universidade Estadual de Campinas - Unicamp e ao Centro de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), em Campinas, no estado de São Paulo, Brasil. Timothy M. Lenton é afiliado ao Instituto de Sistemas Globais da Universidade de Exeter, em Exeter, Inglaterra, Reino Unido. Chi Xu é afiliado à Escola de Ciências da Vida da Universidade de Nanquim, em Nanquim, China. Saleemul Huq é afiliado ao Centro Internacional para Mudanças Climáticas e Desenvolvimento da Universidade Independente de Bangladesh, em Dacca, Bangladesh. Leon Simons é afiliado ao Clube de Roma dos Países Baixos, em 's-Hertogenbosch, nos Países Baixos. Sir David Anthony King é afiliado ao Departamento de Química do Downing College, na Universidade de Cambridge, em Cambridge, Inglaterra, Reino Unido.

Referências citadas

Anderson K, Peters G. 2016. The trouble with negative emissions. *Science* 354: 182–183.

[Google Scholar](#)

[CrossrefPubMed](#)

[WorldCat](#)

Armstrong McKay DI, Staal A, Abrams JF, Winkelmann R, Sakschewski B, Loriani S, Fetzer I, Cornell SE, Rockström J, Lenton TM. 2022. Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science* 377: eabn7950.

[Google Scholar](#)

[CrossrefPubMed](#)

[WorldCat](#)

Bongaarts J, O'Neill BC. 2018. Global warming policy: Is population left out in the cold? *Science* 361: 650–652.

[Google Scholar](#)

[CrossrefPubMed](#)

[WorldCat](#)

Bowman DM, Williamson GJ, Price OF, Ndalila MN, Bradstock RA. 2021. Australian forests, megafires and the risk of dwindling carbon stocks. *Plant, Cell, and Environment* 44: 347–355.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Burke A, Fishel S. 2020. A coal elimination treaty 2030: Fast tracking climate change mitigation, global health, and security. *Earth System Governance* 3: 100046.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Cai W *et al.* 2021. Changing El Niño–Southern Oscillation in a warming climate. *Nature Reviews Earth and Environment* 2: 628–644.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Calvin WH. 2020. Extreme Weather: And What to Do about It. CO2 Foundation.

Cassidy ES, West PC, Gerber JS, Foley JA. 2013. Redefining agricultural yields: From tonnes to people nourished per hectare. *Environmental Research Letters* 8: 034015.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Chancel L. 2022. Global carbon inequality over 1990–2019. *Nature Sustainability* 5: 931–938.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Copernicus. 2023. A record-breaking boreal wildfire season. Copernicus. <https://atmosphere.copernicus.eu/record-breaking-boreal-wildfire-season>.

Ditlevsen P, Ditlevsen S. 2023. Warning of a forthcoming collapse of the Atlantic meridional overturning circulation. *Nature Communications* 14: 4254.

[Google Scholar](#)

[CrossrefPubMed](#)

[WorldCat](#)

Environment and Climate Change Canada. 2023. Canadian environmental sustainability indicators: Greenhouse gas emissions. Environment and Climate Change Canada. www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/environmental-indicators/greenhouse-gas-emissions.html.

[FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO] Food and Agriculture Organization of the United Nations, the International Fund for Agricultural Development, the United Nations Children's Fund, the World Food Program, the World Health Organization. 2023. *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023: Urbanization, Agrifood Systems Transformation and Healthy Diets across the Rural–Urban Continuum*. FAO.

Flores BM, Staal A. 2022. Feedback in tropical forests of the Anthropocene. *Global Change Biology* 28: 5041–5061.

[Google Scholar](#)

[CrossrefPubMed](#)

[WorldCat](#)

Gupta J, *et al.* 2023. Earth system justice needed to identify and live within Earth system boundaries. *Nature Sustainability* 6: 630–638.

Halpern D, Mason D. 2015. Radical incrementalism. *Evaluation* 21: 143–149.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Harlan SL, Pellow DN, Roberts JT, Bell SE, Holt WG, Nagel J. 2015. Climate justice and inequality. Pages 127–163 in Dunlap RE, Brulle RJ, eds. *Climate Change and Society: Sociological Perspectives*. Oxford University Press.

[Google Scholar](#)

[WorldCat](#)

Hickel J, Brockway P, Kallis G, Keyßer L, Lenzen M, Slameršak A, Steinberger J, Ürge-Vorsatz D. 2021. Urgent need for post-growth climate mitigation scenarios. *Nature Energy* 6: 766–768.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Jenkins S, Smith C, Allen M, Grainger R. 2023. Tonga eruption increases chance of temporary surface temperature anomaly above 1.5°C. *Nature Climate Change* 13: 127–129.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Kemp L, et al. 2022. Climate endgame: Exploring catastrophic climate change scenarios. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 119: e2108146119.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Kornhuber K, Lesk C, Schleussner CF, Jägermeyr J, Pfleiderer P, Horton RM. 2023. Risks of synchronized low yields are underestimated in climate and crop model projections. *Nature Communications* 14: 3528.

[Google Scholar](#)

[CrossrefPubMed](#)

[WorldCat](#)

Lenton TM, et al. 2023. Quantifying the human cost of global warming. *Nature Sustainability* 2023: s41893-023-01132-6.

[Google Scholar](#)

[WorldCat](#)

McBain B, Lenzen M, Wackernagel M, Albrecht G. 2017. How long can global ecological overshoot last? *Global and Planetary Change* 155: 13–19.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Muta T, Erdogan M. 2023. The Global Energy Crisis Pushed Fossil Fuel Consumption Subsidies to an All-Time High in 2022. *International Energy Agency*. www.iea.org/commentaries/the-global-energy-crisis-pushed-fossil-fuel-consumption-subsidies-to-an-all-time-high-in-2022.

[Google Scholar](#)

[WorldCat](#)

Normile D. 2020. China's bold climate pledge earns praise—but is it feasible? *Science* 370: 17–18.

O'Neill DW, Fanning AL, Lamb WF, Steinberger JK. 2018. A good life for all within planetary boundaries. *Nature Sustainability* 1: 88–95.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Ortiz-Bobea A, Ault TR, Carrillo CM, Chambers RG, Lobell DB. 2021. Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. *Nature Climate Change* 11: 306–312.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Raza A, Razzaq A, Mehmood SS, Zou X, Zhang X, Lv Y, Xu J. 2019. Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants* 8: 34.

[Google Scholar](#)

[CrossrefPubMed](#)

[WorldCat](#)

Reid PC, *et al.* 2009. Impacts of the oceans on climate change. Pages 1–150 in Sims DW, ed. *Advances in Marine Biology*, vol. 56. Elsevier.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Ripple WJ, Wolf C, Newsome TM, Barnard P, Moomaw WR. 2020. World scientists' warning of a climate emergency. *BioScience* 70: 8–12.

[Google Scholar](#)

[WorldCat](#)

Ripple WJ, *et al.* 2021. World scientists' Warning of a climate emergency 2021. *BioScience* 71: 894–898.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Ripple WJ, Wolf C, Lenton TM, Gregg JW, Natali SM, Duffy PB, Rockström J, Schellnhuber HJ. 2023. Many risky feedback loops amplify the need for climate action. *One Earth* 6: 86–91.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Rockström J, *et al.* 2009. Planetary boundaries: Exploring The safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14: 26268316.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Rockström J, *et al.* 2023. Safe and just Earth system boundaries. *Nature* 619: 102–111.

Rousi E, Kornhuber K, Beobide-Arsuaga G, Luo F, Coumou D. 2022. Accelerated western European heatwave trends linked to more-persistent double jets over Eurasia. *Nature Communications* 13: 1–11.

[Google Scholar](#)

[CrossrefPubMed](#)

[WorldCat](#)

Stendel M, Francis J, White R, Williams PD, Woollings T. 2021. The jet stream and climate change. Pages 327–357 in Letcher TM, ed. *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth, 3rd ed.* Elsevier.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[Google Preview](#)

[WorldCat](#)

[COPAC](#)

Tollefson J. 2022. What the war in Ukraine means for energy, climate and food. *Nature* 604: 232–233.

[Google Scholar](#)

[CrossrefPubMed](#)

[WorldCat](#)

[UNEP] United Nations Environment Programme. 2022a. *Making Good on the Glasgow Climate Pact: A Call to Action to Achieve One Gigaton of Emissions Reductions from Forests by 2025*. UNEP.

[UNEP] United Nations Environment Programme. 2022b. *Emissions Gap Report 2022: The Closing Window: Climate Crisis Calls for Rapid Transformation of Societies*. UNEP.

[Google Scholar](#)

[Google Preview](#)

[WorldCat](#)

[COPAC](#)

van Asselt H, Newell P. 2022. Pathways to an international agreement to leave fossil fuels in the ground. *Global Environmental Politics* 22: 28–47.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Vilani RM, Ferrante L, Fearnside PM. 2023. The first acts of Brazil's new president: Lula's new Amazon institutionalism. *Environmental Conservation* 50: 148–151.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Wang C, Dong S, Evan AT, Foltz GR, Lee S-K. 2012. Multidecadal covariability of North Atlantic sea surface temperature, African dust, Sahel rainfall, and Atlantic hurricanes. *Journal of Climate* 25: 5404–5415.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Wu L, Zhao H, Wang C, Cao J, Liang J. 2022. Understanding of the effect of climate change on tropical cyclone intensity: A Review. *Advances in Atmospheric Sciences* 39: 205–221.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Xu C, Kohler TA, Lenton TM, Svenning J-C, Scheffer M. 2020. Future of the human climate niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117: 11350–11355.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Zhang F, Lu J, Chen L. 2023. When green recovery fails to consider coal pushback: Exploring global coal rebounds, production, and policy retrenchment post COVID-19. *Energy Research and Social Science* 101: 103142.

[Google Scholar](#)

[Crossref](#)

[WorldCat](#)

Author notes

Co-lead authors William J. Ripple and Christopher Wolf contributed equally to the work.

© The Author(s) 2023. Published by Oxford University Press on behalf of the American Institute of Biological Sciences.

This article is published and distributed under the terms of the Oxford University Press, Standard Journals Publication Model

(https://academic.oup.com/journals/pages/open_access/funder_policies/chorus/standard_publication_model)

Dados suplementares

[biad080_Supplemental_Files](#)

The methods and details of planetary vital sign variables used in this report, along with other discussion appear in supplemental file S1. A list of the scientist signatories for Ripple and colleagues (2020) as of 29 March 2023 appears in supplemental file S2. These signatures are not for the current report.

O artigo “World scientists’ warning of a climate emergency” (Ripple *et al.* 2020) tem agora mais de 15.000 signatários de 163 países, e continuamos a recolher assinaturas de cientistas. Para assinar ou saber mais, visite o site da Alliance of World Scientists em <https://scientistwarning.forestry.oregonstate.edu>. Para ler sobre *advocacy* baseada em ciência e assistir à *A Scientist's Warning*, um novo documentário sobre cientistas se manifestando, visite www.scientistwarningfilm.org.