



O Antropoceno como aceleração do aquecimento global

The Anthropocene as an acceleration of global warming

Luiz Marques ^a 

RESUMO: O conceito de Antropoceno refere-se primariamente ao aumento da escala da interferência antrópica no sistema Terra, mas também à aceleração desse aumento. A combinação desses dois fatores – escala e velocidade – molda o sistema Terra de modo mais decisivo do que a interferência de fatores não antrópicos, promovendo um colapso do tempo geológico no tempo histórico. Pomos aqui em evidência duas fases da aceleração desse aquecimento (1970-2015 e 2016-2040), com suas consequências mais imediatas e dramáticas: maior frequência de novos recordes de calor e intensificação das ondas de calor extremo, que têm matado mais e mais pessoas e ameaçam a habitabilidade do planeta em latitudes de grande densidade demográfica já no horizonte dos próximos decênios.

Palavras-chave: Antropoceno; Colapso ecológico; Ecologia política; Aquecimento global.

ABSTRACT: The Anthropocene concept refers primarily to the increase in scale of human interference in the Earth system, but also to the acceleration of this increase. The combination of these two factors – scale and velocity – shapes the Earth system more decisively than the interference of non-anthropogenic factors, promoting a collapse of geological time into historical time. Here we highlight two phases of the acceleration of this warming (1970-2015 and 2016-2040), with their most immediate and dramatic consequences: the greater frequency of new heat records and the intensification of extreme heat waves, which have killed more and more people and threaten the habitability of the planet in latitudes of high population density, already on the horizon of the next decades.

Keywords: Anthropocene; Ecological collapse; Political ecology; Global warming.

^a Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil.

* Correspondência para/Correspondence to: Luiz Marques. E-mail: luiz.marques4@gmail.com.

Recebido em/Received: 04/04/2022; Aprovado em/Approved: 22/05/2022.

Artigo publicado em acesso aberto sob licença [CC BY 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

INTRODUÇÃO

Na nova época geológica iniciada na segunda metade do século XX, o Antropoceno,¹ a atividade humana tornou-se a variável mais importante nas dinâmicas do sistema Terra, não apenas por sua mudança de escala, mas também pela velocidade crescente dessa mudança, isto é, por sua *aceleração*. Embora como unidade do tempo geológico, o Antropoceno encontre-se ainda em vias de ratificação final na terminologia estratigráfica (CRUTZEN; STOERMER 2000; CRUTZEN 2002; CRUTZEN 2006; STEFFEN *et al.* 2007; STEFFEN *et al.* 2011; ZALASIEWICZ 2015; MARQUES 2018) ele já se tornou um termo amplamente consagrado na literatura científica e das humanidades,² e sua datação prevalentemente a partir de meados do século XX contribui em muito para que Antropoceno e aceleração tornem-se termos quase intercambiáveis. De fato, o programa de pesquisas dedicadas às mudanças globais – Global Change International Geosphere-Biosphere Programme – demonstrou em sua síntese de 2004 (IGPB 2004) a emergência de uma “Grande Aceleração” a partir de 1950, considerado o período 1750-2000. Eis a síntese de seus resultados:

“A segunda metade do século XX é única em toda a história da existência humana na Terra. Muitas atividades humanas alcançaram pontos de decolagem em algum momento do século XX e se aceleraram fortemente no final do século. Os últimos 50 anos testemunharam, sem dúvida, a mais rápida transformação da relação humana com o mundo natural na história da humanidade” (STEFFEN *et al.* 2004).

Essa transformação vertiginosa nas relações entre os humanos e o sistema Terra encontrou seu ícone nos 24 indicadores em interação (12 indicadores socioeconômicos e 12 relativos a mudanças antropogênicas no sistema Terra), atualizados em 2015 por Will Steffen e colegas até 2010 (STEFFEN *et al.* 2014). Como afirmam os autores desse trabalho seminal: “É difícil superestimar a escala e a velocidade das mudanças. No intervalo de tempo de duas gerações – ou o tempo de uma única vida – a humanidade (ou até pouco tempo uma pequena fração dela) tornou-se uma força geológica em escala planetária”.

Desde os anos 1970, a comunidade científica e os movimentos ambientalistas vêm se mobilizando para comunicar às sociedades e aos governantes os riscos crescentes implicados nesses saltos em escala e velocidade da interferência antrópica nos equilíbrios planetários, impostos por uma economia inerentemente expansiva. Num primeiro momento, as manifestações dos cientistas pontuam os dois grandes eventos diplomáticos de 1972 e de 1992: a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento e Meio Ambiente Humano, ocorrida em Estocolmo e a Eco-92 ou Cúpula da Terra, que teve lugar no Rio de Janeiro, vinte anos depois. De 1972 são *Only One Earth* (WARD; DUBOS 1972), *Blueprint for survival* (GOLDSMITH; ALLEN 1972) e *The*

¹ O Grupo de trabalho sobre Antropoceno da Subcomissão sobre a Estratigrafia do Quaternário assim define o Antropoceno: “O intervalo de tempo presente no qual muitas condições e processos geológicos significativos são profundamente alterados pelas atividades humanas. Estes abrangem: erosão, transportes de sedimentos associados a uma variedade de processos antropogênicos, colonização, agricultura, urbanização, aquecimento global, a composição química da atmosfera, oceanos e solos com perturbações antropogênicas significativas dos ciclos de elementos como o carbono, nitrogênio, fósforo, vários metais, acidificação oceânica, ampliação das ‘zonas mortas’, perturbações da biosfera terrestre e marítima, perda de habitat, predação, invasões de espécies e as mudanças químicas mencionadas acima”.

² Sobre as relações do Antropoceno com o Brasil, veja-se Issberner & Lena (ogs.) 2017.

Limits to Growth (MEADOWS et al. 1972)³. Entre as diversas manifestações de 1992, destaca-se a “Advertência dos Cientistas do Mundo à Humanidade”⁴. Estes eram apenas os primeiros passos dessa mobilização, que dá um salto de radicalidade no segundo decênio do século XXI. Em 2013, Anthony Barnosky e colegas publicaram o “Consenso Científico sobre a Manutenção dos Sistemas de Sustentação da Vida da Humanidade no Século XXI: Informação aos Formuladores de Políticas” (BARNOSKY et al. 2013) endossado por mais de 3.700 assinaturas. Em 2017, 2020 e 2021, William Ripple e colegas (RIPPLE et al.) publicaram três advertências sobre a emergência ambiental e climática, subscritas por dezenas de milhares de cientistas de mais de 180 países. Desde 2018, sobretudo após o Relatório Especial do IPCC com foco nos impactos diferenciais entre um aquecimento de 1,5°C e um aquecimento de 2°C, verifica-se um acúmulo de estudos, manifestos científicos e estudos interdisciplinares sobre a emergência climática e sobre os riscos crescentes envolvidos na aceleração em curso do aquecimento, os quais, contudo, não têm encontrado a devida ressonância na sociedade e menos ainda na rede corporativa global e nas instâncias políticas decisórias.

São muitas e bem conhecidas as resistências políticas e econômicas à ciência e às rápidas e radicais transformações por ela preconizadas no sistema econômico globalizado. Mas mesmo nas sociedades como um todo constata-se uma baixa reatividade aos alertas científicos. Ao lado do bloqueio ideológico, da desinformação patrocinada e dos interesses em jogo, esse descompasso entre a alta voltagem da informação qualificada e a baixa percepção social das crises que se avolumam reside na dificuldade de apreender intuitivamente as implicações da “Grande Aceleração”. O senso comum tende, compreensivelmente, a prefigurar o futuro a partir das experiências e das métricas do passado. Nada, contudo, pode ser mais enganoso numa dinâmica de aceleração, sobretudo quando se levam em conta as respostas não lineares do sistema Terra ao acúmulo de estímulos e perturbações. Tomemos, por exemplo, a elevação do nível do mar. No período 1900-1930, a taxa média de elevação do nível do mar era de 0,6 mm por ano. Entre 2014 e 2017, o nível do mar se elevou em média 5 mm por ano e em 2019 ele se elevou 6,1 mm em relação a 2018 (LINDSEY 2020). Em apenas um século, portanto, a rapidez da elevação do nível do mar mais que decuplicou. Isso significa que a cada 33 anos (na média), essa rapidez duplicou, passando de 0,6 mm, para 1,2 mm, 2,4 mm e para 4,8 mm. Em 2011, James Hansen e Makiko Sato mostravam a magnitude assombrosa de um aumento exponencial do nível do mar já neste século:

Conforme o aquecimento aumenta, o número de rios de gelo a contribuir para a perda de massa aumentará, contribuindo para uma resposta não linear, melhor caracterizada por um aumento exponencial do que por um aumento linear. Hansen

³ O livro *Only One Earth* foi encomendado pelo presidente da Conferência das Nações Unidas, Maurice Strong, sobre o Desenvolvimento e Meio Ambiente Humano em Estocolmo, em 1972; o manifesto *Blueprint for survival*, proposto por Edward (Teddy) Goldsmith e Robert Allen, foi publicado pela revista *The Ecologist* em 1972, também por ocasião da Conferência de Estocolmo desse ano. Ele foi assinado por mais de 30 cientistas eminentes, entre os quais Julian Huxley, Frank Fraser Darling, Peter Medawar e Peter Scott. Veja-se <<http://www.theecologist.info/page33.html>>; *The Limits to Growth* (Meadows et al.-1972), encomendado pelo Clube de Roma. Este estudo pioneiro, que ganhou duas atualizações em 1992 e em 2004, analisava os pressupostos teóricos do crescimento econômico a partir de uma teoria de sistemas dinâmicos, consubstanciada num modelo computacional elaborado no MIT e intitulado World3.

⁴ Cf. *World Scientists' Warning to Humanity*, 16/VII/1992. Patrocinado pela Union of Concerned Scientists do MIT, redigido por Henry W. Kendall (Prêmio Nobel em Física de Partículas em 1990) e assinado por 1.700 cientistas, incluindo a maioria dos laureados com o Prêmio Nobel em diversos campos das ciências. <<https://www.ucsusa.org/resources/1992-world-scientists-warning-humanity>>.

(2007) sugeriu que um tempo de duplicação a cada 10 anos era plausível, e indicou que tal tempo de duplicação, a partir de uma contribuição do manto de gelo de 1 mm por ano para o nível do mar na década de 2005-2015, levaria a 5 metros cumulativos de aumento do nível do mar em 2095 (HANSEN; SATO 2011).

Em 2016, os mesmos autores, ao lado de outros colegas, reafirmaram com mais dados os resultados de sua análise:

Nossa hipótese é que a perda de massa do gelo mais vulnerável, suficiente para aumentar o nível do mar em vários metros, aproxima-se melhor de uma resposta exponencial do que de uma resposta linear. Tempos de duplicação de 10, 20 ou 40 anos produzem aumentos de vários metros no nível do mar em cerca de 50, 100 ou 200 anos (HANSEN; SATO 2016).

Em apoio a essa hipótese, Mohsen Taherkhani e colegas mostram que “as probabilidades de inundações extremas [na linha costeira] dobram aproximadamente a cada cinco anos no futuro” (TAHERKHANY *et al.* 2020). Paul Voosen reporta previsões de Aimée Slangen, ainda inéditas, segundo as quais quando os níveis do mar aumentarem 25 cm acima dos níveis de 2000, o que pode ser atingido já em 2040, inundações da linha costeira que ocorrem uma vez por século podem ocorrer anualmente (VOOSEN 2020). Scott Kulp e Benjamin Strauss, do Climate Central, projetam, enfim, que cerca de 300 milhões de pessoas em seis países da Ásia vivem hoje em terrenos que serão inundados durante as marés altas em meados do século XXI, algo impensável poucos anos atrás (KULP; STRAUSS 2019). Como afirmam Robert DeConto e David Pollard (2016): “Hoje estamos medindo a elevação do nível do mar em milímetros por ano. Falamos de um potencial para medi-la em centímetros por ano apenas em decorrência do degelo da Antártida”. De fato, a fratura iminente do Thwaites, o maior glaciador do mundo (flutuante sobre o mar de Amundsen na Antártida), desobstruirá o caminho para o mar de imensas quantidades de gelo continental. Segundo Erin Pettit, “se a plataforma de gelo oriental de Thwaites colapsar, o gelo nesta região poderá fluir até três vezes mais rápido para o mar. E se a geleira desabar completamente, ela aumentará o nível do mar em 65 centímetros” (WITZE 2021 cit.).

A elevação do nível do mar tornou-se irreversível. Já em seu Terceiro Relatório de Avaliação, há pouco mais de 20 anos, o IPCC afirmava: “projeta-se que o nível do mar continuará a se elevar por muitos séculos” (IPCC AR3 2001). Tudo o que é possível fazer agora é desacelerar ao máximo esse processo, de modo a aumentar as chances de adaptação, antes que essa elevação inevitável do nível do mar salinize deltas e aquíferos, destrua as praias e, em geral, os ecossistemas costeiros, torne inabitável muitas cidades e ameace as usinas nucleares. Mas desacelerar essa elevação só será possível se as sociedades priorizarem a redução das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa (GEE). Ocorre que, por enquanto, essas concentrações estão aumentando aceleradamente...

A velocidade crescente do aumento das concentrações atmosféricas de CO₂ fornece outro exemplo didático da dificuldade de compreender os desdobramentos das dinâmicas de aceleração. Guy Stewart Callendar mal podia imaginar o alcance do que escreveu em 1939: “É um lugar-comum a afirmação de que o homem é capaz de acelerar os processos da Natureza (...). O homem está agora mudando a composição

da atmosfera a uma taxa que deve ser excepcional na escala do tempo geológico” (CALLENDAR 1939). Isso, repita-se, em 1939! Hoje, como afirmava em 2017 Pieter Tans, “a taxa de crescimento das concentrações de CO₂ na atmosfera na última década ocorreu 100 a 200 vezes mais rapidamente do que a Terra experimentou durante a transição da última idade do gelo. Esse é um choque real para a atmosfera” (TANS 2017). Em 2020, uma declaração da Geological Society of London reconhece a singularidade dessa aceleração na escala do tempo geológico:

A velocidade atual da mudança de CO₂ induzida pelo homem e do aquecimento é, por assim dizer, sem precedentes em todos os registros geológicos, com a única exceção conhecida do evento meteorítico instantâneo que causou a extinção dos dinossauros não aviários há 66 milhões de anos (LEAR *et al.*, 2020).

Matthias Aengenheyster e colegas expressam o mesmo consenso científico ao afirmarem que “o sistema Terra está atualmente em um estado de rápido aquecimento, sem precedentes mesmo nos registros geológicos” (AENGENHEYSTER 2018). Entre 1960 e 1969, o aumento do CO₂ atmosférico havia evoluído à taxa média anual de 0,85 partes por milhão (ppm).⁵ Nos seis anos entre 2015 e 2020, elas aumentaram à taxa média anual de 2,55 ppm.⁶ A velocidade do aumento dessas concentrações, portanto, triplicou em apenas meio século. Já em 2013, quando as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono haviam atingido 395 ppm, sua taxa de aumento era considerada sem precedentes nos último 55 milhões de anos (SOMERO *et al.* 2013). Em abril de 2021, elas atingiram 421,2 ppm, as mais altas dos últimos três milhões de anos, sendo que as concentrações típicas do Holoceno (11.700 AP até 1950) não excediam 280 ppm. Como bem diz Ken Caldeira: “Estamos recriando o mundo dos dinossauros cinco mil vezes mais rápido” (CALDEIRA 2012). Isso significa que a escala de tempo geológico colapsou na escala do tempo histórico de poucas décadas. Em termos de nossa capacidade de perturbar coordenadas cruciais do sistema Terra, dez anos de nossa história presente equivalem agora, por assim dizer, a séculos de nossa história pregressa.

Duas fases da aceleração do aquecimento entre 1970 e 2020

Os dados fornecidos em janeiro de 2021 pelo Goddard Institute for Space Studies (GISS-GISTEMP) da NASA sobre o aquecimento médio global em 2020 situam-se no limite superior da avaliação da Organização Meteorológica Mundial (1,2°C ±0,1°C) para 2020. O relatório de 2020 do GISTEMP afirma:

A temperatura global de 2020 foi 1,3°C mais quente do que no período base de 1880-1920; a temperatura global nesse período de referência é uma estimativa razoável da temperatura ‘pré-industrial’. Os seis anos mais quentes no registro GISS ocorrem todos nos últimos seis anos, e os 10 anos mais quentes estão todos no século XXI (HANSEN *et al.*, 2021).

⁵ Cf. CO₂ acceleration <<https://www.co2.earth/co2-acceleration>>.

⁶ NOAA (North Oceanic and Atmospheric Administration) <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/gl_gr.html>.

A Figura 1 atualiza a evolução da temperatura até 2021, mostrando: (a) as médias anuais; (b) as médias de cada 11 anos para evitar o ruído de um dos ciclos solares e (c) a tendência linear dos anos 1970-2015.

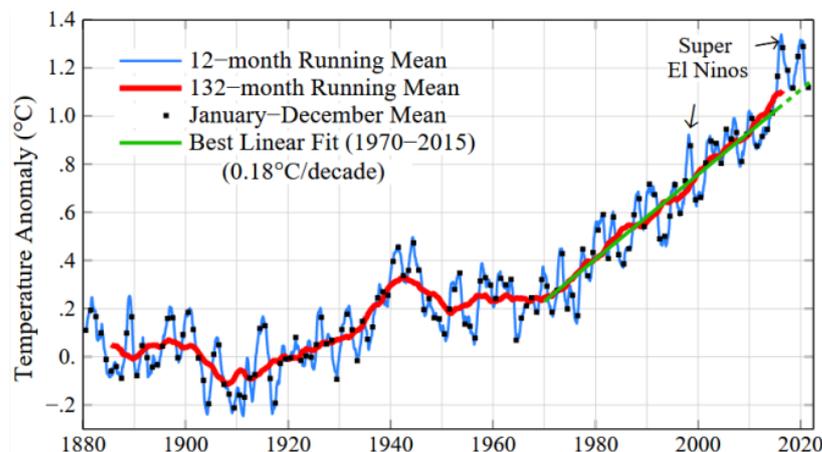


Figura 1. Temperaturas médias superficiais, terrestres e marítimas combinadas, em relação ao período de base 1880-1920, baseadas nos dados do GISTEMP. Médias anuais: curvas com quadrados pretos (azul); curvas médias a cada 11 anos (vermelho) e melhor tendência linear entre 1970 e 2015 (verde), com aquecimento médio de 0,18°C por década. As flechas assinalam os efeitos dos dois “Super El Niños” de 1998 e 2016.

Fonte: Hansen *et al.*, 2021.

Em janeiro de 2022, James Hansen, Makiko Sato e Reto Ruedy, do Earth Institute (Columbia University), fizeram um balanço da situação climática de 2021 e das perspectivas do clima neste decênio. Os dados são do Goddard Institute for Space Studies (GISS) e os elementos dessa análise fundamental devem ser reportados *ipse litteris*:

A temperatura da superfície global em 2021 foi de +1,12°C em relação à média de 1880-1920. (...) Os anos 2021 e 2018 estão empatados como o 6º ano mais quente nos registros instrumentais. Os oito anos mais quentes desses registros ocorreram nos últimos oito anos. A taxa de aquecimento sobre a terra é cerca de 2,5 vezes mais rápida do que sobre o oceano. O ciclo irregular El Niño/La Niña domina a variabilidade interanual da temperatura, o que sugere que 2022 não será muito mais quente que 2021, mas 2023 pode estabelecer um novo recorde. Além disso, três fatores – aceleração das emissões de GEE, diminuição dos aerossóis, e o ciclo de irradiação solar – aumentarão um desequilíbrio energético planetário já sem precedentes e levarão a temperatura global além do limite de 1,5°C, provavelmente durante a década de 2020 James (HANSEN *et al.*, 2022).

Essa afirmação de Hansen e colegas segundo a qual um aquecimento médio global de 1,5°C acima do período pré-industrial deve ser provavelmente alcançado já durante a presente década baseia-se na percepção de que entramos, desde 2016, numa segunda fase da aceleração do aquecimento global. Como indicado na Figura 1, a tendência linear do período 1970-2015 mostra um aquecimento médio global de 0,18°C por década (0,27°C/década nas terras emersas e 0,11°C/década nos oceanos). A estimativa do GISS está quase no centro da estimativa indicada pelo IPCC (SR1.5 2018), segundo a qual “o aquecimento global antropogênico está atualmente aumentando em 0,2°C (provavelmente entre 0,1°C e 0,3°C) por década, em decorrências das emissões passadas e atuais (alta confiabilidade)” (IPCC 2018). Essa taxa de aquecimento (1970-

2015) indica a *primeira fase* de aceleração em relação ao ritmo de aquecimento dos decênios anteriores (1880-2018). Os dados do NOAA confirmam-na, ao mostrar que “a temperatura global anual se elevou a uma taxa média de 0,07°C por década desde 1880 e a uma taxa média por década superior ao dobro da taxa anterior (0,18°C) desde 1981” (NOAA 2019).

Mais recentemente, contudo, o aquecimento do planeta entrou em uma *segunda fase* de aceleração. Em uma postagem de 14 de dezembro de 2020 em sua página “Climate Science, Awareness and Solutions Program”, do Earth Institute da Columbia University, justamente intitulada “Aceleração do Aquecimento Global”, James Hansen e Makiko Sato escrevem:

A temperatura global recorde em 2020, apesar de um forte La Niña nos últimos meses, reafirma uma aceleração do aquecimento global, demasiado grande para ser um ruído aleatório. Isto implica um aumento da taxa de crescimento do forçamento climático global total e do desequilíbrio energético da Terra. (...) A taxa de aquecimento global acelerou-se nos últimos 6-7 anos. O desvio da média atual dos últimos 5 anos (60 meses) em relação à taxa de aquecimento linear é grande e persistente; isso implica um aumento do forçamento climático líquido e do desequilíbrio de energia da Terra, que impulsiona o aquecimento global (HANSEN; SATO, 2020).

Como se pode perceber na Figura 1, no período 2016-2020, as linhas do aquecimento anual avançam claramente acima da tendência linear do período 1970-2015 (0,18°C / década). Essa segunda fase da aceleração do aquecimento foi advertida em 2018 por outros trabalhos, entre os quais o de Yangyang Xu, Veerabhadran Ramanathan e David Victor. Segundo esses autores, o aumento das emissões implica que “nos próximos 25 anos o aquecimento evoluirá à taxa de 0,25°C a 32°C por década” (XU *et al.* 2018). Esse prognóstico foi confirmado em julho de 2021 por James Hansen e Makiko Sato que se indagam sobre a medida do desvio do aquecimento recente em relação à tendência linear dos últimos 50 anos. A resposta que oferecem é 0,14°C, além do aumento médio de 0,18°C por década observado no período 1970-2015. Portanto, a taxa decenal de aquecimento é, agora, de 0,32°C. “Isso é muito, e sabemos que se trata de uma mudança de forçamento, impulsionada pelo crescente desequilíbrio energético planetário”. Os autores concluem:

No momento, podemos apenas inferir que o desequilíbrio energético da Terra – que era menos de, ou cerca de, meio Watt por m² durante o período 1971-2015 – dobrou aproximadamente para cerca de 1 Watt/m² desde 2015. Esse maior desequilíbrio energético é a causa da aceleração do aquecimento global. Nossa expectativa é que a taxa de aquecimento global para o quarto de século 2015-2040 seja cerca do dobro da taxa de aquecimento de 0,18°C por década durante o período 1970-2015, a menos que se tomem medidas apropriadas (HANSEN; SATO, 2021).

Na primeira fase da aceleração do aquecimento este saltou, portanto, de uma taxa de 0,07°C por década (desde 1880) para 0,18°C por década no período 1970-2015. A presente segunda fase mostra um salto de uma taxa de 0,18°C por década (1970-2015) para uma taxa de 0,32°C por década, com tendência para uma taxa de 0,36°C por década entre 2016 e 2040. A Tabela 1 resume os dados acima expostos sobre a aceleração do aquecimento desde 1880:

Tabela 1. Taxas de aquecimento por década em três períodos (1880-2040), segundo a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e o Earth Institute, Columbia University (EI).

Períodos	1880 - 2018	1970 - 2015	2016 - 2040
Aquecimento /década	0,07°C (NOAA)	0,18°C (NOAA/EI)	0,36°C (EI)

Fontes: NOAA, Global Climate Report 2019.
Hansen & Sato (2020).
Hansen & Sato (2021)

Ondas de calor mais frequentes e mais intensas na atmosfera

O desequilíbrio energético do planeta e o aquecimento médio global superficial do planeta, terrestre e marítimo combinados, em relação ao período pré-industrial são as métricas fundamentais para avaliar o nível de desregulação do sistema climático. O Mediterrâneo (incluindo o Oriente Médio), certas regiões dos EUA e a região central do Brasil deverão atingir um aquecimento médio de 2°C (no Ártico ela já foi atingida) cerca de 10 anos antes da média global, em relação ao período pré-industria (SENEVIRATNE 2016). São, portanto, regiões particularmente vulneráveis ao aquecimento global. Mas aquecimentos médios funcionam apenas como uma referência abstrata e de médio prazo, sendo quantificados como tendências na escala de anos ou de décadas. O que fustiga os organismos e os mata é a consequência primeira e mais concreta dessas métricas: o aumento da frequência de novos recordes de calor. O NOAA afirma que “de 1900 a 1980 um novo recorde de temperatura foi batido em média a cada 13,5 anos. Mas a cada 3 anos, de 1981 a 2019” (LINDSEY; DAHLMAN 2021). Tão letais quanto esses sucessivos recordes de calor são os extremos meteorológicos, entre os quais as ondas de frio e, sobretudo, as ondas de calor, definidas como temperaturas que excedem o 90º percentil das observações climatológicas durante um período de 30 anos. Nos últimos decênios, a desproporção entre recordes de calor e de frio é gritante. Em 2018, ano sem El Niño, para 40 recordes de frio, as estações meteorológicas registraram 430 recordes absolutos de calor (WONG 2019; SENGUPTA 2019). Essas ondas e picos de calor tornam-se sempre mais intensas, duradouras, frequentes e se estendem sobre regiões maiores. Elas exacerbam os incêndios florestais e as secas, alternadas com inundações por trombas d’água e furacões mais devastadores (WITZE 2018). Registram-se, em suma, variações meteorológicas que se distanciam dos valores típicos do sistema climático do século XX, com maior probabilidade doravante de anomalias jamais registradas no estado anterior desse sistema.⁷

No século XXI, as probabilidades de que essas ondas e picos de calor sejam causadas pela variabilidade natural do sistema climático tendem rapidamente a zero. Já em 2013, um trabalho mostrava que, globalmente, o número de recordes locais de temperaturas extremas nas médias mensais era então “em média cinco vezes maior do que seria de se esperar num clima sem uma tendência de aquecimento de longo prazo” (COUMOU *et al.* 2013). Como afirma um trabalho publicado na *Nature Climate Change* em 2014, “verões extremamente quentes que ocorreriam duas vezes no século no início dos

⁷ Sobre o conceito de ondas de calor a partir do exemplo da Austrália, ver Perkins & Alexander (2013).

anos 2000 são agora esperados duas vezes por década” (CHRISTIDIS *et al.* 2014). Tornaram-se, portanto, 10 vezes mais prováveis. Referindo-se à onda de calor europeia no verão de 2018, Peter Stott, do MET Office, declarou na COP24, em dezembro de 2018:

Nosso estudo provisório comparou modelos baseados no clima de hoje com os do clima natural que teríamos sem emissões antropogênicas [de GEE]. Descobrimos que a intensidade da onda de calor deste verão é cerca de 30 vezes mais provável do que teria sido o caso sem mudanças climáticas (MET OFFICE, 2018).

Nas palavras de Nikolaos Christidis, coautor desse estudo, há agora 12% de chance de que as próximas temperaturas médias estivais no Reino Unido repetirem as do verão de 2018 (máxima de 35,6°C) contra menos de 0,5% numa situação em que não houvesse mudanças climáticas. Mais de 1/3 da população dos EUA (124,6 milhões de pessoas) estão agora sofrendo taxas de aquecimento superiores à média global, com 499 condados mostrando aquecimento médios superiores a 1,5°C. Na Califórnia, 83% da população sofre esse nível de aquecimento, sendo que o condado de Ventura, a Noroeste de Los Angeles, já sofreu um aquecimento de 2,62°C, sempre em relação a 1895, data do início dos registros instrumentais (MILMAN 2022). No verão de 2021 quase um em três habitantes dos EUA (32%) vivem em um condado que sofreu eventos meteorológicos extremos. Além disso, quase duas entre três pessoas (64%) nesse país sofreram uma onda de calor de vários dias, fenômeno que está se tornando a mais perigosa forma de evento meteorológico extremo, (KAPLAN; TRAN 2021) com forte aumento de mortes por excesso de calor em escala global entre 2000 e 2019 (ZHAO *et al.* 2021).

Ainda há pouco, esses eventos meteorológicos extremos eram chamados *silent killers*, matadores silenciosos, pois, como afirmam Camilo Mora e colegas, “a doença por calor (ou seja, a ultrapassagem grave da ótima temperatura interna do corpo) é frequentemente mal diagnosticada porque a exposição a calor extremo frequentemente resulta em disfunção de vários órgãos, o que pode levar a erro de diagnóstico” (MORA *et al.* 2017). Mas isso está mudando. No trabalho citado, Camilo Mora e 17 coautores procuram mostrar justamente o impacto populacional direto do calor quando este ultrapassa o limiar de mortalidade dos humanos:

Atualmente, cerca de 30% da população mundial está exposta a condições climáticas que excedem o limiar de mortalidade por ao menos 20 dias por ano (...) Uma ameaça crescente à vida humana por excesso de calor parece agora inevitável, mas será muito agravada se os gases de efeito estufa não forem consideravelmente reduzidos (MORA *et al.*, 2017).

Repercutindo esse trabalho, um editorial da revista *Nature* relembra esse fato, a que se começa a dar mais e mais atenção:

De chuvas extremas à elevação do nível do mar, o aquecimento global deve causar caos nas vidas humanas. Por vezes, o impacto mais direto – o próprio aquecimento – é esquecido. E, no entanto, o calor mata. Afinal, o corpo evoluiu para funcionar numa faixa muito estreita de temperaturas. Nosso mecanismo de resfriamento baseado em transpiração é rudimentar; além de certa combinação de alta temperatura e umidade, ele falha. Estar ao sol e exposto a tal ambiente por qualquer período de tempo torna-se rapidamente uma

sentença de morte. E esse ambiente está se expandindo. Uma zona de morte está se alastrando sobre a superfície da Terra, ganhando um pouco mais de terreno a cada ano (EDITORIAL 2017).

A transpiração é um processo de evaporação que causa resfriamento do corpo, pois as moléculas de água com maior energia cinética (calor sensível) evaporam, deixando no corpo as de menor energia (calor latente). A capacidade dos humanos de transpirar – e, portanto, dissipar calor – em ambientes de alta umidade é muito menor do que em ambientes de baixa umidade. Quanto maior a umidade relativa do ar, maior é a dificuldade de as glândulas transpiratórias acionarem esse mecanismo de resfriamento evaporativo do corpo. Em situação de extrema umidade do ar, a fisiologia humana atinge seu limite de eficiência evaporativa em níveis muito baixos de calor. Esse limite, expresso pelo termo “temperatura de bulbo úmido” (*wet bulb temperature* ou TW), é ultrapassado em temperaturas maiores que 35°C (TW > 35°C) (SHERWOOD; HUBER 2010). Quando combinadas com alta umidade, em tais temperaturas o sistema de resfriamento natural, inclusive de organismos jovens e saudáveis, entra em alto risco de falência, mesmo à sombra e com quantidades ilimitadas de hidratação. A consequência mais provável é então a morte por hipertermia ou por complicações a ela associadas. “Algumas localidades costeiras subtropicais”, afirmam Colin Raymond e colegas, “já reportaram uma temperatura de bulbo úmido de 35°C e a frequência em geral desse calor extremamente úmido mais que dobrou desde 1979” (RAYMOND *et al.* 2020). Além disso, o calor pode causar morte por outros muitos fatores, entre os quais a desidratação e a insolação.

Recordes e temperaturas acima de 45°C nos últimos sete anos (2015- janeiro de 2022)

Três informações sobre 2021 fornecem uma imagem da catástrofe que se avizinha: (1) “Mais de 400 estações meteorológicas no mundo todo bateram recordes das mais altas temperaturas dos registros históricos em 2021” (ZEE 2022). (2) “Um total de 1,8 bilhão de pessoas, quase um quarto da população mundial, vive em países que tiveram em 2021 o ano mais quente já registrado”. (3) “25 países, incluindo China, Nigéria e Irã, registraram uma média anual recorde em 2021” (MILMAN 2022). Por brutais que sejam, esses dados não surpreendem mais e não teriam por que surpreender quando lembramos que os últimos oito anos (2014-2021) foram os mais quentes dos registros históricos (HANSEN *et al.* 2022), o que naturalmente implica uma profusão crescente de temperaturas extremas. A Tabela 2 mostra algumas das regiões do planeta, algumas inclusive distantes do cinturão equatorial, nas quais se registraram temperaturas iguais ou acima de 45°C, entre 2015 e janeiro de 2022.

Tabela 2. Temperaturas máximas (entre 45°C e 54,4°C) entre 2015 e janeiro de 2022.

País	Temperatura	Data
Argentina ⁸	45°C	2022
Colômbia	45°C	2015
Guiné-Conakri	45°C	2017
África do Sul (Cidade do Cabo) ⁹	45,2°C	2022

⁸ Cf. “Una histórica ola de calor, con temperaturas de más de 45 grados, azota Argentina”. ABC, 12/1/2022.

⁹ Cf. “Calor atinge marcas sem precedentes no Sul da África”. MetSul, 23/1/2022.

Índia (Nova Delí) ¹⁰	45,4°C	2020
França (Verargues, Herault)	46°C	2019
EUA (Colorado)	46°C	2019
Chipre	46,2°C	2020
Egito (Kharga)	47°C	2021
Sudão (Cartum)	47°C	2021
Grécia (Langadas) ¹¹	47,1°C	2021
EUA (Las Vegas)	47,2°C	2021
Espanha	47,3°C	2017
Qatar (Doha)	48°C	2021
Itália (Siracusa, Sicília) ¹²	48,8°C	2021
México (Gallinas) ¹³	48,8°C	2020
Turquia (Cirze) ¹⁴	49,1°C	2021
EUA (Chino, Califórnia) ¹⁵	49,4°C	2020
EUA (Woodland Hills, Califórnia) ¹⁶	49,4°C	2020
Austrália (Port Augusta) ¹⁷	49,5°C	2019
Canadá (Lytton)	49,6°C	2021
Marrocos (Sidi Slimane)	49,6°C	2021
Austrália (Nullarbor, South Austr.)	49,9°C	2019
Tunísia (Kairouan)	50,3°C	2021
Saudi Arábia (Al Qaysuma)	50,4°C	2021
China (Xinjiang)	50,5°C	2017
Austrália (Onslow) ¹⁸	50,7°C	2022
Omã (Joba)	51,6°C	2021
Índia (Phalodi, Rajastão) ¹⁹	51°C	2016
Argélia (Ourgla) ²⁰	51,3°C	2018
Emirados Árabes Unidos (Sweihan)	51,8°C	2021

¹⁰ CF. JAYASHREE NANDI, “PARTS OF DELHI SIZZLE AT 45°C, NO QUICK RESPITE LIKELY: IMD”. *HINDUSTAN TIMES*, 23/IV/2020.

¹¹ CF. “HOTTEST TEMPERATURE ON TUESDAY CLOCKS IN AT 47.1C, AS HEATWAVE CONTINUES”. *EKATHIMERINI.COM*, 3/VIII/2021.

¹² Cf. Phoebe Weston & Jonathan Watts, “Highest recorded temperature of 48.8C in Europe apparently logged in Sicily”. *The Guardian*, 11/VIII/2021.

¹³ *State of the Global Climate 2020*, OMM, 2021, p. 25.

¹⁴ CF. “TURKEY BREAKS 1961 RECORD FOR HOTTEST TEMPERATURE WITH 49.1°C”. *DUVAR. ENGLISH*, 21/VII/2021
<[HTTPS://WWW.DUVARENGLISH.COM/TURKEY-BREAKS-1961-RECORD-FOR-HOTTEST-TEMPERATURE-WITH-4910C-NEWS-58257](https://www.duvarenglish.com/turkey-breaks-1961-record-for-hottest-temperature-with-4910c-news-58257)>.

¹⁵ Cf. Andrew Freedman, “California endures record-setting ‘kiln-like’ heat as fires rage, causing injuries”. *The Washington Post*, 6/IX/2020.

¹⁶ Cf. “California Heatwave fits a trend”. Earth Observatory, NASA, 6/IX/2020.

¹⁷ Cf. Will Steffen, Annika Dean, Martin Rice & Greg Mullins, *The Angriest Summer*, Climate Council of Australia, 2019, p. 4.

¹⁸ CF. “Australia equals hottest day on record at 50.7C”. *BBC*, 13/II/2022.

¹⁹ Cf. Jamie Condifle, “India experienced its hottest ever recorded temperature of 123.8F”. *Gizmodo*, 20/V/2016

²⁰ Cf. Jason Samenow, “Africa may have witnessed its all-time hottest temperature Thursday: 124 degrees in Algeria”. *The Washington Post*, 6/VII/2018.

Paquistão (Turbat) ²¹	53,7°C	2017
Iraque	53,8°C	2016
Kuwait (Mitribah)	53,9°C	2016
Irã (Ahvaz) ²²	54°C	2017
EUA (Califórnia, Furnace Creek)	54,4°C	2020

Fontes: Wikipedia, List of Weather Records <https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_weather_records>; OMM, “June ends with exceptional heat”, 29/VI/2021 <<https://public.wmo.int/en/media/news/june-ends-exceptional-heat>>; Mohammed Haddad, “Mapping the hottest temperatures around the world”. *Aljazeera*, 1/VII/2021; Bibi van der Zee, “More than 400 weather stations beat heat records in 2021”. *The Guardian*, 7/II/2022.

Em junho de 2021, a Organização Meteorológica Mundial afirmou ser difícil registrar todos os recordes de temperatura, tal sua quantidade (OMM 2021). Em Lytton, na província de Colúmbia Britânica, no Canadá, a temperatura chegou em junho a 49,6°C, mais do dobro da temperatura média nessa cidade nesse mês (24°C). Na mesma província canadense, romperam-se no dia 27 de junho 60 recordes de temperatura e no dia 28, mais 59, obrigando o governo a fechar escolas e a abrir refúgios com ar-condicionado.²³ A Sicília bateu por quase 1°C o recorde europeu de 48°C (Atenas, 1977), ao registrar 48,8°C em Siracusa em agosto de 2021 (WESTON; WATTS 2021). As temperaturas no Kuwait estão inviabilizando a vida, para os humanos e para outros animais. Em 2021, as temperaturas nesse país ultrapassaram pela primeira vez a marca de 50°C já em junho, ou seja, semanas antes do período de maior calor (MACDONALD 2022). Em 5 de julho de 2018, a cidade de Ourgala, na Argélia, atingiu 51,3°C, a maior temperatura medida de modo confiável na África. A temperatura mais baixa do dia 28 de junho de 2018 em Quiriyat, em Oman, foi 42°C (SAMENOW 2018). A temperatura de 50,7°C atingida em Onslow na Austrália em janeiro de 2022 foi a mais alta já registrada no hemisfério sul. Dos 28 países e 36 registros dos últimos sete anos (2015 – janeiro de 2022) com temperatura igual ou acima de 45°C, registrados na Tabela 2, nada menos que 20 apresentaram temperaturas acima de 49°C, sendo 13 acima de 50°C. Esses registros são evidentemente apenas ilustrativos, mas mostram, em todo o caso, como afirma Jean Jouzel, que:

as temperaturas extremas e os incêndios a elas associados na Columbia Britânica, no Canadá [em julho de 2021], não haviam sido previstos. E percebemos, sobretudo, que, a temperaturas próximas de 50°C entrávamos em um mundo no qual não se pode controlar mais nada. As aldeias se incendiam, a natureza é destruída, há perdas humanas e as infraestruturas não resistem (JOUZEL 2022).

Essas temperaturas extremas mostram também, como afirma o editorial da *Nature* acima citado, que o calor está agora ameaçando de morte contingentes populacionais crescentes. E esses contingentes crescerão exponencialmente à medida que o aquecimento médio global se aproximar e ultrapassar 1,5°C nos próximos anos ou, no mais tardar, na próxima década.

²¹ Cf. “WMO verifies 3rd and 4th hottest temperature recorded on Earth”. 18/VI/2019.

²² Cf. “Iranian City hits 129 degrees, hottest ever recorded”. *Global Citizen*, 30/VI/2017.

²³ Cf. Manuel Planelles & Jaime Porras Ferreyra, “La ONU advierte sobre la gran ola de calor en Norteamérica: ‘Es más propia de Oriente Próximo’”. *El País*, 29/VI/2021; “Canadá registra centenas de mortes súbitas em meio a onda recorde de calor”. *G1*, 30/VI/2021.

Mortes por excesso de calor e os países mais imediatamente afetados

Como se pode perceber, dos 15 países acima elencados nos quais a temperatura atingiu ou ultrapassou 49,6°C desde 2016, nove estão no Oriente Médio (6) e no Norte da África (3). Esses são os países ao mesmo tempo mais quentes e mais secos do mundo e, ao lado da Índia e do Paquistão, podem vir a ser os países situados em regiões inabitáveis do planeta, para os humanos e outros animais, já nos próximos decênios ou na segunda metade do século. Segundo George Zittis e colegas:

Em cenários de altas emissões e concentrações de GEE, em partes do Oriente Médio, por exemplo, perto do Golfo Pérsico, projeta-se que o efeito combinado de alta temperatura e umidade possa atingir ou mesmo exceder os limites da adaptabilidade humana. (...) Considerando intensidades moderadas de intensificação das Ilhas de Calor Urbano, prevemos que a temperatura máxima durante as ondas de calor ‘super-extremas’ e ‘ultra-extremas’ em alguns centros urbanos e megacidades no Oriente Médio e no Norte da África poderiam atingir ou mesmo exceder 60°C, o que seria tremendamente disruptivo para a sociedade. A humanidade nesses locais dependerá do resfriamento interno e externo ou será forçada a migrar (ZITTIS *et al.* 2021).

Depender de refúgios públicos dotados de equipamentos de ar-condicionado, tal como ocorreu em junho de 2021 na Colúmbia Britânica, no Canadá, pode ser um bom procedimento emergencial, mas não é algo factível, em termos energéticos, nem mesmo nos países mais ricos. Segundo estimativas propostas por Renee Obringer e colegas, um aquecimento médio global de 1,5°C acima do período pré-industrial deve implicar um aumento de até 8% (5% a 8,5%) na demanda de ar-condicionado nos EUA, e um aquecimento de 2°C implicaria um aumento de 13% (11% a 15%), se comparados à média de 2005-2019. Sem medidas específicas de adaptação, a sobrecarga na rede decorrente desse aumento de demanda seria suficiente para engendrar alto risco de queda de oferta de energia elétrica em 75 milhões de residência/dias ou quase 15 dias nos verões em alguns estados dos EUA (OBRINGER *et al.* 2021). Isso posto, o grande problema permanece o da exposição prolongada ao sol. O relatório da Union of Concerned Scientists, intitulado *Too hot to work*, afirma que “trabalhadores ao ar livre nos EUA têm até 35 vezes maior risco de morrer por exposição ao calor do que a população geral”. Os autores reportam a recomendação do Center for Disease Control (CDC), segundo a qual o trabalho ao ar livre deve ser cancelado e reagendado sempre que a temperatura exceder 42,2°C (108°F), dada a gravidade dos riscos. E alertam, enfim, que:

Com ação lenta ou nenhuma ação para reduzir as emissões globais e assumindo nenhuma mudança no número de trabalhadores ao ar livre, a exposição dos trabalhadores ao ar livre da nação a dias com um índice de calor acima de 100°F [37,7°C] aumentará três ou quatro vezes em meados do século (DAHL; LICKER 2021).

Nos EUA, “mais pessoas morrem a cada ano por excesso de calor do que pela soma de tempestades, inundações e incêndios florestais” (KAPLAN 2020). Em 2019, em Phoenix, capital do estado do Arizona, e em seu condado de Maricopa, houve 103 dias com temperaturas acima de 37,7°C (100°F), o que levou à morte 197 pessoas por causas relacionadas a excesso de calor. Trata-se do quarto ano em seguida de recordes de mortes por calor nessa região. Já em julho 2017, esses picos de calor extremo implicaram o cancelamento de dezenas de voos em Phoenix, porque os aviões não

foram projetados para decolar a temperaturas acima de 47°C. Num próximo futuro, o aquecimento deve restringir as condições operacionais de cinco modelos de aviação comercial em 19 grandes aeroportos (COFFEL *et al.* 2017). Problemas desse tipo foram relatados no aeroporto internacional de Las Vegas em julho de 2021.²⁴ No verão de 2021, fechou-se à visitação o Parthenon em Atenas, sob um calor de 42°C, entre 12:00 e 17:00 horas e é provável que num futuro próximo muitas regiões do Mediterrâneo fiquem inacessíveis ao turismo durante boa parte do ano. Desde 2016, enfim, o Ministério do Trabalho do Kuwait proibiu o trabalho ao ar livre das 11:00 às 16:00 entre 1º de julho e 31 de agosto, dado a letalidade potencial de uma exposição prolongada ao sol.²⁵

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse contexto, ao lado dos países do Oriente Médio e demais países situados no cinturão equatorial, a Índia e o Paquistão permanecem os países mais vulneráveis. Em 2018, houve cerca de 300.000 mortes em pessoas com mais de 65 anos de idade, sobretudo na Índia e na China, um aumento de 54% desde 2000 (WATT *et al.* 2018; KAI *et al.* 2020; DEY 2020). A Índia já é, e será sempre mais, um dos locais mais mortíferos do planeta por excesso de calor. Das 15 localidades mais quentes do mundo em 2020, 10 estavam na Índia (RAY 2020). Houve um aumento de 61% no número dessas mortes no país entre 2004 e 2013, segundo dados do National Crime Records Bureau (NCRB) (MALLAPUR 2015). Nos 11 anos entre 2005 e 2015 houve sete anos nos quais ondas de calor causaram mais de mil mortes, contra apenas dois anos nos 13 anos entre 1992 e 2004 (NARAYANAN 2017). Entre 2013 e 2016, houve registro de 4.620 mortes por excesso de calor nos estados de Andra Pradexe e Telangana, no Sudoeste da Índia.²⁶ Apenas em maio de 2015, em várias regiões do país a temperatura ultrapassou regularmente 47°C, com registro de 2.500 vítimas fatais, a maior parte de trabalhadores pobres, urbanos e rurais (LANGE 2015). Em junho desse mesmo ano, essa onda de calor extremo atingiu o Paquistão com temperaturas até 49°C, e causou cerca de 2.000 mortes. Ambos os países foram vítimas de ondas de calor extremo igualmente em 2017 e em 2018, com temperaturas até 51°C e numerosas mortes. Por terríveis que sejam, esses números de vítimas fatais do calor são muito subestimados. Segundo Dileep Mavalankar, diretor do Indian Institute of Public Health (IIPH), “considerando apenas as mortes por insolação clinicamente certificadas, elas representam apenas 10% do total das mortes por excesso de calor. (...) Mortes por excesso de calor são como um iceberg, 90% delas não são visíveis” (TRIPATHI 2020). As estimativas são de que em 50 anos, 1,2 bilhão de pessoas na Índia viverão em áreas tão quentes quanto o Saara, se as emissões de GEE continuarem aumentando (TRIPATHI 2020).

Em *The Ministry for the Future* (2020), Kim Stanley Robinson, mestre do gênero *cli-fi* (*climate fiction*),²⁷ propõe uma narrativa cujo ponto de partida é uma onda de calor que extermina 20 milhões de indianos. O autor imagina um quadro de traumas individuais e sociais daí decorrentes que, talvez, nada ou muito pouco tenha de ficcional já no próximo decênio. E não apenas na Índia.

²⁴ CF. “Possible issues with flights at McCarran Airport because of extreme heat”. KTNV Las Vegas, 9/VI/2021.

²⁵ Cf. “Ban on working in sun”. Arab Times, 2/VI/2016.

²⁶ Cf. “Heatwave in India claims 4,620 lives in four years”. Hindustan Times, 27/IV/2017.

²⁷ O termo “cli-fi” foi cunhado por Dan Bloom em 2007. Veja-se <<http://cli-fi.net/>>.

REFERÊNCIAS

- AENGENHEYSER, M.; FENG, Q.Y.; PLOEG F. van der; DIJKSTRA, H.A. The point of no return for climate action: effects of climate uncertainty and risk tolerance. **Earth System Dynamics**, 9, 2018, pp. 1085-1095
- BARNOSKY, A.; BROWN, J.; DAILY, G.C.; DIRZO, R. *et al.* Scientific Consensus on Maintaining Humanity's Life Support Systems in the 21st Century: Information for Policy Makers.
- CALDEIRA, Ken. The Great Climate Experiment. How far can we push the planet? **Scientific American**, September 2012.
- CALLENDAR, Guy S. The Composition of the Atmosphere through the Ages". **Meteorological Magazine**, 74, 1939, pp. 33-39.
- CHRISTIDIS, Nikolaos; JONES Gareth S.; STOTT, Peter A. Dramatically increasing chance of extremely hot summers since the 2003 heatwave. **Nature Climate Change**, 8/XII/2014.
- COFFEL, Ethan D.; THOMPSON, Terence R.; HORTON, Radley M., The impacts of rising temperatures on aircraft takeoff performance. **Climatic Change**, 13/VII/2017.
- CONDIFLE, Jamie. India experienced its hottest ever recorded temperature of 123.8F. **Gizmodo**, 20/V/2016
- COUMOU, Dim; ROBINSON, Alexander; RAHMSTORF, Stephan. Global increase in record-breaking monthly-mean temperatures. **Climatic Change**, 118, 3-4, June 2013, pp. 771-782.
- CRUTZEN Paul J. Geology of mankind. **Nature**, 415, 6867, 2002.
- CRUTZEN Paul J. The Anthropocene, in E. Ehlers, T. Krafft (eds.), **Earth System Science in the Anthropocene: Emerging Issues and Problems**. Springer, 2006.
- CRUTZEN, Paul J.; STOERMER, Eugene F. The Anthropocene. **IGBP Newsletter**, 41, 2000.
- DAHL, Kristina; LICKER, Rachel. Too hot to work. Assessing the Threats Climate Change Poses to Outdoor Workers. **Union of Concerned Scientists**. Agosto de 2021.
- DeCONTO, Robert; POLLARD, David. Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise". **Nature**, 531, 31/III/2016.
- DEY, Sushmi. 31,000 heat-related deaths of 65+ in India in 2018: Report." **The Times of India**, 3/XII/2020.
- EDITORIAL, Mercury rising. **Nature**, 22/VI/2017.
- FREEDMAN, Andrew. California endures record-setting 'kiln-like' heat as fires rage, causing injuries. **The Washington Post**, 6/IX/2020.
- Global Climate Report 2019, **NOAA**. Disponível em <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>. Acesso 02/02/2022.

- GOLDSMITH, Edward; ALLEN, Robert. Blueprint for survival. **The Ecologist**, special edition, January 1972.
- HADDAD, Mohammed. “Mapping the hottest temperatures around the world”. *Aljazeera*, 1/VII/2021.
- HANSEN, James E.; SATO, Makiko. Paleoclimate Implications for Human-Made Climate Change. *Climate Change: Inferences from Paleoclimate and Regional Aspects*, 2011.
- HANSEN, James et al. Global Temperature in 2020”, 14/I/2021. Disponível em <http://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2021/20210114_Temperature2020.pdf>. Acesso 01/03/2022.
- HANSEN, James et al., Ice Melt, Sea Level Rise and Superstorms: Evidence from Paleoclimate Data, Climate Modeling, and Modern Observations that 2°C Global Warming is Dangerous. *Atmospheric Chemistry and Physics. An interactive open-access journal of the European Geosciences Union*, 16, 22/III/2016.
- HANSEN, James et al. Climate Science, Awareness and Solutions Program. Earth Institute. Columbia University, 2021. <http://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2022/Temperature2021.13January2022.pdf>.
- HANSEN, James; SATO, Makiko. Global Warming Acceleration. **Earth Institute**, Columbia University, 14/XII/2020.
- HANSEN, James; SATO, Makiko et al. July **Temperature Update: Faustian Payment Comes Due**. Disponível em: <http://www.columbia.edu/~mhs119/Temperature/Emails/July2021.pdf> Acesso 04/01/2022.
- HANSEN, James; SATO, Makiko; RUEDY, Reto. Global Temperature in 2021. Disponível em <http://www.columbia.edu/~jeh1/mailings/2022/Temperature2021.13January2022.pdf>. Acesso em 01/02/2022.
- IGBP – International Geosphere-Biosphere Program 2004. <<http://www.igbp.net/about.4.6285fa5a12be4b403968000417.html>>.
- IPCC AR3 Climate Change 2001: Synthesis Report: “sea level is projected to continue to rise for many centuries. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/vol4/011.htm>>. Acesso, 01/03/2022.
- IPCC Special Report 1.5. **Summary for Policymakers**, 2018.
- ISSBERNER, Liz-Rejane; LÉNA, Philippe (eds.), **Brazil in the Anthropocene. Conflicts between predatory development and environmental policies**. Londres, Routledge, 2017.
- JOUZEL, Jean. Face au changement climatique, nous devons faire de la nature notre alliée. Entrevista concedida a Marjorie Cessac. **Le Monde**, 5/III/2022.
- KAHN, Brian. Carbon Dioxide is raising at Record Rates. **Climate Central**, 10/III/2017.

KAI, Wenjia *et al.*, The 2020 China report of the Lancet Countdown on health and climate change, 2020.

KAPLAN, Sarah. How America's hottest city will survive climate change. **The Washington Post**, 8/VII/2020.

KAPLAN, Sarah; TRAN, Andrew Ba. Nearly 1 in 3 Americans experienced a weather disaster this summer. **The Washington Post**, 4/IX/2021.

KULP, Scott A.; STRAUSS, Benjamin H. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding". **Nature Communications**, 10, 29/X/2019.

LANGE, Catherine de. The Heat and the Death Toll are rising in India. **The Guardian**, 31/V/2015.

LEAR, Caroline H. *et al.* Geological Society of London Scientific Statement: what the geological record tells us about our present and future climate. **Journal of Geological Society**, 178, 2020.

LINDSEY, Rebecca. **Climate Change. Global Sea Level**. NOAA, 14/VIII/2020.

LINDSEY, Rebecca; DAHLMAN, LuAnn. **Climate Change: Global Temperature**. NOAA Climate.gov, 15/III/2021.

MACDONALD, Fiona. One of the World's Wealthiest Oil Exporters Is Becoming Unliveable. **Bloomberg**, 16/I/2022.

MALLAPUR, Chaitanya. 61% Rise in Heat-Stroke Deaths Over Decade. **India Spend**, 27/V/2015.

MARQUES, L. Gênese da ideia de Antropoceno. In: **Capitalismo e colapso ambiental**. Ed. da Unicamp, 3a ed., 2018, cap. 10, item 10.1, pp. 461-480.

MCNEILL, John; ENGELKE, Peter. **The Great Acceleration. An environmental history of the Anthropocene since 1945**. Harvard Univ. Press, 2014.

MEADOWS, Donella; MEADOWS, Dennis L.; RANDERS, John; BEHRENS III, William W. The limits to growth: a report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. Club of Rome and Potomac Associates. Universe Books, 1972.

MET Office. **UK summer heatwave made thirty times more likely due to climate change**. 6/XII/2018.

MILMAN, Oliver. A third of Americans are already facing above-average warming. **The Guardian**, 5/II/2022.

MILMAN, Oliver. Nearly quarter of world's population had record hot year in 2021. **The Guardian**, 13/I/2022.

MORA, Camilo *et al.* Global risk of deadly heat". **Nature Climate Change**, 19/VI/2017.

NANDI, Jayashree. Parts of Delhi sizzle at 45°C, no quick respite likely: IMD. **Hindustan Times**, 23/V/2020.

NARAYANAN, Nayantara. India is just half a degree away from a huge spike in heat-related deaths in summers. **Quartz India**, 14/VI/2017.

NASA. California Heatwave fits a trend. **Earth Observatory**. 6/IX/2020.

NOAA. North Oceanic and Atmospheric Administration - Global Climate Report 2019, <<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>>.

OBRINGER, Renee et al. Implications of Increasing Household Air Conditioning Use Across the United States Under a Warming Climate. **Earth's Future**, 29/XII/2021.

OMM. **State of the Global Climate** 2020. 2021

PERKINS S. E.; ALEXANDER L. V., On the measurement of heat waves. **American Meteorological Society**, 1/VII/2013.

PLANELLES Manuel; FERREYRA Jaime P. La ONU advierte sobre la gran ola de calor en Norteamérica: Es más propia de Oriente Próximo. **El País**, 29/VI/2021.

RAY, Meenakshi. Of the world's 15 hottest places, 10 are in India". **Hindustan Times**, 27/V/2020.

RAYMOND Colin; MATTHEWS, Tom; HORTON, Radley M., The emergence of heat and humidity too severe for human tolerance. **Science Advances**, 6, 19, 8/V/2020.

RIPPLE, W.J.; WOLF, C. et al. World Scientists's warning to humanity: a second notice. **Bioscience**, Vol.67(12): 1026-1028, dec. 2017; World Scientists'warning of a climate emergency. **Bioscience**, Vol. 70(1): 8-12, jan. 2020 e **Bioscience**, Vol. 71(9): 894-898.

SAMENOW, Jason. Africa may have witnessed its all-time hottest temperature Thursday: 124 degrees in Algeria". **The Washington Post**, 6/VII/2018.

SCHÄR, Christoph. Climate extremes: The worst heat waves to come. **Nature Climate Change**, 6, 2016, pp. 128–129.

SENEVIRATNE, Sonia et al. Allowable CO2 emissions based on regional and impact-related climate targets. **Nature**, 529, 28/I/2016

SENGUPTA, Somini. U.S. Midwest Freezes, Australia Burns: This is the Age of Weather Extremes. **The New York Times**, 29/I/2019

SHERWOOD, Steven C.; HUBER, Matthew. An adaptability limit to climate change due to heat stress. **PNAS**, 107, 21, 25/V/2010, pp. 9552-9555.

SOMERO, George N. et al. **Review of the Federal Ocean Acidification Research and Monitoring Plan**. U.S. National Research Council of the National Academies (Division on Earth and Life Studies), 2013.

STEFFEN, W.; GRINEVALD, J.; CRUZEN, P. J.; MCNEILL, J., The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. **Philos. Trans. of the R. Society**, 369, 2011, pp. 842-867.

STEFFEN, Will; BROADGATE, Wendy; DEUTSCH, Lisa; GAFFNEY, Owen; LUDWIG, Cornelia, The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. **The Anthropocene Review**, 2015, 2(1).

- STEFFEN, Will; CRUTZEN, Paul J.; MCNEILL, John, The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature? **Ambio**, 36, 8, 2007.
- STEFFEN, Will; DEAN, Annika; RICE, Martin; MULLINS, Greg. The Angriest Summer, **Climate Council of Australia**, 2019.
- STEFFEN, Will; SANDERSON, Angelina, TYSON, Peter D. **Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure**. The IGBP Book Series. Springer, 2004, p. 131.
- TAHERKHANI, Mohsen et al., Sea-level rise exponentially increases coastal flood frequency. **Scientific Reports**, 16/IV/2020.
- TRIPATHI, Bhasker. India Underreports Heatwave Deaths. Here's why this must change". **India Spend**, 15/VI/2020.
- VOOSEN, Paul, Seas are rising faster than ever. **Science**, 370, 20/XI/2020, p. 901.
- WARD, Barbara; DUBOS, René. Only One Earth. The care and maintenance of a small planet. Penguin Books, Middlesex, 1972.
- WATT, Nick et al., The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come". **The Lancet**, 392, December 2018.
- WESTON, Phoebe; WATTS, Jonathan. Highest recorded temperature of 48.8C in Europe apparently logged in Sicily. **The Guardian**, 11/VIII/2021.
- WESTON, Phoebe; WATTS, Jonathan. Highest recorded temperature of 48.8C in Europe apparently logged in Sicily. **The Guardian**, 12/VIII/2021.
- WGA; Working Group on Anthropocene, 21/V/2019.
<<http://quaternary.stratigraphy.org/workinggroups/anthropocene/>>.
- WITZE, Alexandra. Giant cracks push imperilled Antarctic glacier to collapse. **Nature**, 14/XII/2021.
- WITZE, Alexandra. Why extreme rains are gaining strength as the climate warms. **Nature**, 20/XI/2018.
- WMO – World Meteorological Organization. 2019
- WONG, Sam. So far 2019 has set 35 records for heat and 2 for cold. **New Scientist**, 30/I/2019.
- XU, Yangyang; RAMANATHAN, Veerabhadran; VICTOR, David. Global Warming will happen faster than we think. **Nature**, 5/XII/2018.
- ZALASIEWICZ, J. The Anthropocene as a potential new unit of the Geological Time Scale, 2015. https://www.youtube.com/watch?v=y_FbbXlgkgE.
- ZEE, Bibi van der. More than 400 weather stations beat heat records in 2021. **The Guardian**, 7/I/2022.
- ZHAO, Qi et al. Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study. **The Lancet. Planetary Health**. July 2021.

ZITTIS, George *et al.* Business-as-usual will lead to super and ultra-extreme heatwaves in the Middle East and North Africa. **Climate and Atmospheric Science**, 23/III/2021.