

Existe realmente o aquecimento global?

Does global warming really exist?

¿Existe realmente el calentamiento global?

Recebido: 14/11/2022 | Revisado: 29/11/2022 | Aceitado: 01/12/2022 | Publicado: 10/12/2022

Roberto Valmorbida de Aguiar

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4746-8295>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: robertovalmorbidadeaguiar@gmail.com

Cláudia Petry

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4187-1449>

Universidade de Passo Fundo, Brasil

E-mail: petry@upf.br

Altemir José Mossi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7917-450X>

Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil

E-mail: amossiuffs@gmail.com

Morgana Karin Pierozan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0076-6976>

Centro Universitário IDEAU, Brasil

E-mail: mkpierzozan@yahoo.com.br

Resumo

A influência da temperatura nos organismos é um dos aspectos essenciais para a regulação e manutenção da vida. Ao longo do tempo geológico a temperatura na Terra oscilou entre extremos, como consequência de fenômenos geológicos naturais. Porém, especialmente a partir do século XX, algumas atividades antrópicas estão alterando o clima, ocasionando oscilações de temperatura em toda a biosfera. Como resultado, uma série de alterações nos sistemas ecológicos vem sendo percebidos e registrados, colocando em risco a vida no planeta. Na expectativa de propor alternativas para resolver esse problema, foi criado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), um órgão internacional que publica relatórios de avaliação sobre a situação das mudanças climáticas. Atualmente está sendo elaborado o sexto relatório, com alguns resultados publicados nos anos de 2021 e 2022. O presente estudo teve como objetivo investigar a existência do aquecimento global e das suas consequências para a América Latina, a partir da análise dos relatórios do IPCC. Os resultados dos relatórios apontam a necessidade de mudança urgente na atual matriz energética baseada na queima de combustíveis fósseis, para a utilização de energias renováveis, com aumento de investimentos para adaptação e mitigação. Por fim, outros documentos elaborados pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) corroboram com os relatórios do IPCC, em especial a Agenda 2030 e os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), com destaque para o objetivo 13 sobre mudanças climáticas.

Palavras-chave: IPCC; Gases de efeito estufa; Combustíveis fósseis; Mudanças climáticas.

Abstract

The influence of temperature on organisms is one of the essential aspects for the regulation and maintenance of life. Over geological time, the temperature on Earth has fluctuated between extremes, because of natural geological phenomena. However, especially since the 20th century, some anthropic activities are altering the climate, causing temperature fluctuations on the planet. As a result of these fluctuations, a series of changes in ecological systems have been perceived and recorded, putting life on the planet at risk. In the hope of proposing alternatives to solve this problem, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was created, an international body that publishes assessment reports about climate change. The sixth report is currently being prepared, with some results published in the years 2021 and 2022. The present work aimed to investigate the existence of global warming from the analysis of the IPCC reports, in addition to its consequences for Latin America. The results of the reports point to the need for an urgent change in the current energy matrix based on the burning of fossil fuels, for the use of renewable energies, with increased investments for adaptation and mitigation. In addition, documents prepared by the United Nations Environment Program (UNEP) corroborate the IPCC indications the 2030 Agenda with the goals of sustainable development (SDG).

Keywords: IPCC; Greenhouse gases; Fossil fuels; Climate changes.

Resumen

La influencia de la temperatura en los organismos es uno de los aspectos esenciales para la regulación y el mantenimiento de la vida en la Tierra. A lo largo del tiempo geológico, la temperatura en el planeta fluctuó entre extremos como consecuencia de fenómenos geológicos naturales. Sin embargo, especialmente a partir del siglo 20, algunas actividades antrópicas están alterando el clima, causando fluctuaciones de temperatura en el planeta. Como resultado de estas oscilaciones, se han percibido y registrado una serie de cambios en los sistemas ecológicos, poniendo en peligro la vida en el planeta. Con la expectativa de proponer alternativas para resolver este problema, se creó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), un organismo internacional que publica informes de evaluación sobre la situación del cambio climático. Actualmente se está preparando el sexto informe, con algunos resultados publicados en 2021 y 2022. El presente trabajo tuvo como objetivo investigar la existencia del calentamiento global a partir del análisis de los informes del IPCC, además de sus consecuencias para América Latina. Los resultados de los informes apuntan a la necesidad de un cambio urgente en la matriz energética actual basada en la quema de combustibles fósiles, para el uso de energías renovables, con mayores inversiones para la adaptación y mitigación. Además, los documentos elaborados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) corroboran las nominaciones del IPCC y, en particular, la Agenda 2030 con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

Palabras clave: IPCC; Gases de invernadero; Combustibles fósiles; Cambios climáticos.

1. Introdução

Os organismos que compõem a biosfera, estreita camada do planeta que abriga a vida, fazem parte de um complexo sistema natural, chamado de sistema da vida ou ecológico, sendo alicerçado nas relações existentes entre os organismos e o meio físico. Esses sistemas são entidades biológicas com processos internos e interação com o ambiente externo, existindo em diferentes níveis, desde um organismo individual até todo o planeta. Obedecem aos mesmos princípios físicos, químicos e biológicos, com controle de entrada e saída de matéria e energia, sendo o equilíbrio dessas relações fundamental para a manutenção da biodiversidade (Aguiar & Pierozan, 2021). Nesse sentido, a influência da temperatura nos organismos, é uma das características fundamentais para explicar a grande biodiversidade encontrada na Terra (Pires et al., 2018).

Aa mudanças de temperatura foram uma constante ao longo do tempo geológico, influenciando diretamente na adaptação dos organismos. Porém, especialmente após a revolução industrial, o ser humano tem sido responsável por influenciar diretamente no clima do planeta. As emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE), com destaque para o dióxido de carbono (CO₂), tem modificado o comportamento do clima na Terra, ocasionando mudanças ambientais globais, sugerindo nova época geológica dominada pelo homem, o Antropoceno (Waters et al., 2016; Aguiar & Pierozan, 2022). A integridade dos sistemas ecológicos já está em risco por causa das mudanças climáticas causadas pelas intensas emissões de GEE na atmosfera (Zucatelli et al., 2019).

Nos últimos dois milênios o ser humano vem modificando o clima a uma taxa sem precedentes, sendo o aumento da temperatura referido especialmente após 1870, considerado o início da revolução industrial global (Aguiar & Pierozan, 2022). Há uma relação entre esse aquecimento e algumas atividades humanas, que passaram a interferir de forma direta no aumento da temperatura do planeta (IPCC, 2018; Dai & Wang, 2018). Comparando a temperatura dos últimos 2 milênios com uma média relativa da segunda metade do século XIX, ocorre um aumento acentuado de temperatura a partir do século XX, girando em torno de 1,0°C. Anteriormente, os séculos mais quentes nos últimos 100.000 anos, ocorreram cerca de 6.500 anos, sendo causados por variações orbitais lentas, portanto sem intervenção humana (IPCC, 2021).

A influência humana no clima é indiscutível, sendo que as emissões antropogênicas de GEE, constituídos especialmente pelo dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e gases fluorados (F-gases: HFCs, PFCs, SF₆, NF₃), são as mais altas da história e estão diretamente vinculadas com o aumento de temperatura (Keeling, 1997; IPCC, 2014; Seneviratne et al., 2016; Dai & Wang, 2018). O acréscimo em suas concentrações determinado pela coleta de testemunhos de gelo e por medições atmosféricas, revelam uma estreita ligação com o aumento de temperatura registrado a partir do ano 1900. A combinação do vapor d'água com os GEE na atmosfera, atuam para a formação do efeito estufa, um

processo natural e essencial para a manutenção da biodiversidade do planeta, porém o aumento nas concentrações desses gases gera um aprisionamento maior da radiação térmica, ocasionando o aquecimento global (IPCC, 2014; Moore & Diaz, 2015; Aguiar & Pierozan, 2022).

O CO₂ emitido por várias atividades antrópicas é o GEE mais presente na atmosfera, contribuindo por grande parte do aquecimento do clima, sendo utilizado como referência para classificar o poder do aquecimento global dos demais gases de efeito estufa (Dai & Wang, 2018). Nos últimos 200 anos, especialmente após a metade do século XX, houve um crescimento acentuado em suas emissões através da queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) e processos industriais. Os desafios das mudanças climáticas envolvem repensar totalmente o sistema energético mundial (Zucatelli et al., 2019). A queima e remoção de florestas, usos da terra pela silvicultura e a agropecuária, contribuem de forma menor para esse panorama (IPCC, 2014; IPCC, 2018).

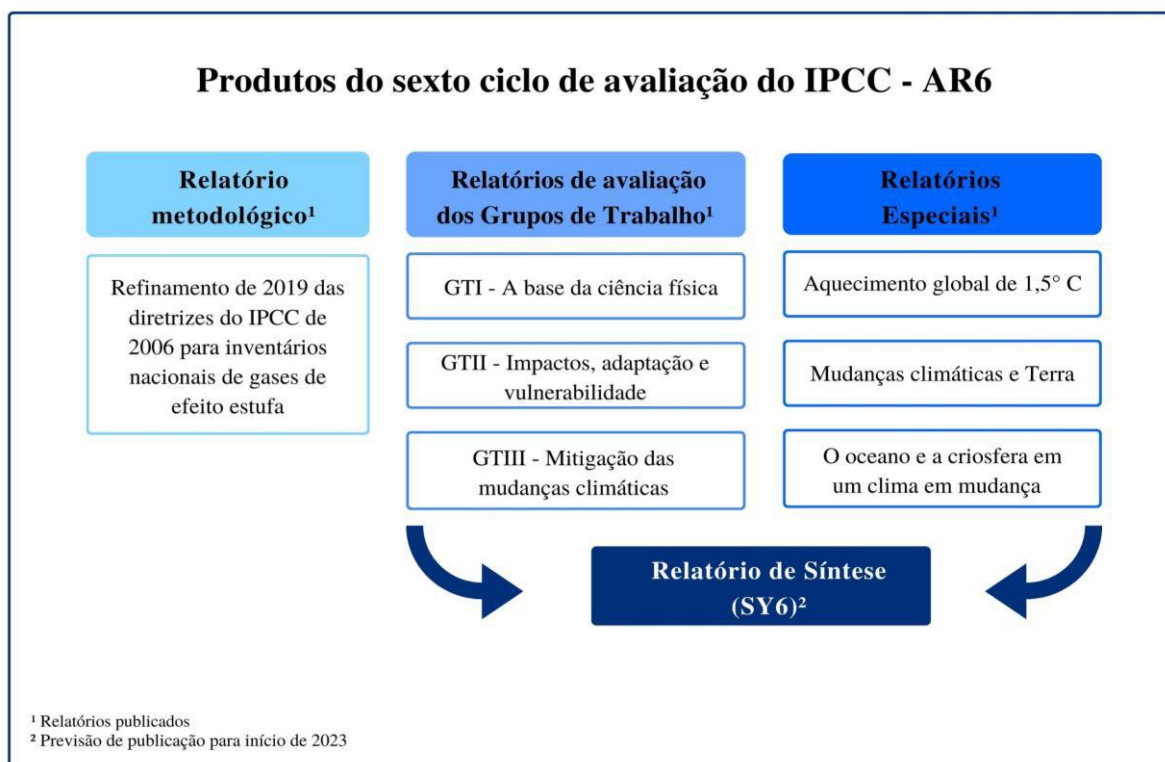
As recentes mudanças climáticas, especialmente após os anos 1990, vem sendo percebidas e investigadas a ponto de alertar a humanidade sobre os riscos que a vida do planeta corre, se não houver uma intervenção consciente e organizada, para controlar as atividades causadoras desse desequilíbrio. Essa realidade motivou a criação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC – *The Intergovernmental Panel on Climate Change*), uma organização internacional criada para pensar, discutir e propor alternativas para esse problema. Nesse contexto o trabalho objetivou investigar a existência do aquecimento global a partir da análise dos relatórios do IPCC, com ênfase no último relatório de avaliação - AR6 (Sixth Assessment Report), além de apontar as consequências previstas para a América Latina, em especial o Brasil.

2. Metodologia

A abordagem metodológica utilizada neste estudo foi de pesquisa qualitativa através de análise documental (Kripka et al., 2015), com a revisão de relatórios emitidos pelo IPCC, onde buscou-se fazer uma interpretação dos seus principais resultados e produzir informações complementares. Esta revisão abrangeu uma análise cuidadosa do assunto, sem a pretensão de esgotá-lo, mas sim elaborar uma discussão, com uma reflexão de cunho qualitativo (Siani et al., 2022). Esse tipo de trabalho auxilia não somente para definir o problema, mas também para obter uma ideia precisa sobre o estado atual dos conhecimentos acerca da temática abordada, as suas lacunas e a contribuição da investigação para o desenvolvimento do conhecimento (Rodrigues et al., 2022).

Para o trabalho de revisão foram analisados os Relatórios de Avaliação do IPCC, especialmente o último relatório - AR6 (Figura 1), que está em fase final de elaboração. Até outubro de 2022 foram elaborados e divulgados os resultados dos grupos de trabalhos 1 (GT1 – A base da ciência física), 2 (GT2 – Impactos, adaptação e vulnerabilidade) e 3 (GT3 – Mitigação das mudanças climáticas). Além desses, três relatórios especiais foram produzidos: Aquecimento global de 1,5° C; Mudanças climáticas e Terra; Oceano e a criosfera em um clima de mudança; e um relatório metodológico: Refinamento de 2019 das diretrizes do IPCC de 2006 para inventários nacionais de gases de efeito estufa. O fechamento do sexto ciclo de avaliação está previsto para final de 2022/início de 2023, com a produção do Relatório de Síntese (SYR), com os principais apontamentos dos Relatórios de Avaliação e dos Relatórios Especiais (IPCC, 2022a).

Figura 1 – Produtos publicados e previstos para o último relatório de avaliações do IPCC – AR6 (Sixth Assessment Report).



Fonte: Autores (2022).

Os dados encontrados nos documentos do AR6 estão hospedados e disponíveis para o público em geral, na página do IPCC (<https://www.ipcc.ch>). A análise documental ocorreu nos relatórios dos 3 grupos de trabalho, com ênfase no relatório especial *Global Warming of 1,5°C*. Foram investigadas as principais conclusões dos relatórios e as perspectivas para o aquecimento global até o final do século XXI, com as projeções de acordo com os modelos matemáticos utilizados pelo IPCC. A organização dos resultados da análise e suas reflexões, estão detalhados no item resultados e discussão, com um fechamento das informações em considerações finais.

3. Resultados e Discussão

3.1 IPCC

O IPCC foi criado em dezembro de 1988 pela Organização Meteorológica Mundial (WMO – *World Meteorological Organization*) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), sendo endossado pela resolução 43/58 da Assembleia Geral da ONU de 06 de dezembro de 1988 (UN, 1988), sendo atualmente formado por 195 países. Os especialistas do IPCC avaliam os milhares de artigos científicos publicados a cada ano, visando fornecer um resumo abrangente do que se sabe sobre os impulsionadores das mudanças climáticas, seus impactos e riscos. Essas avaliações apontam as unidades de pensamento sobre o aquecimento global e em quais áreas são necessários estudos mais aprofundados (IPCC, 2022a).

O IPCC prepara relatórios de avaliação sobre o estado do conhecimento científico, técnico e socioeconômico das mudanças climáticas, seus impactos, riscos futuros e opções para reduzir a velocidade com que essas mudanças estão ocorrendo. Centenas de trabalhos sobre a ciência do clima são publicados a cada ano, e a cada cinco anos, o IPCC produz relatórios com a compilação e síntese dos principais estudos publicados no período. Eles são distribuídos em três grupos de

trabalho: GTI - visa avaliar a base científica física do sistema climático e das mudanças climáticas; GTII - avalia a vulnerabilidade dos sistemas socioeconômicos e naturais às mudanças climáticas, negativas e positivas; GTIII - avalia as opções para mitigar as mudanças climáticas por meio da limitação ou prevenção das emissões de gases de efeito estufa. A cada nova edição de relatórios do IPCC, fica mais claro o impacto das ações humanas sobre o aquecimento global (IPCC, 2022a).

Em 32 anos de existência, além do AR6, o IPCC já publicou cinco grandes Relatórios de Avaliação, além de uma série de relatórios especiais e outros documentos. Em seu primeiro relatório de 1990, o FAR (*First Assessment Report*) destacou a importância das mudanças climáticas como um desafio de consequências globais e com necessidade de cooperação internacional para a sua resolução, tendo um papel fundamental na criação do principal tratado internacional para reduzir o aquecimento global e lidar com as consequências das mudanças climáticas. Em 1995 o SAR (*Second Assessment Report*) forneceu material importante para os governos utilizarem no período que antecedeu a adoção do Protocolo de Kyoto em 1997. O TAR (*Third Assessment Report*) em 2001, concentrou a atenção nos impactos das mudanças climáticas e a necessidade de adaptação. O AR4 (*Fourth Assessment Report*) lançou as bases para um acordo pós-Quito em 2007, com foco na limitação do aquecimento a 2°C. O AR5 (*Fifth Assessment Report*) publicado entre 2013 e 2014, forneceu a contribuição científica para o Acordo de Paris (IPCC, 2022b). O AR6 além de fornecer informações técnicas necessárias para o cumprimento do Acordo de Paris, está adotando uma abordagem mais abrangente para atender também às necessidades de informação para a implementação da Agenda 2030, propondo soluções de ação climática no contexto da execução dos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) (IPCC, 2022a).

3.2 Os Gases de efeito estufa e o aquecimento global

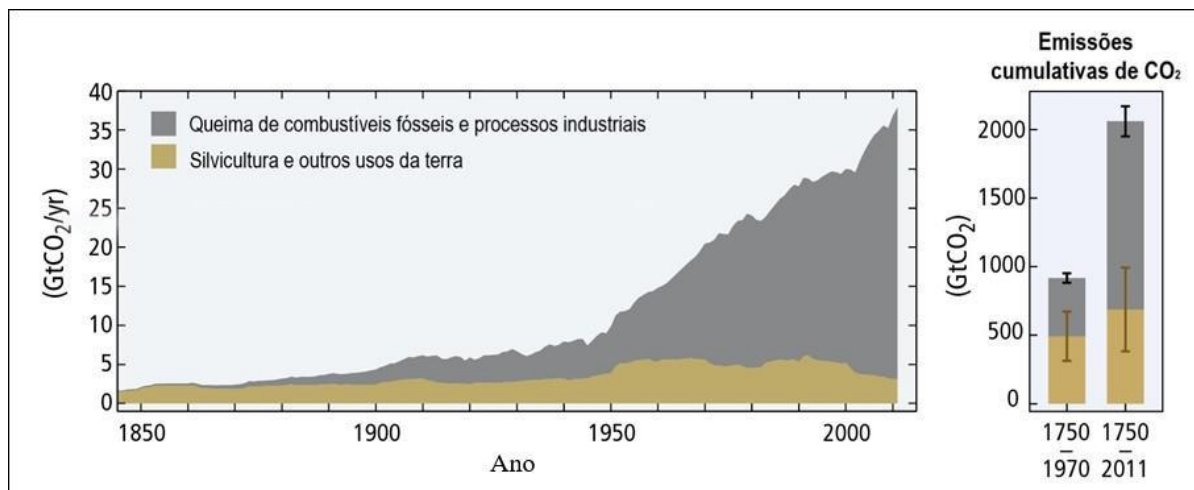
O aquecimento global é conceituado como o aumento em média nas temperaturas combinadas da superfície do ar e do mar ao longo de um período de 30 anos, sendo expresso em relação ao período 1850-1900, usado como uma aproximação das temperaturas pré-industriais (IPCC, 2018; Aguiar & Pierozan, 2022). Para períodos inferiores a 30 anos, o aquecimento refere-se à temperatura média estimada contabilizando o impacto de quaisquer flutuações ou tendências de temperatura no período (IPCC, 2018). As tendências nas observações durante curtos períodos de 30 anos ou menos, pode ser dominada por variabilidades no sistema climático natural da Terra, como os ciclos glacio-interglaciais, fenômeno *El Niño*, variabilidade solar e atividade vulcânica, afetando as interpretações nas tendências recentes nos cenários de avaliação da temperatura. Porém, mesmo com a inclusão desses processos, os estudos de modelagem climática revelaram que há evidências de que as previsões iniciais de aquecimento provaram ser altamente consistentes com observações posteriores (IPCC, 2014; Seneviratne et al., 2016).

As emissões antropogênicas de GEE aumentaram desde a era pré-industrial, impulsionadas em grande parte pelo crescimento econômico e populacional, sendo suas concentrações atmosféricas sem precedentes em pelo menos nos últimos 800.000 anos. Seus efeitos, juntamente com os de outros fatores antropogênicos, foram detectados em todo o sistema climático e são extremamente prováveis de terem sido a causa dominante do aquecimento observado, portanto a influência humana no sistema climático é clara. As recentes mudanças climáticas tiveram impactos generalizados nos sistemas ecológicos, e desde a década de 1950, muitas das mudanças nunca ocorreram ao longo de décadas a milênios. O período de 1983 a 2012 foi provavelmente o período de 30 anos mais quente dos últimos 1.400 anos no Hemisfério Norte (IPCC, 2014).

A Figura 2 apresenta as emissões de CO₂ em Gigatoneladas (Gt) desde 1850, derivadas da queima de combustíveis fósseis e processos industriais (CO₂ - FFI), da silvicultura e de outros usos da terra (CO₂ - LULUCF). Entre 1750 e 2011, as emissões antropogênicas cumulativas de CO₂ para a atmosfera foram de 2.040 ±310 GtCO₂. Cerca de 40% dessas emissões permaneceu na atmosfera (880 ±35 GtCO₂), o restante foi retirado, armazenado em terra (plantas e solos) e no oceano. As emissões de CO₂ da combustão de combustíveis fósseis e processos industriais contribuíram com cerca de 78% do aumento

das emissões totais de GEE de 1970 a 2010. Globalmente, o crescimento econômico e populacional continuou a ser o mais importante impulsionador do aumento das emissões de CO₂ da combustão de combustíveis fósseis (IPCC, 2014).

Figura 2 Histórico de emissões antropogênicas globais de CO₂ (1850-2011) em Gigatoneladas/ano (GtCO₂/Yr) e emissões cumulativas de CO₂ (1750-1970; 1750-2011) em Gigatoneladas (GtCO₂) com suas incertezas mostradas pelas barras de erro.



Fonte: Adaptado de IPCC (2014).

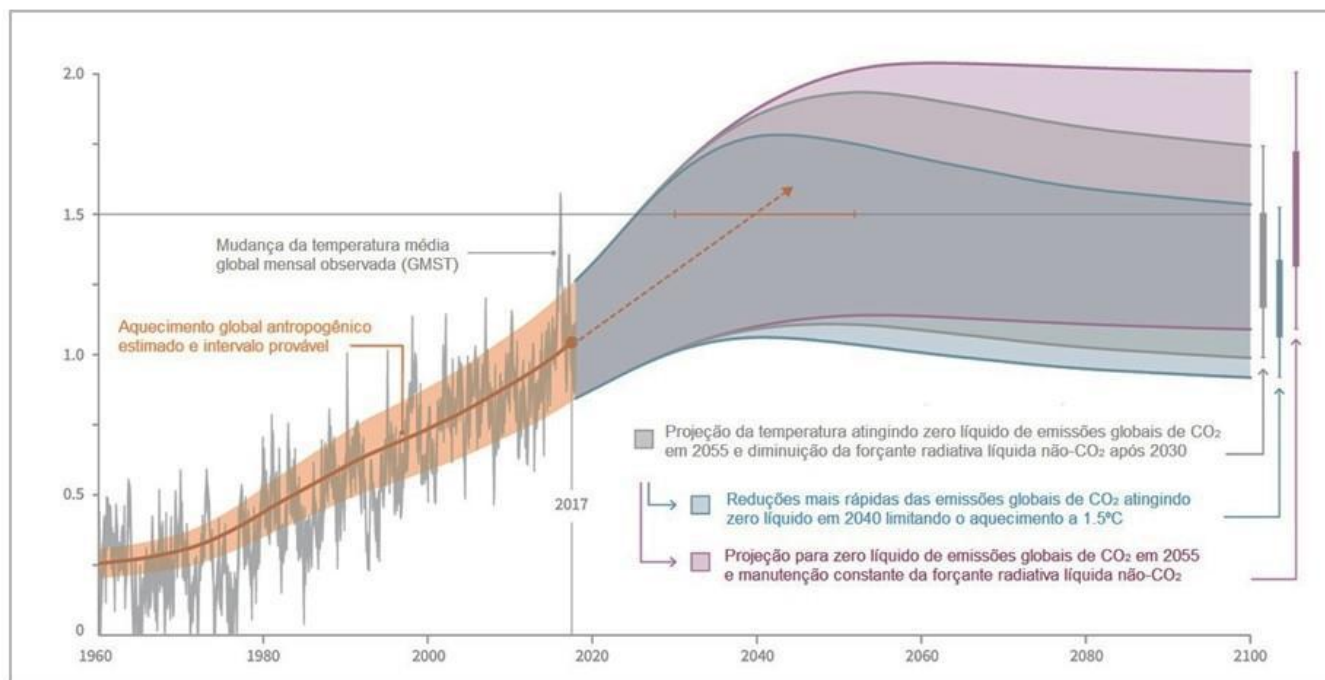
As emissões de CO₂ da queima de combustíveis fósseis e processos industriais é evidenciado a partir do final do século XIX com um expressivo aumento a partir de 1950. Essas emissões tomam proporções ainda maiores quando são comparadas as emissões cumulativas entre 1750/1970 e 1750/2011. O CO₂ produzido pela silvicultura e por outros usos da terra, embora também apresentem um aumento em suas emissões a partir de 1950, representam um percentual consideravelmente menor quanto a queima de combustíveis fósseis e processos industriais.

O aquecimento dos níveis pré-industriais até a década de 2006-2015 é avaliado em 0,87°C (provavelmente entre 0,75°C e 0,99°C). Desde 2000, o nível estimado de aquecimento induzido pelo homem tem sido igual ao nível de aquecimento observado, contabilizando a incerteza devido às contribuições dos processos de variabilidade natural. O quinto relatório de avaliação do IPCC (AR 5) revelou que as atividades humanas tenham causado aproximadamente 1,0°C de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais em 2017, com um intervalo provável de 0,8° C a 1,2° C, com um aumento de 0,2°C por década (IPCC, 2018).

A Figura 3 apresenta um modelo climático baseado nas mudanças mensais da temperatura média global da superfície (GMST – *Global mean surface temperature*) observada até 2017, com projeções de temperatura até o ano de 2100. O aquecimento global antropogênico estimado, indica o intervalo provável do tempo para a temperatura alcançar 1.5° C acima dos níveis pré-industriais. Seguindo com a taxa atual de emissões antropogênicas globais de CO₂ e da forçante radiativa líquida não-CO₂ (emissões antrópicas de GEE, exceto CO₂, que resultam em mecanismo potencial de mudança do clima), essa temperatura deverá ocorrer entre 2030 e 2052. A partir disso, são projetados três cenários hipotéticos, com diferentes intervenções antrópicas nas emissões de gases de efeito estufa com as prováveis respostas ao aquecimento: 1-) Cenário intermediário – com projeção de diminuição das emissões de CO₂, limitando o aquecimento a aproximadamente 1.75°C em 2100; 2-) Cenário otimista - reduções mais rápidas das emissões de CO₂, chegando a zero líquido em 2040, resultando em uma probabilidade maior de limitar o aquecimento a 1.5°C; 3-) Cenário pessimista - emissões líquidas de CO₂ alcançando zero em

2055, com menor probabilidade de limitar o aquecimento (IPCC, 2018). As barras de erro representam as variações prováveis de aquecimento em 2100 de acordo com esses três cenários.

Figura 3 – Temperatura média global da superfície (GMST) observada mensalmente e provável gama de respostas modeladas para as emissões antropogênicas num futuro hipotético em três cenários.



Fonte: Adaptado de IPCC (2018).

Os três cenários projetados a partir do modelo, indicam os caminhos do aquecimento global dos próximos anos, levando em conta, obrigatoriamente, atingir o zero líquido de emissões de CO₂. Com o atual ritmo de emissões, para alcançar o melhor cenário, limitando o aquecimento a 1.5°C atingindo o zero líquido das emissões globais de CO₂ em 2040, a substituição da matriz energética baseada nos combustíveis fósseis e na queima de carvão por energias renováveis, deve ocorrer no curto prazo. Os cenários onde o zero líquido de emissões de CO₂ é alcançado em 2055, dependem dos esforços para diminuir a forçante radiativa líquida não-CO₂ após 2030. A sua manutenção constante pode levar ao pior cenário projetado, com um aquecimento global de 2°C.

Embora o aquecimento causado pelas emissões antrópicas de GEE lançados até a presente data persistirão por séculos, é improvável que essas emissões isoladamente causarão um aquecimento global de 1,5° C (Seneviratne et al., 2016). As emissões antrópicas de CO₂ sendo zeradas e a forçante radiativa líquida não-CO₂ diminuída, interromperia o aquecimento global antrópico em escalas de tempo de várias décadas. Em escalas de tempo maiores, emissões globais líquidas negativas de CO₂ sustentadas e/ou outras reduções de forçante radiativa não-CO₂ ainda podem ser necessárias para evitar mais aquecimento devido aos *feedbacks* do sistema terrestre (IPCC, 2018). A ocorrência de eventos extremos como secas prolongadas, ciclones tropicais e tempestades podem colocar em dúvida as metas de emissões estabelecidas (Seneviratne et al., 2016).

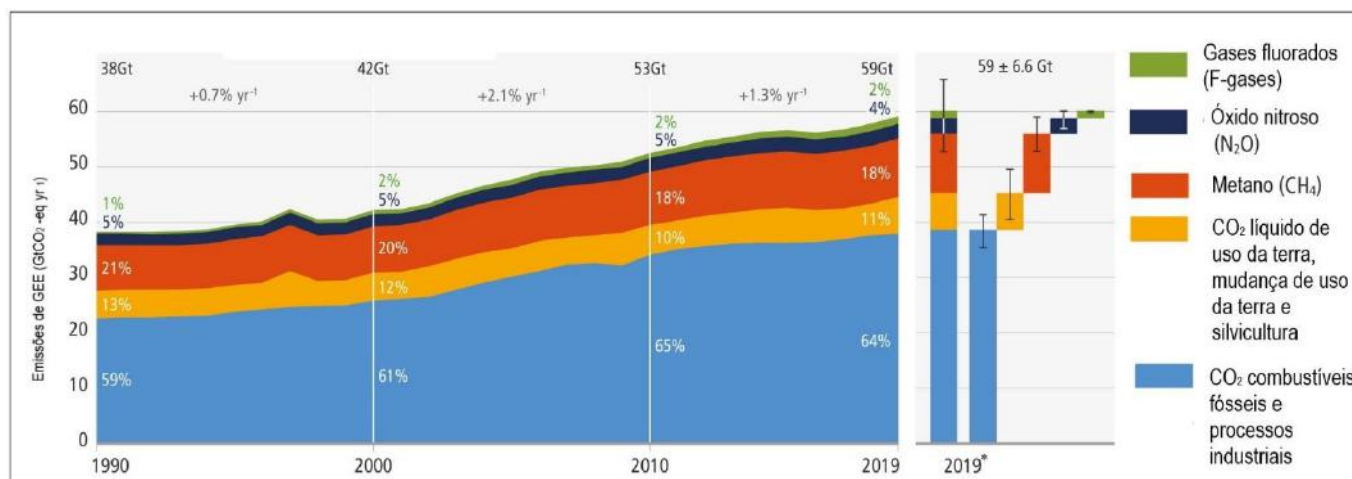
3.3 Considerações sobre o Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (AR6)

As emissões líquidas totais de GEE aumentaram durante o período 2010–2019, assim como as emissões líquidas acumuladas de CO₂, sendo maiores do que em qualquer década anterior, porém com taxa de crescimento menor do que o

observando na década 2000-2009. As emissões antropogênicas líquidas globais de GEE em 2019, foram cerca de 12% maiores que em 2010 e 54% maiores que em 1990. A média durante a década de 2010-2019 foi o maior aumento nas emissões médias decenais já registradas, aumentando em todos os setores, com ênfase às áreas urbanas (Friedlingstein et al., 2020; IPCC, 2022b).

Na Figura 4 estão amostradas as frações nas emissões de GEE para cada gás e seu total em Gigatoneladas (Gt) mostrada para cada década a partir de 1990, além da taxa média agregada de crescimento anual. Os diferentes tipos de gases apresentam variações, porém todos com um padrão de crescimento nas suas emissões (IPCC, 2021). As emissões globais de GEE aumentaram a cada década, e o crescimento das emissões tem sido persistente entre os diferentes grupos de gases, sendo o CO₂ responsável por quase 75% do crescimento das emissões desde 1970 (Minx et al., 2021; IPCC, 2022b).

Figura 4 - Emissões antropogênicas líquidas globais de GEE (GtCO₂-eq ano⁻¹) de 1990 a 2019 e as emissões totais e individuais em 2019.



* Incertezas indicadas pelas barras de erro com intervalo de confiança de 90%. Fonte: Adaptado de IPCC, 2021; IPCC, 2022b.

As emissões de GEE ao longo das últimas três décadas tiveram um aumento constante, sendo o CO₂ oriundo da queima de combustíveis fósseis e processos industriais, apresentando um aumento percentual maior de emissão quando comparado aos os demais gases. Apesar da quantidade dos gases fluorados terem dobrado de 1990 até 2019, eles representam um percentual baixo quando comparado aos demais GEE.

As estimativas de emissões de GEE em 2019 comparadas com o ano de 1990 são apresentadas na Tabela 1, sendo expressas em GtCO₂ eq. (Gigatoneladas equivalentes ao potencial de aquecimento global do CO₂). As emissões globais de GEE de origem antropogênica para o período 1990-2019 mostram um padrão de crescimento sustentado nas emissões de GEE, mas variado em ritmo entre os gases. Essas emissões em 2019 totalizaram 59 GtCO₂ eq., sendo que o CO₂ da combustão de combustível fóssil e indústria (FFI) e o metano (CH₄) foram os maiores emissores. Em relação a 1990 o CO₂ originado através da combustão de combustíveis fósseis e processos industriais aumentou 15 GtCO₂ eq. e o metano 2,4 GtCO₂ eq., com incremento respectivo de 167% e 129%. As emissões de gases fluorados cresceram 354% em relação a 1990, sendo muito mais rapidamente do que outros GEE, embora a partir de níveis muito baixos. Há uma alta confiança de que os níveis globais de emissões antropogênicas de GEE foram maiores em 2009-2018 do que em qualquer década anterior (Minx et al., 2021; IPCC, 2022b).

Tabela 1 - Estimativa central e desvio padrão para as emissões absolutas de gases de efeito estufa (GEE) em 2019, mudança absoluta nas emissões entre 1990 e 2019 e emissões em 2019 expressas como porcentagem em relação as emissões de 1990.

Gases de Efeito Estufa – GEE	Emissões em 2019 (GtCO₂-eq)	Aumento 1990-2019 (GtCO₂-eq)	Emissões em 2019 em relação a 1990 (%)
CO ₂ FFI ¹	38±3	15	167
CO ₂ LULUCF ²	6,6±4,6	1,6	133
CH ₄	11±3,2	2,4	129
N ₂ O	2,7±1,6	0,65	133
F-gases	1,4±0,4	0,97	354
TOTAL	59±6,6	21	154

¹ CO₂ da combustão de combustíveis fósseis e processos industriais (CO₂-FFI); ² CO₂ do uso da terra, mudança no uso da terra e silvicultura (CO₂-LULUCF). Fonte: Minx et al., 2021; IPCC, 2022b.

A quantidade das emissões de CO₂ oriundos da combustão de combustíveis fósseis e de processos industriais em 2019, apresentaram uma expressiva diferença quando comparado com os outros GEE. Já o acréscimo de emissões de CO₂ para o ano de 2019 em relação a 1990, representaram mais do que o dobro de toda a produção de GEE para o período. Esses dados fortalecem a prioridade das ações para o controle do aquecimento global estarem focadas na diminuição da queima de combustíveis fósseis. No primeiro semestre de 2020 houve um decréscimo nas emissões de CO₂ originados pela queima de combustíveis fósseis e processos industriais, possivelmente em resposta à pandemia de SARS-CoV-2, sendo que a redução média anual dessas emissões em 2020 em relação a 2019 foi de cerca de 5,8% ou 2,2 Gigatoneladas (IPCC, 2022b).

3.4 Mudanças climáticas no Brasil e na América Latina

A América Central e do Sul é uma região altamente diversificada, abrigando a maior biodiversidade do planeta (Hoorn et al., 2010; Zador et al., 2015), além de uma riqueza cultural resultante de mais de 800 povos indígenas que compartilham o território com descendentes de europeus, africanos e asiáticos (ECLAC, 2014). É uma das regiões mais urbanizadas do mundo, com grande desigualdade social e parte da população abaixo da linha da pobreza, sendo esses grupos altamente vulneráveis às mudanças climáticas e eventos naturais extremos que frequentemente afetam a região (ECLAC, 2014; Poveda et al., 2020). A região mostra tendências crescentes de mudanças climáticas, com eventos extremos impactando diretamente a população mais pobre, aumentando a desnutrição e a poluição (IPCC, 2022c). Eventos climáticos extremos expuseram milhões de pessoas à insegurança alimentar e hídrica. Conjuntamente, as perdas repentinas de produção de alimentos e seu acesso agravados pela diminuição da diversidade da dieta, aumentaram a desnutrição em muitas comunidades, além da perda de ecossistemas e seus serviços, especialmente entre povos indígenas, pequenos produtores e famílias de baixa renda (IPCC, 2021; IPCC, 2022b; IPCC, 2022c). Essas mudanças no clima estão afetando negativamente também a saúde humana na região, em parte através da emergência de doenças em áreas anteriormente não endêmicas (IPCC, 2014). Projeções de impactos potenciais das mudanças climáticas sobre doenças tropicais, confirmam que o aquecimento adicional está entre os fatores de aumento da intensidade de transmissão, de alcance geográfico e de sazonalidade dessas doenças (IPCC, 2022c).

Tendências crescentes na precipitação foram observadas no Sudeste da América do Sul, incluindo no Brasil a região sul e sudeste. O aquecimento foi detectado em toda América Latina, com projeções climáticas indicando aumentos na temperatura até 2100, porém com mudanças nos regimes de chuvas variando geograficamente, com uma redução notável de 22% no nordeste do Brasil e um aumento de 25% no sul e sudeste (IPCC, 2022c). O aumento da temperatura e a diminuição das chuvas podem reduzir a agricultura produtividade até 2030, ameaçando a segurança alimentar das populações mais pobres. Há evidências limitadas de que esses declínios nos rendimentos das culturas podem resultar em deslocamento populacional significativo dos trópicos para as regiões subtropicais. As ondas de calor aumentarão em frequência, intensidade e duração,

tornando-se, em cenários de alta emissão, extremamente longos, com mais de 60 dias de duração com consequentes riscos de incêndios florestais e aumento da desertificação (IPCC, 2022c).

Eventos extremos com aumento na intensidade e frequência de períodos quentes e diminuição de períodos frios foram observados no Uruguai, Argentina e regiões sudeste e sul do Brasil (Rusticucci et al., 2017; IPCC, 2021). Para mais de 50% da região foi registrado um aumento na precipitação anual, em grande parte atribuído a mudanças na estação quente, sendo uma das poucas regiões da América Latina onde se detectou uma tendência positiva robusta na precipitação, com intensificação significativa de precipitação forte desde o início do século XX (Vera & Díaz, 2015; Marengo et al., 2020; Olmo et al., 2020; IPCC, 2021). Uma maior frequência observada de ciclones extratropicais na região foi detectada com três focos ciclogênicos: sul-sudeste do Brasil, extremo sul do Brasil e Uruguai e sudeste da Argentina (IPCC, 2022c).

Impactos negativos das mudanças climáticas na região são exacerbados pelo desmatamento e degradação da terra, atribuídos principalmente à expansão e intensificação da agricultura e pecuária, geralmente sob posse insegura. Esta conversão de ecossistemas naturais é a principal causa da perda de biodiversidade, além de ser uma importante fonte de GEE (IPCC, 2014). A combinação de distúrbios antropogênicos contínuos, particularmente o desmatamento, associados com o aquecimento global, pode resultar na extinção de florestas na região (IPCC, 2018). Há grande confiança de que restringir o aquecimento a 1,5°C reduziria os riscos para ecossistemas ameaçados, em especial na região amazônica, que fornecem uma série de serviços ambientais fundamentais não só para a região, mas bem como para todo o planeta (IPCC, 2018; IPCC, 2022c).

4. Considerações Finais

Os relatórios de avaliação do IPCC, especialmente o AR6, apontam um aumento crescente nas emissões e concentrações de GEE induzidas pelo ser humano e sua relação direta com as mudanças climáticas. A partir desse fato uma série de consequências estão sendo registradas, incluindo uma maior frequência de eventos extremos como precipitação intensa, secas, incêndios e oscilações de temperatura com efeitos adversos generalizados. As consequências das mudanças climáticas diferem substancialmente entre e dentro das regiões, incluindo a América Latina, em especial o Brasil, com as pessoas e sistemas mais vulneráveis sendo afetados desproporcionalmente. Os impactos das mudanças climáticas são maiores do que o estimado em avaliações de relatórios anteriores, podendo elevar-se os riscos múltiplas vezes de acordo com as considerações atuais. A magnitude e a taxa de mudança climática e os riscos associados, dependem fortemente de ações de mitigação e adaptação de curto prazo. A partir dessa constatação, o IPCC alerta que a atual matriz energética baseada na dependência de combustíveis fósseis e na queima de carvão, é a principal responsável pela emissão dos GEE e está levando o planeta a uma catástrofe climática ambiental e econômica, sendo que as soluções apontam para uma transição com utilização de energias renováveis. Nesse sentido, o relatório indica que investimentos em adaptação funcionam, e pela previsão de piora dos impactos causados pelas mudanças climáticas, é necessário um aumento nos investimentos para mitigação.

A partir da publicação dos documentos finais do sexto ciclo de avaliação do AR6, em especial o Relatório de Síntese, novas investigações sob essa documentação são necessárias, visando divulgar as ações recomendadas para a humanidade entender e amenizar os efeitos do aquecimento global. Sugere-se também a realização de análises estatísticas considerando a base de dados utilizada para a elaboração dos relatórios do IPCC, visando aprofundar o conhecimento sobre as emissões dos GEE. Por fim, cabe destacar outros documentos do PNUMA que orientam ações que corroboram com os relatórios do IPCC, apontando o caminho da sustentabilidade, como a Agenda 2030 e os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), com especial destaque para o objetivo 13 sobre mudanças climáticas.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul pelo apoio.

Referências

- Aguiar, R. V., & Pierozan, M. K. (2021). A ecologia como a ciência que explica as pandemias. Em R. M. Nascimento (Org.), *Saúde, Meio Ambiente e Biodiversidade* (pp. 137-149). Editora Atena. doi.org/10.22533/at.ed.04721210712.
- Aguiar, R. V., & Pierozan, M. K. (2022). Aquecimento global e o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. Em C. E. S. Paniagua (Org.), *O meio ambiente e sua relação com o desenvolvimento* (pp. 1-12). Editora Atena. doi.org/10.22533/at.ed.9922208071.
- Dai, X. G., & Wang, P. (2018). Identifying the early 2000s hiatus associated with internal climate variability. *Scientific reports*, 8 (1), 13602. doi.org/10.1038/s41598-018-31862-z.
- ECLAC (2014). *Guaranteeing indigenous people's rights in Latin America. Summary*. Progress in the past decade and 54 remaining challenges. CEPAL, Santiago, Chile. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37051/S1420782_en.pdf?sequence=4&isAllowed=y 56.
- Friedlingstein, P., et al. (2020). Global Carbon Budget 2020. *Earth System Science Data*, 12 (4), 3269–3340. doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020.
- Hoom, C., Wesselingh, F. P., ter Steege, A. H., Bermudez, M. A., Mora, A., Sevink, J., Sanmartín, I., Sanchez-Meseguer, A., Anderson, C. L., Figueiredo, J. P., Jaramillo, C., Riff, D., Negri, F. R., Hooghiemstra, H., Lundberg, J., Stadler, T., Särkinen, T., & Antonelli, A. (2010). Amazonia Through Time: Andean Uplift, Climate Change, Landscape Evolution, and Biodiversity. *Science*, 330 (6006), 927-931.10.1126/science.1194585
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R. K., & Meyer, L. A. (Eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC: Summary for Policymakers (2018). In: *Global Warming of 1.5°C*. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H. O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J. B. R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M. I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M., & Waterfield, T. (Eds.). World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.
- IPCC: Summary for Policymakers (2021). In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. & Zhou, B. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32. 10.1017/9781009157896.001.
- IPCC (2022a). *The Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/>
- IPCC: Summary for Policymakers (2022b). In: *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Shukla, P. R., Skea, J., Slade, R., Al Khourdajie, A., van Diemen, R., Col, D. M., Pathak, M., Some, S., Vyas, P., Fradera, R., Belkacemi, M., Hasija, A., Lisboa, G., Luz, S., & Malley, J. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 10.1017/9781009157926.001
- IPCC: Summary for Policymakers (2022c). Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Tignor, M., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Lösschke, S., Möller, V., & Okem, A. (Eds.). In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Tignor, M., Poloczanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S., Lösschke, S., Möller, V., Okem, A., & Rama, B. (Eds.). Cambridge University Press. In Press
- Keeling C. D. (1997). Climate change and carbon dioxide: an introduction. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94 (16), 8273–8274. doi.org/10.1073/pnas.94.16.8273
- Kripka, R., Scheller, M., & Bonotto, D. L. (2015). Pesquisa Documental: considerações sobre conceitos e características na Pesquisa Qualitativa. *Atas CIAIQ2015*, v2 – Investigação qualitativa na educação, 243-247. <https://proceedings.ciaiq.org/index.php/ciaiq2015/article/view/252/248>
- Marengo, J. A., Ambrizzi, T., Alves, L. M., Barreto, N. J. C., Reboita, M. s., & Ramos, A. M. (2020). Changing Trends in Rainfall Extremes in the Metropolitan Area of São Paulo: Causes and Impacts. *Frontiers in Climate*, 2, 3. doi.org/10.3389/fclim.2020.00003
- Minx, J. C., Lamb, W. F., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Crippa, M., Döbbling, N., Forster, P. M., Guizzardi, D., Olivier, J., Peters, G. P., Pongratz, J., Reisinger, A., Rigby, M., Saunio, M., Smith, S. J., Solazzo, E., & Tian, H. A. (2021). Comprehensive and synthetic dataset for global, regional, and national greenhouse gas emissions by sector 1970–2018 with an extension to 2019, *Earth System Science Data*, 13, 5213–5252. doi.org/10.5194/essd-13-5213-2021.
- Moore, F. C., & Diaz, D. B. (2015). Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy. *Nature Climate Change*. 5 (feb), 127-131. 10.1038/NCLIMATE2481
- Olmo, M., Bettolli, M. L., & Rusticucci, M. (2020). Atmospheric circulation influence on temperature and precipitation individual and compound daily extreme events: Spatial variability and trends over southern South America. *Weather and Climate Extremes*, 29, 100267.10.1016/j.wace.2020.100267.
- Pires, A. P. F., Diane, S., Srivastava, V., & Farjalla, F. (2018). Is Biodiversity Able to Buffer Ecosystems from Climate Change? What We Know and What We Don't. *BioScience*, 68 (4), 273–280. doi.org/10.1093/biosci/biy013

Poveda, G., Espinoza, J. C., Zuluaga, M. D., Solman, S. A., Garreaud, R., & van Oevelen, P. J. (2020). High Impact Weather Events in the Andes. *Frontiers in Earth Science*, 8, 162. doi.org/10.3389/feart.2020.00162

Rodrigues, A. de S., Lima, M. C., Santos, M. A. dos, Santos, D. M., Freitas, A. de L., Carvalho Filho, A., Pinto, A. de V. F., & Leite, M. J. de H. (2022). Use of pesticides and disposal of agricultural waste in Brazil. *Research, Society and Development*, 11 (7), e46511730329. doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30329

Rusticucci, M., Barrucand, M., & Collazo, S. (2017). Temperature extremes in the Argentina central region and their 53 monthly relationships with the mean circulation and ENSO phases. *International Journal of Climatology*, 37(6), 54 3003-3017.10.1002/joc.4895.

Seneviratne, S. I., Donat, M. G., Pitman, A. J., Knutti, R., & Wilby, R. (2016). Allowable CO₂ emissions based on regional and impact-related climate targets. *Nature*, 529 (7587), 477–483.10.1038/nature16542.

Siani, S. R., Alves, J. B. A., & Hayashi, C. (2022). Big environmental businesses in the Amazon: a reflection on soy sustainability. *Research, Society and Development*, 11 (7). doi.org/10.33448/rsd-v11i7.29508

UN (1988). United Nations General Assembly. *Resolution 43/53*: Protection of global climate for present and future generations of mankind. 6 December 1988. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/02/UNGA43-53.pdf>

Vera, C. S., & Díaz, L. (2015). Anthropogenic influence on summer precipitation trends over South America in CMIP5 10 models. *International Journal of Climatology*, 35(10), 3172-3177.10.1002/joc.4153

Waters, C. N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A. D., Poirier, C., Agnieszka, G., Cearreta, A., Edgeworth, M., Ellis, E. C., Ellis, M., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J. R., Richter, D. D., Steffen, W., Syvitski, J., Vidas, D., Wagreich, M., Williams, M., Zhisheng, A., Grinevald, J.; Odada, E.; Oreskes, N., & Wolfe, A. P. (2016). The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science*, 351 (6269). 10.1126/science.aad2622

Zador, M., et al. (2015). *Tropical Andes Biodiversity Hotspot*. Ecosystem Profile Technical Summary. NatureServe and EcoDecisión, 1-53. https://www.cepf.net/sites/default/files/tropical_andes_profile_final_4_2015.pdf

Zucattelli, P. J., Meneguelo, A. P., Diniz Chaves, G. de L., Chaves, G. de L. D., & Tosta, M. de C. R. (2019). The application required investments and operational costs of geological CO₂ sequestration: a case study. *Research, Society and Development*, 8(6), e12861023. doi.org/10.33448/rsd-v8i6.1023