

Mudanças climáticas e a sociedade

TÉRCIO AMBRIZZI
AMANDA REHBEIN
LÍVIA MÁRCIA MOSSO DUTRA
NATÁLIA MACHADO CRESPO



Balanço de energia no sistema terrestre e aquecimento global

A atmosfera terrestre é composta por diversos gases e pequenas partículas (aerossóis) que exercem um papel fundamental em regular o balanço de energia em nosso planeta. E é este balanço, o qual tende a sempre buscar o equilíbrio, que controla o clima da Terra.

Vamos revisar alguns conceitos importantes sobre o balanço de energia terrestre:

✓ Sabemos que qualquer corpo com temperatura acima do zero absoluto (0 Kelvin) emite e absorve radiação, e que a radiação emitida pelo Sol é a principal fonte de energia que alimenta continuamente o sistema terrestre.

✓ Ao chegar em nossa atmosfera, parte da radiação solar (~30%) é refletida de volta para o espaço, e a outra parte (~70%) é absorvida por nossa atmosfera e superfície terrestres.

✓ Tal absorção de energia solar resulta no aquecimento do sistema terrestre, que por sua vez emite radiação infravermelha em todas as direções; tal emissão de energia infravermelha leva a um consequente resfriamento do sistema terrestre, de forma que o balanço de energia tende sempre a buscar o equilíbrio; este equilíbrio significa que quase toda a energia solar que “chega” à Terra é “devolvida” para o espaço, na forma de energia infravermelha.

✓ Entretanto, conforme mencionado, nem toda a energia infravermelha emitida retorna ao espaço. Graças à presença de

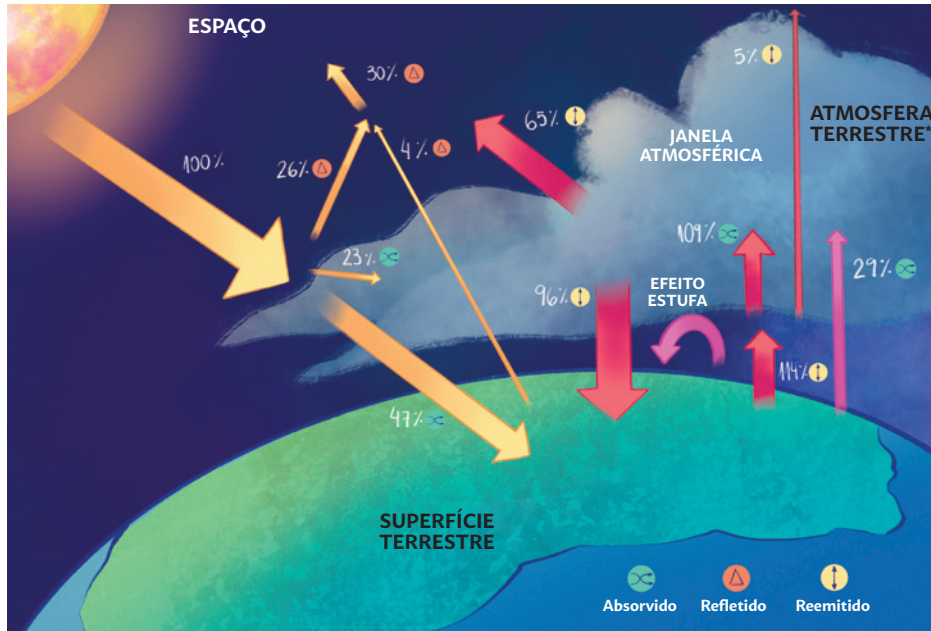
alguns componentes específicos em nossa atmosfera, os quais possuem a propriedade de absorver radiação infravermelha, parte desta energia que deveria retornar ao espaço acaba sendo reabsorvida pela atmosfera e retornando à superfície terrestre, como parte do processo conhecido como “efeito estufa”. É este efeito estufa que faz com que o planeta Terra possua temperaturas e outras características climáticas compatíveis com a geração e manutenção da vida e do ecossistema terrestre. Na média, a temperatura na superfície da Terra é por volta de 15°C.

Apesar de o CO₂ ser o segundo gás mais importante do efeito estufa, estando atrás do vapor d'água, que é majoritariamente mais abundante em nossa atmosfera, o papel que este gás desempenha no balanço de energia terrestre é crucial. O aumento de CO₂ na atmosfera (o qual iremos ver mais à frente que é um resultado direto das ações do Homem) resulta em

VOCE SABIA?

- ✓ Sem o efeito estufa, a temperatura média na superfície da Terra seria muito baixa (por volta de 18°C abaixo de zero) e incompatível com a vida como conhecemos; os oceanos, por exemplo, seriam todos congelados.
- ✓ Os principais constituintes atmosféricos responsáveis pelo efeito estufa são: vapor d'água (H₂O; 50%), nuvens (25%), dióxido de carbono (CO₂; 20%), entre outros (5%), incluindo os gases metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), ozônio (O₃) e hidrofluorcarbonetos (HFCs).
- ✓ Radiação infravermelha é uma forma de energia associada à temperatura do corpo que a emite; qualquer corpo com temperatura maior que o zero absoluto emite este tipo de energia, que é invisível aos nossos olhos.

BALANÇO DE ENERGIA NO SISTEMA TERRESTRE (NÍVEIS PRÉ-INDUSTRIAIS)



*Atmosfera terrestre e todos os seus constituintes, incluindo gases do efeito estufa que interagem com as formas de energia descritas aqui.

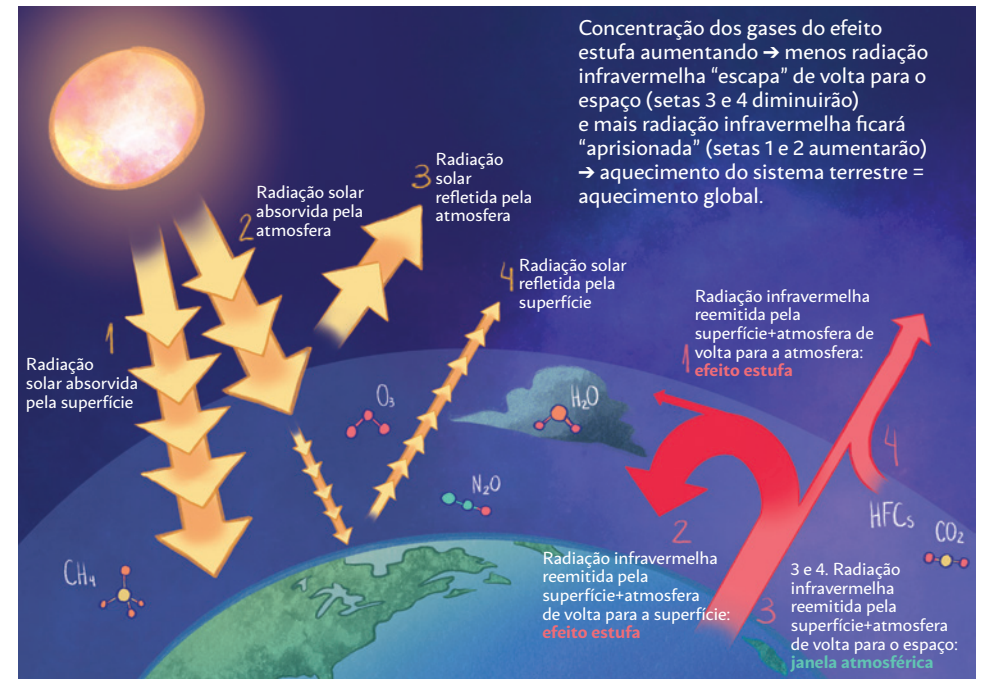
VALORES TOTAIS PARA FECHAR O BALANÇO DE ENERGIA

	ATMOSFERA TERRESTRE	SUPERFÍCIE TERRESTRE	ESPAÇO
ENTRANDO	☀️ 161% = 23+109+29	☀️ 143% = 47+96	☀️ 100% = 30+5+65
SAINDO	🌡️ 161% = 65+96	🌡️ 143% = 114+29	100%

um “excesso” de gases do efeito estufa, o que por consequência aumenta a quantidade de energia infravermelha que retorna à superfície terrestre ao invés de “escapar” para o espaço. Isto faz com que haja um maior aquecimento do sistema climático da Terra, o qual vem sendo observado estar associado aos desdobramentos da Revolução Industrial, e é popularmente referido como aquecimento global.

Mas como pode a Terra estar se aquecendo se muitas vezes vemos notícias sobre regiões em que ocorrem recordes de temperaturas frias registradas? Da mesma forma que algumas regiões do globo passam por recordes de temperaturas frias, outras regiões passam por recordes de temperaturas quentes. O aquecimento global ao qual nos referimos diz respeito aos valores médios registrados considerando todo o globo. O que tem sido observado na verdade é um aumento de eventos extremos de tempo em todo o planeta como, por exemplo, ondas de calor ou ondas de frio, fortes chuvas/inundações ou secas severas. E devemos nos preocupar com isso, pois esses eventos trazem consigo um grande potencial de desastres, danos e perdas, tanto econômicas quanto humanas.

O EFEITO ESTUFA E O AQUECIMENTO GLOBAL



Concentração dos gases do efeito estufa aumentando → menos radiação infravermelha “escapa” de volta para o espaço (setas 3 e 4 diminuirão) e mais radiação infravermelha ficará “aprisionada” (setas 1 e 2 aumentarão) → aquecimento do sistema terrestre = aquecimento global.

Radiação infravermelha reemitida pela superfície+atmosfera de volta para a atmosfera: **efeito estufa**

3 e 4. Radiação infravermelha reemitida pela superfície+atmosfera de volta para o espaço: **janela atmosférica**

¿o que são as mudanças climáticas?

Embora seja comum ouvirmos os termos “aquecimento global” e “mudanças climáticas” como se fossem sinônimos, tecnicamente existem algumas diferenças na definição de cada termo. Como vimos, o termo “aquecimento global” se refere ao aumento da temperatura média do sistema terrestre que ocorre em função do aumento da concentração de gases do efeito estufa em nossa atmosfera. Já o termo “mudanças climáticas” se refere às mudanças de longo prazo que vem sendo observadas (ao longo das últimas décadas) e projetadas (em décadas futuras) em diversas variáveis climáticas (tais como padrões de precipitação, temperatura e vento); estas mudanças decorrem tanto de fatores antropogênicos (isto é, causados pelo Homem) quanto de fatores naturais (variabilidade climática interna na Terra e outras forçantes externas) e ocasionam uma ampla variedade de efeitos em diversos aspectos dos sistemas geofísicos, naturais e humanos.



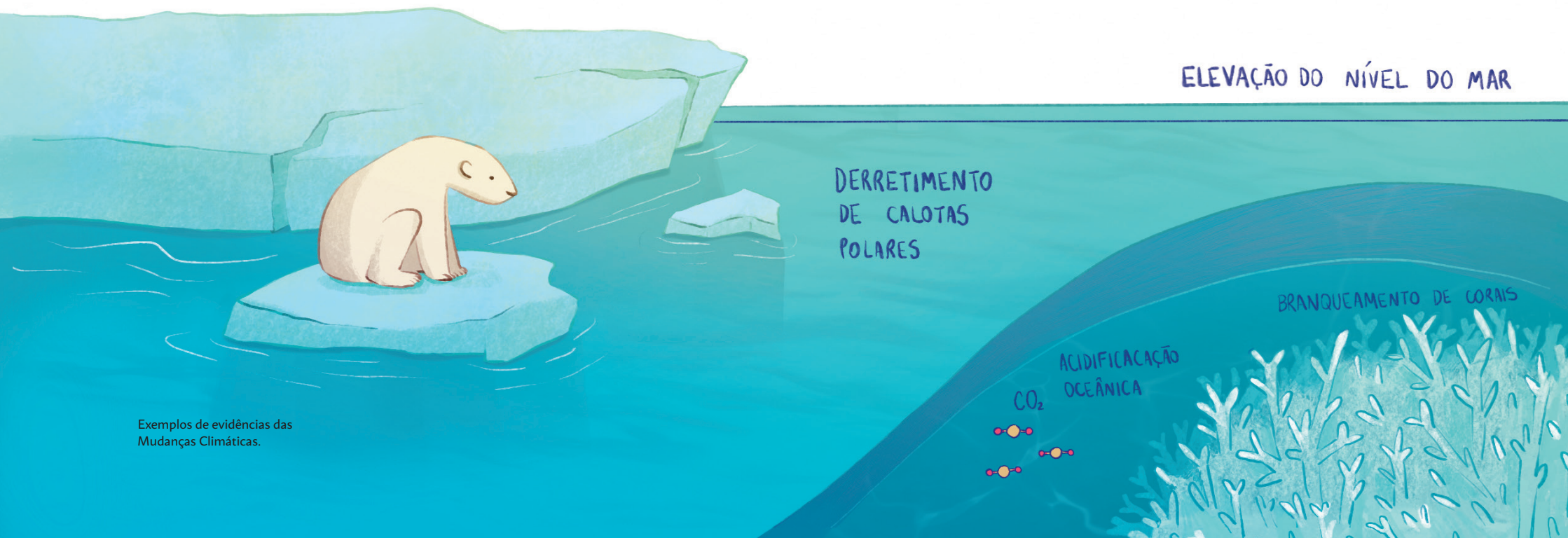
VOCE SABIA?

✓ O clima da Terra nem sempre foi como conhecemos hoje; ao longo de sua história, que teve início a mais de 4,5 bilhões de anos atrás, nosso planeta já passou por diversos períodos de mudanças climáticas, intercalando períodos de eras glaciais e períodos interglaciais, de aquecimento pelo efeito estufa natural. Estas flutuações ocorreram em decorrência de forçantes naturais (tais como impactos de meteoritos, erupções vulcânicas, e variações na órbita da Terra e na energia solar) que sempre existiram e continuarão a existir no futuro. Entretanto, esta é a primeira vez na história da Terra que mudanças climáticas estão ocorrendo em decorrência de ações humanas. E estas mudanças antropogênicas vêm ocorrendo em alta velocidade, bem mais alta que mudanças naturais associadas a variações na órbita terrestre, por exemplo.

Será que o clima está mudando mesmo? Como podemos ter certeza?

Existem diversos indicadores de que o clima vem mudando desde meados do século XX; cientistas de diversas áreas do conhecimento e de todo o mundo já vêm há algum tempo alertando a sociedade acerca destas mudanças e suas implicações. O Painel

Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, popularmente conhecido pelo seu acrônimo em inglês, IPCC, foi criado em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (ONU Meio Ambiente), na tentativa de agregar esforços de especialistas de todo o mundo e melhorar a nossa compreensão sobre mudanças climáticas e todas as complexas questões científicas, técnicas e socioeconômicas envolvidas. O IPCC é organizado em Grupos de Trabalho e lança periodicamente relatórios detalhados e abrangentes, além de sumários para tomadores de decisão governamentais; toda a informação é também de livre acesso para o público em geral.



Exemplos de evidências das Mudanças Climáticas.

Evidências de que o clima está mudando incluem:

- ✓ Aumento da temperatura média na superfície da Terra, o qual pode ser comprovado através de medições locais em todo o globo e através de dados provenientes de satélites que orbitam a Terra;
- ✓ Aumento da acidificação dos oceanos, o qual ocorre em virtude da maior concentração de CO₂ na atmosfera que acaba sendo absorvido pelos oceanos;
- ✓ Diminuição do volume do gelo marinho no Ártico, a qual vem sendo observada nas últimas décadas;
- ✓ Derretimento de geleiras em todo o mundo;
- ✓ Elevação do nível do mar, que em termos globais aumentou em cerca de 23 centímetros desde 1980, em virtude tanto da expansão da água dos oceanos que vem se aquecendo quanto do derretimento de geleiras e mantos de gelo sobre terra firme;
- ✓ Aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, os quais estão relacionados a mudanças observadas no ciclo global da água (com secas longas e severas em algumas regiões e com o aumento da precipitação anual em outras regiões).

Como sabemos que o Homem é responsável pela mudança climática?

Existem evidências empíricas de que o aumento de gases do efeito estufa que vem sendo observado é um reflexo da elevada emissão de poluentes em nossa atmosfera pelo Homem, associada à Revolução Industrial, que teve início em 1760. O avanço das tecnologias industriais e de produção, ao mesmo tempo em que permitiu ao Homem alcançar grandes conquistas, também acabou por gerar uma quantidade imensa de poluentes em virtude da queima de combustíveis fósseis, a qual é utilizada para produzir energia e trabalho mecânico. Nos tempos atuais, é possível constatar que quase tudo ao nosso redor deriva de processos que envolvem a queima de combustíveis fósseis: a produção de eletricidade, os meios de transporte, diversos produtos construídos através de processos industriais, entre outros. E não é só a queima de combustíveis fósseis que gera gases do efeito estufa; o desmatamento, o mau uso do solo no agronegócio em geral (pecuária, solos agrícolas, produção de arroz), e a mineração do carvão também são processos que contribuem para isso.

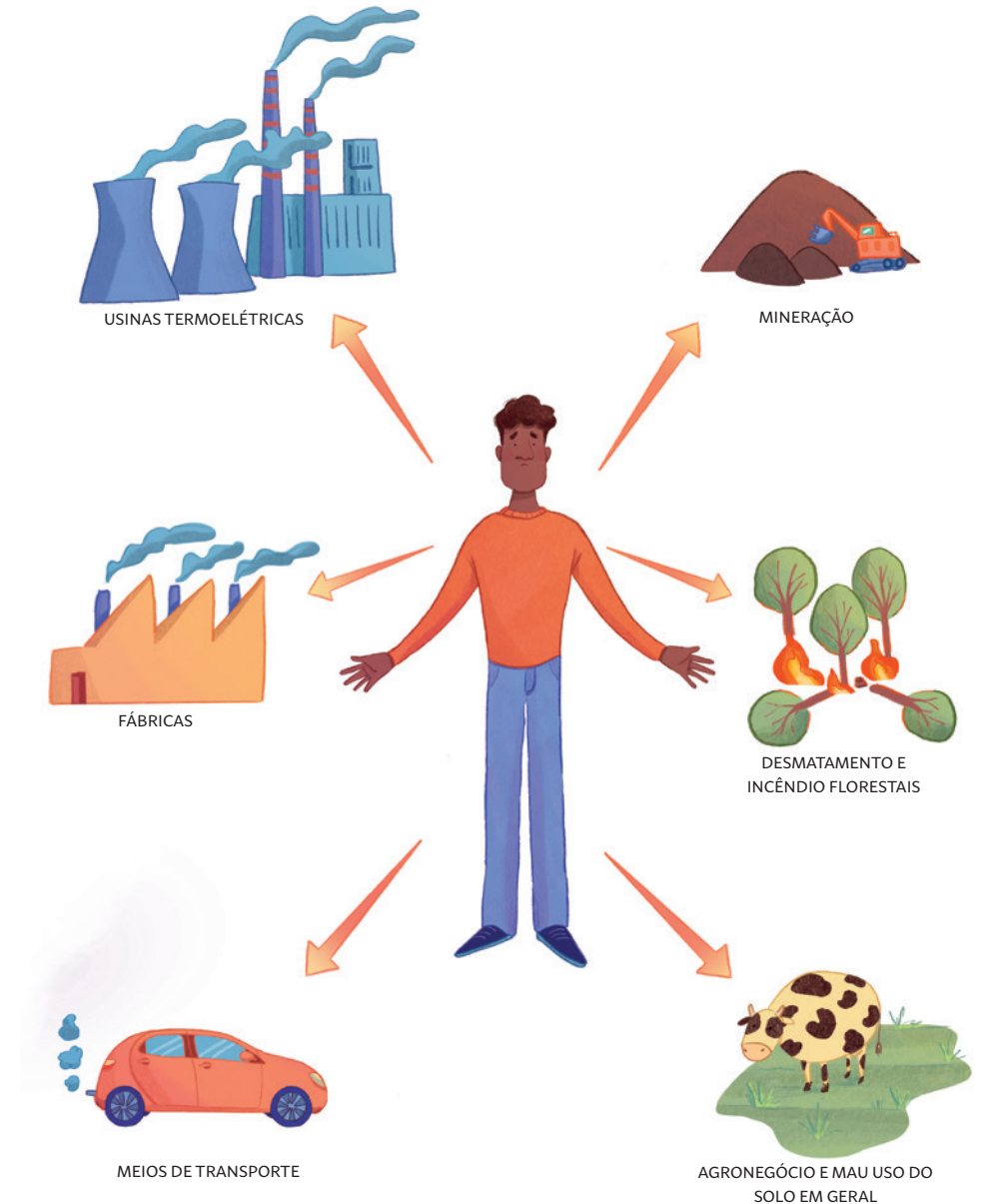
Já existe um majoritário consenso entre especialistas na comunidade científica de que as mudanças climáticas estão sim ocorrendo, e de que as ações humanas são sim responsáveis por

isso. Um estudo publicado em 2013, liderado pelo Dr. John Cook do *Global Change Institute, University of Queensland*, na Austrália, mostrou que a maioria esmagadora (97%) dos cientistas concorda que o aumento antropogênico (isto é, causado pelo Homem) da concentração de gases do efeito estufa é a principal causa do aquecimento global que vem sendo observado. O quinto relatório do IPCC também concluiu que a influência humana no clima da Terra é clara, sendo que há um alto grau de confiabilidade (probabilidade de mais de 95%) de que as atividades humanas nos últimos 50 anos são responsáveis pelo aquecimento observado em nosso planeta.

VOCE SABIA?

- ✓ Além da geração de gases do efeito estufa, a emissão de poluentes também produz aerossóis, os quais podem interagir com a radiação solar e afetar a formação de nuvens, o que por consequência pode alterar o balanço de energia no sistema terrestre e contribuir para as mudanças climáticas.
- ✓ Mudanças na maneira como o Homem usa a terra (por exemplo, florestas, fazendas ou cidades) também podem causar efeitos locais, alterando a refletividade da superfície da Terra e mudando o grau de umidade de uma região.

AÇÕES ANTROPOGÊNICAS QUE LEVAM AO AUMENTO DE GASES DO EFEITO ESTUFA NA ATMOSFERA



Referências bibliográficas

ALVES, L. M. Clima da região Centro-Oeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. D. A.; FERREIRA, N. J.; DA SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 235-241.

AMBRIZZI, T. et al. The state of the art and fundamental aspects of regional climate modeling in South America. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1436, n. 1, p. 98-120, 2019.

BEDAQUE, P.; BREDONE P. S. Variação da posição de nascimento do Sol em função da latitude. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, n. 3, e3307, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada Para Consecução Do Objetivo Da Convenção-Quadro Das Nações Unidas Sobre Mudança Do Clima**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris/item/10710.html>. Acesso em 12 de agosto de 2020.

BRITO, S. B. P. et al. Pandemia da COVID-19: o maior desafio do século XXI. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia**, v. 8, n. 2, p. 54-63, 2020.

COOK, J. et al. Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 2, 024024, 2013.

FORTUNE, M. A.; KOUSKY, V. E. Two Severe Freezes in Brazil: Precursors and Synoptic Evolution. **Monthly Weather Review**, v. 111, p. 181-196, 1983.

GRIMM, A. M. Clima da região Sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. D. A.; FERREIRA, N. J.; DA SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 259-275.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013, p. 1535.

_____. **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 [R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014, p. 151.

JACOBI, P. R. et al. **Temas atuais em mudanças climáticas: para os ensinos fundamental e médio**. São Paulo: IEE – USP, 2015.

MARENGO, J. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 25-32, 2014.

_____. Drought, Floods, Climate Change, And Forest Loss In The Amazon Region: A Present And Future Danger? **Frontiers for Young Minds**, v. 7, p. 8-147, 2020.

MARGULIS, S.; DUBEUX, C. B. S.; MARCOVITCH, J. **The economics of climate change in Brazil: costs and opportunities**. São Paulo: FEA/USP, 2011.

OLIVEIRA, G. S.; DA SILVA, N. F.; HENRIQUES, R. **Mudanças climáticas: ensino fundamental e médio**. Brasília: MEC, SEB; MCT; AEB, 2009.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Base Científica das Mudanças Climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. Ambrizzi, T; Araujo, M (Orgs.). Rio de Janeiro: Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). UN environment programme, 2020. Ementa (descrição). Disponível em: <https://www.unenvironment.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/6-fatos-sobre-coronavirus-e-meio-ambiente>. Acesso em: 10 de setembro de 2020.

REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

REBOITA, M. S. et al. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terra e Didática**, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

SILVA DIAS, M. A. F.; da SILVA M. G. A. J. Para Entender Tempo e Clima. In: CAVALCANTI, I.D.A.; FERREIRA N.J.; DA SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 15-21.

WENDEL, J. **Will COVID's cleaner skies muddy climate models?** Eos, 101, 2020. Disponível em: <https://eos.org/articles/will-covids-cleaner-skies-muddy-climate-models>

YNOUE, R. Y. et al. **Meteorologia: noções básicas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.