



MUDANÇAS CLIMÁTICAS: IMPACTO, MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO



Iran Carlos Stalliviere Corrêa
CECO/PGGM/IGEO/UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEÂNICA

PROGRAMA DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA



(fonte: <https://compostcheira.eco.br/wp-content/webp-express/webp-images/uploads/2023/02/Mudancas-Climaticas.png.webp>)

***MUDANÇAS CLIMÁTICAS:
IMPACTO, MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO***

Iran Carlos Stalliviere Corrêa

2024

Prof. Iran Carlos Stalliviere Corrêa
Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica
Departamento de Geodésia
Instituto de Geociências
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

C824m Corrêa, Iran Carlos Stalliviere
Mudanças climáticas: impacto, mitigação e adaptação. /
Iran Carlos Stalliviere Corrêa - Porto Alegre:
CECO/PGGM/IGEO/UFRGS, 2024.
[177 f.] il.

ISBN: **978-65-00-91822-9**

1. Gases de efeito estufa. 2. Aquecimento Global.
3. Variação do nível do mar. 4. Processos erosionais.. I. Título.

CDU 551.468.1

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS
Renata Cristina Grun CRB 10/1113



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica

Programa de Geologia e Geofísica Marinha



(fonte: <https://cooperoestesc.com.br/wp-content/uploads/2023/09/02-BLOG-EL-NINO.jpg>)

MUDANÇAS CLIMÁTICAS: IMPACTO, MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO

2024

Iran Carlos Stalliviere Corrêa



Reitor
Carlos André Bulhões Mendes

Vice-Reitora
Patrícia Helena Lucas Pranke

Diretor do Instituto de Geociências
Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Vice-Diretora do Instituto de Geociências
Tatiana Silva da Silva

Projeto Livro Didático

Projetado e elaborado pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica

Diretor: María Alejandra Gomez Pivel
Vice-Diretora: Maria Luiza Correa da Camara Rosa

2024

**Segundo a lei nº 9610/98 e o Código Penal no Artigo 184, é vedada a reprodução, por qualquer meio, desta apostila didática, sendo somente permitida com autorização do professor-autor.
A cópia não autorizada é punível com sanções administrativas e penais.**

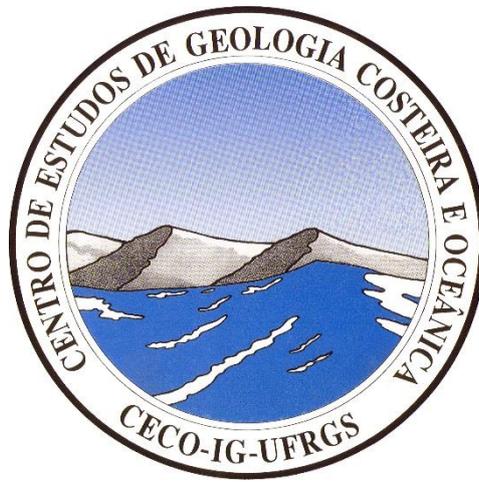
SUMÁRIO

Apresentação	10
I. INTRODUÇÃO	12
1.1 Origem e objetivos do IPCC	13
1.2 Governança do IPCC	13
1.3 Exemplo de grupo de trabalho	15
1.4 IPCC e COP	16
1.5 Perspectivas	17
1.6 Críticas	17
II. O SISTEMA CLIMÁTICO	18
2.1 Alterações climáticas, escalas temporais	18
2.1.1 Atmosfera	19
2.1.1.1 Ventos	22
2.1.2 Oceano	23
2.1.2.1 Correntes oceânicas superficiais	23
2.1.2.2 Correntes termohalinas	25
2.2 Radiações na camada atmosférica	25
III. GASES DE EFEITO ESTUFA	28
3.1 Os gases de efeito estufa	28
3.2 Gases de efeito estufa: fontes de emissão e impactos no clima	32
3.2.1 Introdução	32
3.2.2 Gases de efeito estufa e modificação na composição da atmosfera	33
3.2.3 Evolução das emissões de gases de efeito estufa (GEE)	34
3.2.4 De onde provêm as emissões de GEE?	35
3.2.5 Concentrações de GEE nos últimos 800.000 anos	36
3.2.6 Gases de efeito estufa: uma diversidade de compostos	37
IV. OBSERVAÇÕES CLIMÁTICAS	40
4.1 Diferença entre meteorologia e clima	40
4.2 Observação das variáveis climáticas	41
4.3 Processamento de séries climáticas	42
4.4 Exemplo da evolução da temperatura média global	43
4.5 A atribuição das mudanças climáticas	44
4.5.1 Definição	44
4.5.2 A temperatura média do planeta	44
4.5.3 Outras variáveis rastreadas	46
4.5.4 A temperatura média do planeta	47
4.5.5 Evolução dos eventos extremos	50
4.5.6 Sobrevivência de um evento extremo em particular	51
4.5.7 Exemplo da onda de calor de 2019	53
V. CENÁRIOS CLIMÁTICOS	55
5.1 Introdução	55

5.2 Cenários de emissões utilizados pelo IPCC	55
5.3 Projeções globais	57
5.4 Projeções espaciais	59
5.5 Os efeitos das mudanças climáticas sobre o ciclo da água	63
5.5.1 Mudanças climáticas observadas	63
5.5.2 Atribuição da mudança observada	64
5.5.3 Projeção	66
5.5.4 Incertezas	69
5.6 Mudanças climáticas e a biodiversidade	69
5.6.1 Contexto histórico	70
5.6.2 Mudanças climáticas e a atividade de incêndios	72
5.6.2.1 Elementos favoráveis aos incêndios florestais	72
5.6.2.2 Impactos das alterações climáticas na atividade dos fogos: método	75
5.6.2.3 Impactos das alterações climáticas na atividade dos fogos: projeções	76
5.6.3 Sensibilidade das calotas polares às alterações climáticas	78
5.6.3.1 Formação das calotas polares	78
5.6.3.2 Evolução das calotas polares ao longo do tempo	79
5.6.3.3 A perda de massa das calotas polares	79
5.6.3.4 Calotas polares e nível do mar	79
5.6.3.5 O caso da Groenlândia	80
5.6.3.6 O caso da Antártica	81
5.6.3.7 Elevação do nível do mar	82
VII. O OCEANO E O CLIMA	84
6.1. Características gerais dos oceanos	84
6.2. Oceano e clima	84
6.2.1. Aumento desuniforme do nível do mar	86
6.2.2. Intensificação do ciclo hidrológico	87
6.2.3. Ondas de calor marinhas	88
6.2.4. Inundações costeiras	92
6.3. Biodiversidade marinha e mudanças climáticas	94
6.3.1. Aquecimento global	94
6.3.2. Biodiversidade marinha	94
6.3.3. Apresentação da teoria do METAL	95
6.3.4. Validação da teoria METAL	96
6.3.5. A biodiversidade a +2°C	96
6.3.6. A biodiversidade marinha em 2100	97
VII. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SAÚDE HUMANA	99
7.1. Mudanças climáticas, temperatura e saúde humana	99
7.2. Outros impactos do aquecimento climático sobre a saúde	101
7.3. Mitigação das alterações climáticas e da saúde	102
7.4. Mudanças climáticas, agricultura e segurança alimentar	104
7.4.1. Degradação da terra nos dias atuais	104
7.4.2. Os impactos já visíveis na segurança alimentar	105
7.4.3. Projeções e riscos	106
7.4.4. Quais as opções de respostas?	106
7.4.5. Busca por cobenefícios	107

7.5. A neutralidade de carbono	109
7.5.1. Carbono fóssil e carbono vivo	110
7.5.2. A transição energética numa perspectiva econômica	111
7.5.3. A transição agroeconômica numa perspectiva econômica	112
7.6. As mudanças climáticas na América Latina e Caribe	113
7.6.1. Desafios e oportunidades	116
7.7. A Europa e o desafio das mudanças climáticas	117
7.7.1. Principais riscos na Europa associados à mudanças climáticas	117
7.7.2. Adaptação às alterações climáticas na Europa	119
7.7.3. Viabilidade e eficácia das medidas de adaptação	119
7.8. Mudanças climáticas no sul do Brasil	121
7.9. Consequências locais do aquecimento global: efeitos sobre cidades	124
7.10. Efeitos das mudanças climáticas no ano de 2023, no Brasil	129
VIII. COMO AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS AFETARÃO OS NEGÓCIOS E O QUE PODE SER FEITO	130
8.1. Como as empresas devem responder aos riscos climáticos?	132
8.2. Quais oportunidades de negócios surgem com as mudanças climáticas?	134
IX. ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	135
9.1. Introdução	135
9.2. Mitigação das alterações climáticas	135
9.2.1. Definição	135
9.2.2. Primeira atitude	135
9.2.3. Segunda atitude	136
9.2.4. Terceira atitude	137
9.2.5. Mitigação das mudanças climáticas do lado da demanda	139
9.2.5.1. O caso das edificações	139
9.2.5.2. Sobriedade	140
9.2.5.3. A estrutura “Evitar, Substituir, Melhorar”	140
9.2.5.4. A nível individual	140
9.2.5.5. Uma responsabilidade coletiva	141
9.2.5.6. Os cobenefícios da mitigação do lado da procura	142
9.3. Territórios urbanos e alterações climáticas	142
9.3.1. Urbanização e emissões de GEE	142
9.3.2. O risco das ilhas de calor	143
9.3.3. O risco de submersão e inundação	144
9.3.4. Transporte	145
9.3.5. Governança	146
9.4. Territórios agrícolas na agricultura mista e mudanças climáticas	146
9.4.1. Benefícios da agricultura mista e da pecuária	146
9.4.2. Na escala agrícola	147
9.4.3. A nível territorial	147
9.5. Zonas costeiras e alterações climáticas	149
9.5.1. Impactos das alterações climáticas nas zonas costeiras	149
9.5.2. Submersão e erosão	150
9.5.3. Estratégias de adaptação	151
9.5.4. Exemplos	152

X. CONCLUSÕES DO RELATÓRIO DO IPCC 2023	155
XI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	162
XII. ABREVIATURAS	168
XIII. GLOSSÁRIO	171



APRESENTAÇÃO

Com a finalidade de atender às necessidades dos alunos da **Área de Concentração em Geologia Marinha, do Programa de Pós-Graduação em Geociências**, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), é que foi organizada esta coletânea de informações referentes a notas de aulas, de artigos científicos, de relatórios de Instituições, de palestras elaboradas durante quase cinquenta anos de magistério.

A elaboração deste trabalho não tem o intuito de compará-lo a um livro didático e científico e sim apenas um complemento para os alunos, no acompanhamento das aulas e, também, para futuras consultas, já que o conhecimento das **Mudanças Climáticas**, é uma ferramenta que contribui notavelmente para a interpretação e compreensão do que está ocorrendo com o clima no Globo Terrestre tanto nas áreas oceânicas e continentais.

As mudanças climáticas são transformações a longo prazo nos padrões de temperatura e clima. Essas mudanças podem ser de origens naturais, como por meio de variações no ciclo solar. Mas, desde 1800, as atividades humanas têm sido o principal impulsionador das mudanças climáticas, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás. A queima desses combustíveis fósseis gera emissões de gases de efeito estufa, que agem como um grande cobertor em torno da Terra, retendo o calor do sol e aumentando as temperaturas. Os principais gases de efeito estufa, que estão causando mudanças climáticas, incluem dióxido de carbono e metano, que são oriundos do uso da gasolina, para movimentar veículos ou carvão, para aquecimento residencial ou obtenção de energia elétrica, por exemplo. O desmatamento de florestas também pode liberar dióxido de carbono. Aterros para lixo são uma das principais fontes de emissões de metano. Energia, indústria, transporte, edificações, agricultura e uso da terra estão entre os principais emissores.

Neste alfarrábio pretende-se apresentar as causas e os impactos, ao meio ambiente, ocasionados pelas mudanças climáticas e propor prováveis soluções para que as metas estabelecidas em acordos internacionais possam ser atingidas.

Quero expressar aqui o meu mais profundo agradecimento ao **Prof. Dr. Luiz Roberto Silva Martins** (*in memoriam*), meu Mestre e Professor, o qual me ensinou os primeiros passos na área da Geologia Marinha e que me fez gostar desta ciência tornando-me, mais tarde, professor da mesma. Agradeço a ele também, pelas inúmeras oportunidades que me deu em participar de inúmeras Operações Oceanográficas, tanto no Brasil como fora dela, e o de coordenar algumas delas. Me incentivou e me apoio quando recebi convite da Universidade de Concepción, no Chile, onde ministrei, durante 10 anos, a disciplina de Morfologia e Sedimentologia Marinha. Expresso, também, meus agradecimento ao **Prof. Dr. Clóvis Carlos Carraro** (*in memoriam*) que foi quem me apoiou, durante toda minha vida universitária, e me ensinou as trilhas da Topografia.

Aos Profs. Martins e Carraro meu respeito e gratidão.

O Autor.



O aquecimento global

(fonte: https://img.freepik.com/fotos-premium/vibrant-global-warming-in-flames_849761-12169.jpg?size=626&ext=jpg&ga=GA1.1.1413502914.1696464000&semt=ais)

I. INTRODUÇÃO

Este livro tem o intuito de apresentar, através de um apanhado geral, as mudanças climáticas que ocorrem no planeta Terra, tentando estabelecer os impactos, as mitigações e adaptações a serem tomadas para minimizar estes efeitos.

Antes de se discutir sobre as mudanças climáticas, é necessário conhecer o que é o IPCC e sua relação com as COPs.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, mais conhecido pelo acrônimo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), é uma organização científico-política criada em 1988 no âmbito da Organização das Nações Unidas (ONU), pela iniciativa do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e da Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Tem como objetivo principal sintetizar e divulgar os conhecimentos mais avançados, sobre as mudanças climáticas que hoje afetam o mundo, especificamente, o aquecimento global, apontando suas causas, efeitos e riscos para a humanidade e o meio ambiente e sugerindo maneiras de combater os problemas. O IPCC não produz pesquisa original, mas reúne e resume o conhecimento produzido por cientistas de alto nível, independentes e ligados a organizações e governos.

É um consenso que o IPCC representa a maior autoridade mundial a respeito do aquecimento global, e tem sido a principal base para o estabelecimento de políticas climáticas mundiais e nacionais, mas isso não o livra de receber críticas. Desde sua criação o IPCC produziu cinco grandes relatórios e vários outros documentos. O primeiro relatório surgiu em 1990 e o último em 2023. A qualidade e seriedade do seu trabalho, que envolve milhares dos mais reputados cientistas da atualidade, lhe valeu o Prêmio Nobel da Paz em 2007.

Na discussão das mudanças climáticas ocorrentes no globo terrestre, duas são as organizações internacionais que desempenham papel essencial: o IPCC, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, e a UNFCCC, Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, conhecida por suas COPs, Convenção das Partes, que se reúnem uma vez por ano e cuja COP28, realizada em 2023, se deu em Dubai.

A seguir se apresenta o que é o IPCC, quais são as suas missões e como são elaborados os seus relatórios.

1.1. Origem e objetivos do IPCC

A criação do IPCC, em 1988, foi a resposta ao pedido de um número crescente de Estados, preocupados com as alterações climáticas que vinham ocorrendo no globo terrestre e que iriam se tornar um tema de preocupação internacional, com riscos consideráveis. Para resolver ou amenizar este problema, era portanto, necessário que estes Estados possuíssem conhecimentos científicos sólidos e inquestionáveis.

O IPCC foi criado por duas Organizações das Nações Unidas (ONU), a Organização Meteorológica Mundial (OMM), que já era muito ativa na monitorização e estudo do clima, e o Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUA), que já estava totalmente empenhado nas questões ambientais e nas questões específicas de poluição.

Para cumprir o seu mandato, o IPCC avalia e depois sintetiza, nos seus relatórios, as informações científicas mais recentes, com base em publicações em revistas científicas de investigações e estudos já realizados por cientistas, especialistas ou organizações. O IPCC, portanto, não realiza a sua própria investigação, não é um laboratório nem uma estrutura que encomenda ou financia investigação.

É um local de expertise coletiva totalmente original, que visa sintetizar o trabalho realizado em laboratórios de todo o mundo, por muitos pesquisadores.

Ao aplicar regras rigorosas e sob o controlo dos seus Estados-Membros, o IPCC apresenta, nos seus relatórios, os elementos que são consenso da comunidade científica, ao mesmo tempo que identifica os limites do conhecimento.

1.2. Governança do IPCC

O IPCC é uma organização aberta a todos os países membros das suas duas organizações fundadoras, a OMM e a ONU, e de fato, hoje existem 195 países, portanto quase todos os países do mundo, que aderiram ao IPCC. Constituem formalmente o que chamamos de membros do IPCC que, portanto, não são personalidades científicas, mas sim Estados. São estes Estados que asseguram coletivamente a governança desta organização e aprovam os seus relatórios. Isto é feito durante as sessões plenárias, que reúnem os países membros, uma ou mais vezes por ano. A governança do IPCC diz respeito ao funcionamento do seu secretariado, ao seu financiamento, às suas despesas, à sua comunicação, ao estabelecimento e acompanhamento do programa de trabalho, que está organizado em ciclos que duram de 5 a 7 anos.

Isto também diz respeito ao cumprimento dos procedimentos para a tarefa principal do IPCC, nomeadamente a preparação e publicação de relatórios, incluindo o respeito pelas regras de inclusão e comportamento. Todas as decisões, no âmbito do IPCC, são tomadas por representantes governamentais por consenso, ou seja, por unanimidade.

O gabinete do IPCC é o órgão científico que lidera a agenda definida pelos Estados e tem a responsabilidade final pela preparação dos relatórios. O escritório inclui o presidente do IPCC, que preside as sessões plenárias. Atualmente é composto por 34 membros, eleitos pelos Estados, logo no início de cada novo ciclo do IPCC. Além disso, este é o único momento em que os Estados votam. As regras, estabelecidas antes de cada novo ciclo, definem a composição do gabinete, ou seja, as diferentes funções, mas também a distribuição geográfica a respeitar, para garantir uma representação equilibrada das disciplinas abrangidas e das origens geográficas.

No arranque do sétimo ciclo do IPCC, que deverá se estender até uma data entre 2028 e 2030, o gabinete é composto por um presidente, três vice-presidentes, seis copresidentes de grupos de trabalho, e dois copresidentes da tarefa de inventário força.

Os três grupos de trabalho desempenham um papel particularmente importante, devido que devem desenvolver um relatório de avaliação muito abrangente sobre o tema do seu grupo, bem como parte dos relatórios especiais. No final de cada ciclo é elaborado um resumo dos três relatórios de avaliação e dos relatórios especiais, constituindo a produção carro-chefe deste ciclo.

- O Grupo de Trabalho I avalia os aspectos físicos e físico-químicos do sistema climático e das alterações climáticas, incluindo as alterações climáticas recentes e a sua atribuição às atividades humanas, projeções climáticas globais e regionais de acordo com diferentes cenários de emissões de carbono.

- O Grupo de Trabalho II trata da vulnerabilidade às alterações climáticas dos sistemas socioeconômicos e naturais, dos impactos multiescalares e multissetoriais desta mudança com os riscos associados e as possibilidades de adaptação a ela.

- O Grupo de Trabalho III avalia possíveis soluções em todos os setores para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) nas suas dimensões tecnológica, socioeconômica, financeira e internacional.

A Força-Tarefa Nacional de Inventário de Gases de Efeito Estufa (NGGITF) desenvolve e atualiza um guia metodológico para avaliação dessas emissões. É a ferramenta universal para cada país contar e reportar as suas emissões antropogênicas de diferentes gases de efeito estufa (GEE).

O IPCC segue procedimentos precisos e um cronograma para produzir seus relatórios científicos, garantindo sua objetividade e rastreabilidade da origem do conhecimento apresentado.

1.3. Exemplo de grupo de trabalho

Para ilustrar isto, se tem como exemplo o relatório do Grupo de Trabalho I produzido no âmbito do sexto ciclo e publicado em agosto de 2021. Decidido em 2016 pelos Estados, a sua produção foi confiada aos dois cientistas, então copresidentes do Grupo de Trabalho I, a francesa Valérie Masson-Delmotte e a chinesa Panmao Zhai, e aos sete vice-presidentes deste grupo de trabalho, também cientistas de diferentes regiões do globo. O Grupo de Trabalho I contou com uma unidade de suporte técnico que empregava cerca de dez pessoas.

A preparação de um relatório de avaliação envolve várias etapas sucessivas. O primeiro passo, essencial para o futuro, consistiu na definição do resumo detalhado do futuro relatório. Uma primeira proposta é desenvolvida durante uma reunião com cerca de sessenta especialistas a qual é denominada de “*scoping*”. Estes especialistas identificam novos conhecimentos científicos, desde o último relatório, e propõem uma estrutura, sob a forma de um resumo detalhado, para apresentá-lo, da forma mais lógica possível, no futuro relatório. Esta proposta de estrutura e os seus fundamentos são examinados, alguns meses depois, pelos Estados reunidos em sessão plenária. Aprovam-no com algumas modificações, o que permite ao IPCC lançar uma convocatória para que autores escreverem cada um dos doze capítulos propostos.

Das centenas de autores submetidos, em sua maioria por Estados, o Grupo de Trabalho I seleciona em torno de 200.

As revisões de versões sucessivas de um relatório são partes essenciais do processo de desenvolvimento. Isto permite o envio de comentários aos autores para garantir, por um lado, a qualidade científica da avaliação e, por outro, a transparência e a consideração exaustiva das publicações sobre os temas abordados. Os autores devem considerar todos os comentários recebidos de especialistas, ou Estados, durante essas revisões e dizer que medidas foram tomadas em relação a estes comentários. Existem várias dezenas de milhares de comentários para cada um dos relatórios. Para realizar estas análises, as Nações mobilizam as administrações e os organismos de investigação envolvidos.

1.4. IPCC e COP

Os governos, reunidos em assembleia plenária, também intervêm na última fase, que é a aprovação do resumo à atenção dos decisores. Seu texto final é examinado e depois adotado, frase por frase, por consenso. Todas as delegações deverão aprovar cada frase por unanimidade, sujeita, evidentemente, ao acordo dos autores do relatório. Esta fase de aprovação é muito longa, podendo durar mais de uma semana e às vezes com várias sessões que duram noites inteiras. A maioria dos governos procura destacar no resumo, para os decisores, os elementos do relatório que lhes interessam, garantindo que o conhecimento científico não seja apresentado de uma forma prescritiva, para as políticas governamentais.

A intervenção estatal é, por vezes, considerada uma censura a certas mensagens científicas. Este não é absolutamente o caso e muitos autores reconhecem o valor acrescentado desta fase final de negociação. A aprovação por todos os Estados significa que os resumos dos relatórios do IPCC, para os decisores, são considerados uma verdade universal que já não é posta em causa durante as negociações internacionais sobre o clima, no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas (UNFCCC), durante as famosas COPs climáticas anuais. Este é um aspecto essencial para as interações existentes entre o IPCC e a UNFCCC.

Os relatórios do IPCC constituem a principal fonte de conhecimento científico para todos os assuntos de negociação climática, em particular para as avaliações globais do acordo de Paris, as quais são realizadas a cada 5 anos. Quando um novo relatório é publicado pelo IPCC, este é apresentado oficialmente pelos cientistas do IPCC aos Estados reunidos durante as COPs. Certos resultados-chave do relatório estão incluídos na base das decisões tomadas na COP, por exemplo, a necessidade de atingir um pico nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) antes de 2025, se quisermos limitar o aquecimento global a 1,5°C.

No âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas (UNFCCC), muitos países em desenvolvimento também confiam nos relatórios do IPCC, em particular para apoiar os seus pedidos de assistência financeira, seja para adaptação ao clima futuro, seja para se beneficiarem, o mais rapidamente possível, de tecnologias que emitem menos GEE. Assim, cada país retira dos relatórios do IPCC, o conhecimento que é mais útil para os seus próprios interesses.

1.5. Perspectivas

O IPCC prepara atualmente o seu sétimo ciclo, cujo início foi oficialmente marcado pela eleição, em julho de 2023, de um novo cargo. Muitos desafios terão de ser enfrentados, em particular, como produzir novos conhecimentos antes da segunda avaliação global do acordo de Paris, em 2028, ou como evoluir os objetivos e procedimentos do IPCC para fazer face a um crescimento quase exponencial do número anual de publicações científicas sobre o tema das alterações climáticas.

1.6. Críticas

Os relatórios do IPCC ocasionalmente trazem alguns erros, o que é difícil de evitar em qualquer pesquisa científica. Os relatórios sucessivos têm procurado remediá-los, à medida em que o conhecimento se aprimora e se aperfeiçoam os métodos empregados na obtenção e na análise dos dados brutos. Contudo, uma das principais críticas que o trabalho vem sofrendo, nos últimos anos, é a de ser excessivamente conservador nos resultados que apresenta. O IPCC tem se caracterizado pela cautela e cuidado com que estabelece seus argumentos, e a isso se deve sua grande credibilidade, mas uma influência política não pode ser inteiramente eliminada, uma vez que os relatórios precisam da aprovação de representantes dos governos dos Estados participantes, que às vezes têm forçado uma suavização na descrição dos impactos. De fato, um grande número de estudos independentes, apontam que a evolução recente do aquecimento global, tem se aproximado dos cenários mais pessimistas projetados pelo IPCC, o que, por outro lado, só enfatiza a importância do seu alerta sobre a gravidade do problema e a necessidade de ações urgentes e radicais em seu enfrentamento.



Sempre há uma esperança!

(fonte: https://img.freepik.com/fotos-premium/landscape-with-flower-on-dry-and-cracked-ground-hope-concept-generative-ai_803320-17466.jpg)

II. O SISTEMA CLIMÁTICO

2.1. Alterações climáticas, escalas temporais

Este livro diz respeito ao sistema climático, ao estudo do sistema climático, mas mais precisamente do estudo das alterações climáticas.

Ao se falar de alterações climáticas, necessariamente se está falando de escalas temporais do sistema climático, e essas escalas temporais são muito diversas, devido que o próprio sistema climático é formado por diversas componentes.

Algumas dessas componentes estão relacionadas a períodos de escalas menores, tais como, a velocidade média do fluxo atmosférico que é de 10 m/s, o que é suficiente para misturar a atmosfera na escala de algumas semanas ou alguns meses, se levando em conta os dois hemisférios. A atmosfera, deste ponto de vista, distribui os climas à escala planetária, sendo portanto o primeiro fator que modula o clima.

A atmosfera, entretanto, apresenta o que se pode dizer de ter pouca memória. A memória essencial está no oceano. A circulação oceânica se move a velocidades muito mais baixas, muitas vezes se movendo sob a influência da atmosfera, talvez cem vezes mais lenta que essa. Portanto, se pode dizer que o oceano é um gigante silencioso que pode ganhar vida de tempos em tempos e que atuará no clima como um metrônomo, um guardião do tempo em comparação com a atmosfera.

Existem outros componentes que possuem escalas de tempo muito maiores, tais como: os glaciais, os quais existem há milhões de anos e os solos, presentes sobre as geleiras e os rios. Temos toda uma série de componentes que podem apresentar velocidades extremamente diferentes, ocasionando com que tudo isso ganhe vida com o tempo.

O sistema climático é formado por cinco elementos ou cinco subsistemas: a atmosfera (a camada gasosa que envolve a Terra), a hidrosfera (a água doce e salgada em forma líquida nos oceanos, lagos, rios e mananciais subterrâneos), a criosfera (a água em forma sólida), a litosfera (o solo e suas camadas) e a biosfera (conjunto de seres vivos que habitam a Terra) (Fig.1). O clima é consequência do equilíbrio que ocorre na interação entre esses cinco elementos ou subsistemas.

Como as atividades humanas são extremamente importantes para o estudo das mudanças climáticas, estas são separadas da biomassa e estudadas individualmente. Da mesma forma, se for considerada a atividade solar e as atividades humanas, fala-se de um grande sistema denominado Sistema Global.

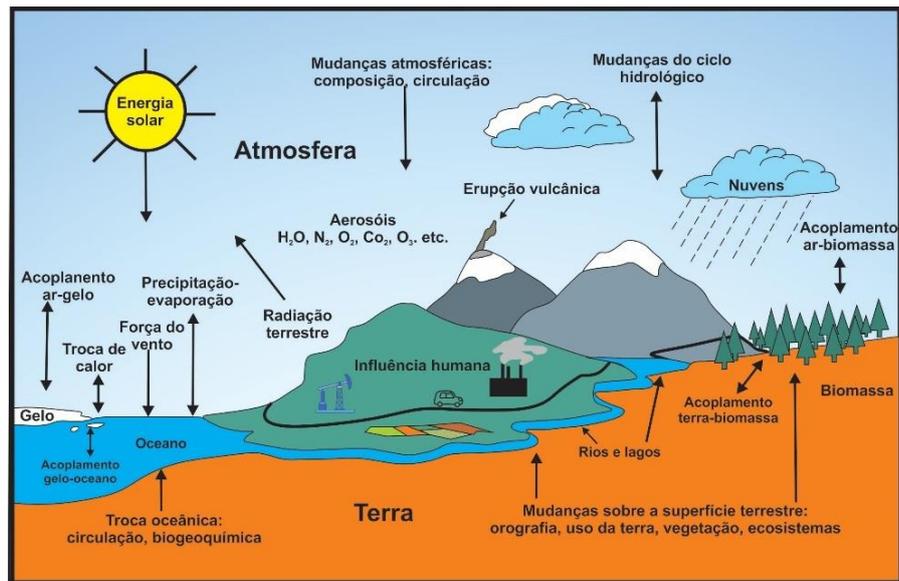


Figura 1 – O sistema climático e seus subsistemas.
(modificado: Paterson et al,2022)

Os dois principais componentes que ajudam a regular o clima do planeta são:

2.1.1. Atmosfera

A atmosfera compreende a camada gasosa que envolve o planeta e é considerada uma das componentes mais importantes do clima. É o conjunto energético responsável pela determinação do estado do clima global, razão pela qual é de fundamental importância compreender a sua composição e estrutura.

Os gases componentes da atmosfera se apresentam como uma mistura homogênea, entretanto, não são fisicamente uniformes, pois apresentam variações significativas de temperatura e pressão, relacionadas à altura que se encontram acima do nível do mar.

A atmosfera é, teoricamente, dividida em várias camadas concêntricas sucessivas. São elas, da superfície terrestre ao espaço sideral: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera (Fig.2). A troposfera ou baixa atmosfera é a camada que se encontra em contato íntimo com a superfície terrestre e se estende até, aproximadamente, 17 km acima do nível do mar, nos trópicos, e até 7 km, nos polos. Abrange quase 80% da massa total de gases que compõem a atmosfera, com 99% da massa da atmosfera encontrada abaixo de 30 km de altitude. Sua composição é formada, em particular, por 99% de dois gases, Nitrogênio (78%) e Oxigênio (21%), o restante, (1%), é composto, principalmente, de Argônio (0,965%) e Dióxido de Carbono (0,035%). O ar da troposfera inclui ainda, vapor d'água em quantidades variáveis, de acordo com as condições locais, por exemplo, de 0,01% nos polos a 5% nos trópicos. A temperatura diminui com a altitude, em média, 6,5°C

por quilômetro, desde que o ar esteja úmido. Portanto, se a temperatura estiver 10°C no solo, será -62°C a 12 km de altitude. A maioria dos fenômenos que envolvem o clima ocorre nesta camada da atmosfera, em parte apoiada por processos convectivos que ocorrem devido ao aquecimento dos gases superficiais, que se expandem e sobem para níveis mais elevados da troposfera, onde se esfriam novamente. Esta camada também inclui fenômenos biológicos. A tropopausa, uma subdivisão da troposfera, marca o limite superior desta, acima da qual a temperatura permanece constante antes de começar a aumentar novamente, acima de 20 km de altitude. Esta condição térmica impede a convecção do ar e assim confina o clima à troposfera. Nessa camada, há pouca concentração de vapor d'água, e o ar se movimenta horizontalmente. A camada acima da tropopausa, na qual a temperatura começa a subir, é chamada estratosfera; a qual, quando atinge 50 km de altitude, a temperatura atinge -80°C. Portanto, se estende de 20 km a 50 km acima do nível do mar. Contém pequenas quantidades de gases da troposfera em densidades decrescentes, proporcionais à altitude. Também inclui quantidades muito baixas de ozônio (O₃) que filtra 99% dos raios ultravioleta (UV) oriundos da radiação solar. É esta absorção UV que faz com que a temperatura suba para perto de 0°C. Este perfil de temperatura permite que a camada seja muito estável e evite turbulências, algo muito comum na estratosfera (Fig.2).

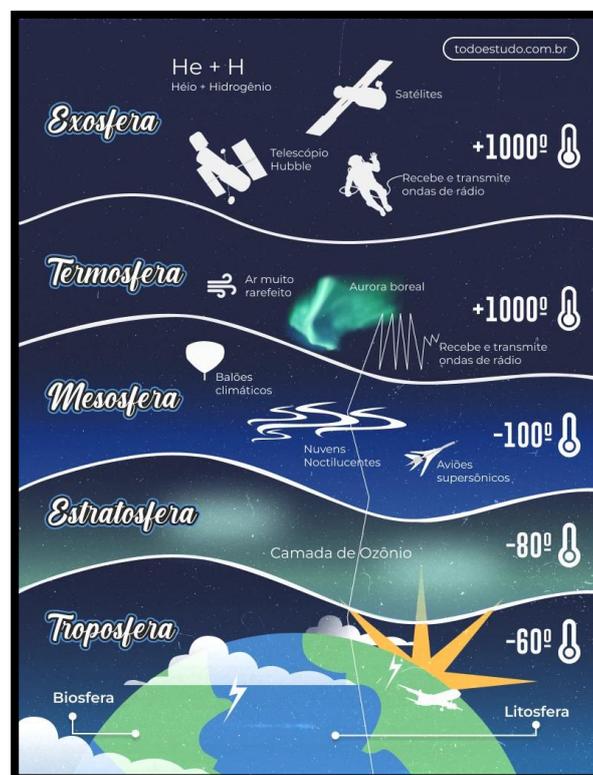


Figura 2 – Camadas da atmosfera

(fonte: <https://www.todoestudo.com.br/wp-content/uploads/2018/01/termosfera.png>)

A mesosfera se estende acima de 50 km e a temperatura cai para -100°C em 80 km, seu limite superior. É a mais fria das camadas atmosféricas. Essa redução de temperatura se deve ao fato de que, na mesosfera, há baixa concentração de moléculas em decorrência da redução do calor que provém da camada de ozônio. Quanto mais se eleva a altitude, mais o ar se torna rarefeito. Nessa camada, ocorre a combustão que fragmenta os meteoritos, evitando assim que eles cheguem à superfície terrestre. Isso é possível graças à resistência do ar dessa camada, a qual gera calor e possibilita a ocorrência do processo de combustão.

A termosfera corresponde à camada intermediária entre a mesosfera e a exosfera, última camada da atmosfera. A termosfera é também denominada de ionosfera o qual está relacionado a grande concentração de íons (partículas carregadas de eletricidade), que possibilitam a reflexão de ondas de rádio. O ar na termosfera é extremamente rarefeito, predominando o gás hidrogênio.

Diferentemente do que acontece na mesosfera, a temperatura na termosfera volta a se elevar à medida que a altitude aumenta, podendo chegar a $+1500^{\circ}\text{C}$ em seu limite superior. Essa camada representa apenas 1% da atmosfera e atua na retenção da radiação solar. É na termosfera que orbitam os ônibus espaciais e alguns satélites.

Nessa camada, também ocorre o fenômeno conhecido como aurora polar. Esse fenômeno óptico, caracterizado pelo conjunto de luzes brilhantes que podem ser vistos no céu no período noturno, é conhecido, no hemisfério Norte, como aurora boreal enquanto no hemisfério Sul, o fenômeno é conhecido como aurora austral. A distância entre o limite superior da termosfera até a superfície terrestre é de aproximadamente 600 km.

A Exosfera, corresponde à última camada da atmosfera e representa a transição entre a atmosfera terrestre e o espaço sideral. Inicia-se a cerca de 600 km da superfície terrestre e não apresenta limite superior visível em decorrência dos gases extremamente rarefeitos que a constituem. Metade dessa camada é composta por gás hélio e a outra metade por hidrogênio. É na exosfera que as partículas presentes começam a se desprender da gravidade da Terra.

As temperaturas na exosfera permanecem elevadas, superando os $+1000^{\circ}\text{C}$. Essa elevação da temperatura requer que naves espaciais sejam construídas com material resistente a altas temperaturas para que possam atravessar essa camada, na qual orbitam os satélites artificiais.

2.1.1.1. Ventos

Os ventos são responsáveis pela produção de ondas e correntes nos oceanos. Por sua vez, é o aquecimento solar que impulsiona os ventos. A maior energia solar é recebida na região equatorial, por isso o ar é mais quente nesta região e mais frio nos polos. O ar quente, por ser menos denso, sobe, formando baixa pressão. À medida que o ar quente se move para norte ou sul, se afastando da região equatorial, ele esfria e se torna mais denso e mais baixo, provocando um gradiente de pressão e consequentemente, ocasionando que outra massa de ar tenha que substituí-lo, causando o vento. Uma célula de circulação ou convecção é então formada.

Devido à rotação da Terra, tudo o que se move em sua superfície não segue uma linha reta (Fig.3). Assim, quando o ar quente da região equatorial sobe, se formam calmarias equatoriais e, quando substituído por ar de latitudes mais altas, se formam os ventos alísios. Estes ventos sopram do nordeste e sudeste, das altas pressões subtropicais, em direção às baixas pressões tropicais, da região equatorial. Os outros ventos também são alimentados por energia solar, mas tendem a ser mais variáveis do que os ventos alísios.

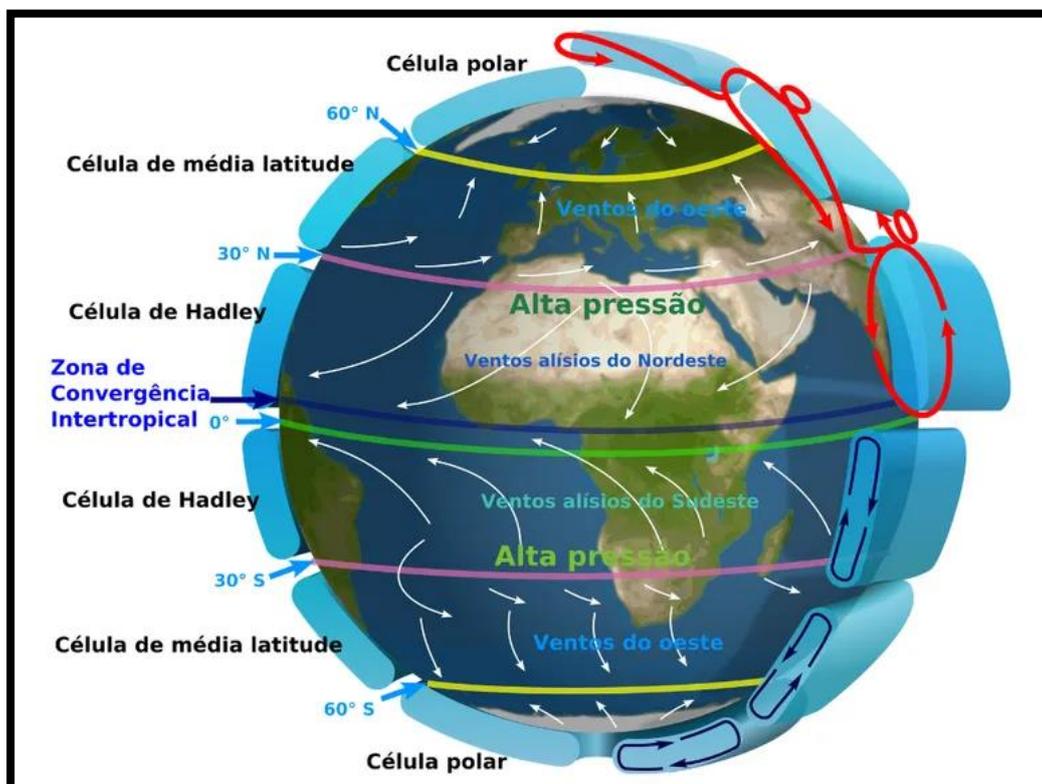


Figura 3. Circulação geral da atmosfera terrestre.

(fonte: https://services.meteored.com/img/article/o-padroa-da-circulacao-atmosferica-global-189962-2_768.png)

2.1.2. Oceano

A água salgada do oceano tem propriedades únicas que a distingue de outros fluidos, entre as mais importantes estão: o seu elevado calor específico, a sua ligeira condução de calor e a sua grande capacidade de dissolução. Em grandes quantidades, estas propriedades dependem da temperatura, salinidade e pressão. As águas superficiais quentes transmitem calor para as águas profundas, abaixo delas, formando uma zona de produtividade, com aproximadamente 200-400 m de profundidade. A 1000-1800 m a temperatura diminui gradualmente, e abaixo de 1800 m a água permanece fria.

A salinidade da superfície da água depende, principalmente, da evaporação e da precipitação. Nas áreas tropicais, onde a evaporação é maior que a precipitação, são encontradas águas de maior salinidade (>35 PSU), enquanto nas regiões costeiras, os fluxos de água doce, próximos da foz dos rios, apresentam uma salinidade, geralmente, não excedente a 20 PSU. Nas áreas polares, o processo de congelamento e derretimento do gelo tem maior influência na salinidade das águas superficiais. No verão Ártico, as salinidades se encontram mais baixas, em torno de 29 PSU. A salinidade média do oceano é de 35 PSU, mas pode variar dependendo da estação, da latitude e da profundidade. Juntas, a temperatura e a salinidade afetam a densidade da água.

O calor se move por condução, convecção e radiação. A radiação e a condução são eficazes na transmissão vertical do calor da superfície da Terra, mas são ineficientes na direção horizontal. A água, assim como o ar, é um fluido que pode transmitir calor de um lugar para outro. Os meteorologistas têm termos diferentes para os movimentos horizontais e verticais dos fluidos, o movimento na direção vertical é chamado de convecção, quando o deslocamento é para cima e de subsidência, quando é para baixo, enquanto o movimento na direção horizontal é chamado de advecção. A convecção contribui, juntamente com a radiação e a condução, para o movimento do calor na direção vertical, mas a advecção é quase o único processo que contribui para o transporte horizontal de calor sobre a superfície da Terra.

Existem dois tipos de correntes oceânicas: as correntes superficiais, que constituem 10% da água oceânicas e se encontram até os 400 m de profundidade, e as correntes de águas profundas, que afetam os outros 90% do oceano.

2.1.2.1. Correntes oceânicas superficiais

As correntes oceânicas superficiais são influenciadas por forças que ocasionam a movimentação das massas de água, são elas: aquecimento solar e ventos. O equilíbrio

entre outros tipos de forças, influencia a direção do fluxo das correntes, como a força de Coriolis, que é sempre direcionada para a direita no hemisfério Norte e para a esquerda no hemisfério Sul, e a gravidade, que é direcionada para o gradiente de pressão (Fig.4). Estas correntes marinhas são conhecidas como Correntes Geostróficas.

No hemisfério Sul, são identificados dois importantes padrões de circulação, no sentido anti-horário, sobre o oceano Pacífico Sul e o oceano Atlântico Sul. O oceano Índico, a oeste da Austrália, possui outras circulações de menor magnitude, localizadas no mar da Arábia e na baía de Bengala, ao Norte. Esses padrões de circulação ajudam a criar um fluxo de direção Oeste-Leste em torno do continente Antártico, quase circular, e um fluxo de direção Leste-Oeste sobre o equador.

Os padrões de circulação no sentido horário, no hemisfério Norte, incluem um único giro no Atlântico Norte e duas células no Pacífico Norte, nas proximidades da latitude de 40°N. Os padrões de circulação se tornam complexos devido às interações com os continentes e o oceano Ártico, mas embora existam pequenas circulações, o sentido de rotação (sentido horário) é mantido (Fig.4).

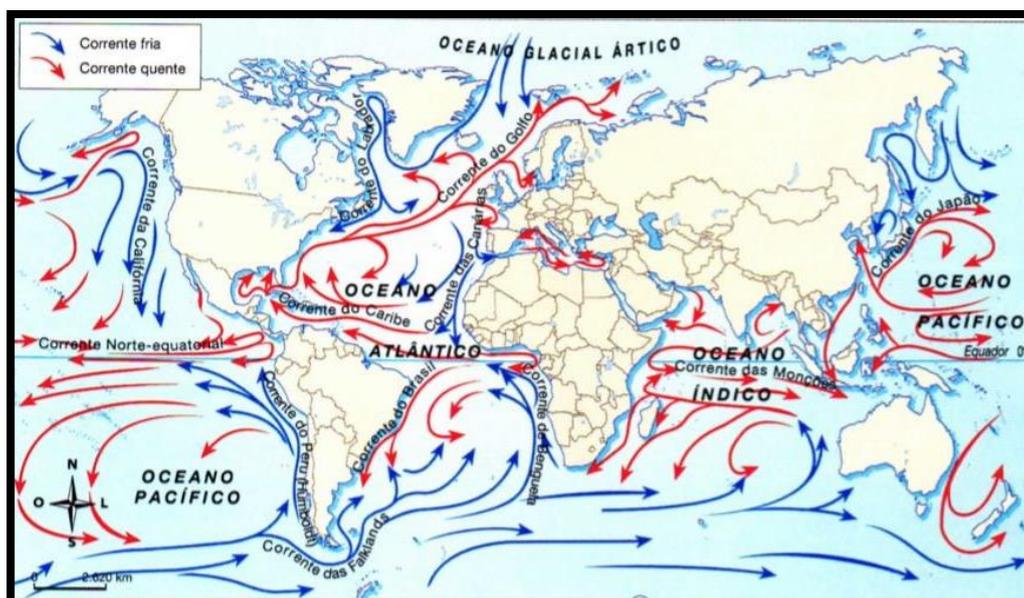


Figura 4. Correntes oceânicas superficiais.

(fonte: <https://igui-ecologia.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2019/04/principais-correntes-maritimas.jpg>)

Uma consequência interessante desta circulação é que, em ambos os hemisférios, as costas ocidentais dos continentes, geralmente, têm fluxos em direção ao equador enquanto as costas orientais têm fluxos em direção aos polos. Isto sugere que as costas ocidentais dos continentes terão águas mais frias em comparação com as costas orientais, na mesma latitude.

2.1.2.2. Correntes Termohalinas

O termo termohalina vem do grego, “termo”, significa quente e “halino” significa solução salina. As correntes de águas profundas, ou circulação termohalina, compreendem 90% das correntes oceânicas. As águas profundas não são de forma alguma estagnadas, mas sim dinâmicas. Essas águas afundam em direção às bacias oceânicas, causadas por forças de mudanças na densidade e na gravidade. As diferenças de densidade são um reflexo das diferenças de temperatura e salinidade.

As correntes de águas profundas se formam onde as temperaturas das águas são frias e as salinidades são relativamente altas (Fig.5). A combinação de altas salinidades e baixas temperaturas torna a água mais densa e pesada, fazendo com que esta afunde. Isso ocorre nas áreas polares e, quando afundam, se deslocam em direção às áreas equatoriais. A água nas áreas equatoriais, por outro lado, é quente e tende a se mover em direção às áreas polares, através da superfície. Após, com o resfriamento e o aumento da densidade, essas águas submergem novamente, transportando oxigênio para as regiões profundas. Como a dissolução do oxigênio é maior nas águas frias, permite assim a existência de vida nas águas profundas dos oceanos.

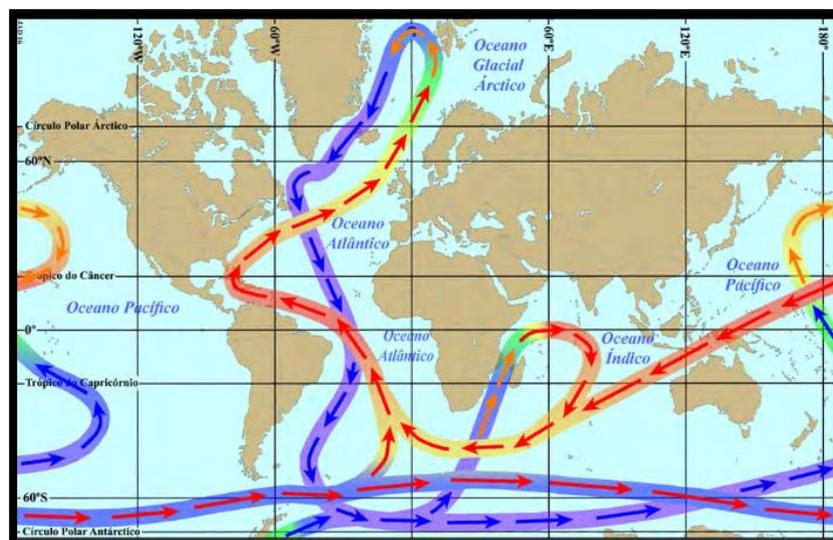


Figura 5. Representação esquemática da circulação termohalina
(fonte: Alverinho Dias, 2016)

2.2. Radiações na camada atmosférica

Um dos fatores importantes presente nas camadas atmosféricas são as radiações, as quais influenciam na temperatura dessas camadas. A radiação eletromagnética, como a luz, é uma transferência de energia na forma de onda e de partícula de matéria. A luz é um exemplo de radiação visível aos humanos, mas existem muitos outros tipos de radiação

que os humanos não podem ver. Entre estas se encontram, a radiação gama, o infravermelho, as ondas de rádio, as micro-ondas e os raios ultravioleta (UV). Todas essas radiações podem ser classificadas de acordo com seu comprimento de onda (Fig.6).

Esta classificação é conhecida como “espectro eletromagnético”. Este espectro se estende desde os raios gama, que têm comprimento de onda muito pequeno, da ordem de 10^{-12} m, ou do tamanho de uma molécula, até comprimentos de onda muito longos, da ordem de 1 m ou mais, como as ondas de rádio. A vista humana só consegue perceber o espectro eletromagnético localizado na chamada faixa do “visível”, cujos comprimentos de onda estão entre $0,4$ e $0,7 \times 10^{-6}$ m.

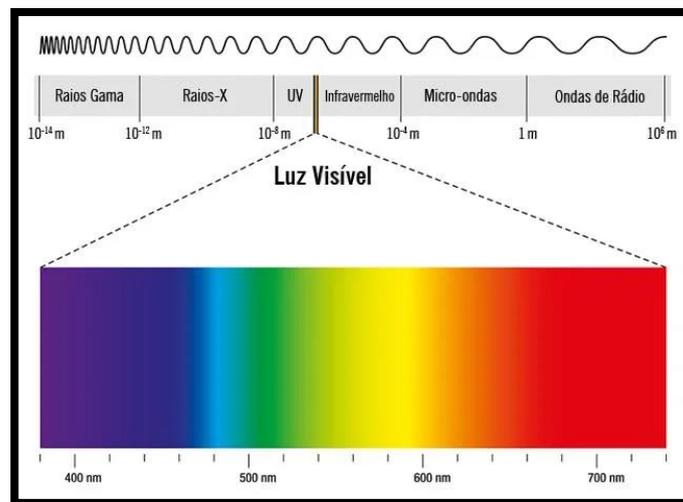


Figura 6 – Espectro eletromagnético e o comprimento de ondas.
(fonte: https://static.todamateria.com.br/upload/es/pe/espectro_visivel.jpg)

Sabe-se que qualquer corpo, como um inseto, uma árvore, um ser humano, um planeta, emite radiação que é proporcional à sua temperatura, de acordo com a lei de Wien. Por exemplo, o Sol, que tem uma temperatura superficial de 5.772 K, emite radiação, cujo comprimento de onda majoritário é de $0,5 \times 10^{-6}$ m. A radiação solar está, portanto, incluída na faixa visível, razão pela qual se pode ver os raios solares. Por outro lado, a Terra, que tem uma temperatura superficial muito mais baixa, também emite radiação, mas desta vez o comprimento de onda principal é de 10×10^{-6} m, ou 20 vezes maior. No espectro eletromagnético, 10×10^{-6} m correspondem à faixa de radiação infravermelha que é invisível ao olho humano. Por outro lado, mesmo que não se possa ver, se pode sentir esta radiação infravermelha sob a forma de calor, por exemplo, quando se coloca a mão sobre um radiador sem lhe tocar.

Finalmente, um último conceito-chave é o albedo. A superfície terrestre, dependendo do seu tipo, como terra nua, mar, floresta, areia etc., refletirá uma porção mais

ou menos significativa de radiação. Esta é chamada de albedo e é expressa como uma fração de 0 a 1 ou como uma porcentagem de 0 a 100%. As superfícies escuras absorvem muita radiação e refletem pouca, enquanto as superfícies claras absorvem pouca radiação, mas refletem muita. As superfícies terrestres reagirão exatamente da mesma maneira: certas superfícies, como a água ou as florestas, são muito escuras e, portanto, absorverão a radiação e refletirão apenas uma pequena parte dela, de 10% a 20%, enquanto outras, como areia ou neve, são superfícies muito claras e portanto, refletirão, respectivamente, 50% ou mais de 80% da radiação, no caso de neve fresca (Fig.7).

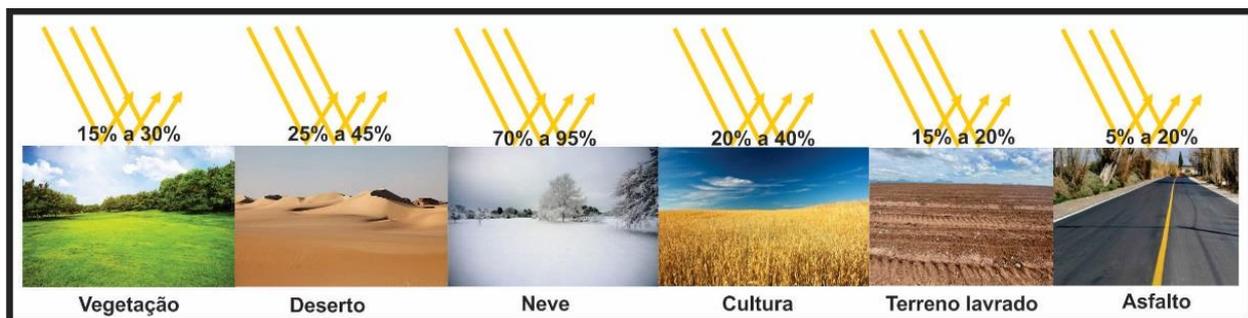


Figura 7 – O efeito albedo, quantidade de energia refletida por diferentes superfícies.

As nuvens, dependendo do seu tipo, também refletirão uma quantidade significativa de radiação, por isso têm seu próprio albedo, como as superfícies terrestres. Uma nuvem, localizada na baixa troposfera, terá um albedo em torno de 40-50%, enquanto uma nuvem alta terá um albedo de 20 a 30%. Mas tenha cuidado, há uma sutileza adicional: além do tipo de superfície ou do tipo de nuvem, o albedo também depende da faixa de comprimento de onda da radiação. Assim, uma folha de árvore tem um albedo de 10% na faixa do visível, mas um albedo de 60% na faixa do infravermelho. Assim como uma nuvem alta que possui um albedo baixo no visível, entretanto terá um albedo maior no infravermelho. A partir desses conceitos, e se conhecendo as diferentes camadas que constituem a atmosfera, os tipos de radiação e o albedo, permitirão determinar se a atmosfera irá aquecer ou esfriar, sob sua ação. Neste caso, se uma superfície receber muita radiação e tiver um albedo baixo, ela absorverá grande parte dessa radiação e, portanto, aquecerá. Por outro lado, se esta mesma superfície tiver um albedo elevado, refletirá mais radiação sem absorção, pelo que aquecerá menos rapidamente ou até arrefecerá. Para compreender plenamente estes processos, é necessário estabelecer um equilíbrio radiativo para distinguir o que entra no sistema terrestre, o que é absorvido, o que é refletido e o que finalmente sai do sistema.

III. GASES DE EFEITO ESTUFA

3.1. Os gases de efeito estufa

Na figura 8 se pode destacar, em um período mais curto, um contraste maior, que é o contraste entre o período em que as civilizações se desenvolveram, que foi de fato muito estável em termos climáticos.

Este pode ser descrito através de três parâmetros que são os três gases de efeito estufa (GEE) mais importantes: CO₂, metano e óxido nitroso. Observa-se que ao longo de 10.000 anos, época em que as civilizações se desenvolveram, durante um período muito quente da história do planeta, esses gases mudaram pouco. Entretanto no final deste período, se observa um crescimento extremamente rápido destes GEE, onde estes gases apresentam um crescimento que muitas vezes é associado ao início da era industrial.

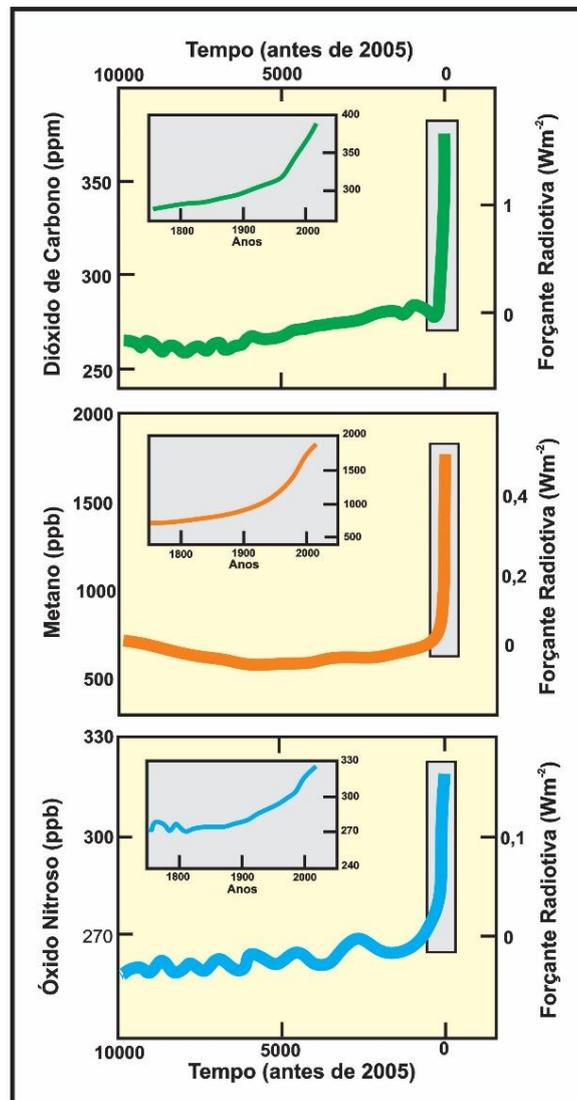


Figura 8. Variação dos gases de efeito estufa nos últimos 10.000 anos.
(modificado: relatório do GIEC, 2007)

Na figura 8, as pequenas caixas cinzas mostram que este aumento dos GEE ocorreu efetivamente após a Segunda Guerra Mundial e, na figura 9, se pode ver que isto é perfeitamente explicado pelos inventários de combustão de carvão, gás natural e petróleo, conforme fornecido pela Agência Internacional de Energia.

Observa-se, na figura 9, que o momento em que tem início o aumento da emissão de gases, é após o final da Segunda Guerra Mundial e temos, portanto, um sistema que começa a evoluir muito rapidamente desde então.

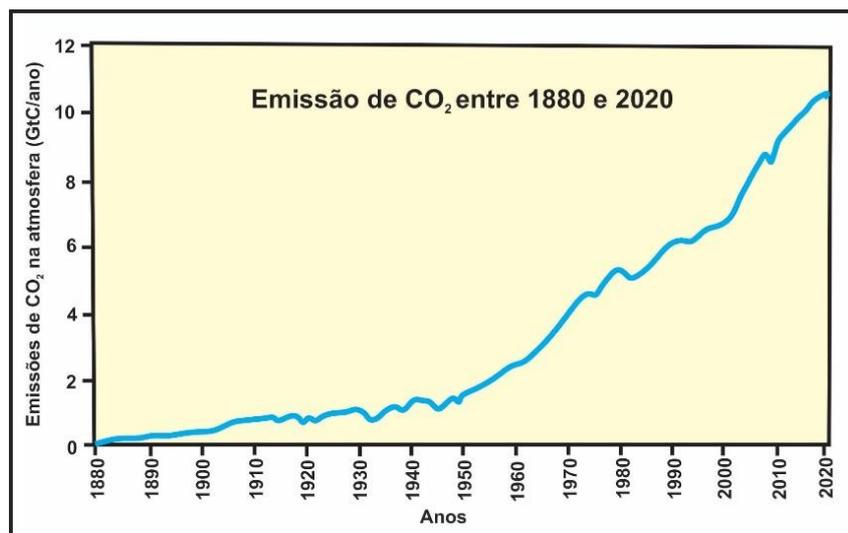


Figura 9. Emissões de CO₂ na atmosfera no período de 1880-2020.
(modificado: Global Carbon Project, <http://cdiac.ornl.gov/GCP/>)

As emissões de CO₂, ligadas às atividades humanas e combustão de produtos fósseis, se manteve constante até a década de 1940, onde as emissões estavam em torno de 1 a 1,5 bilhões de toneladas de carbono por ano. A partir do final da Segunda Guerra Mundial houve um crescimento brusco das emissões de CO₂, chegando aos dias atuais a mais de 10 bilhões de toneladas de carbono por ano. Este crescimento, no valor das emissões de CO₂ na atmosfera, levou à conferência do Rio em 1992, a criar uma Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC), para tentar reduzir estas emissões.

Pode-se observar, na figura 9, que esta tentativa da Conferência Rio/92 não obteve sucesso e que, desde então, as emissões continuam a aumentar, chegando atualmente a mais de 10 bilhões de toneladas de carbono por ano.

Assim, num clima que, em última análise, evoluiu ao longo de escalas de tempo muito longas, se cria um espaço de variações extremamente rápidas, em comparação com um tempo que era relativamente estável, que é o do desenvolvimento da civilização, nos últimos 10 000 anos, para um clima relativamente quente em que vivemos.

A figura 10, representa uma imagem interativa de radar instantânea da atmosfera, que tem a finalidade de medir a precipitação no espaço. Pode-se observar os ecos em tons esverdeados formados quando a atmosfera sobe.

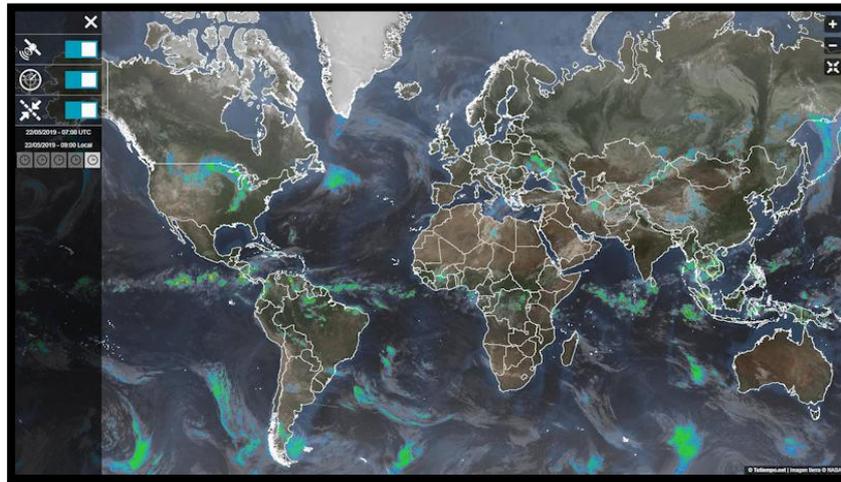


Figura 10. Imagem interativa com composição global de imagens de satélite e imagens de radar. A composição é feita usando imagens de diferentes satélites como GOES ou Meteosat para fazer a composição. (fonte: <https://oc.tutiempo.net/gis/i/satelite-radar-800.jpg>)

Perto da linha do Equador se tem o que se chama de estagnação, vistos aqui em tons de verde mais claro, e que são formados por grandes nuvens cúmulos-nimbos, que marcam o cinturão equatorial.

Em outras áreas são observados grandes vórtices, os quais são redemoinhos que ocorrem em torno de depressões ou anticiclones, e que estão todos organizados na escala de milhares de quilômetros, o que nos indica que a atmosfera não funciona de uma forma completamente caótica.

Sabe-se que se pode prever um certo número de informações, mas também se sabe que as previsões meteorológicas são limitadas no tempo, em alguns dias ou semanas, pelo que a capacidade de fazer previsões detalhadas ainda é limitada, quando se está interessado nas dimensões regionais.

A mesma situação ocorre nos oceanos. Esses estão organizados em grande escala, muito devido a forma das bacias oceânicas.

A importância do clima também se reflete no poder dos redemoinhos oceânicos. Esta cartografia e esta representação estão de fato muito distantes da realidade. Com efeito, não é visto o movimento do ar na atmosfera, enquanto que o movimento da água do mar é muito agitado, o que leva à formação de vórtices de vários tamanhos que variam

de alguns metros a centenas de quilômetros, com duração de vários minutos a vários meses.

Os vórtices têm uma magnitude física que mede a rotação da água impactada pela atmosfera e, portanto, são muito úteis para visualizar a natureza turbulenta do oceano (Fig.11).

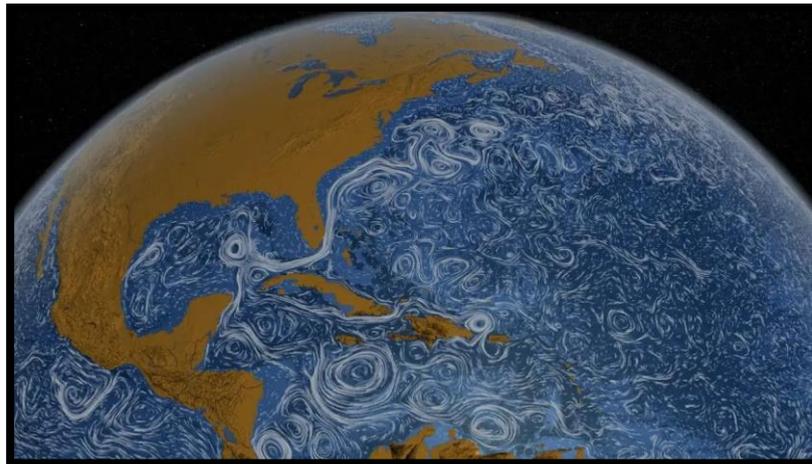


Figura 11. Distribuição esquemática dos vórtices presentes nas correntes oceânicas.
(fonte: <https://i0.wp.com/www.laterredufutur.com/accueil/wp-content/uploads/2016/09/tourbillons-oceaniques.jpg?fit=1200%2C676&ssl=1>)

Esses vórtices indicam o sentido de rotação das correntes em relação à rotação da Terra. A existência e a dinâmica dos redemoinhos oceânicos, particularmente em áreas de grandes correntes oceânicas, são particularmente importantes para o clima da Terra.

Na verdade, esses vórtices, representam um mecanismo importante para a transferência de calor e energia, bem como de salinidade e movimentos entre os trópicos e as regiões polares, e entre o oceano e a atmosfera. Pode-se acrescentar que os vórtices mais estáveis, com mais de 100 km, ocorrem perto da costa da África do Sul. A corrente oceânica das Agulhas, oriunda do oceano Índico e que vai em direção do oceano Atlântico, leva vários anos para se dissipar neste oceano.

Sabe-se que se o clima mudar e se tivermos mais água doce nas altas latitudes do oceano Atlântico, a corrente do Golfo corre o risco de recuar para sul.

Ao mesmo tempo, esta circulação oceânica é acompanhada por uma série de redemoinhos absolutamente consideráveis. Esses pequenos redemoinhos são o equivalente oceânico de depressões e anticiclones. Não eram conhecidos há algumas décadas, foi a observação espacial que nos possibilitou conhecê-los, e as simulações digitais que nos permitiram visualizá-los de uma forma talvez mais ilustrada e mais pictórica.

Em todo o caso, quando se sabe que o grande desafio deste percurso, e o grande desafio que temos de enfrentar como sociedade, é precisamente conseguir decifrar como será o futuro, em um mundo que estamos a abalar muito rapidamente, em relação a todos estes desenvolvimentos naturais, e em que muitos elementos são previsíveis, mas muitos elementos não o são, o que significa que seremos obrigados a tratá-los como riscos, sendo, as alterações climáticas e os riscos climáticos, uma componente importante do cenário político com o qual devemos enfrentar o futuro.

3.2. Gases de efeito estufa: fontes de emissão e impactos no clima

3.2.1. Introdução

O aquecimento global aumentou de 1,1°C na última década, ou seja entre 2011-2020, em comparação com o recorde ocorrido entre 1850-1900 (Fig.12).

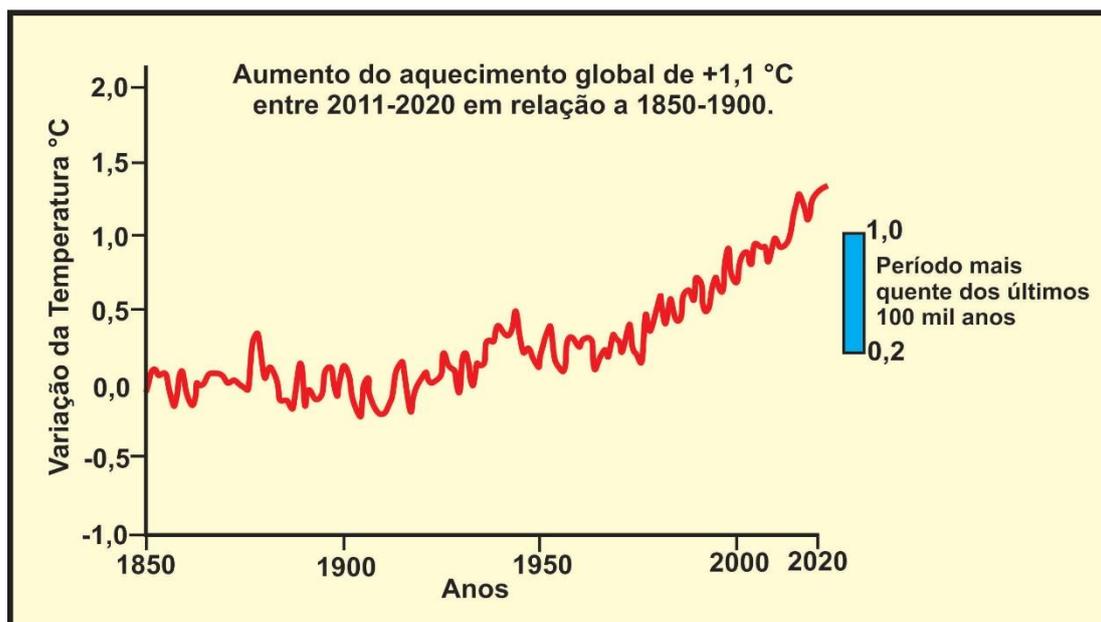


Figura 12. Gráfico mostrando o aquecimento global de 1850 à 2020.
(modificado: IPCC, 2023)

Os modelos climáticos demonstram que este aumento da temperatura está integralmente ligado às atividades humanas. Na prática, se pode dizer que existe um forte sinal de aquecimento, o qual está ligado ao aumento dos GEE na atmosfera e, por outro lado, uma parte deste sinal, que hoje está mascarado pela presença de pequenas partículas oriundas da poluição e que é representado na figura 13 pela barra azul, a qual desce para valores negativos.

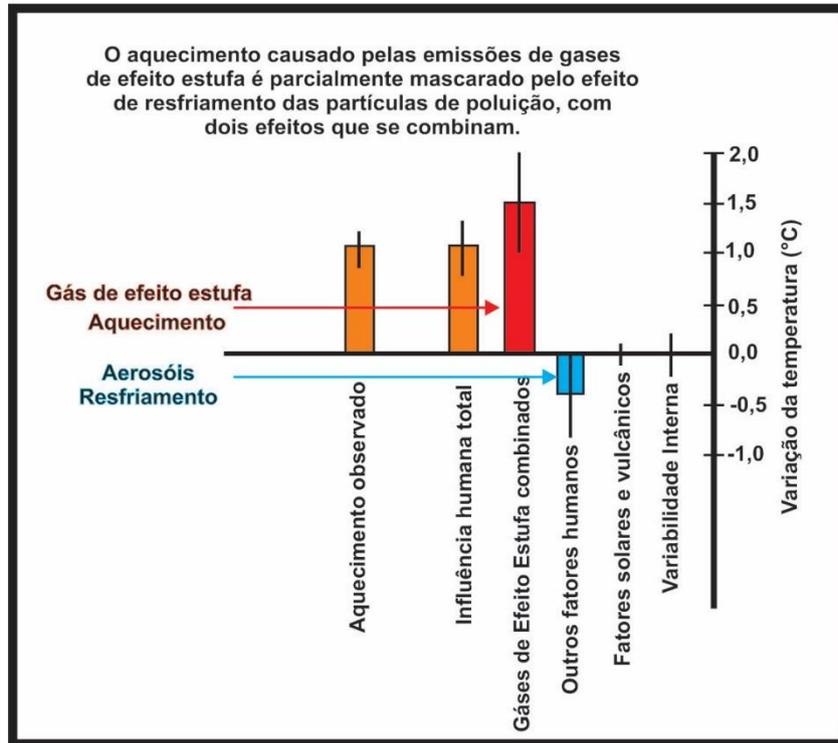


Figura 13. Aquecimento causado pela emissão de gases e partículas de poluição.
(modificado: IPCC, 2023)

3.2.2. Gases de efeito estufa e modificação na composição da atmosfera

O que está por trás deste aumento dos GEE e desta mudança na quantidade de partículas na atmosfera? Deve-se compreender que as atividades humanas conduzem a emissões e, portanto, a um fluxo de materiais para a atmosfera (Fig.14). Estas emissões de compostos poderão levar a uma modificação da concentração destes, mas também por vezes, através de transformações químicas, à criação de novos compostos. Tem-se portanto, uma modificação na composição da atmosfera.

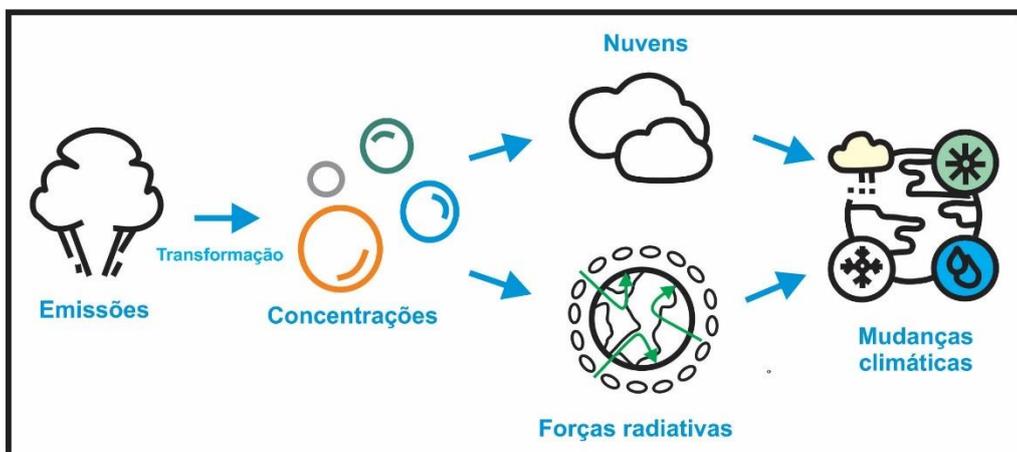


Figura 14. Emissão de gases e partículas para a atmosfera.

Nos encontramos aqui perante materiais-traço, ou seja, materiais que se encontram em quantidades muito pequenas na atmosfera, mas que, através da sua capacidade de interagir com a radiação solar ou a radiação refletida pela Terra, irão modificar o clima. Isto é o que pode ser observado na figura 14 através da forçante radiativa, que está ligada a modificações e interações entre esses compostos e a radiação. Tem-se, também, os compostos de partículas finas, que também poderão atuar nas nuvens, modificar as propriedades dessas e modificar a forçante radiativa, mas também modificar outros parâmetros do clima.

3.2.3. Evolução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)

A figura 15 mostra o aumento das emissões de GEE entre 1850 e 2020.

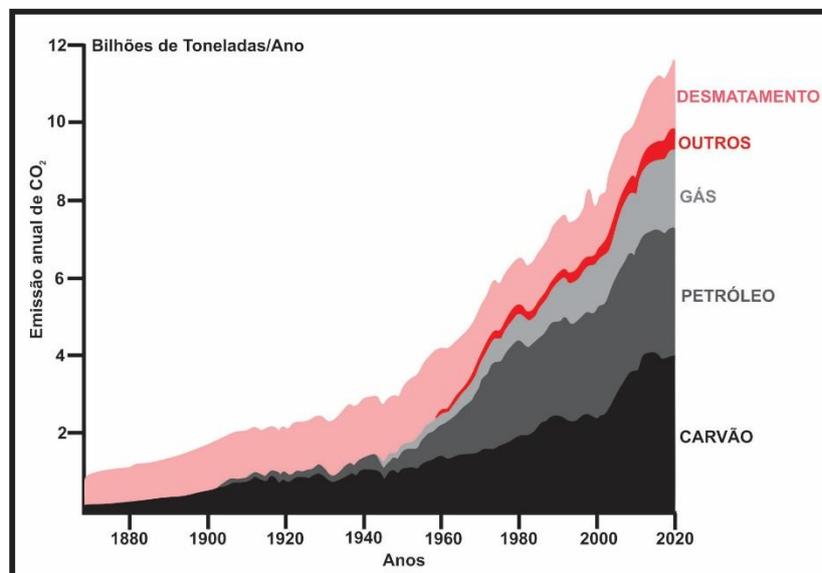


Figura 15 Emissão de gases de efeito estufa entre 1850-2020.
(modificado: IPCC, 2023)

Este aumento contínuo está ligado a tendências insustentáveis, tanto na forma de como se produz energia, de como se utiliza a terra e do estilo de vida, que levam ao consumo excessivo de energia e alimentos.

Na figura 15 se pode ver uma grande área em tons de cinza que está relacionada as emissões de CO₂, oriundo da utilização de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás), e também, em uma área menor, imperceptível no gráfico, à indústria, por exemplo com processos como a fabricação de cimento, que levarão a emissões de CO₂. Pode-se ver também, uma área em rosa, relacionada a emissão de gases que está ligada à mudança no uso da terra. Esta mudança no uso da terra está relacionada, essencialmente, ao

desmatamento que leva a uma desestocagem de carbono no solo. Assim que as florestas tiverem sido convertidas em áreas agrícolas, por exemplo, isso levará à libertação de CO₂ na atmosfera. Por fim, a área em vermelho que corresponde às emissões de outros GEE, os quais são, o metano e o óxido nitroso (N₂O), que são largamente emitidos por processos agrícolas. Temos ainda, em pequenas proporções, os gases fluorados que são emitidos por atividades mais específicas e, em particular, por necessidades de refrigeração, tanto industrial como residencial.

3.2.4. De onde provêm as emissões de GEE?

As emissões de GEE estão associadas as distribuições muito desiguais, tanto no tempo como no espaço. A figura 16 apresenta as emissões cumulativas históricas de CO₂.

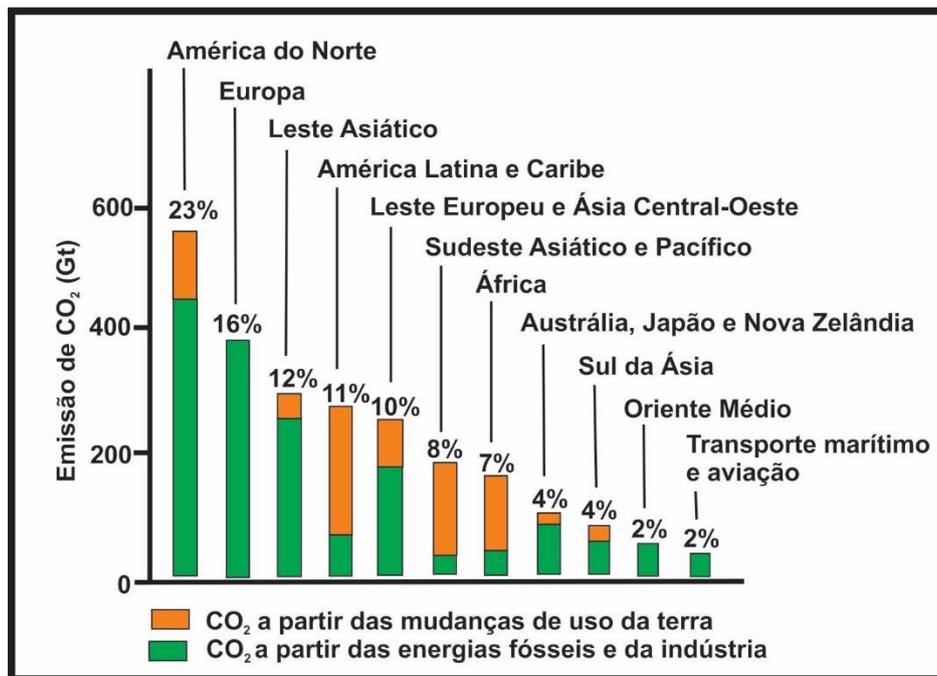


Figura 16. Acumulado histórico (1850-2019) de emissões de GEE por região no mundo. (modificado: IPCC, 2023)

Por que olhar para estas acumulações históricas? Na prática, quando o CO₂ é emitido para a atmosfera, uma parte será absorvida, hoje cerca de 56% do CO₂ emitido é absorvido pela vegetação terrestre e pelos oceanos, mas outra parte do CO₂ emitido permanecerá na atmosfera por milênios. Atualmente estamos a experimentar um aquecimento de 1,1°C de uma parte do CO₂ que foi emitido há muito tempo, e em particular do CO₂ que foi emitido na era pré-industrial.

Outra desigualdade diz respeito às emissões atuais. Isto é o que se observa na figura 17, que mostra as emissões, por pessoa e por região para o ano de 2019. Aqui,

novamente, se pode ver uma disparidade muito grande entre os países desenvolvidos, que apresentam emissões por pessoa que podem, por exemplo, para a América do Norte e Sul, chegar a valores em torno de 28 toneladas de CO₂ por pessoa por ano, e países que terão emissões mais baixas, com África do Sul e o Sul da Ásia, chegando a 6 toneladas de CO₂ por pessoa por ano.

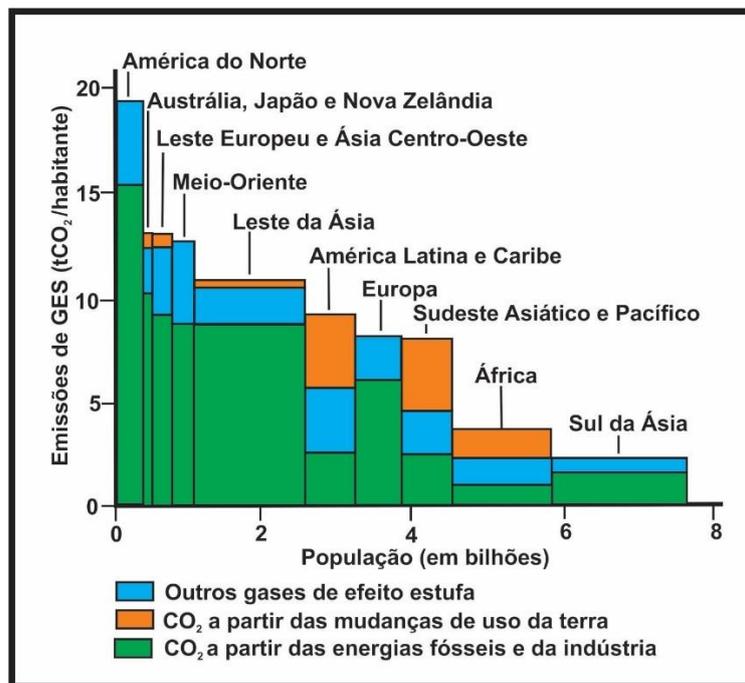


Figura 17. Emissões de GEE em 2019 por pessoa, por ano e por região.
(modificado: IPCC,2023)

Esta forte disparidade pode ser refletida pelo fato de se ter 10% da população mundial com maiores emissões, a qual representa 40% das emissões globais, enquanto metade da população do planeta representa apenas 15% das emissões globais.

3.2.5. Concentrações de GEE nos últimos 800.000 anos

As emissões contínuas de GEE levaram a um aumento nos níveis de gases na camada atmosférica. É o que mostra a figura 18, onde se vê, no retângulo vermelho, a evolução recente, desde 1850, da concentração de CO₂, metano e óxido nitroso. Observa-se que essa evolução tem sido muito rápida ao longo dos últimos 150 anos, particularmente se for comparada com a evolução desses conteúdos, ao longo dos últimos 800.000 anos.

Como se sabe a evolução desses conteúdos ao longo dos últimos de 800.000 anos?

Para um passado distante, se pode usar as bolhas de ar que ficam presas nas camadas de gelo, a partir das quais se pode traçar a evolução da concentração desses GEE ao longo de um determinado período até cerca do ano de 1850.

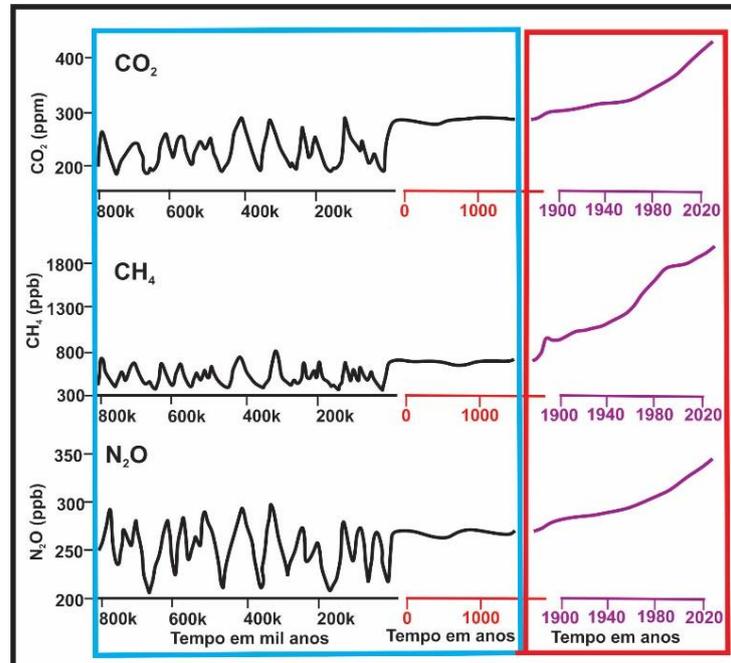


Figura 18. Concentração de gases de efeito estufa nos últimos 800 mil anos.
(modificado: IPCC,2023)

Hoje, as medidas são obtidas por satélite, as quais permitem monitorizar alterações nas emissões e concentrações de GEE, em particular. Esta mudança, na composição, induz um aquecimento do sistema climático. Na prática, estes GEE irão reter parte da radiação que é reemitida para a superfície. Este aumento de calor que fica preso nas camadas de base da atmosfera, será parcialmente capturado pelo oceano, que irá capturar 91% do excesso de energia do sistema.

3.2.6. Gases de Efeito Estufa: uma diversidade de compostos

Na figura 19 se observa a influência de cada um dos compostos emitidos na atmosfera e sua influência na temperatura da superfície terrestre. Essa é, portanto, a forma como a mudança nas emissões de gases, entre a era pré-industrial e a atual, teve impacto na temperatura da superfície e contribuiu para o aquecimento de 1,1°C.

Observa-se, na figura 19, dois compostos muito importantes que são os que têm maior impacto no clima de hoje, o CO₂ e o metano, que têm características muito diferentes. No caso do CO₂, parte dessas emissões é absorvida pela biosfera e pelo

oceano, mas outra parte deste CO₂ permanecerá, parcialmente, na atmosfera durante muito tempo e com um efeito cumulativo. Por outro lado, o metano permanece na atmosfera por um período relativamente curto, cerca de dez anos. A implicação é que, se forem reduzidas as emissões de metano, pode-se ver um benefício relativamente rápido. O metano tem fontes naturais, mas nas suas fontes antrópicas, portanto de origem humana, terá como principais fontes, a extração e distribuição de combustíveis fósseis e a agricultura, notadamente a pecuária e os arrozais.

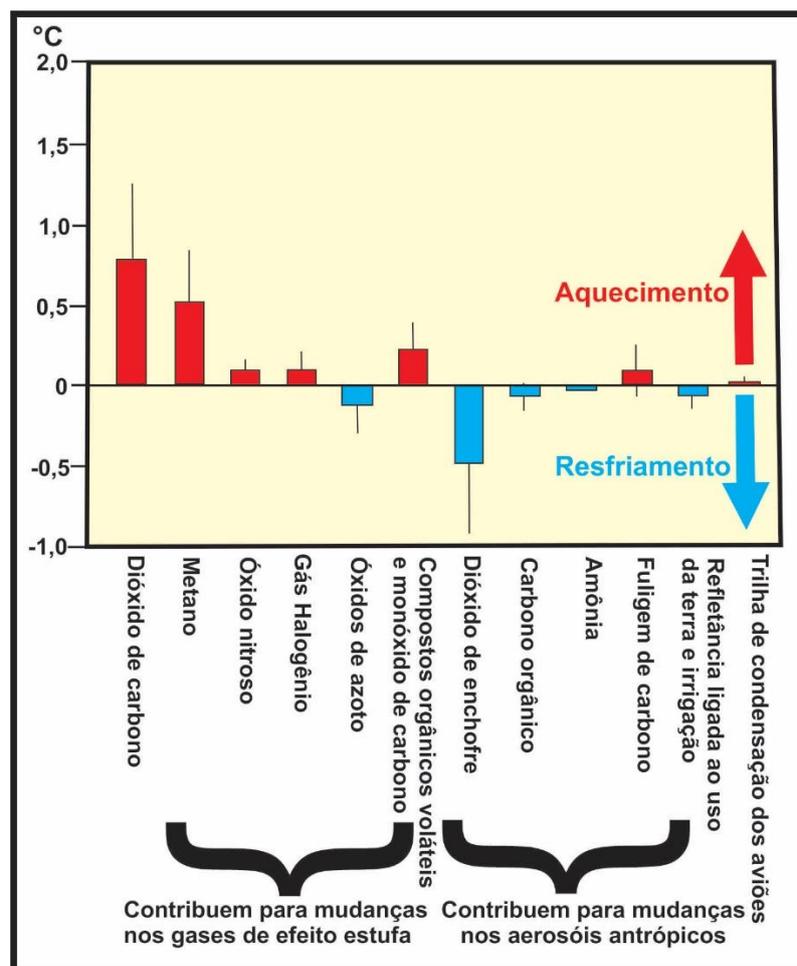


Figura 19 – Influência dos gases emitidos na atmosfera na variação da temperatura superficial do globo terrestre. (modificado: IPCC, 2023)

Esses dois compostos são os que têm o papel mais importante, mas se tem também, toda uma galáxia de compostos que terão papéis menos importantes, mas que também estarão envolvidos nos problemas de poluição do ar. Esses outros compostos, que são importantes, têm fontes muito variáveis. Na figura 20 pode-se ver a contribuição de cada um desses compostos dos diferentes setores de emissão.

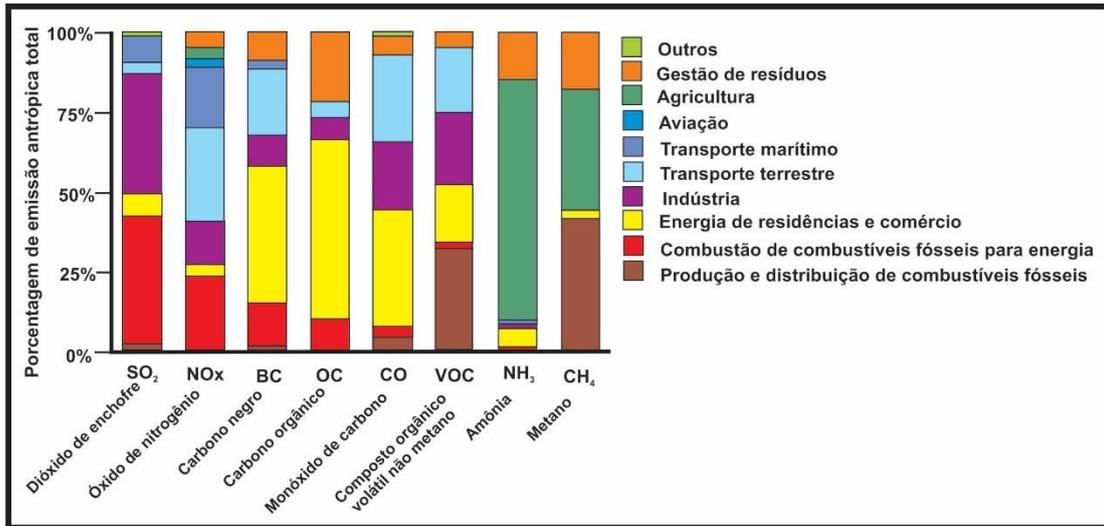


Figura 20 – Distribuição de emissão de gases de origem antrópica.
 (modificado: IPCC, 2021a)

Se observarmos, por exemplo, o dióxido de enxofre (SO₂), que propiciará à formação de partículas que têm um efeito de arrefecimento do clima, se vê que este está sobretudo ligado à indústria e à combustão de combustíveis fósseis, enquanto que os compostos como amônia (NH₃), serão emitidos, principalmente, pela agricultura e pela distribuição de fertilizantes. No caso do metano (CH₄), este se encontra ligado a produção e distribuição de combustíveis fósseis e pela agricultura. Assim, ter medidas para combater as emissões dos principais GEE, como o N₂O, o metano ou o CO₂, significará atuar nestes setores, para assim poder reduzir mecanicamente a poluição atmosférica.



Estrago causado pelas chuvas em Petrópolis, Rio de Janeiro, em 02/2022 — Foto: Getty Imagens.

(fonte: [https://s2-gq.glbimg.com/piiKDmUu1pbXvAdUzd-uPjUxbro=/0x0:1024x681/984x0/smart/filters:strip_icc\(\)/i.s3.glbimg.com/v1/AUTH_71a8fe14ac6d40bd993eb59f7203fe6f/internal_photo/s/bs/2022/s/n/4CNO2YTJA9ZRhpcrGVWA/mudanca-climatica-deslocamento-gq.jpg](https://s2-gq.glbimg.com/piiKDmUu1pbXvAdUzd-uPjUxbro=/0x0:1024x681/984x0/smart/filters:strip_icc()/i.s3.glbimg.com/v1/AUTH_71a8fe14ac6d40bd993eb59f7203fe6f/internal_photo/s/bs/2022/s/n/4CNO2YTJA9ZRhpcrGVWA/mudanca-climatica-deslocamento-gq.jpg))

IV. OBSERVAÇÕES CLIMÁTICAS

4.1. Diferença entre meteorologia e clima

Antes de falar em observação climática, necessita-se definir o que é clima, mais especificamente, definir primeiro o que distingue meteorologia e clima, devido que muitas vezes estes dois termos são usados um no lugar do outro.

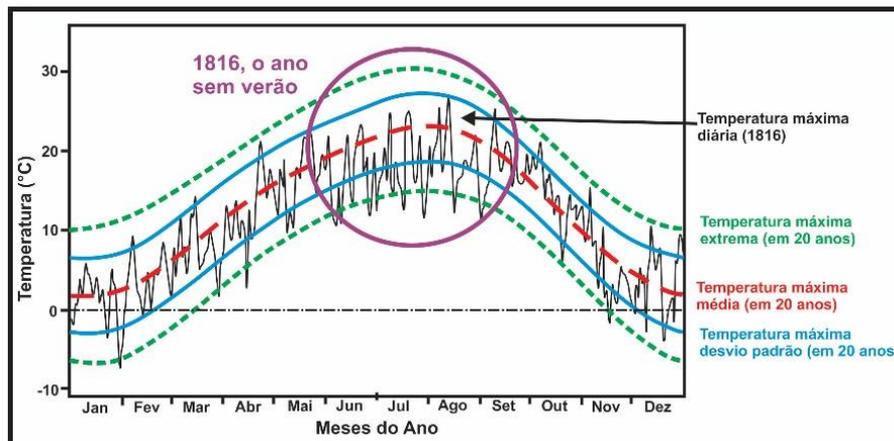


Figura 21 – Temperatura máxima diária de Genebra em 1816.
(modificado: Météo Suisse)

A figura 21 mostra um registro das temperaturas na cidade de Genebra, medida às 14h00, para cada dia do ano de 1816. A variabilidade meteorológica corresponde à variabilidade diária da temperatura, enquanto a variabilidade climática é ilustrada em primeiro lugar pelo seu ciclo sazonal, mas não só. Na figura 21 é traçada as médias e o desvios padrão das temperaturas. As curvas representadas em vermelha e azul, são o resultado de dados calculados durante um período de 20 anos, em torno do ano de 1816, sem incluí-lo. As linhas pontilhadas verdes são os valores extremos desse período analisado. Esse valor mostra, portanto, que o ano de 1816 difere das temperaturas normais que caracterizam o clima da época, principalmente durante o verão, que foi cerca de 4°C mais frio. Esse ano de 1816 foi vivido pelos contemporâneos como um ano “sem verão”. Isto é o que se pode chamar de anomalia climática, pois ocorre na escala de uma estação. Hoje se sabe a origem deste período sem verão. O fato ocorreu devido a erupção do vulcão indonésio Tambora em 1815, que arrefeceu o clima global devido às partículas que foram lançadas, pela erupção, na alta atmosfera. Uma anomalia meteorológica, como uma onda de frio, duraria apenas alguns dias, entretanto aqui ela durou mais de um ano.

Além dessa ilustração, uma definição simples da diferença entre meteorologia e clima pode ser formulada da seguinte forma: a meteorologia estuda o tempo que está e estará em um determinado lugar e em um determinado momento, normalmente durante alguns

dias; o clima diz respeito às condições meteorológicas médias, calculadas para uma determinada região, durante um longo período. O período recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), para a definição dessas normais climáticas é, por convenção, de cerca de trinta anos.

4.2. Observação das variáveis climática

As grandezas relevantes para a caracterização do clima são, na maioria das vezes, variáveis de superfície, como temperatura, precipitação e velocidade do vento. Mas os estudiosos estão a alargar a definição de clima à descrição estatística do sistema climático, cujos desenvolvimentos influenciam os do clima na superfície da Terra em diferentes escalas de tempo. Observar o clima é, portanto, não só observar a superfície da Terra, mas também a atmosfera, o oceano em toda a sua profundidade, o gelo do continente e do mar, a biosfera e os solos superficiais.

Esses diferentes componentes do sistema climático interagem entre si através da troca de energia, momento, vapor de água, mas também CO₂ e outros constituintes, influenciando assim as alterações climáticas.

A comunidade científica internacional estabeleceu um programa global de observação do clima denominado Sistema Global de Observação do Clima (GCOS). Este consiste, em particular, na definição das variáveis climáticas essenciais, que permitem monitorizar as alterações climáticas em todas as componentes do sistema climático. Essas variáveis devem ser relevantes, tecnicamente observáveis ou derivadas de observações com a utilização de métodos científicos, se basear em redes de observação que cubram o planeta e ter sido recolhidas durante períodos mais longos possíveis.

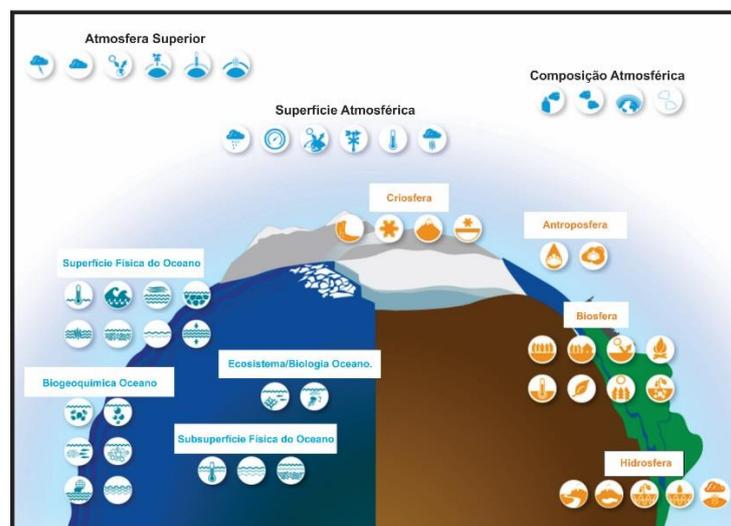


Figura 22 Variáveis de monitoramento de alterações climáticas

(fonte: <https://www.earthdata.nasa.gov/s3fs-public/imported/Climate.png?VersionId=ajzRQKU7Rp3Z2ffJ9fktM4CiZrsrBaMI>)

A figura 22 mostra todas estas variáveis, em número de 55, incluindo as temperaturas no continente e no mar, o nível do oceano, a extensão do gelo, os incêndios, a concentração de CO₂ na atmosfera, etc. A observação do clima requer, portanto, uma ampla combinação de múltiplas observações em diferentes ambientes, se apoiando em redes coordenadas à escala global.

4.3. Processamento de séries climáticas

As primeiras medições instrumentais de variáveis climáticas datam do século XVII, particularmente com a série de temperaturas de Paris, reconstruída por Daniel Rousseau, desde 1658 até os dias atuais. Mas antes de 1850, essas séries eram muito poucas ou mal distribuídas; se usavam marcadores climáticos indiretos, também chamados de proxies. Foi desta maneira possível reconstruir a variabilidade da temperatura média da Terra, ao longo de dois milênios, a partir de arquivos naturais como, entre outros, troncos de árvores que preservaram a memória de climas passados, na espessura e densidade dos seus anéis.

Somente em 1856 surgiu a primeira rede de observação meteorológica, gerenciada por Emmanuel Liass, no Observatório de Paris, sob a direção do astrônomo francês Urbain Le Verrier. As outras redes de observação atmosférica e oceânica, surgiram muito mais tarde. A primeira estação meteorológica instalada no Brasil foi em 1870, no Observatório Nacional. A estação meteorológica mais antiga do Brasil, ainda em funcionamento, foi instalada em 1890, no Instituto Agrônomo de Campinas. A estimativa das variáveis do tipo climático, a partir de observações de satélite, data apenas do final da década de 1970.

Mas, observar e recolher dados não é o suficiente. Numa série de observações, por exemplo, da temperatura num determinado local, devem ser levadas em conta perturbações que possam influenciar na medição. Essas perturbações resultam, entre outras coisas, de alterações nos instrumentos, no ambiente de medição, na mudança da estação, até mesmo para um local próximo. A figura 23 ilustra, como exemplo, a movimentação da estação meteorológica do antigo Observatório de São Paulo, com uma mudança muito significativa no tipo de estação de medição e de localização, como pode ser observado. A atual estação meteorológica se encontra localizada no Parque Cientec-SP.

Portanto, sempre que possível, deve ser realizado um tratamento estatístico de cada série, por comparação com outras séries vizinhas observadas, para que se tenha uma homogeneização da série. Esta operação permite extrair o sinal de variabilidade climática,

a partir de séries de dados contaminados por artefatos de medição. As observações por satélite também exigem que se tenha em conta a evolução dos sensores a bordo e, portanto, calibrações entre séries de observações de diferentes satélites. Realizadas essas operações, é necessário estimar, com precisão, todas as fontes de erros nas reconstruções climáticas, incluindo erros não corrigidos por homogeneização ou calibração, erros também ligados à distribuição imperfeita das observações, erros instrumentais e muitos outros.



Figura 23 - Estação Meteorológica do Antigo Observatório de São Paulo na Avenida Paulista, onde hoje fica o MASP (fonte: IAG-USP) e Estação automática localizada no Parque Cientec (foto: Vini Roger)

4.4. Exemplo da evolução da temperatura média global

A figura 24 ilustra a evolução da temperatura média global durante um período de 2.000 anos, em comparação com a média de 1850 a 1900, considerada pelo IPCC como um valor pré-industrial. É reconstruída a partir de proxies e, depois de 1850, com dados da Météo France, a partir da combinação de múltiplas redes de observação instrumental e reconstruções, usando técnicas de modelagem, chamadas reanálises de dados.

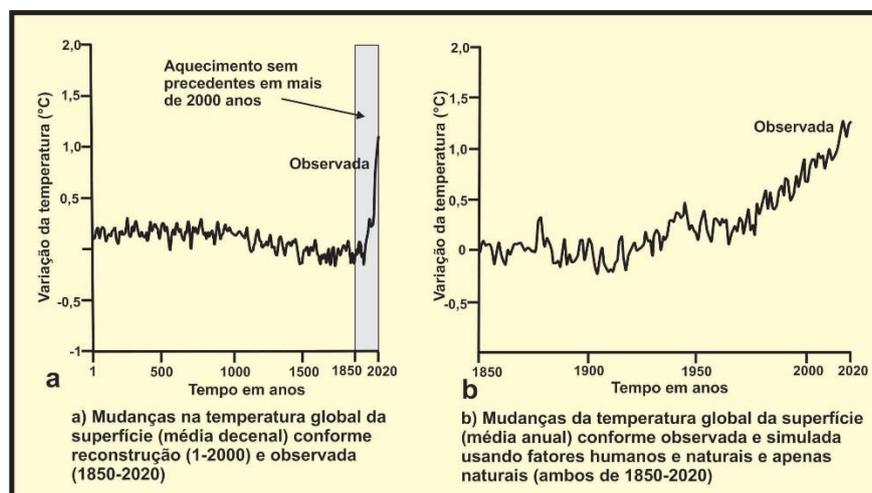


Figura 24 - A influência humana no aquecimento global nos últimos 2000 anos. (modificado; IPCC, 2021a)

Esta é a melhor estimativa da evolução da temperatura média global tal como aparece na primeira parte do sexto relatório do IPCC, publicado em 2021. Observa-se que as temperaturas, para a década 2011-2020, são 1,1°C mais altas do que as temperaturas no final do século XIX, precisamente entre 0,95 e 1,2°C mais quente. Pode-se observar também, que o atual aquecimento não tem precedentes há pelo menos 2.000 anos.

4.5. A atribuição das mudanças climáticas

4.5.1. Definição

A atribuição das alterações climáticas é a ciência que avalia as diferentes causas dessas alterações, entre as quais existem três tipos principais de fatores.

Em primeiro lugar, se tem tudo o que está relacionado com a influência humana no clima: emissões de GEE, emissões de aerossóis, partículas que tendem a arrefecer o clima, e outras perturbações relacionadas com as atividades humanas. Em continuação se tem os fatores naturais que perturbam o estado do sistema climático, incluindo grandes erupções vulcânicas, variações na atividade solar e, se olharmos para períodos mais longos, variações na órbita da Terra. Por fim, existe a variabilidade interna natural do clima que corresponde às flutuações meteorológicas que se pode observar de um dia para o outro, em um local, mas também na média planetária anual, e que vai modular um pouco a temperatura do planeta (Fig.25).

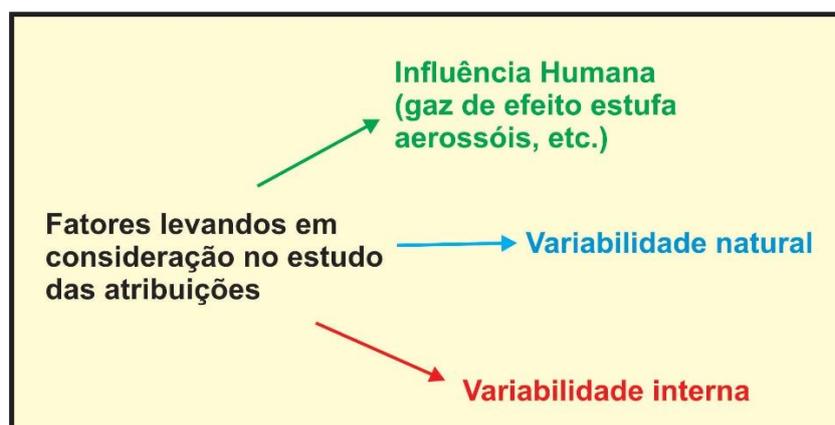


Figura 25 – Fatores levados em consideração no estudo das atribuições das mudanças climáticas.

4.5.2. A temperatura média do planeta

A variável mais examinada, do ponto de vista da atribuição, é a temperatura média global. Esta é a temperatura média do ar próximo à superfície, calculada em média para todo o planeta.

Na figura 26, a primeira barra (a) indica o aquecimento medido das temperaturas médias globais entre a última década, 2010-2019, e o período de referência pré-industrial, 1850-1900. Esta barra indica um aquecimento de 1,1°C entre estes dois períodos, em comparação com a estimativa do resultado da influência humana durante o mesmo período de tempo, que é a primeira barra em vermelho (b) e que também indica um aquecimento de aproximadamente 1,1°C. Isto significa que quase todo o aquecimento observado, desde o período pré-industrial, é atribuível à influência humana no clima.

Dentro desta influência humana, geralmente se distingue dois tipos principais de fatores: por um lado, existe o aumento do efeito estufa através das emissões de GEE, segunda barra vermelha (b), sendo o aquecimento induzido por estas emissões, estimado em 1,5°C e uma incerteza de 0,5°C. Por outro lado existem todas as outras perturbações humanas no clima, incluindo o efeito dos aerossóis, que é um arrefecimento líquido de cerca de 0,4°C. Se somarmos algebricamente estes dois termos, encontraremos 1,1°C de aquecimento induzido pelas atividades humanas (Fig.26).

A par deste termo ligado às atividades humanas, se encontra o efeito da variabilidade natural ligada aos vulcões e às variações da atividade solar que é baixa, próxima de zero, durante este período, e o efeito da variabilidade interna, o qual também se apresenta fraco durante este período.

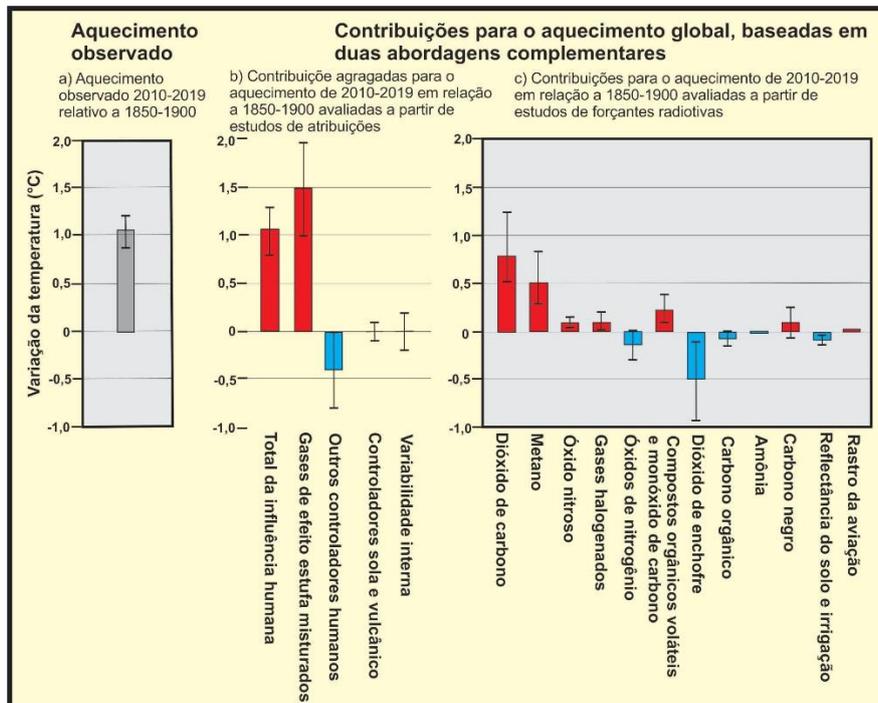


Figura 26 – Aquecimento observado e impulsionado pelas emissões provenientes das atividades humanas, sendo o aquecimento dos gases de efeito estufa parcialmente mascarado pelo arrefecimento dos aerossóis. (modificado: IPCC,2021a)

Na figura 26 se tem ainda, no painel mais à direita (c), os detalhes das contribuições de diferentes espécies químicas, incluindo vários GEE (CO₂, metano e outros), e diferentes espécies químicas que contribuem para a ocorrência de outros fatores humanos de perturbação climática.

4.5.3. Outras variáveis rastreadas

Além do resultado da temperatura média global, se tem agora diferentes variáveis que atestam o aquecimento em curso e que dizem respeito a todo o sistema climático: a atmosfera, o oceano, a criosfera, o gelo e as superfícies continentais.

Na atmosfera, além da temperatura próxima à superfície, pode-se falar das temperaturas em altitude e do teor de vapor d'água da atmosfera que aumenta e que é um indicador do aquecimento desta atmosfera. No oceano, entre as variáveis mais importantes, se pode citar, o aumento do nível médio do oceano e o aumento do conteúdo de calor integrado na coluna d'água. Para a criosfera, se pode citar a redução da superfície do gelo marinho, particularmente no Ártico, a redução das superfícies cobertas de neve no hemisfério Norte no inverno, e a redução das geleiras de montanhas e das calotas polares. Para as superfícies continentais, se pode citar, por exemplo, o prolongamento do período vegetativo das plantas e as alterações no regime de precipitação.

Temos assim uma visão geral das alterações climáticas ligadas às atividades humanas que é hoje inequívoca e que diz respeito a todas as componentes do sistema climático (Fig. 27).

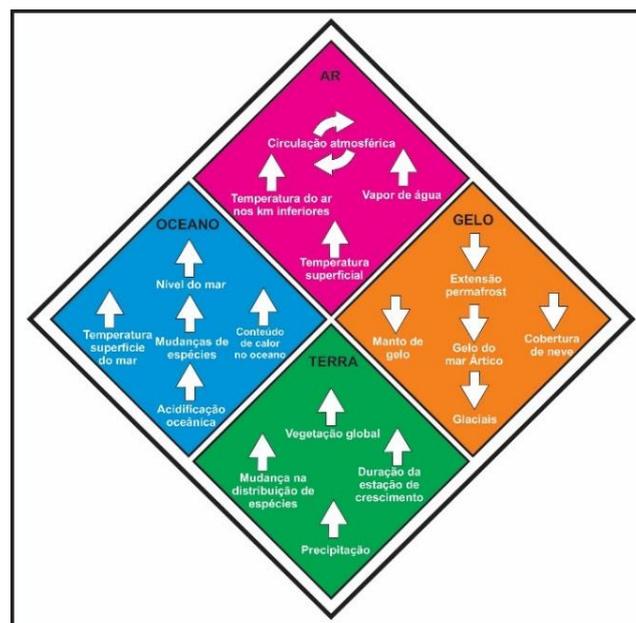


Figura 27 – Conjunto de fatores que influenciam as mudanças climáticas.
(modificado: IPCC 2021a)

4.5.4. A temperatura média do planeta

No que diz respeito mais especificamente a temperatura média do planeta, foi publicado em 2022, pela *Berkeley Earth*, uma organização de pesquisa sem fins lucrativos com sede na Califórnia, um estudo que faz um balanço das mudanças passadas e futuras, em termos de aquecimento e, também, em termos de atribuição.

O estudo concluiu que 2022 foi nominalmente o quinto ano mais quente na Terra, desde 1850. A estimativa da temperatura média global em 2022, foi ligeiramente mais quente que 2021, e semelhante a 2015. Dadas as incertezas associadas às medições de temperatura, 2022 e 2015 estão essencialmente empatados, tornando 2022 como o quinto ou o sexto ano mais quente (Fig.28).

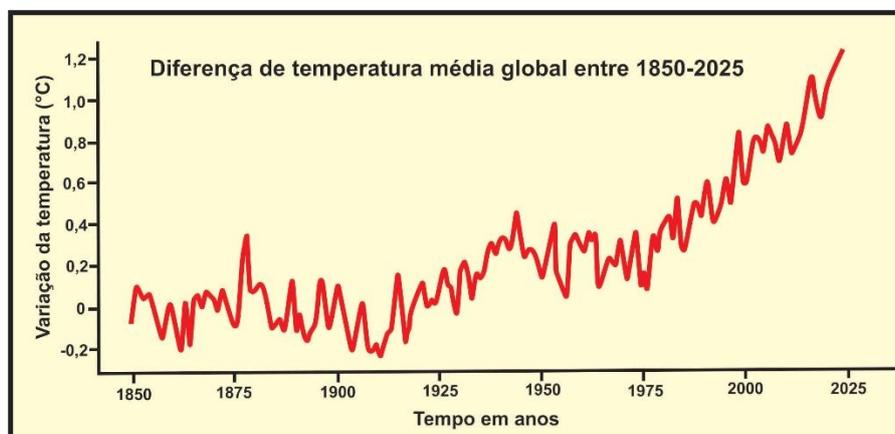


Figura 28 – Diferença na variação da temperatura média global entre os anos de 1850-2025.
(modificado: Rohde, 2023)

É provável que as classificações, ano a ano, reflitam a variabilidade natural de curto prazo. Em 2021 e 2022, um evento La Niña, persistente, reduziu um pouco as temperaturas, em comparação com anos sem um evento La Niña. No geral, a tendência de longo prazo permanece consistente com um padrão contínuo de aquecimento global. O aquecimento e resfriamento cíclico, devido ao El Niño e La Niña, são uma das maiores fontes de variabilidade interna, ano a ano, na temperatura média global, muitas vezes adicionando ou subtraindo $0,1^{\circ}\text{C}$ da média global. É bastante provável que, uma vez que o aquecimento relacionado ao El Niño retorne, também teremos um novo ano quente recorde.

Estima-se que a temperatura média global, em 2022, tenha sido $1,24^{\circ}\text{C}$ acima da temperatura média de 1850-1900, um período frequentemente usado como linha de base pré-industrial para metas de temperatura global, isso é $\sim 0,03^{\circ}\text{C}$ mais quente do que em 2021. Como resultado, 2021 é nominalmente o quinto ano mais quente observado

diretamente, embora os anos de 2015, 2017, 2018, 2021 e 2022 estejam todos agrupados proximamente em relação às suas estimativas de incerteza.

Como é de se esperar do aquecimento global, causado pelos GEE, o aumento da temperatura no globo é amplamente distribuído, afetando quase todas as áreas terrestres e oceânicas. Em 2022, 88% da superfície da Terra estava significativamente mais quente que a temperatura média durante 1951-1980, 7% tinha uma temperatura semelhante e apenas 5% estava significativamente mais fria.

As áreas terrestres, geralmente mostram mais que o dobro do aquecimento do que os oceanos. Quando comparada com as médias de 1850-1900, a média terrestre, em 2022, aumentou $1,70 \pm 0,04^{\circ}\text{C}$ e a temperatura da superfície do oceano, excluindo as regiões de gelo marinho, aumentou $0,86 \pm 0,04^{\circ}\text{C}$.

Atribuir o aquecimento passado a vários subconjuntos de forçantes externos ou forçantes individuais, é um passo importante para a compreensão das mudanças observadas recentemente. As declarações de atribuição foram centradas em relatórios de avaliações anteriores do IPCC, em particular no que diz respeito às contribuições da forçante antropogênica (ANT) versus forçante natural (NAT). No entanto, estimar as contribuições de GEE e outras contribuições antropogênicas (AO; um subconjunto que inclui todas as forçantes antropogênicas não-GEE, geralmente dominadas por aerossóis), é muito menos comum à escala regional. Desvendar essas duas contribuições é particularmente desafiador, com base nas técnicas de impressão digital, devido a questões de colinearidade (Ribes & Terray, 2013; Jones *et al.*, 2016). Novas técnicas utilizadas facilitam essa avaliação, no entanto, para além da escolha do método estatístico, várias questões ainda tornam essa atribuição um exercício desafiante: o número limitado de modelos participantes no Projeto de Intercomparação de Modelos de Detecção e Atribuição-DAMIP (Gillett *et al.*, 2016, isto implica que as experiências apenas com GEE estão ausentes para alguns modelos e têm que ser reconstruídos), o número limitado de membros em simulações de atribuição de forçante única e a dificuldade de estimar com precisão as respostas forçadas em escala regional nessas simulações, devido à variabilidade interna regional. Por estas razões, os resultados de atribuição apresentados na figura 29, podem ser menos robustos do que as estimativas do aquecimento forçado passado ou futuro (total).

Na figura 29, se observa que o aquecimento regional, até o momento, desde o período pré-industrial ou seja, 2020 em relação a 1850-1900, de $1,63$ ($1,36$ a $1,91$) $^{\circ}\text{C}$ é quase inteiramente devido à influência humana (ANT): $1,58$ ($1,31$ a $1,85$) $^{\circ}\text{C}$. As forçantes

naturais são avaliadas como tendo uma contribuição muito pequena de 0,06 (0,03 a 0,09)°C. O aquecimento induzido por GEE é avaliado em 1,94 (1,32 a 2,56)°C, parcialmente compensado por um resfriamento induzido por outras forçantes antropogênicas de -0,36 (-0,90 a +0,18)°C, entre as quais os aerossóis desempenham um papel dominante. Notavelmente, a incerteza nas contribuições de GEE e AO é maior do que nas respostas totais da ANT ou ALL.

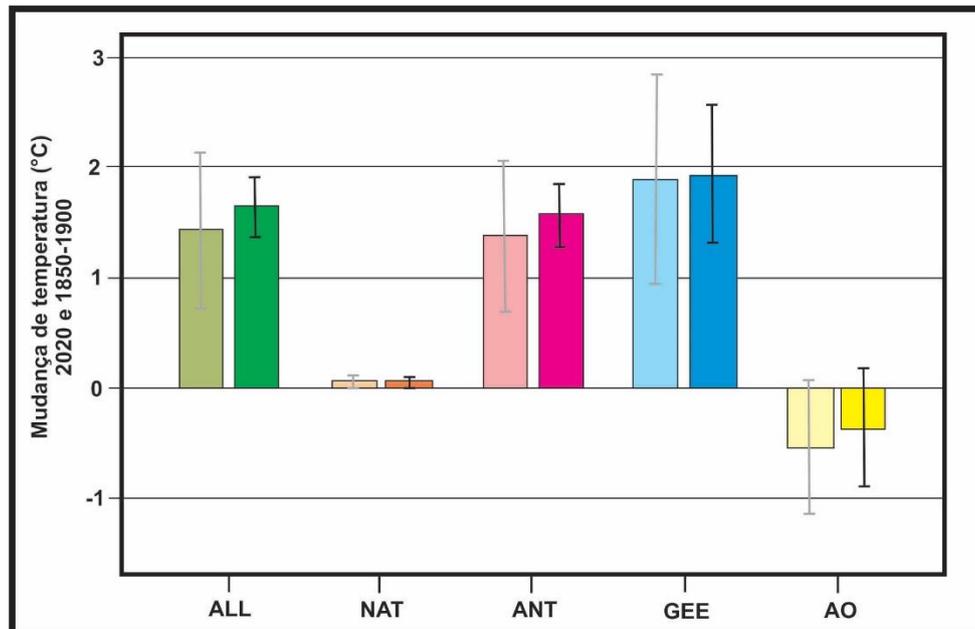


Figura 29 - Mudança de temperatura induzida por vários subconjuntos de forçantes externas ao longo do período histórico (estimada em 2020 em relação a 1850–1900). Para cada subconjunto de forçantes, a barra esquerda e o intervalo de confiança cinza descrevem a faixa irrestrita do modelo CMIP6, assumindo uma distribuição gaussiana. A barra direita e o intervalo de confiança preto correspondem a resultados limitados por observações globais e locais. Todos os intervalos mostrados são intervalos de confiança de 595 % a 95 %. (modificado: Ribes et al. 2022)

A análise das contribuições externas para a taxa de aquecimento de 2010-2019 (Fig. 30), sugere que a taxa de aquecimento atual é de 0,36 (0,27 a 0,45)°C por década, o que significa +0,1°C de aquecimento a cada 3 anos. Mais uma vez se avalia que esta tendência é inteiramente induzida pelo homem, uma vez que a contribuição das forçantes naturais é muito pequena. No entanto, se alerta que a quantificação exata da taxa de aquecimento induzida por NAT, durante este período específico, é sensível às forçantes de NAT em cenários SSP e devem ser tomadas com cautela. Curiosamente, a tendência induzida pela AO (refletindo principalmente uma diminuição regional nas emissões antropogênicas de aerossóis), é responsável por uma taxa de aquecimento de 0,1 (0,01 a 0,19)°C por década, ou seja, mais de um quarto da atual taxa de aquecimento.

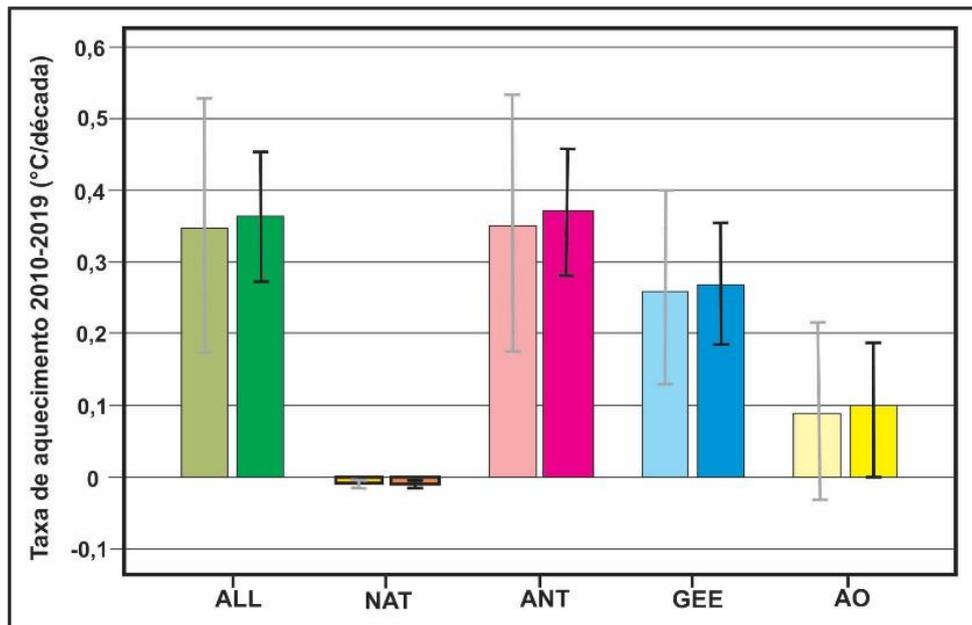


Figura 30 -A mesma análise para a taxa de aquecimento de 2010-2019, calculada como uma tendência linear durante esse período e expressa em graus Celsius por década. (modificado: Ribes et al, 2022)

4.5.5. Evolução dos eventos extremos

Além das alterações climáticas médias, os estudos de atribuição também analisaram a evolução de eventos extremos.

Na parte superior da figura 31, se tem uma versão simplificada do mapa mundial com diferentes sub-regiões, que mostra as regiões em que as ondas de calor aumentaram significativamente em relação à influência humana no clima. Pode-se ver que, na maioria das regiões, já existe um claro aumento nos extremos quentes, atribuíveis à influência humana.

Na figura 31, no meio, se observa o efeito da influência humana na precipitação extrema. Todas as regiões em verde são aquelas onde já se observa uma intensificação de precipitações extremas ligadas à influência humana no clima. Na parte inferior da figura 31, se vê o efeito da influência humana nas secas agrícolas e ecológicas, aquelas que dizem respeito ao déficit de água no solo. Mais uma vez, algumas regiões já mostram sinais muito claros de intensificação destas secas, que se sabe que estão ligadas à influência humana no clima.

Para a região do NES e SES, "Nordeste e Sudeste da América do Sul", que diz respeito ao Brasil, se observa mudanças nas ondas de calor, fortes precipitações e solos secos na região nordeste, já atribuíveis à influência humana no clima.

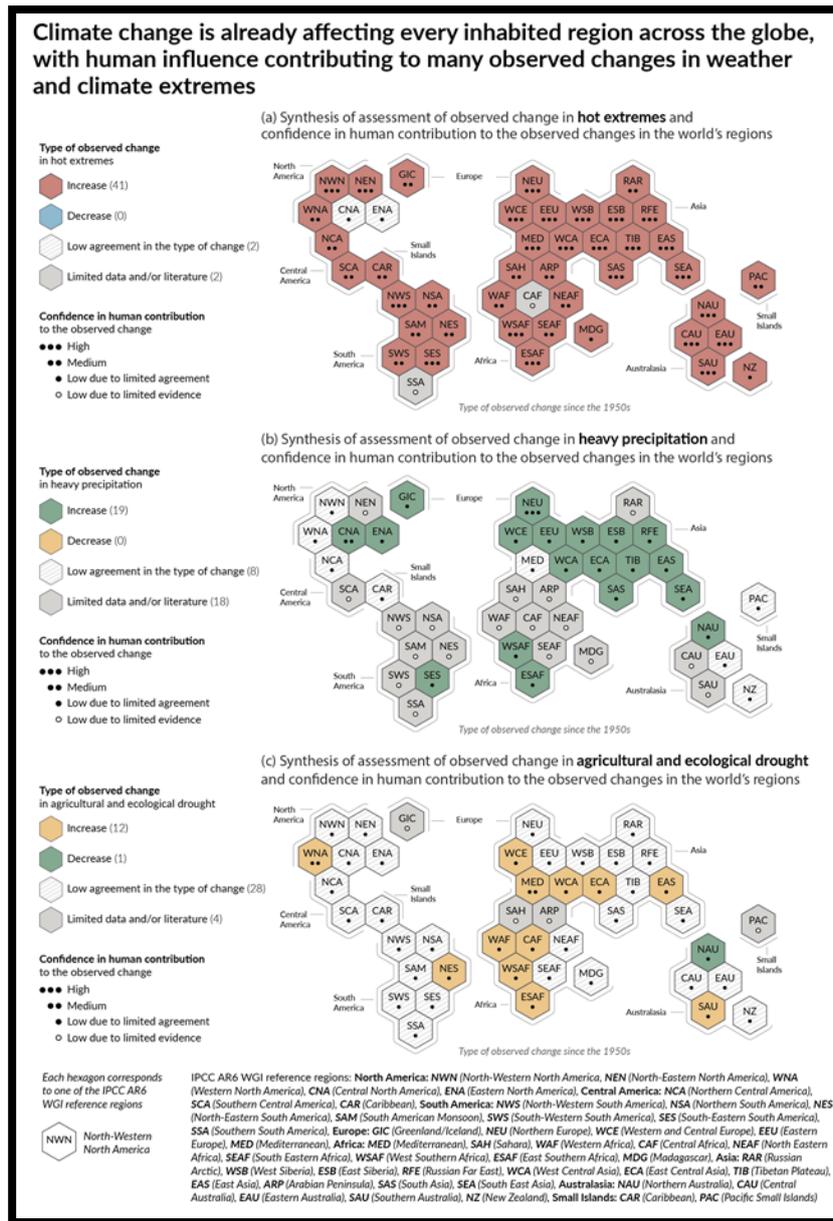


Figura 31 – Síntese das mudanças regionais avaliadas, observadas e atribuíveis.
 (fonte: IPCC, 2021a)

4.5.6. Sobrevivência de um evento extremo em particular

Uma questão mais recente diz respeito à influência da mudança climática e das atividades humanas sobre o levantamento de um evento extremo específico com fortes precipitações (Fig.32). Indaga-se, se a perturbação antrópica do clima pode ser invocada como uma causa da sobrevivência desse evento específico. Essa é uma questão difícil, mas a mudança climática nunca é a causa única da ocorrência de um evento específico. Nos interessa mais descrever de que maneira a perturbação humana no clima, pode modificar as características do evento observado: sua probabilidade de ocorrência ou sua intensidade.

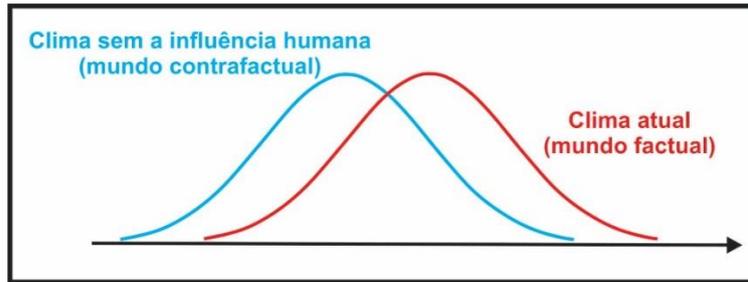


Figura 32 Distribuição de temperatura num mundo factual e contrafactual.

Para descrever e ilustrar como é feito este tipo de cálculo, se tem, na figura 33, duas distribuições representativas de uma distribuição de temperatura, por exemplo, no mundo atual, denominado mundo factual, que tem visto a influência humana no clima, em vermelho, e num mundo contrafactual, que não teria visto perturbações antrópicas no clima, em azul. Quando ocorre um evento meteorológico, a primeira pergunta que se pode fazer, com valor representado pela linha pontilhada, é: Qual a sua probabilidade de ocorrência, representado pela região em laranja (p_1), no clima atual?

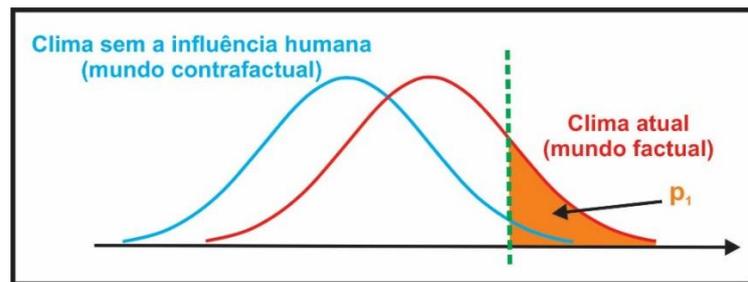


Figura 33 – Clima atual no mundo factual

Pode-se comparar esta probabilidade de ocorrência com a probabilidade do mesmo evento, mesma intensidade, num mundo contrafactual que não viu influência humana, representado por p_0 , em azul, e comparar estes dois números, calculando, por exemplo, a razão p_1 para p_0 , que indica o quanto a probabilidade (PR) aumentou devido às atividades humanas e à influência humana no clima (Fig.34).

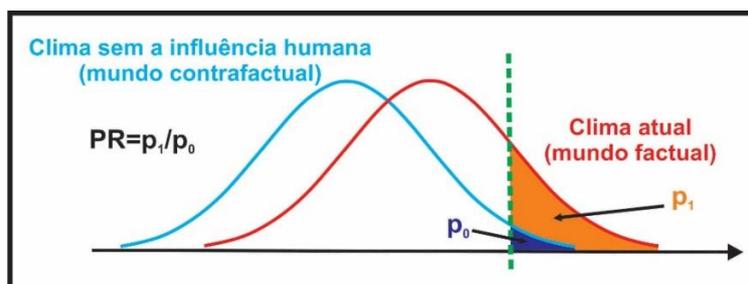


Figura 34 – Cálculo da probabilidade de ocorrência (PR)

Outro ponto de vista diz respeito à mudança de intensidade. Ao se utilizar o mesmo gráfico, podemos anotar I_1 , a intensidade do evento observado no clima atual e perguntar qual teria sido a intensidade de um evento, com a mesma probabilidade de ocorrência p_1 , em um clima sem perturbação antrópica (Fig.35).

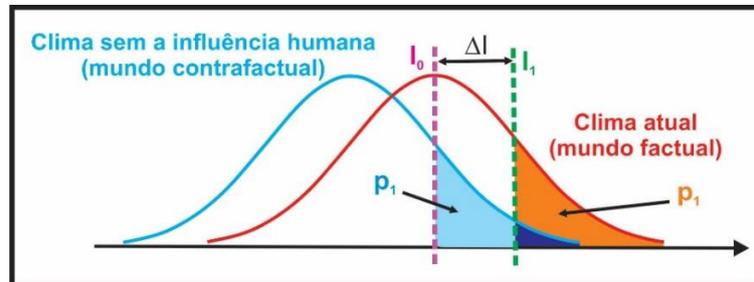


Figura 35 – Determinação da intensidade entre um evento observado e um evento sem perturbação antrópica.

Esta intensidade é denotada por I_0 e a diferença entre I_1 e I_0 (ΔI), é geralmente caracterizada como o efeito das atividades humanas na intensidade desse evento.

Pode-se estender este tipo de diagnóstico, mudança de probabilidade de ocorrência ou intensidade, ao clima futuro. Trata-se então de comparar com uma terceira distribuição, aqui representada pela linha lilás, representativa do clima esperado no futuro sob maior influência humana (Fig.36).

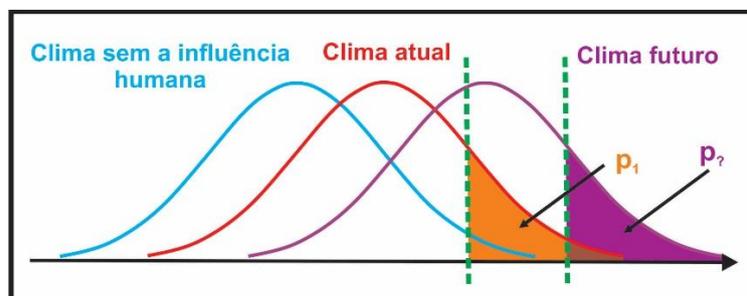


Figura 36 – Perspectiva de um clima esperado no futuro

4.5.7. Exemplo da onda de calor de 2019

A título de ilustração de um estudo de atribuição de um determinado evento, nos basearemos na onda de calor de julho de 2019 na França. Neste episódio foi visto vários recordes de temperatura máxima serem quebrados, com notáveis $42,6^{\circ}\text{C}$ em Paris, um caso sem precedentes. Esta onda de calor foi definida como uma temperatura média, durante três dias, que excede $28,7^{\circ}\text{C}$, em média, para toda a França continental.

A figura 37 mostra como a probabilidade de ocorrência de um episódio tão quente, muda ao longo do tempo, entre o século XIX e 2100, em vermelho, sob o efeito da

influência humana, ambos distúrbios históricos ligados às atividades humanas e depois num cenário RCP8.5, que é um cenário de elevadas emissões de GEE.

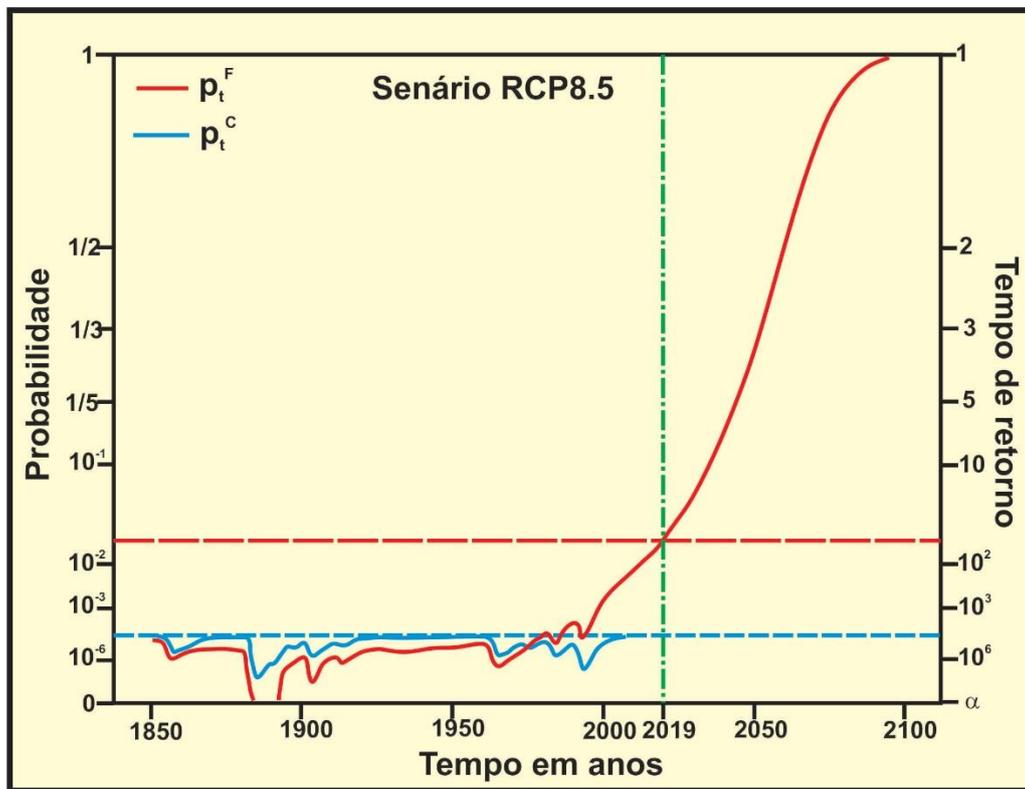


Figura 37 – Gráfico de probabilidade de ocorrência de um episódio climático
(modificado: Ribes et al, 2022)

Ribes et al, 2022, fazendo este cálculo para 2019, obtiveram uma probabilidade relativamente pequena de se ter um episódio tão quente como esta onda de calor, estimada em 1 chance em 40. No entanto, esta probabilidade já é muito maior do que a do mesmo evento sem influência humana, a qual se estima que seja 600 vezes inferior e, se forem tidas em conta as incertezas, pelo menos 20 vezes inferior. Sem a influência humana no clima, um episódio tão quente poderia simplesmente não ter existido. Se pensarmos, desta vez, em termos de intensidade, o cálculo indica que as atividades humanas acrescentaram 2,1°C de aquecimento adicional a um episódio deste tipo.

Por fim, uma observação final diz respeito à taxa com que aumenta a probabilidade deste tipo de episódio. Entre 2015, ano da assinatura dos Acordos de Paris, e 2021, quase duplica a probabilidade de ocorrência de um episódio tão quente.

Este estudo sobre a onda de calor de Julho de 2019 na França é uma ilustração, mas agora temos um amplo espectro de estudos que atribuem eventos específicos, incluindo fortes precipitações, tempestades, ciclones, secas e muito mais.

V. CENÁRIOS CLIMÁTICOS

5.1. Introdução

Para caracterizar os riscos futuros e permitir escalar a adaptação, permitir saber que soluções de mitigação e limitação das emissões de GEE são aceitáveis no futuro, para respeitar o acordo de Paris, se necessita fazer projeções futuras. Para fazer isso, usa-se cenários.

Esses cenários partem de um conjunto de hipóteses, podendo ser, por exemplo, hipóteses sobre a evolução da população mundial, hipóteses tecnológicas, hipóteses socioeconômicas ou geopolíticas, como seja, por exemplo, a ajuda mútua entre países, ou um mundo em que temos rivalidades e nacionalismos que se fortalecem.

A partir destes grandes conjuntos de hipóteses, os economistas serão capazes de derivar alterações nas emissões de GEE, nas principais regiões. É isso que permitirá, graças aos modelos climáticos, projetar a possível evolução dos parâmetros físicos (temperatura), mas também de outros parâmetros, e saber como essas mudanças ocorrerão ao longo do tempo e no espaço. Com base nestas mudanças físicas, outros modelos podem ser utilizados para caracterizar a evolução dos impactos futuros (Fig.38).

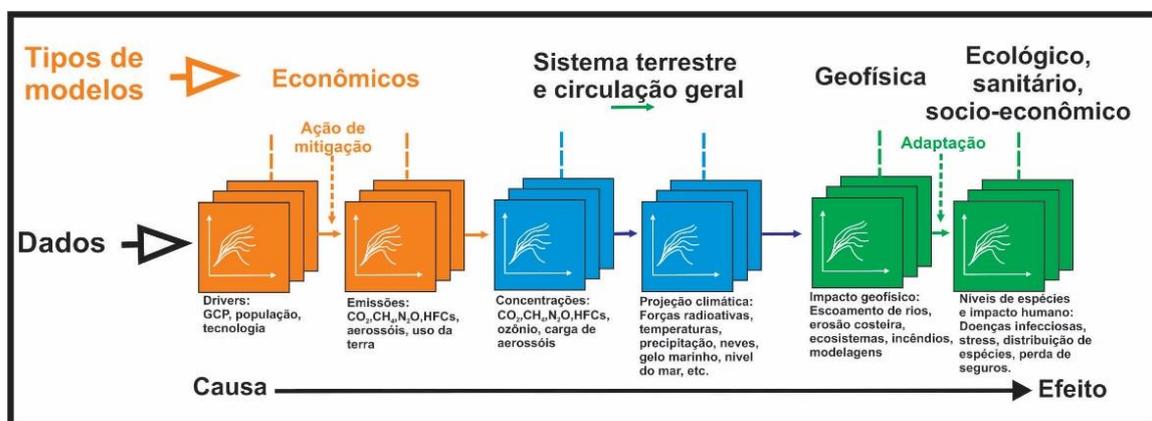


Figura 38 – Método de elaboração de cenários.
(modificado: Szopa,2023)

5.2. Cenários de emissões utilizados pelo IPCC

Ao se olhar para os diferentes cenários que foram utilizados como parte do AR6 (Sexto Relatório de Avaliação) do IPCC, onde o mesmo apresenta cinco tipos principais de cenários. Cada um destes cenários corresponde a um perfil de emissões de dióxido de carbono.

Os cenários em azul, figura 39, correspondem a hipótese de altíssima sustentabilidade, com forte cooperação dos países para implantar políticas de limitação de

GEE. Estes cenários levam a emissões nulas ou mesmo negativas, a partir de 2050 ou 2070 (cenários SSP1-1.9 e SSP1-2.6).

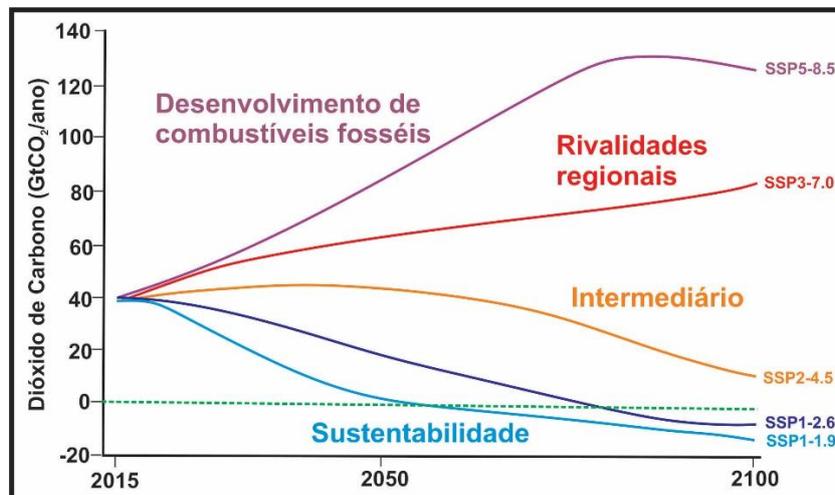


Figura 39 - Emissões antrópicas anuais (produzidas pelo homem) durante o período 2015–2100. Aqui são mostradas as trajetórias das emissões de dióxido de carbono (CO_2) de todos os setores. (modificado: GIEC,2021)

O cenário em amarelo, (cenário SSP2-4.5), corresponde a cenário intermediário, o qual se encontra em desenvolvimento na atualidade. Correspondem à estagnação, ou mesmo a um ligeiro aumento das emissões de GEE, pelo menos até 2050.

Por último, teremos cenários elevados que podem parecer potencialmente menos plausíveis, uma vez que já foram tomadas certas medidas políticas, mas que não são completamente impossíveis do ponto de vista físico. Estes são, por exemplo, cenários em que se teria um desenvolvimento fortemente baseado em combustíveis fósseis, que é o cenário representado no topo da figura 39, em cor lilás (SSP5-8.5).

Precisa-se, mesmo que nem todos os cenários tenham a mesma plausibilidade e a mesma probabilidade de ocorrência, analisar uma vasta gama de futuros possíveis. Isto também nos permite ver se, com os modelos climáticos, não se tem risco de fuga, especialmente para os cenários mais elevados. Este risco corresponde a efeitos amplificadores através do jogo de *feedbacks* naturais no sistema.

Além das emissões de CO_2 , se pode examinar os perfis de emissão de outros GEE, como o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), ou os perfis de poluentes atmosféricos, como o dióxido de enxofre (SO_2), que levará à produção de aerossóis, levando a um resfriamento da atmosfera (Fig.40). Todos estes gases e todos estes compostos são levados em conta nos modelos climáticos. Mas se vê que não terão, necessariamente, a mesma evolução

no tempo e no espaço, simplesmente porque não estão todos associados às mesmas fontes de emissão.

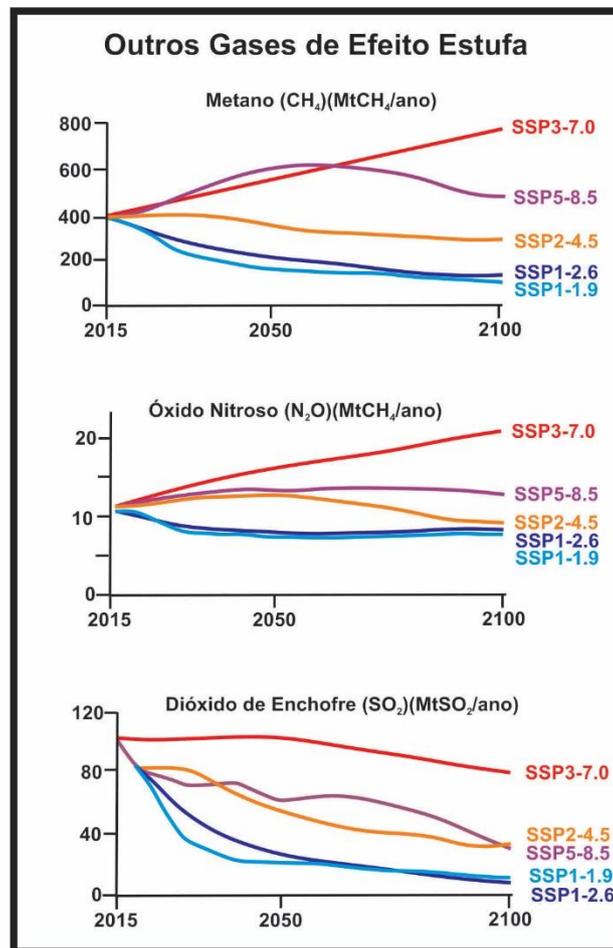


Figura 40 – Perfis de emissão de outros gases de efeito estufa que não o CO₂.
(modificado: GIEC,2021)

5.3. Projeções globais

A partir destes perfis de emissões, os modelos climáticos permitem projetar, por exemplo, a evolução da temperatura média global (Fig.41).

Quando se analisa os resultados destes diferentes cenários, se observa primeiro, um aumento, nos próximos 20 anos, na temperatura global, qualquer que seja o cenário de emissões, com provavelmente um excesso de temperatura global de 1,5°C, no início da década de 2030. Isto, de forma alguma, significa que a redução das emissões de GEE não tenha efeito. Acontece simplesmente que, enquanto não se atingir zero emissões de CO₂ e uma redução significativa de outros compostos, se continuará a emitir e a “acrescentar” aquecimento. Não está, portanto, ligado a uma inércia da física, mas sim a uma inércia dos sistemas econômicos, para escapar a estas emissões de carbono.

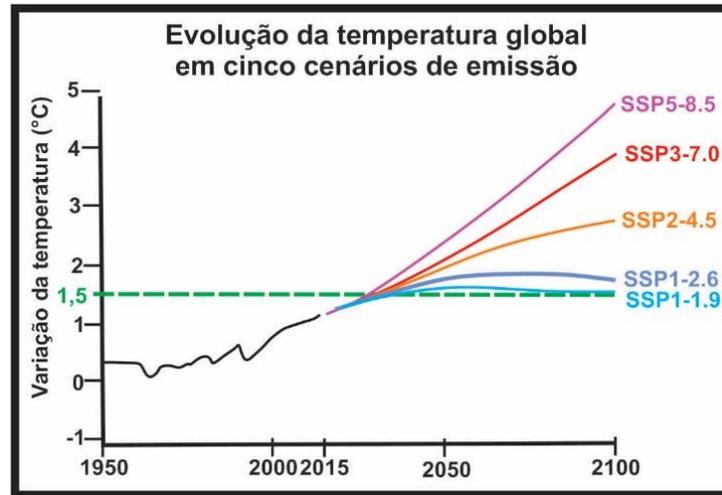


Figura 41 – Evolução da temperatura global em cinco cenários de emissão de gases efeito estufa. (modificado: GIEC,2021)

Na segunda metade do século, se assistirá os desenvolvimentos que podem ser muito variáveis, dependendo dos cenários: ou uma estabilização do aquecimento, ou um aumento do aquecimento, que pode se aproximar dos 3°C, no quadro do cenário intermediário, ou mesmo ultrapassar os 4°C, no pior dos cenários.

Também se pode determinar a evolução de diferentes parâmetros físicos, como a evolução do nível do mar (Fig.42).

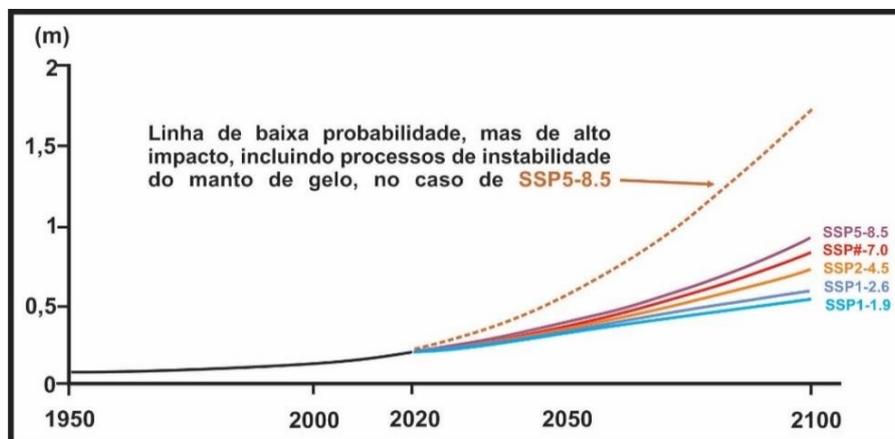


Figura 42 – Variações no nível do mar a escala global em comparação à 1900. (modificado: GIEC.2021)

As variações do nível do mar são mudanças lentas no sistema, devido estarem ligadas à circulação oceânica, que é lenta e que distribui o calor por longos períodos, no sistema climático. As mudanças continuam, portanto, ao longo do século, mesmo que se tenha uma estabilização da temperatura. Na prática, quando se trata da elevação do nível do mar, se sabe que isto é algo que continua durante milênios. No entanto, considerando estar num cenário virtuoso ou, pelo contrário, num cenário em que se continua a emitir

massivamente, ocorrerá mudança na velocidade com que o nível do mar aumentará. Isto altera significativamente as possibilidades de adaptação das pessoas que vivem em zonas costeiras.

Observa-se, na figura 42, uma linha pontilhada, a qual representa uma eventualidade de baixa probabilidade e alto impacto. Isto está ligado ao fato de nos modelos climáticos haver dados que potencialmente não são bem representados, devido à falta de observações mais acuradas e porque, também, são processos não lineares muito complexos. Sabe-se que, potencialmente, pode haver não-linearidades que estão mal representadas, por exemplo, a instabilidade da calota polar, que começaria a derreter muito mais rapidamente do que os modelos preveem. Neste caso, ocorreria uma subida do nível do mar consideravelmente mais rápida.

Isto é algo essencial na utilização que se faz dos cenários: mostrar dispersão e mostrar situações menos prováveis, mas não impossíveis.

5.4. Projeções espaciais

Os modelos climáticos também permitem ter mudanças espaciais, ou seja, mudanças cuja distribuição no espaço pode ser vista. Estes modelos tornam possível, por exemplo, caracterizar mudanças para diferentes níveis de aquecimento. Na figura 43, se pode ver as mudanças na temperatura média anual, para diferentes níveis de aquecimento.

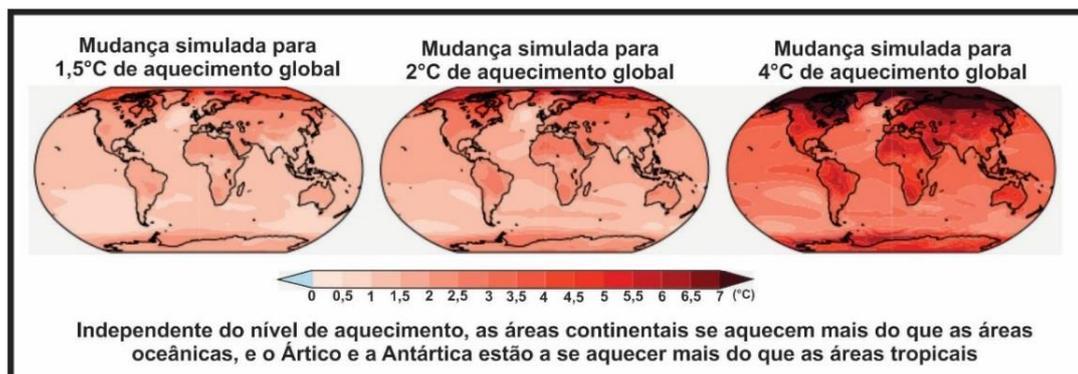


Figura 43 – Mudanças simuladas na temperatura média anual (°C) em comparação com 1850-1900. (modificado: GIEC, 2021)

Na figura 43 se observa uma forte disparidade entre o que pode acontecer nas áreas continentais e oceânicas com um aquecimento global, sistematicamente maior nas áreas continentais. Por exemplo, para o Brasil, o qual se encontra hoje a 1,04°C de aquecimento, enquanto a média global é de 1,1°C de aquecimento. Observa-se, também, um maior

aumento no aquecimento da zona Ártica, com maior probabilidade do derretimento das calotas de gelo, do que na zona Antártica.

Quando se olha para as mudanças extremas, também se vê um fortalecimento significativo acontecendo. Se olharmos, por exemplo, para a temperatura do dia mais quente do ano, quando se passa de um aquecimento global de 1,5°C para 2°C, isso não significa que o dia mais quente do ano será apenas afetado por +0,5°C. Pode ser afetado muito mais do que isso, da ordem de +1°C. Esse fortalecimento dos extremos é algo importante para cada nível de aquecimento que ocorra.

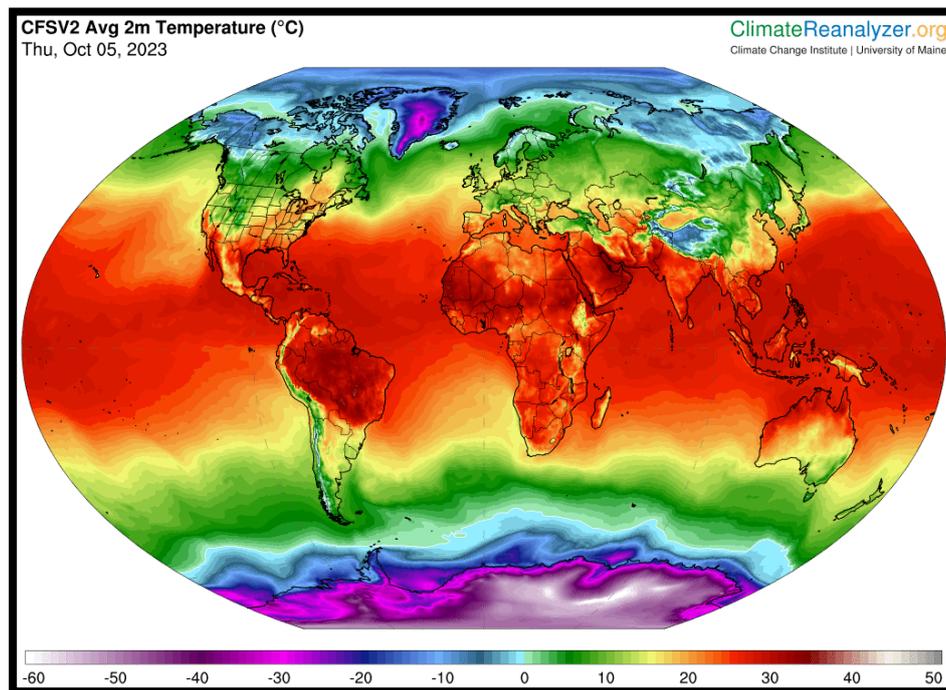


Figura 44 – Temperatura média global para o dia 05/10/2023.
(fonte: https://midias.correiobraziliense.com.br/_midias/jpg/2023/07/04/mapa_mundi_temperatura-28419894.jpg)

O ano de 2023 tem sido marcado por altas temperaturas no Brasil, em especial no sul e no sudeste, com recordes de temperatura para os meses de agosto e setembro (Fig.44).

Contudo, quais são os principais recordes de temperatura do Brasil? E será que ainda, ao longo desse ano de 2024, haverá recordes de calor no Brasil?

De acordo com os registros oficiais, a temperatura mais alta já registrada no Brasil foi de 44,8°C em Nova Maringá, Mato Grosso, em 4 e 5 de novembro de 2020.

O registro mato-grossense superou o recorde, também oficial, de Bom Jesus, Piauí, que, em 21 de novembro de 2005, marcou 44,7°C.

No entanto, a onda de calor atual pode trazer novos recordes, segundo meteorologistas do MetSul.

De acordo com os especialistas, as ondas de calor, no Brasil, são causadas por sistemas de alta pressão que impedem o ar quente de se movimentar temporariamente, podendo permanecer dessa forma por alguns dias.

Além disso, temperaturas extremas podem ser impulsionadas pelo El Niño, fenômeno climático que ocorre no oceano Pacífico e pode afetar o clima em todo o mundo.

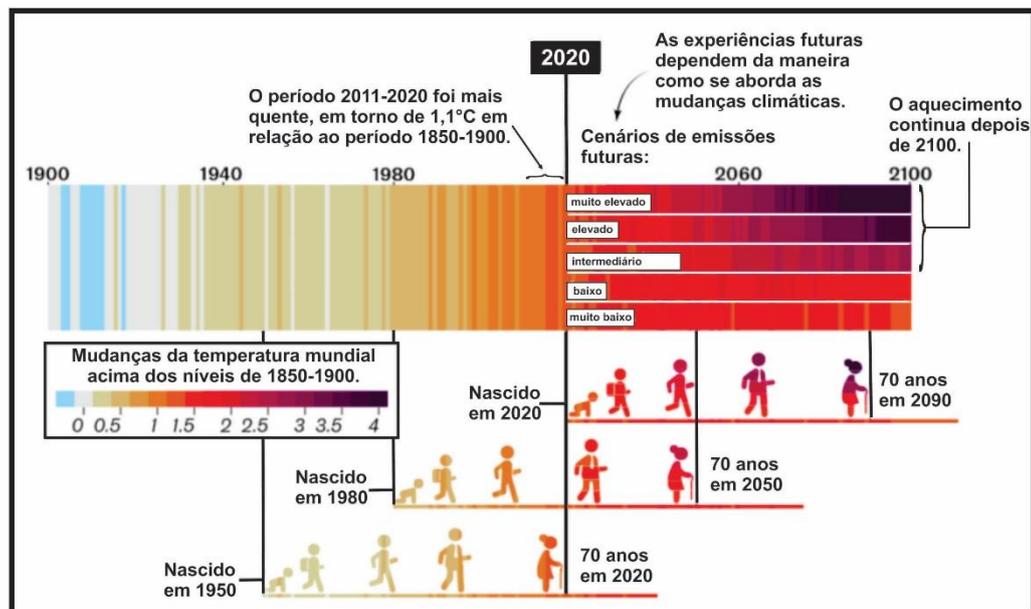


Figura 45 – A evolução da temperatura na escala da vida humana.
(modificado: GIEC, 2021)

Pode-se observar, na figura 45, uma representação que corresponde a algo que é feito para falar a um público que não aprecia as representações em curvas. São o que chamamos de “faixas climáticas”, em que cada faixa vertical representa a temperatura média, com cores que se intensificam para o vermelho, à medida que a temperatura aumenta. Observa-se, ao longo do período 1900-2020, o aumento considerável da temperatura. À direita, se observa, os cinco cenários de emissões. Este gráfico mostra claramente um aumento do aquecimento para os próximos 20 anos e, em seguida, futuros muito diferentes. Também permite representar o que isso significa na escala de uma vida: seja a vida de alguém que teria nascido em 2020, seja mostrando a diferença entre o que alguém pode vivenciar e o que vivenciou, em décadas passadas.

Na verdade, o aquecimento global já está presente e constitui uma “ameaça ao bem-estar da humanidade e do planeta”. Todos os humanos já experimentam isso diretamente. As perturbações climáticas estão a acontecer tão rapidamente e numa escala

tal que, de uma geração para outra, as pessoas nascem em regimes climáticos radicalmente diferentes. Os mais velhos, entre nós, vivenciam os verões mais quentes, enquanto os recém-nascidos vivenciam os verões mais frescos.

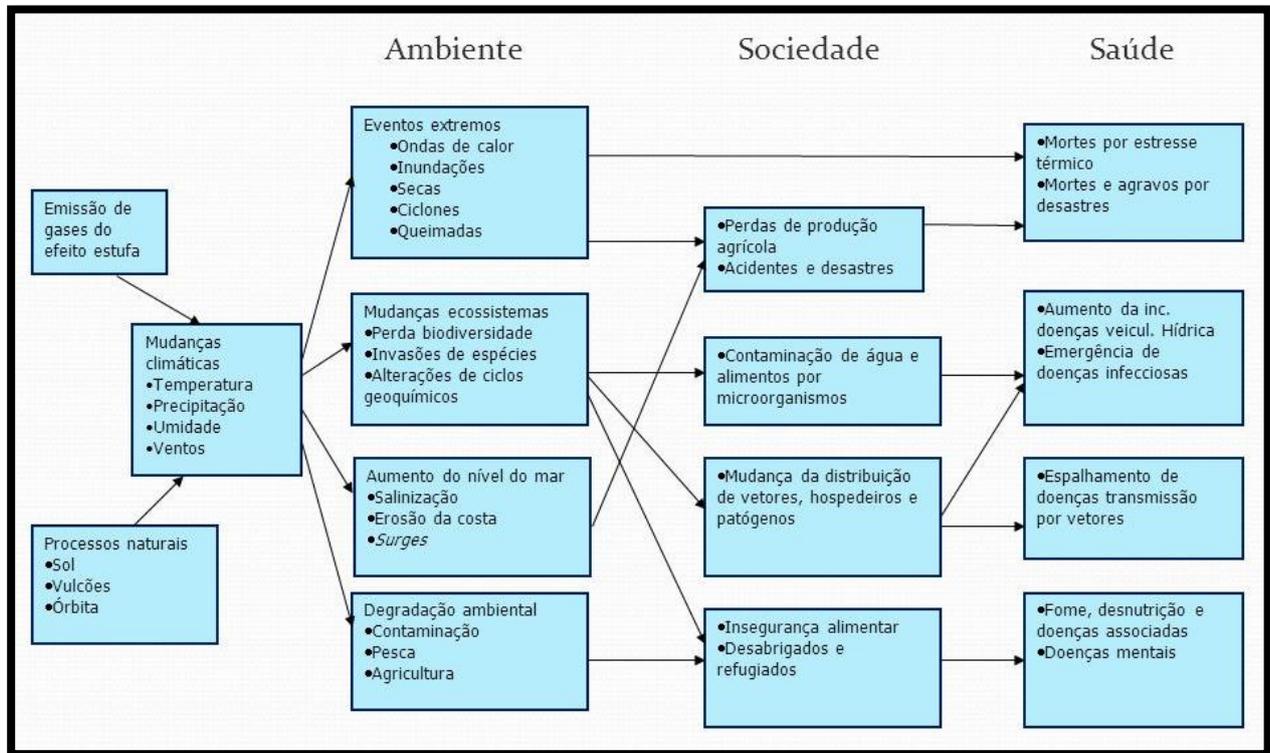


Figura 46 - Resumo esquemático das principais vias pelas quais as alterações climáticas afetam a saúde da população.
(modificado: McMichael, Woodruff & Hales, 2006)

A figura 46, resume as principais vias pelas quais as alterações climáticas podem afetar a saúde da população. As principais manifestações climático-ambientais, das mudanças climáticas, são apresentadas na seção central. As caixas da direita, de cima para baixo, implicam um aumento na complexidade do processo causal e, portanto, na probabilidade dos efeitos sobre a saúde serem adiados ou prolongados. A maioria das consequências previstas para a saúde são adversas, mas algumas poderiam ser benéficas. No caso de invernos mais amenos, reduziriam o pico sazonal normal de mortalidade nessa estação em alguns países temperados, e o aquecimento ou a seca, em regiões já quentes, reduziriam a viabilidade dos mosquitos.

Estas projeções climáticas permitem determinar riscos e impactos futuros. A figura 47, mostra um exemplo de riscos para a saúde que aumentarão no futuro, para diferentes níveis de aquecimento. Na figura 47 observa-se o número de dias por ano em que as condições de temperatura e umidade expõem os indivíduos a um risco fatal. Isto

corresponde a condições em que será muito difícil trabalhar ao ar livre, por exemplo, durante a agricultura, a construção de edifícios ou mesmo a deslocamento ao ar livre.

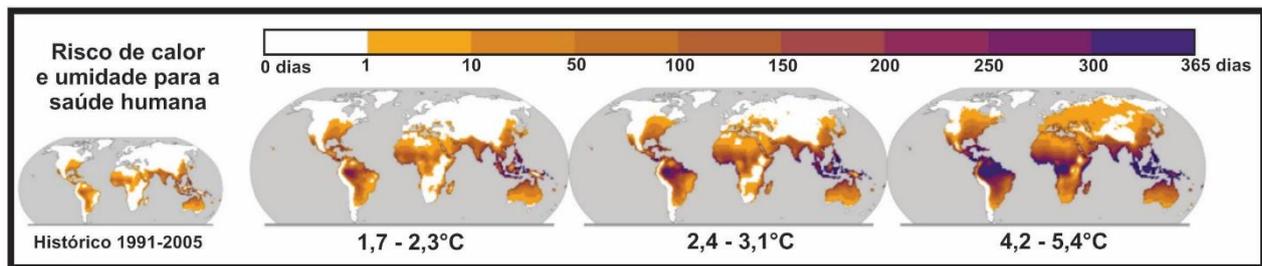


Figura 47 – Evolução do risco de condições – temperatura+umidade – mortais para diferentes graus de aquecimento. (modificado: IPCC, 2023).

Na primeira faixa de níveis de aquecimento apresentada, que é de 1,7-2,3°C, um reforço muito claro do número de dias em que os indivíduos estarão fortemente expostos, em termos de mortalidade, a este calor excessivo. Acima de 2,5°C, se vê condições, no equador, que são muito difíceis de suportar, durante mais de 250 dias por ano. Observa-se portanto, como o agravamento das alterações climáticas pode ter impacto na saúde, e como estas projeções podem permitir antecipar e possivelmente dimensionar a adaptação para os parâmetros, para os quais é possível ter adaptação.

Além de um determinado nível de temperatura, sabe-se que muitas soluções de adaptação atingirão o seu máximo e que não seremos capazes de proteger, completamente, os indivíduos e o ecossistema.

5.5. Os efeitos das mudanças climáticas sobre o ciclo da água

As alterações no ciclo da água são altamente variáveis, tanto de região para região como de estação para estação, e não são causadas apenas pelas alterações climáticas antropogênicas, mas também por alterações na utilização dos solos e na retirada de recursos. Há uma crescente antropização do ciclo da água e as alterações climáticas são apenas uma faceta das perturbações antropogênicas deste ciclo.

5.5.1. Mudanças climáticas observadas

As alterações climáticas podem ser documentadas com base em observações *in situ* (pluviômetros, medições de caudais), mas também, durante várias décadas, com base em observações espaciais. Em particular, desde o início do século XXI, a missão GRACE (Recuperação Gravitacional e Experimentos Climáticos), tem permitido documentar a

evolução de todas as reservas de águas superficiais e subterrâneas que, em determinadas regiões, representam a maior reserva de recursos hídricos.

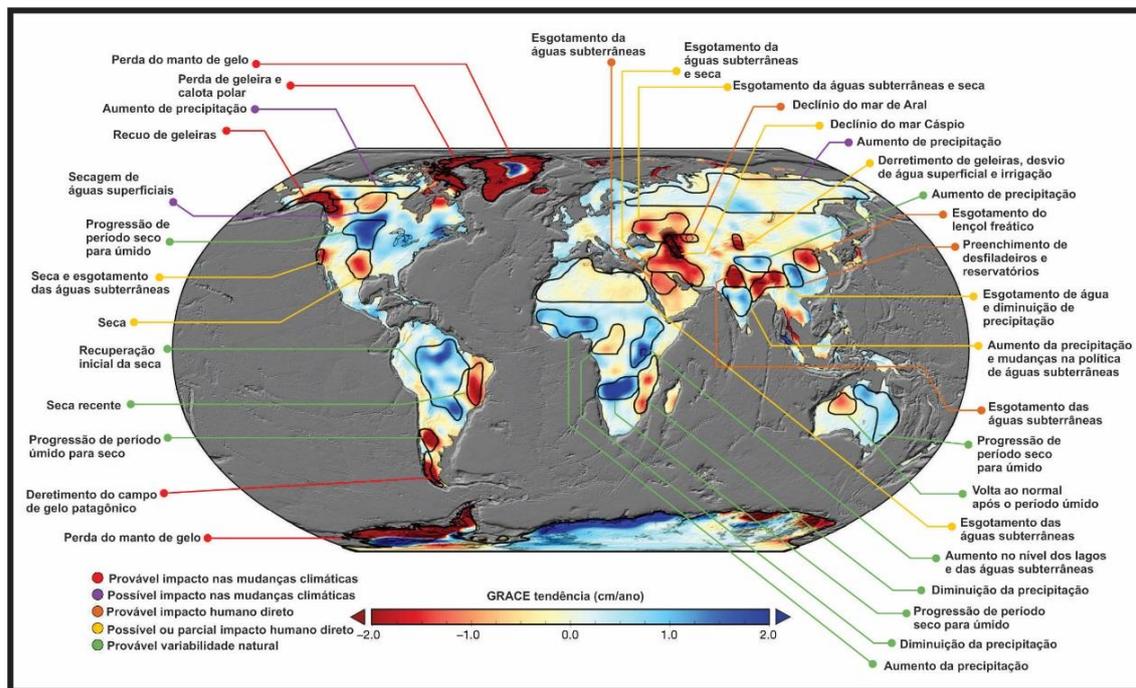


Figura 48 – Variação do estoque de recursos de água no planeta.
(modificado: IPCC 2021b)

Ao se verificar o mapa da evolução do estoque de água (Fig.48), desde 2002, se observa que a resposta é muito heterogênea de uma região para outra, com regiões onde o recurso está a aumentar (em azul) e regiões onde o recurso está a diminuir substancialmente (em vermelho). Este é particularmente o caso, por exemplo, do Mar de Aral, NE do Brasil, Oriente Médio, e outros. Ressalta-se ainda que isso não se deve única ou exclusivamente às mudanças climáticas, mas muitas vezes, ao excesso de colheitas e devido ao intenso cultivo de arroz, em algumas destas regiões.

5.5.2. Atribuição das mudanças observadas

Além da detecção das mudanças observadas, os modelos climáticos permitem ir mais longe na atribuição de causas. Pode-se, de fato, forçá-los pela evolução observada dos GEE e dos aerossóis antropogênicos, e notar nas simulações que, durante o século XX, o efeito dos GEE, no ciclo da água, foi em grande parte mascarado pelo efeito dos aerossóis antropogênicos (Fig.49).

Os aerossóis têm, principalmente, o efeito de resfriar a superfície dos continentes, devido que estes refletem uma parte significativa da radiação solar incidente. Sendo emitido em maiores quantidades no hemisfério norte, devido à localização da maioria dos

países industrializados, vindo, esse fato, a criou um diferencial de aquecimento entre os dois hemisférios, o que levou a uma migração da zona de convergência intertropical, denominados climas de monções, em direção ao hemisfério sul. Além disso, este efeito reflexivo limita o aquecimento da superfície, limita o aumento da evaporação superficial associada aos GEE e, portanto, limita a aridificação, inclusive nas latitudes médias do hemisfério norte (Fig.49).

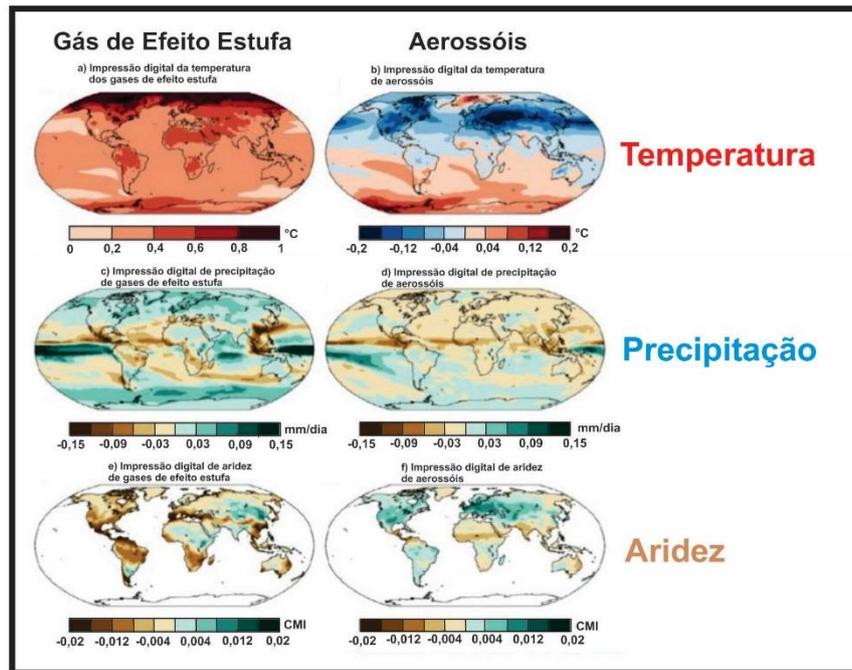


Figura 49 – Variação da temperatura, precipitação e aridez devidos aos gases de efeito estufa ou de aerossóis. (modificado: GIEC,2021)

A partir do final do século XX, os esforços de controle da poluição atmosférica permitiram limitar as emissões antropogênicas de aerossóis, enquanto as emissões de GEE continuaram a aumentar. A partir daí, se compreende facilmente que, atribuir alterações no ciclo da água a efeitos antrópicos, era difícil até o final do século XX e só se tornou realmente importante, a partir do início do século XXI.

Graças à utilização combinada de observações e modelos, estes estudos de atribuição, permitem dizer que o aumento da precipitação, observado nas altas latitudes do hemisfério norte, tem uma origem antropogênica, que o aumento da frequência e da intensidade de mais fortes chuvas em escala diária é também reforçada pelas atividades humanas e, além disso, como pode ser visto na figura 50, que a frequência e a intensidade das secas agrícolas, em certas regiões do globo (representadas por hexágonos), também aumentou na Europa Ocidental ou na orla do Mediterrâneo, em grande parte devido às alterações climáticas de origem antropogênica.

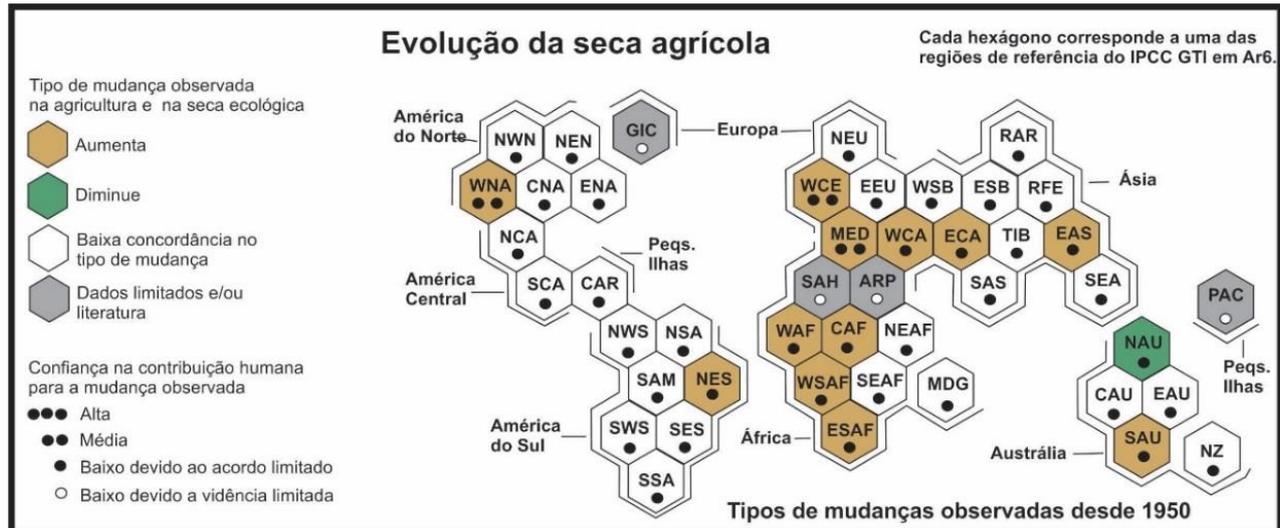


Figura 50 – Avaliação das mudanças observadas nas secas agrícolas e ecológicas e grau de confiança associado à contribuição humana para essas mudanças, por região do mundo (modificado: GIEC,2021)

5.5.3. Projeção

Para descrever e documentar estas projeções, toma-se como base apenas a modelagem numérica e, em particular, em simulações impulsionadas pelos diferentes desenvolvimentos previstos para as concentrações de GEE e aerossóis antropogênicos, de acordo com diferentes cenários socioeconômicos.

Considerando-se, por exemplo, um cenário mediano, que aqui se pode chamar de cenário SSP2-4.5, na nomenclatura do IPCC, se observa mudanças espaciais muito heterogêneas na evolução sazonal da precipitação de uma região para outra, com um aumento das precipitações na maioria das estações, nas altas latitudes. Mas se for considerado uma região específica, como a Europa (Fig.51), observa-se uma maior precipitação, principalmente no inverno e uma pequena precipitação no verão. Por outro lado, no verão, verifica-se uma diminuição acentuada da precipitação no sul da Europa. Observa-se portanto, a nível europeu, um aumento na sazonalidade das chuvas, com mais precipitação na estação chuvosa (inverno) e menos chuva na estação seca (verão).

Ao olhar-se de forma mais geral para a escala planetária, se observa que muitas regiões subtropicais e já semiáridas, tem a sua precipitação diminuída na maioria das estações do ano. Este é o caso não só da região do Mediterrâneo, mas também da Califórnia, da África do Sul, do Chile, do NE Brasil e de parte da Austrália. Infelizmente, todos estes climas semiáridos vão se tornar ainda mais áridos e com um clima mais quente, o que obviamente ocasionará problemas, especialmente para os recursos hídricos ligados à agricultura.

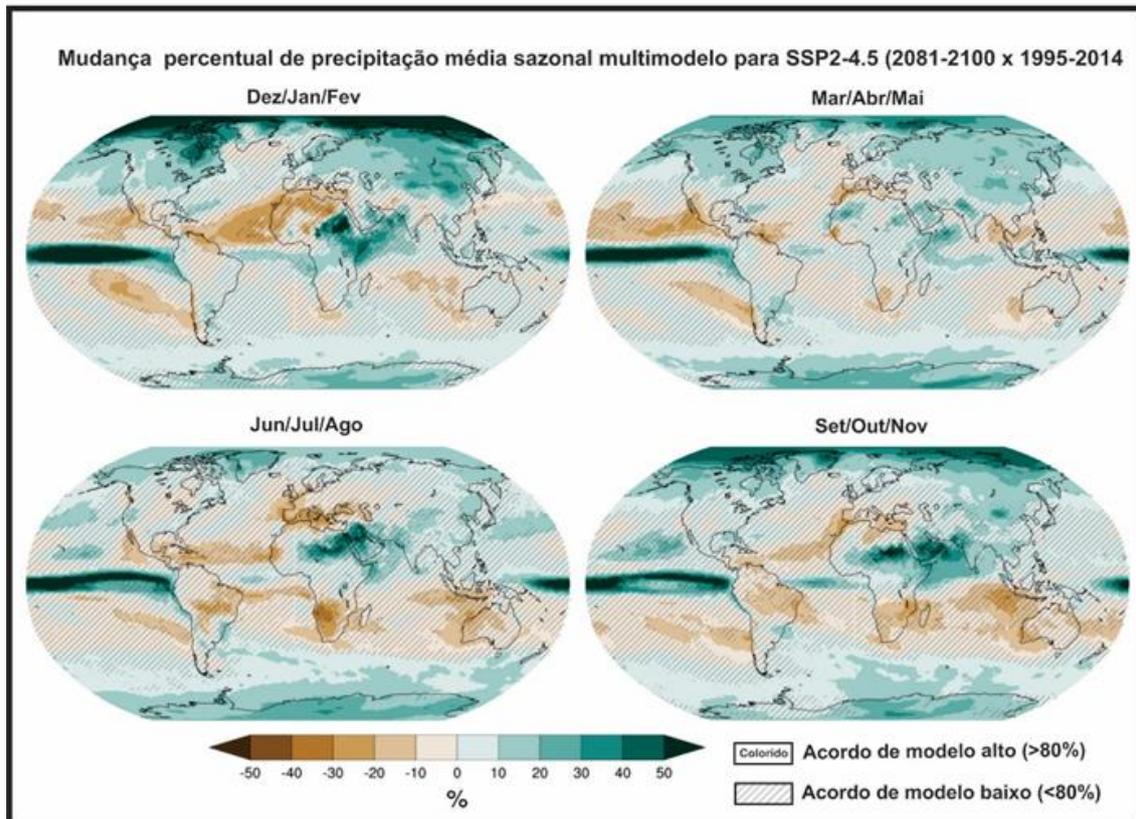


Figura 51 – Modelo de precipitação média sazonal (modificado: IPCC 2021b)

Os modelos também podem fornecer a evolução da precipitação, numa escala diária. Pode-se ver o número de dias sem chuva regionalmente, bem como a intensidade média da precipitação, ou seja, a precipitação anual, não dividida pelo número total de dias, mas pelo número de dias de chuva. Considera-se dia chuvoso aquele em que a precipitação é superior a 1 mm.

Se for considerado um cenário intermédio, se observa que a intensidade média da precipitação aumentará quase uniformemente em todo o globo (Fig. 52). Isto diz respeito tanto a eventos de precipitação moderada, como também a eventos de precipitação extrema, com um risco de aumento de inundações, associados a tais eventos.

Em relação ao número de dias sem chuva (Fig.52), a resposta é mais heterogênea espacialmente, variando de uma região para outra. Vê-se tanto áreas em azul, onde o número de dias chuvosos está aumentando, quanto áreas em vermelho, onde o número de dias secos está aumentando, principalmente na região Amazônica e nas regiões semiáridas do globo terrestre (Sul da África, Austrália), e que já são regiões relativamente vulnerável à falta de água. Observa-se, também, que o número de eventos chuvosos tende a diminuir. Corre-se então o risco de ter uma variabilidade cada vez maior na precipitação anual, que dependerá de um número cada vez mais baixo de eventos.

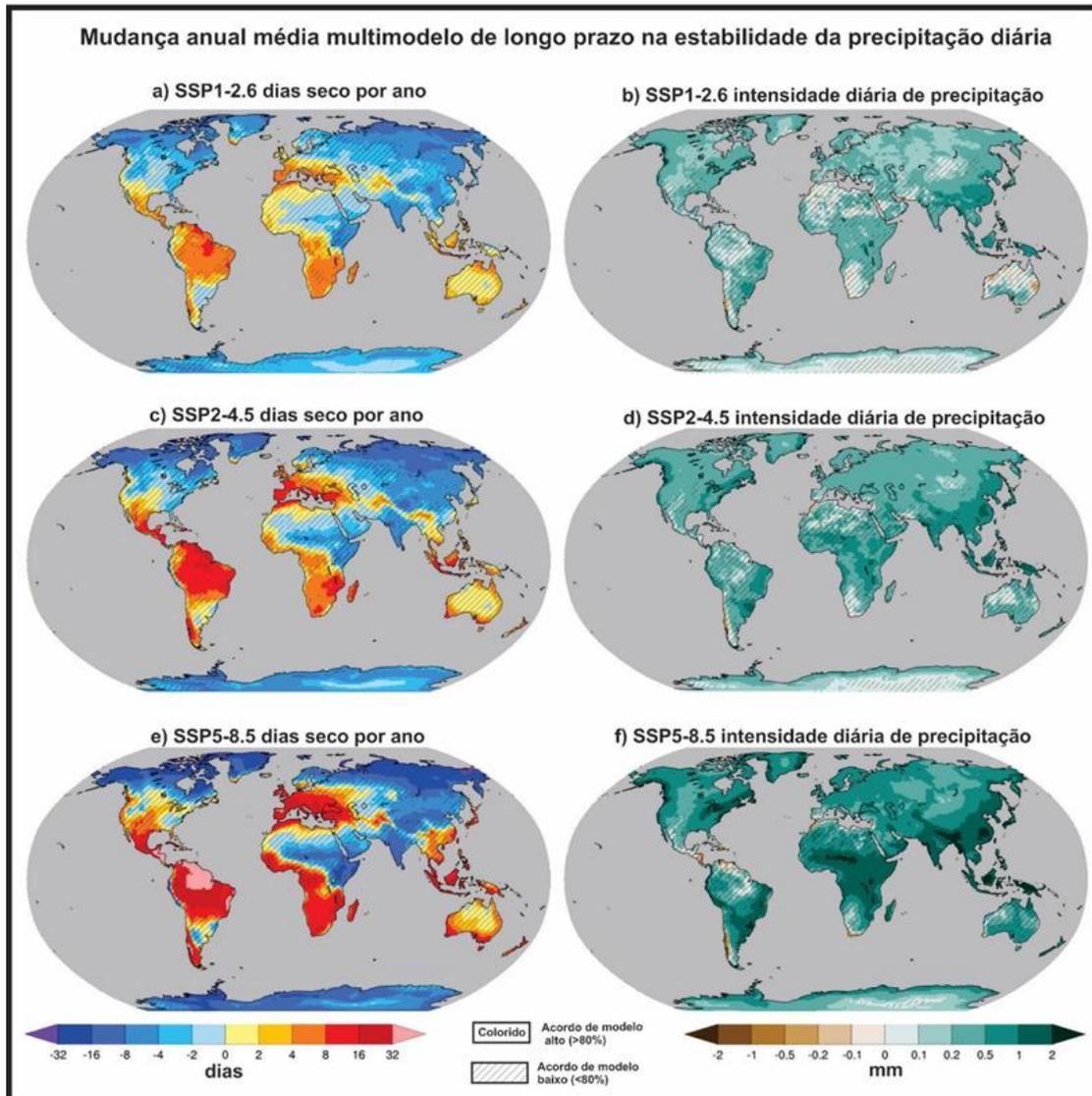


Figura 52 - Variação, em média anual, do número de dias sem chuva e da intensidade diária de precipitação. (modificado: IPCC,2021b)

Este aumento na variabilidade do ciclo da água, de um ano para o outro, é particularmente óbvio quando se observa as regiões tropicais. Na figura 53 se observa a evolução da precipitação média (linha azul), e do escoamento superficial (linha laranja), em função do nível de aquecimento global alcançado nas projeções do século XXI, independentemente do cenário considerado.

Observa-se que o escoamento médio e a precipitação média aumentam dependendo do nível de aquecimento. Vê-se nas linhas pontilhadas que a evolução da variabilidade interanual destas variáveis, precipitação mais escoamento, aumenta muito mais que a evolução das médias.

Tem-se, portanto, recursos hídricos muito mais voláteis em regiões que são altamente dependentes do recurso, especialmente para a sua agricultura.

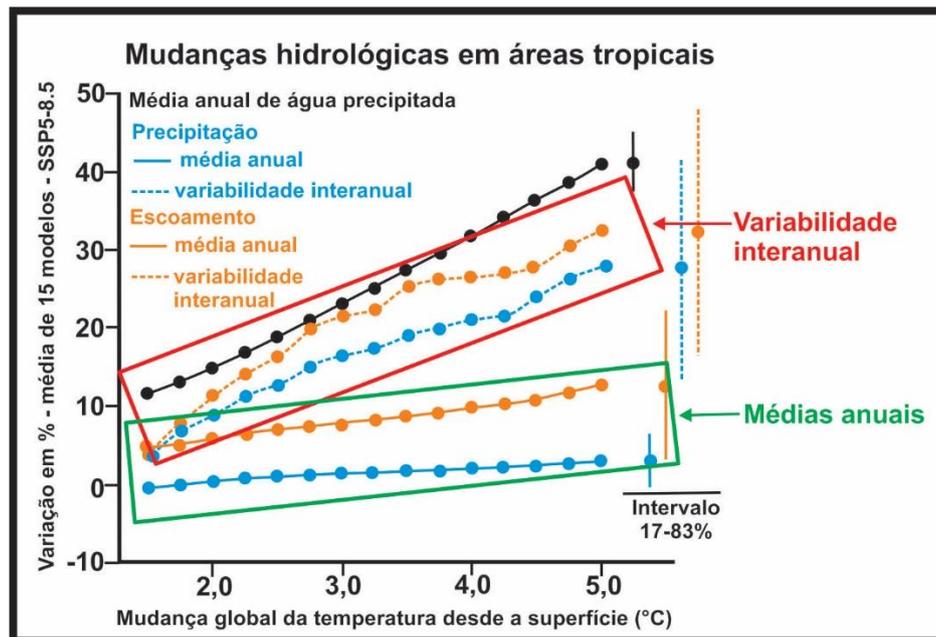


Figura 53 - Mudança nos valores de precipitação de verão e sua variabilidade interanual nos trópicos. (modificado: IPCC,2021b)

A consequência é que as políticas de adaptação devem ser realmente muito cuidadosas, não com base apenas na evolução das médias, mas também na evolução da variabilidade ao longo do tempo e, também, de um modelo para outro.

5.5.4. Incertezas

Na figura 53, se observa que para um nível máximo de aquecimento de 5°C, se tem as barras de erro que mostram, que para além da resposta mediana dada por todos os modelos, certos modelos mostram mudanças ainda mais espetaculares na variabilidade ou aumento no escoamento e precipitação no Trópicos, com riscos de inundações, mas também, devido à crescente variabilidade de secas que poderiam ser aumentadas em comparação com a resposta média, frequentemente comentada nos relatórios do IPCC.

É, portanto, muito importante ter estratégias de adaptação que se baseiem no maior número possível de modelos e não apenas num modelo ilustrativo, em todos os cenários plausíveis em termos de emissões de GEE, e que tenham em conta as variações médias, mas também, a variabilidade temporal dos recursos e do fluxo de água.

5.6. Mudanças climáticas e a biodiversidade

Pode-se afirmar que existem atualmente duas grandes crises ambientais que comprometem seriamente o futuro da humanidade: as alterações climáticas e a perda do mundo vivo ou a crise da biodiversidade.

5.6.1. Contexto histórico

Duas convenções, uma ligada à biodiversidade e outra às alterações climáticas, foram criadas, em conjunto, no Rio em 1992. O IPCC, já existia há cinco anos. A Convenção do Clima pôde, portanto, se beneficiar do trabalho do IPCC e dos seus relatórios científicos sobre o estado do conhecimento do clima, desde o seu lançamento. Por outro lado, a Convenção sobre a Biodiversidade (CSB), teve que esperar cerca de vinte anos para que uma plataforma semelhante, a IPBES (Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos), visse a luz do dia, em 2012.

O IPBES tem sido muito ativo nos últimos dez anos e estabeleceu uma sólida base de conhecimento para apoiar a tomada de decisões, com cerca de mais de dez relatórios produzidos. Em 2019 foi publicado o relatório emblemático do IPBES: a primeira avaliação global da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.

O fato destas duas convenções terem sido separadas, fez com que estas duas crises ambientais também fossem abordadas separadamente. Isto é problemático, entretanto a comunidade científica trabalhou em conjunto nestes dois temas. Não há divisão entre alterações climáticas e biodiversidade. O IPCC e o IPBES até iniciaram uma colaboração em 2021, com a produção de um relatório de *workshop* que estuda as ligações entre a biodiversidade e as alterações climáticas e que leva à recomendação de que haja mais convergência entre o trabalho das duas convenções sobre clima e biodiversidade. Três observações foram feitas:

a) Primeira observação

O primeiro ponto, que é sem dúvida o mais conhecido, é que as alterações climáticas já têm um impacto muito bem documentado na biodiversidade. As alterações climáticas tornar-se-ão a principal causa da perda de biodiversidade neste século. Estas alterações climáticas podem afetar a biodiversidade de muitas maneiras, tais como: a temperatura, eventos extremos, alterações nos padrões de precipitação, alterações na frequência e intensidade dos incêndios. Estes efeitos das alterações climáticas estão documentados em todos os ecossistemas, tanto nas plantas como nos animais.

As espécies podem migrar, de um local para o outro, é o caso conhecido da lagarta processionária urticante (*Thaumetopoea pityocampa* D.&L.) que avança em direção ao norte, na França, com bastante rapidez, causando, entre outras coisas, problemas de saúde pública. Este é também o caso das espécies marinhas que também avançam em direção aos polos para tentarem escapar das condições climáticas extremas. Quando as

espécies não têm capacidade de migrar, ocorrem as extinções que podem ser locais ou mesmo globais. Observa-se isso, por exemplo, com o colapso que vem ocorrendo com os recifes de corais, que é muito conhecido e descrito.

b) Segunda observação

Existem soluções que podem ajudar a resolver tanto o problema das alterações climáticas como a crise da biodiversidade. São soluções baseadas na natureza.

Sabe-se que os ecossistemas naturais absorvem, atualmente, cerca de um terço das emissões anuais de GEE. Tudo o que permitir proteger, restaurar, utilizar as florestas e os ecossistemas naturais de uma forma mais sustentável, não só nos permite proteger a floresta, mas também, através da redução do desmatamento, reduzir as emissões de GEE e, portanto, mitigar o aquecimento.

Além disso, o aspecto relativo à agricultura e aos sistemas alimentares, também é importante no contexto das soluções baseadas na natureza, uma vez que a produção alimentar contribui para cerca de um terço das emissões anuais de GEE.

Tudo o que permita avançar melhor no sentido de uma transformação fundamental da agricultura para a agroecologia, com a utilização de menos fertilizantes e também menos pesticidas, ajudará a proteger a biodiversidade, mas também permitirá aumentar a capacidade destes ecossistemas agrícolas no armazenamento de carbono, tanto no solo como na vegetação e, portanto, para mitigar as alterações climáticas e depois reduzir as emissões de GEE, em particular, através da redução da utilização de fertilizantes. A agricultura é a principal causa da perda de biodiversidade. A sua transformação está realmente no centro desta conversa sobre soluções para as alterações climáticas e para a perda de biodiversidade.

c) Terceira observação

Algumas medidas de mitigação e adaptação às alterações climáticas, discutidas em particular no contexto da Convenção sobre as Alterações Climáticas (CSAC), podem ter efeitos negativos na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos.

Por exemplo, pode-se pensar na implantação, em larga escala, de culturas para biocombustíveis, como o milho, a soja ou mesmo a cana-de-açúcar, para evitar a utilização de combustíveis fósseis. No entanto, atualmente se observa a uma destruição de espaços naturais e, também, a uma substituição de culturas alimentares por culturas para a

produção de biocombustíveis e, portanto, a uma ameaça significativa aos ecossistemas naturais e à segurança alimentar.

Outro exemplo é o da plantação de árvores em grande escala, de que todos já ouviram falar em muitos anúncios de companhias aéreas, tais como: “Enquanto voamos, a companhia aérea está plantando árvores”.

A ideia de compensar os efeitos das alterações climáticas é muito importante. Porém, esse plantio deve ser feito sem a destruição dos espaços naturais. Deve ser feito respeitando os princípios da agroecologia, utilizando espécies locais para não se ter problemas de poluição ou problemas com espécies invasoras, como se pode observar em muitos locais. E, obviamente, não se deve deslocar as populações indígenas de seus territórios, como muitas vezes é feito.

A perda de biodiversidade e as alterações climáticas estão ligadas e se reforçam mutuamente. Estas só podem ser resolvidas se forem abordadas em conjunto. Existem soluções que precisam ser incentivadas ainda mais, para que se consiga alcançar este objetivo. Estas são soluções baseadas na natureza e que deverão ser mais ponderadas, especialmente no contexto do trabalho da CSAC.

5.6.2. Mudanças climáticas e atividade de incêndios

5.6.2.1. Elementos favoráveis aos incêndios florestais

A ocorrência de incêndios florestais, dependem de vários fatores. Para que um incêndio se espalhe, é necessário combustível. O combustível que desempenha o papel mais importante é constituído pelos elementos mais finos da vegetação, como agulhas, folhas ou pequenos galhos. Esses elementos finos queimam facilmente à medida que o fogo passa e contribuem para a propagação da frente da chama. A continuidade horizontal da vegetação rasteira e a continuidade vertical, entre a vegetação rasteira e as árvores, favorecem esta propagação.

A velocidade de propagação depende, obviamente, do nível de secura do combustível. Se a vegetação estiver muito úmida, não pegará fogo. Quanto mais seca estiver, mais fácil será a ignição e mais rapidamente o fogo se alastrará. Um fogo mais rápido, também é mais poderoso, tem chamas mais altas e libera mais energia, sendo, portanto, mais difícil de controlar pelas forças combatentes. Este nível de secura do combustível depende das condições climáticas anteriores ao incêndio.

Entre estes fatores, se tem a seca meteorológica, ou seja, um déficit de precipitação prolongado por várias semanas, que irá reduzir gradualmente a quantidade de água presente nas plantas, à medida que os solos secam e as plantas transpiram. Também se pode contar com o déficit de vapor d'água no ar, no dia em que o incêndio inicia. Na verdade, o ar seco pode secar a vegetação morta, como a relva seca ou os tapetes de agulhas de coníferas, em apenas algumas horas. Esta secura da vegetação morta, desempenhará um papel fundamental em termos de focos de incêndio, mas também na sua propagação. O outro fator meteorológico, muito importante, é o vento. Este aumentará a velocidade de propagação do fogo por convecção, ou seja, transportará os gases quentes, produzidos pelo fogo, em direção à vegetação que ainda não foi queimada. O vento também aumenta a velocidade de propagação por causa da radiação das chamas. Quanto mais forte o vento, mais se inclinam em direção a vegetação não queimada, o que favorece a sua inflamação.



Figura 54 – Imagem de Nova York encoberta de fumaça proveniente dos incêndios ocorridos no Canadá em junho de 2023.

(fonte: <https://ichef.bbci.co.uk/news/640/cpsprodpb/cb06/live/a6d9a4e0-05cd-11ee-aa08-4727df20b680.jpg>)

As cenas de colunas gigantescas de fumaça cobrindo os céus de Nova York em 2023, surpreenderam o mundo pelas imagens fortes e pela situação fora do comum (Fig.54). A razão para o caos que tomou conta desta e várias outras cidades dos Estados Unidos, como Chicago, Detroit e Boston, teve origem externa, os terríveis e incontroláveis incêndios florestais no Canadá (Fig.55). Recentes pesquisas científicas apontam que, devido às mudanças climáticas, fenômenos como esses não só serão mais frequentes

como de maior intensidade, gerando uma onda de consequências catastróficas em diversas partes do mundo.



Figura 55 - Incêndio em floresta em Quebec, Canadá - 12/06/2023.
(fonte: Cpl Marc-Andre Leclerc/Canadian Forces/Handout via REUTERS)

A fumaça que causou tamanho transtorno aos EUA, acabou chegando à Europa, mostrando que todas as ações de proteção ambiental deixaram de ser medidas voltadas ao benefício de um ou mais países, para se transformar em uma questão totalmente globalizada.

Esses impactos incluem mudanças nos padrões climáticos predominantes, durante a temporada de incêndios, resultando em períodos de chuvas reduzidas, umidade relativa do ar baixa, temperaturas extremas do ar e um aumento em ventos fortes.

O aquecimento aumentou a frequência e a magnitude das condições meteorológicas extremas, que impulsionam a ocorrência e propagação de incêndios florestais, atingindo vegetação que, normalmente, não queimaria em combustão, por exemplo, florestas tropicais, permafrost e pântanos de turfa.

As consequências dos incêndios no Canadá foram visivelmente pesadas para os Estados Unidos. Para a Europa, os efeitos não foram tão impactantes visualmente, mas igualmente perigosos. Ao atravessar o oceano Atlântico, rumo ao continente europeu, a coluna de fumaça se dispersou, mas os elementos nocivos à saúde não foram bloqueados. A intensidade e os efeitos da fumaça ainda podem ser significativos. É importante considerar que a fumaça contém partículas finas e poluentes nocivos, que podem afetar a qualidade do ar e a saúde humana e dos animais, mesmo em menor intensidade.

Entre os elementos contidos na fumaça e que podem resultar em danos à saúde, estão compostos químicos tóxicos como monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, entre outros e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. Esses poluentes atmosféricos podem ter efeitos adversos na saúde humana e animal, causando danos aos pulmões, irritação dos olhos e do sistema respiratório, além de contribuir para o aquecimento global e a poluição do ar. É fundamental evitar a exposição a esses elementos nocivos durante um incêndio florestal, tanto para si, quanto para os animais.

O Brasil registra inúmeros incêndios florestais ao longo dos anos, inclusive de grande porte, especialmente em reservas e parques naturais de cobertura vegetal. A ocorrência de incêndios no Brasil está intimamente ligada as atividades humanas e econômicas. Esses eventos são mais comuns nas estações mais secas do ano no país, especialmente no final do inverno, quando a vegetação mais seca de biomas, como o Cerrado, favorece a ocorrência de incêndios.

O país registra anualmente um grande volume de incêndios em áreas rurais e urbanas, que são tradicionalmente gerados pela ação do homem, como por meio da limpeza de terrenos e da queima de resíduos. Verifica-se ainda um grande volume de incêndios atrelados a atividades primárias. A estratégia de realização de queimadas é muito utilizada para o desmate de vegetação para, posteriormente, formar áreas de pastos e plantações.

5.6.2.2. Impactos das alterações climáticas na atividade dos incêndios: método

As alterações climáticas induzirão gradualmente alterações na meteorologia observada diariamente. Estas mudanças de temperatura, secura da vegetação e secura do ar, terão efeitos sobre os incêndios e estes efeitos tenderão a aumentar no futuro. Para antecipar estes efeitos, os cientistas se baseiam em trabalhos de simulação do impacto das alterações climáticas, em três fases:

Em primeiro lugar, se trata de simular a meteorologia do futuro. Os modelos climáticos permitem gerar projeções de dados meteorológicos, ilustrando como poderão ser as observações diárias de precipitação, temperatura ou vento em 2050 ou 2100, em diferentes pontos do território. Estas projeções dependem, fortemente, dos esforços de redução de emissões implementados pela humanidade, à escala global. Estes são os famosos cenários RCP analisados em particular pelos especialistas do IPCC.

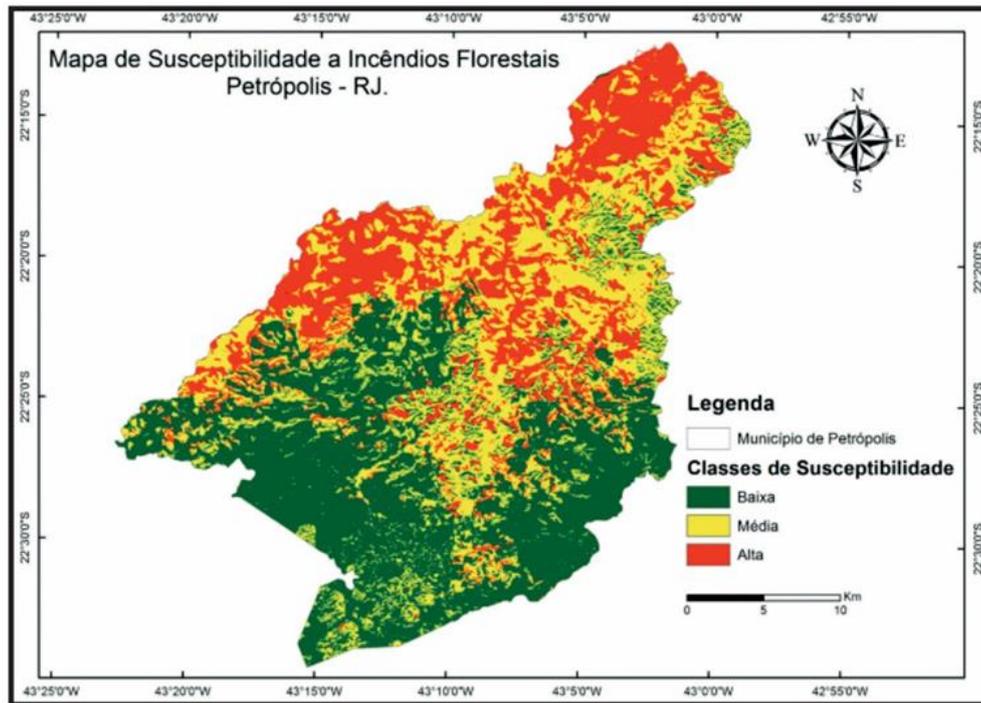


Figura 56 - Mapa de susceptibilidade a incêndios florestais do município de Petrópolis-RJ.
(modificado: Camargo et al.,2019)

Em seguida, deve-se traduzir estes dados meteorológicos futuros, em perigo de incêndio florestal ou atividade potencial de incêndio. Para isso, se utiliza índices climáticos, como o índice meteorológico florestal, o qual permite quantificar o impacto da meteorologia em nível de perigo. Pode-se, também, utilizar modelos probabilísticos que permitam estabelecer uma ligação entre, por um lado, as características dos incêndios que são observados, o número destes, a sua dimensão, e por outro lado todos os fatores acima mencionados, especificamente, meteorologia, combustível e atividades humanas. Esses modelos probabilísticos são ajustados às observações passadas, podendo-se então usar as simulações do modelo para apresentar as probabilidades de ocorrência de incêndio em forma de mapa (Fig.56).

A última etapa do trabalho consiste em projetar as atividades de incêndio no futuro, aplicando estes modelos probabilísticos, não às condições meteorológicas atuais, mas às previstas no futuro de acordo com os diferentes cenários. A combinação destas três etapas permite avaliar o impacto das alterações climáticas nas atividades de incêndio, comparando a situação atual com as projeções para o futuro.

5.6.2.3. Impactos das alterações climáticas na atividade dos incêndios: projeções

Ao se olhar para os grandes incêndios, com abrangência de mais de 100 ha, em regiões do mundo (Fig.57), se observa que o número de incêndios por ano, poderá

aumentar, em média, de 7 por ano, durante o período atual, para quase 20 por ano, durante o século, se as emissões continuarem a aumentar ao ritmo atual. Se nos colocarmos num cenário menos pessimista (Fig.57) (em azul), o aumento é mais moderado, mas ainda assim muito significativo, com uma duplicação dos grandes incêndios. Esta última projeção, pressupõe que se conseguiu estabilizar as emissões globais à um nível baixo.

Estes níveis de atividade podem ser analisados, em relação aos graus de aquecimento do planeta, como um todo. São os famosos mais 2, mais 3 e mais 4 graus de aquecimento global citados nos acordos internacionais. No caso da trajetória pessimista, ultrapassaremos os +4°C de aquecimento global até o final do século, enquanto o aquecimento ficaria entre +2°C ou +3°C graus, de acordo com a trajetória mais otimista.

Este tipo de resultado ilustra a importância do desafio de uma redução maciça das emissões de GEE, a nível global, para limitar o aquecimento. Na verdade, cada grau adicional de aquecimento terá um impacto muito concreto na população mundial.

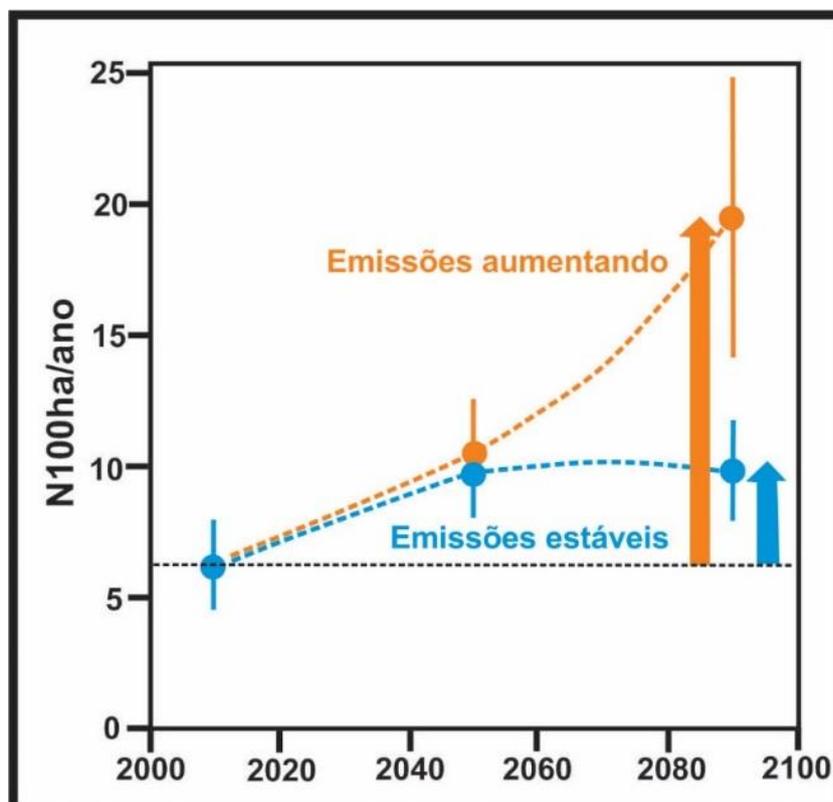


Figura 57 – Projeção do número de incêndios em áreas com mais de 100 ha por ano.
(modificado: Pimont et al.,2022)

Estes desenvolvimentos colocarão problemas de diversas naturezas às populações, mas sobretudo aos serviços responsáveis pela prevenção e controlo. Eles terão que atuar em áreas maiores, é o que se chama de ampliação da zona de risco.

Os serviços de prevenção e controle serão confrontados com mais eventos simultâneos, o que os levará a dispersar os seus recursos. Estima-se que as alterações climáticas ocasionarão um aumento do número de vezes que ocorrerão mais incêndios em áreas com mais de 1 ha, num único dia.

Outro fator é a incerteza associada aos modelos climáticos, que nem todos prevêm exatamente a mesma trajetória. Outra limitação diz respeito à extrapolação, para o futuro, das atividades de incêndio observadas no passado. Este tipo de extrapolação também aumenta as incertezas.

Mas apesar destas limitações, este trabalho permite quantificar a extensão das mudanças que serão esperadas. Recordam, também, a urgência de limitar as emissões de GEE, para alcançar a neutralidade o mais rapidamente possível. Por fim, salienta-se que estes resultados são atualmente utilizados pelos serviços do Estado, para adaptar as nossas políticas públicas.

5.6.3. Sensibilidade das calotas polares às alterações climáticas

5.6.3.1. Formação das calotas polares

As calotas polares se formam a partir de um clima frio, suficiente para que a precipitação da neve não derreta completamente de um ano para o outro, e se acumule gradualmente.

Esta neve irá se densificar sob o peso de camadas sucessivas, se transformando em gelo, o qual fluirá sob o efeito da gravidade. As geleiras vão se formando, coalescendo aos poucos, até cobrirem a maior parte do continente com uma camada de gelo de cerca de 3 km. Sob o peso desse gelo, a crosta terrestre afunda, o que é chamado de isostasia ou subsidência (Fig.58).

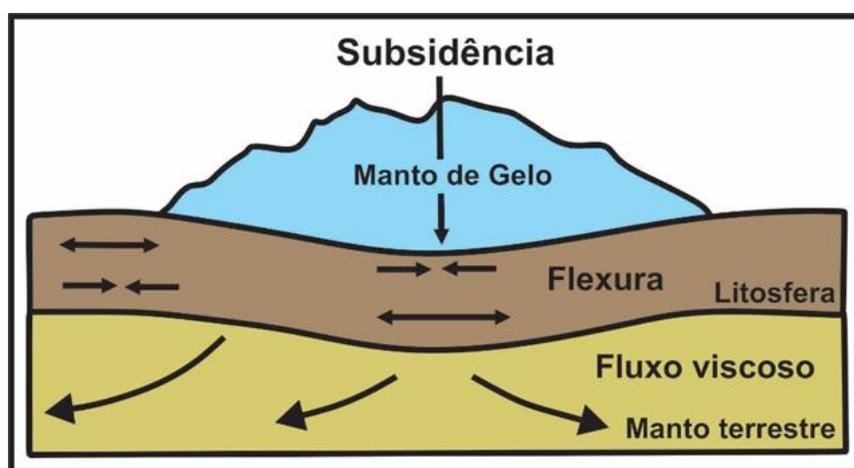


Figura 58 - Ilustração esquemática da resposta da litosfera à mudança de carga de um manto de gelo.

5.6.3.2. Evolução das calotas polares ao longo do tempo

O gelo, formado nas altas latitudes, provém da água extraída dos oceanos, o que ocasiona a redução do nível médio dos mares. Hoje, restam apenas duas calotas polares na Terra: a Groenlândia, que armazena 7 m do equivalente ao nível do mar, e a Antártica, que armazena um pouco mais de 60 m. Estas são as maiores reservas de água doce do planeta. Mas há 20 mil anos, o planeta, estava numa período glacial. A cobertura de gelo da Groenlândia e da Antártica eram maiores, mas acima de tudo, uma enorme calota de gelo cobria o atual Canadá, a calota Laurenciana, e outra estava localizada na Escandinávia, a calota Fennoscandinava. Como resultado, o nível do mar se encontrava então, a quase 130 m abaixo do nível atual.

5.6.3.3. A perda de massa das calotas polares

A partir da precipitação de neve, as calotas polares ganham massa e aumentam de dimensões, mas obviamente elas não crescem indefinidamente, ocorrem processos de perda de massa (Fig.59).

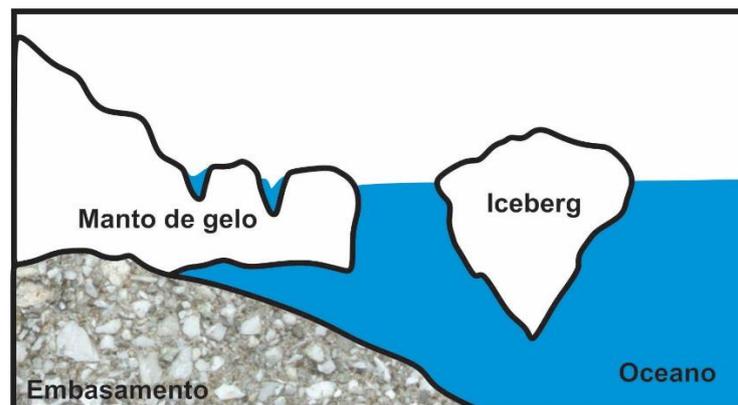


Figura 59 – Processo de perda de massa das calotas polares.

Se, na extremidade do continente, a temperatura for suficientemente elevada no verão, a superfície derreterá e, a água oriunda desse derretimento, escorrerá, se infiltrando na base rochosa e atingindo o oceano. Eventualmente, o gelo pode chegar ao oceano, e as chamadas geleiras de saída, que liberam o gelo da camada dos mantos de gelo, podem começar a flutuar e se deslocar em direção ao oceano aberto, ao longo dos fiordes. Na parte frontal das geleiras, o gelo se fraturará e formará icebergs, o que é chamado de desintegração.

5.6.3.4. Calotas polares e nível do mar

Ao se diferenciar entre os processos que ganham massa e aqueles que perdem massa, se faz o que se chama de balanço de massa. Se o balanço de massa for zero, os

termos de perda são iguais aos termos de acumulação, o limite está em equilíbrio, o seu volume não muda e não afeta o nível do mar. Se as calotas polares estiveram perto do equilíbrio nos últimos séculos, a partir do final do século XX, estas tem perdido cada vez mais massa e, portanto, contribuindo para a elevação do nível do mar em cerca de 1,4 mm por ano.

As calotas polares não são as únicas que contribuem para a elevação do nível do mar, os glaciares das montanhas, nos Alpes, no Alasca, nos Himalaias, nos Andes, têm contribuído com 0,6 mm por ano. À medida que os oceanos aquecem, aumentam de volume, o que se chama expansão térmica, e isto ocasiona o aumento do nível do mar em 1,4 mm por ano. Finalmente, o armazenamento no continente, em lagos, rios e barragens, contribuem com 0,6 mm por ano.

No total, o nível do mar está atualmente a aumentar 4 mm, ano após ano, mais do dobro do ritmo registado no século XX.

5.6.3.5. O caso da Groenlândia

A descrição dos processos de perda, feitas anteriormente, é característico da Groenlândia, onde o derretimento, na periferia do manto de gelo, é muito significativo. Acima de tudo, a extensão do derretimento e a sua amplitude, aumentaram muito nos últimos 30 anos, dominando a perda de massa da Groenlândia. Além disso, as extensões flutuantes de muitos glaciares foram gradualmente desmanteladas, os quais aceleraram e estão a libertar mais gelo, em direção ao oceano, do que há algumas décadas. Hoje, a Groenlândia contribui com 0,9 mm para o aumento do nível do mar a cada ano (Fig.60).

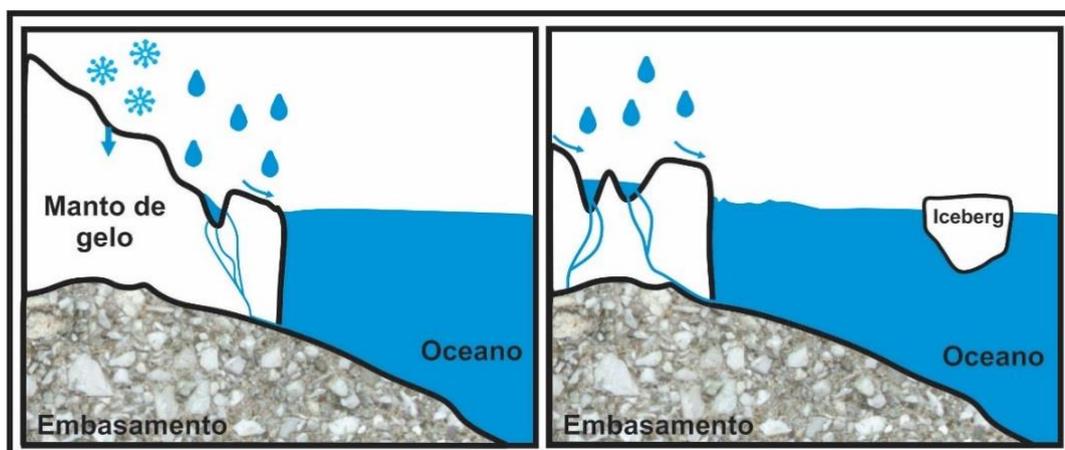


Figura 60 – Processo de perda de massa na Groenlândia.

É importante notar que se a perda de massa for significativa, a superfície perde altitude, fica mais quente e o derretimento é ainda maior. Isso é chamado de *feedback* positivo e há um ponto de inflexão. A certa altura, a superfície da calota é demasiada baixa para que a neve, que caia na superfície, dure durante todo o ano, não há mais qualquer período de acumulação e a calota fica então irremediavelmente perdida. Para a Groenlândia, se estima que este ponto de inflexão se situe entre 1,5 e 2 graus positivos de aquecimento médio em comparação com o período pré-industrial. Em outras palavras, se o clima continuar a aquecer e um clima mais quente persistir, se poderá perder gradualmente a camada de gelo da Groenlândia. É um processo relativamente lento, que leva vários séculos a vários milênios, e quanto mais elevada for a temperatura média, mais rápido será o derretimento da calota de gelo da Groenlândia.

5.6.3.6. O caso da Antártica

A região Antártica é significativamente mais fria, o derretimento do manto de gelo superficial é insignificante, de modo que as lentes flutuantes de gelo se estendem amplamente sobre o oceano, preenchendo baías e formando plataformas flutuantes de gelo. Estas plataformas de gelo têm um papel essencial, devido que as mesmas, limitam o fluxo dos glaciares a montante, através de um efeito de contraforte. Isto ficou claramente ilustrado quando, em 2002, a plataforma *Larsen B* foi desmantelada (Fig.61). Os glaciares que terminavam nesta plataforma viram a sua velocidade aumentar, para alguns até oito vezes, libertando ainda mais gelo em direção ao oceano. A intrusão de água quente nas cavidades sob as plataformas e a formação de lagos supra glaciais, devido ao derretimento da superfície, enfraquecem essas plataformas e aceleram as geleiras a montante.

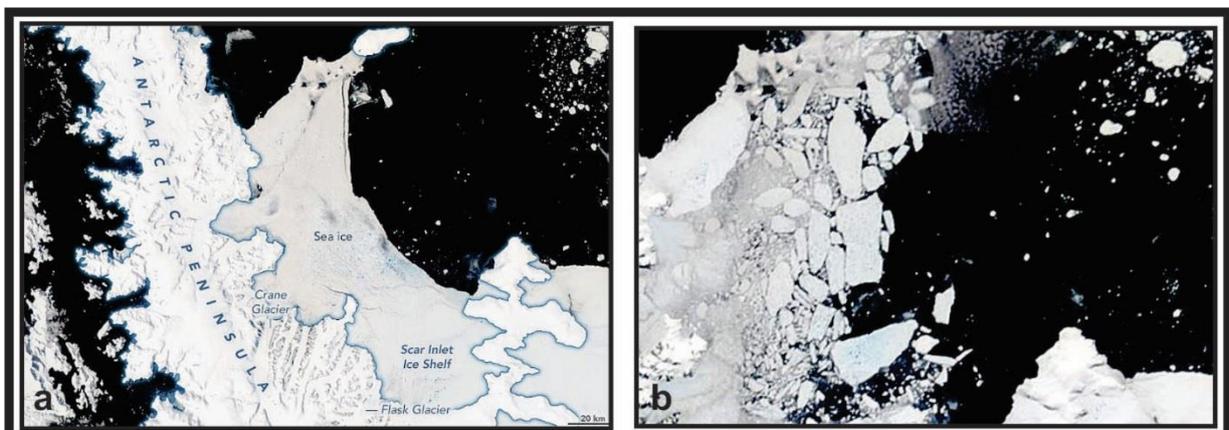


Figura 61 - a) Península Antártica e baía da plataforma Larsen B, antes do colapso em 16 de janeiro de 2002. b) Baía da plataforma Larsen B estilhaçada no dia 26 de janeiro de 2002. (Crédito: NASA).

Isto é tipicamente o que acontece no setor do Mar de Amundsen, na Antártica, onde os glaciares de *Pine Island* e *Thwaites* vêm perdendo massa há cerca de trinta anos e hoje são os responsáveis, em grande parte, pelo balanço de massa negativo da Antártica, que atualmente contribui com 0,5 mm por ano para a subida do nível do mar.

Mas a Antártica tem outra particularidade, a Antártica Ocidental, onde o embasamento rochoso fica abaixo do nível do mar e se aprofunda cada vez mais em direção ao interior do continente (Fig.62). A linha de aterramento, o limite entre a parte de repouso do manto de gelo e as plataformas de gelo flutuantes, está próxima desta encosta que é descrita como retrógrada para as geleiras *Pine Island* e *Thwaites*.

Neste caso, dependendo da capacidade das plataformas em reter ou não o fluxo a montante, se suspeita que estas geleiras possam ser dinamicamente instáveis. Em outras palavras, se a linha de aterramento se envolver nesta inclinação retrógrada, ela não poderá mais se estabilizar e se retirará irrevogavelmente (Fig.62).

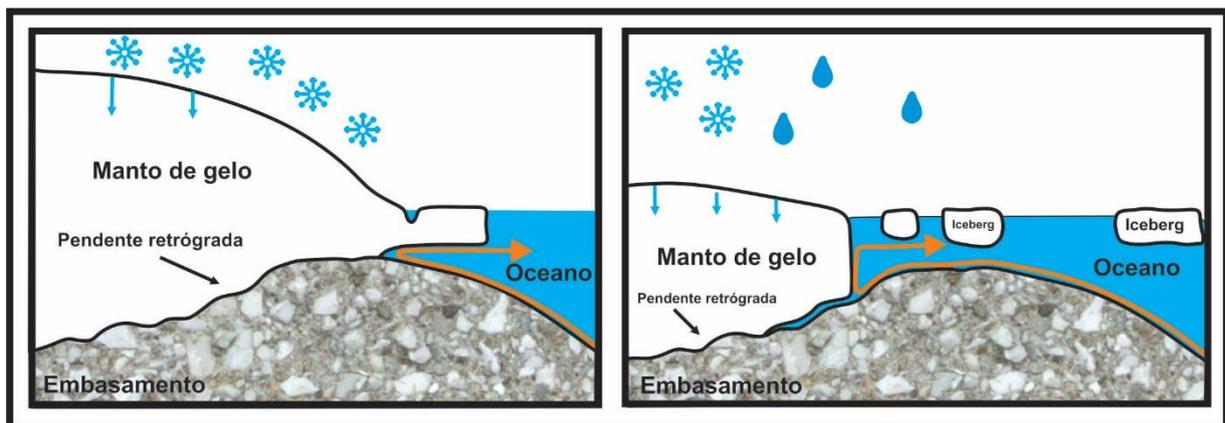


Figura 62 – Sistema de perda de massa na Antártica.

Fala-se então de instabilidade das calotas marítimas (Fig.62), onde novamente temos um ponto de inflexão. Também aqui se estima cerca de mais 1,5 a 2°C de aquecimento médio em comparação com o período pré-industrial, mas devido a processos diferentes do ocorrido na Groenlândia. Saber exatamente em que condições ocorreu este ponto de inflexão e, qual será a taxa de recuo dos glaciares quando instáveis, permanecem questões em aberto e um tema interessante para investigação.

5.6.3.7. Elevação do nível do mar

O nível do mar aumentará durante o próximo século e durante os séculos vindouros, mesmo que a trajetória seja ambientalmente virtuosa. A questão já não é se veremos o nível do mar subir 2 m, mas quando, dentro de aproximadamente um século ou dentro de

dois milênios? Quanto mais quente o clima, mais rápido será esse aumento e maior será a sua amplitude. Não pode ser excluído um aumento de mais de 10 m até 2300.

Tais alturas só podem ser alcançadas com as projeções mais pessimistas, nas quais a Groenlândia e a Antártica serão lançadas, muito cedo e muito rapidamente, nas instabilidades já mencionadas. Então, regiões inteiras das calotas polares desaparecerão. Não se pode excluir hoje, que a Antártica contribuirá com quase 1 m, para a subida do nível do mar até 2100, se a Antártica Ocidental e o setor do mar de Amundsen se tornarem instáveis muito em breve, e os glaciares de *Thwaites* e *Pine Island*, responderem muito rapidamente. Não se consegue associar uma probabilidade a esta possibilidade, provavelmente é baixa, é um cenário de pior caso, denominado “Enredo de Alto Impacto e Baixa Probabilidade”.

Em qualquer caso, é uma ilustração muito clara e preocupante, talvez até um convite, para se implementar tudo o que for possível para reduzir significativa e rapidamente o impacto causado no clima e na adaptação às mudanças que não deixarão de ocorrer.



A espera por dias melhores!

(fonte: <https://uploads.metropoles.com/wp-content/uploads/2020/07/21133216/urso-polar-1-600x400.jpg>)

VI. O OCEANO E O CLIMA

6.1. Características gerais do oceano

O oceano cobre dois terços do planeta Terra. Este forma uma fina película de água que apresenta uma propriedade física particular muito importante. Possui uma enorme capacidade térmica, mil vezes maior que a da atmosfera, portanto é capaz de absorver grandes quantidades de calor. A presença de água na atmosfera também se deve ao oceano. A água do oceano, ao se evaporar, ocasiona a troca dessa água do estado líquido para o estado gasoso, e com essa troca de água ocorre também uma troca de calor, que se dá através da troca de calor latente de evaporação. A água também tem um enorme poder de dissolução. Dissolve os sais no oceano, mas também gases, como o CO₂ e o oxigênio, que tem um impacto significativo na vida marinha (Fig.63).

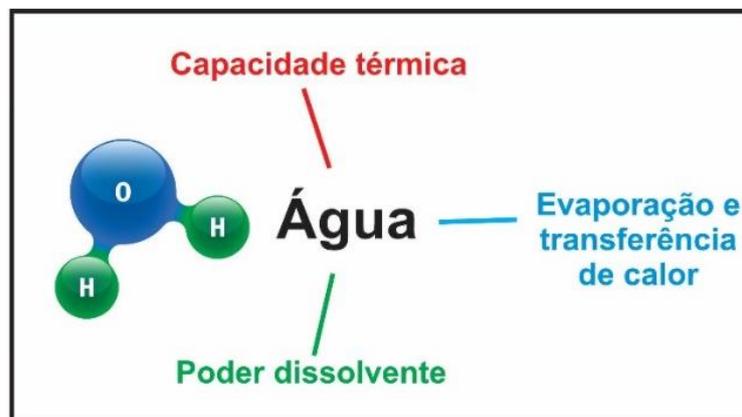


Figura 63 – Propriedades físicas da água

6.2. Oceano e clima

As características do sistema climático dependem, em muitos aspectos, da presença do oceano no planeta. Quando se fala do sistema climático e das suas alterações, se pensa no aumento dos GEE e no aumento da temperatura na atmosfera. As alterações climáticas são causadas por um aumento dos GEE na atmosfera, induzidos pelas atividades humanas, e o aumento destes gases faz com que o sistema climático retenha uma quantidade maior de energia dentro do sistema, o que aumenta a temperatura da atmosfera e, portanto, induz o aquecimento global. Mas será a temperatura atmosférica a responsável da história deste aquecimento global?

Se estamos a falar de alterações climáticas, temos que levar em consideração a quantidade de energia e as alterações no sistema climático e, se forem medidas, se pode fazer isso a partir de observações de diferentes subsistemas climáticos durante várias

décadas, podendo-se ver para onde foi esta energia. Se observarmos os gráficos que mostram os resultados destas observações (Fig.64), vê-se que a atmosfera absorveu uma parte muito pequena dessa energia, 1%. Para derreter o gelo, unicamente 4% dessa energia é absorvida. Sobre os continentes, 6% dessa energia é dissipada e, praticamente todo o resto da energia, 89%, vai para o oceano. Quando se pensa na mudança de energia, no aquecimento, é principalmente o oceano que está a aquecer. Quais são as consequências deste aumento do calor no oceano?

A Terra tem estado em desequilíbrio radiativo, com menos energia saindo do topo da atmosfera do que entrando, pelo menos desde os anos 1970, e essa ganhou energia substancial nas últimas 4 décadas (Hansen,2005; Rhein *et al.*,2013). Devido às características dos componentes do sistema Terra, o oceano, com sua grande massa e alta capacidade térmica, domina o inventário de calor da Terra (Cheng *et al.*,2016, 2017; Rhein *et al.*,2013; von Schuckmann *et al.*, 2016) . O resto vai para o derretimento do gelo ancorado e flutuante, além de aquecer a terra e a atmosfera.

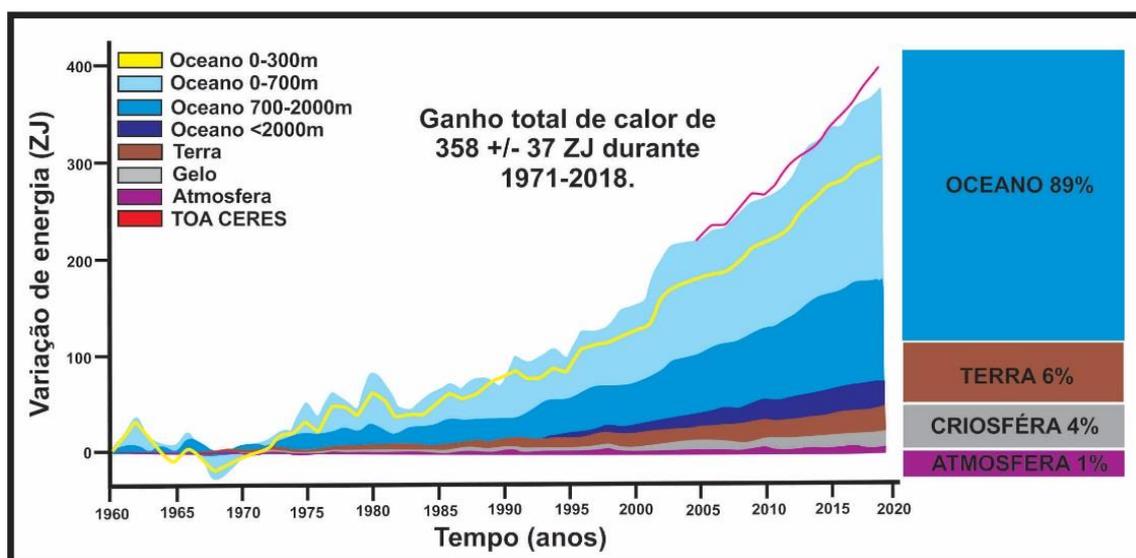


Figura 64 – Distribuição da energia adicional no sistema climático. ($1ZJ=10^{21}J$)
(modificado: von Shuckmann *et al.*,2020)

De acordo com estudos anteriores, o inventário de calor da Terra, baseado nas estimativas mais recentes do ganho de calor no oceano, na atmosfera, na terra e na criosfera, mostra um ganho de calor consistente a longo prazo, desde a década de 1960 (Fig.64). Os resultados mostram um ganho de calor total de 358 ± 37 ZJ durante o período 1971–2018, o que equivale a uma taxa de aquecimento de $0,47\pm 0,1$ W/m², e aplicado continuamente sobre a área da superfície da Terra ($5,10\times 10^{14}m^2$). Para efeito de comparação, o ganho de calor obtido pelo IPCC AR5 é de 274 ± 78 ZJ e $0,4$ W/m² durante

o período 1971–2010 (Rhein *et al.*, 2013). Por outro lado, os resultados mostram que desde que a estimativa AR5 do IPCC foi realizada, a acumulação de calor continuou a um ritmo comparável. O principal ator, no inventário da Terra, é o oceano, particularmente as camadas oceânicas superiores (0–700 m) e intermediárias (700–2000 m).

Embora o fluxo líquido no Topo da Atmosfera (TOA), derivado do sensoriamento remoto, seja ancorado por uma estimativa do Conteúdo de Calor do Oceano (OHC) global (Loeb *et al.*, 2012) e, portanto, não forneça um resultado completamente independente para o Desequilíbrio Energético da Terra (EEI) total, comparando-se, adicionalmente, o fluxo líquido no TOA com o inventário de calor da Terra (Fig.64). Ambas as taxas de mudança se comparam bem e obtém-se $0,7 \pm 0,1 \text{ W/m}^2$ para a estimativa de sensoriamento remoto no TOA e $0,8 \pm 0,1 \text{ W/m}^2$ para o inventário de calor da Terra durante o período 2005–2018.

6.2.1. Aumento desuniforme do nível do mar

Em primeiro lugar, ao se considerar a subida do nível do mar, percebe-se que pelas medições espaciais que ocorrem a mais de 25 anos, essas variações do nível do mar não ocorrem de forma uniforme em todo o globo terrestre. A aceleração dessa mudança pode ser vista na figura 65, onde se pode observar as regiões em vermelho, onde o nível do mar está a subir mais rapidamente do que nas regiões de coloração amarela. Isto é consequência da circulação oceânica que concentra esse aumento em determinadas regiões. As áreas de coloração azul indicam um descenso do nível do mar.

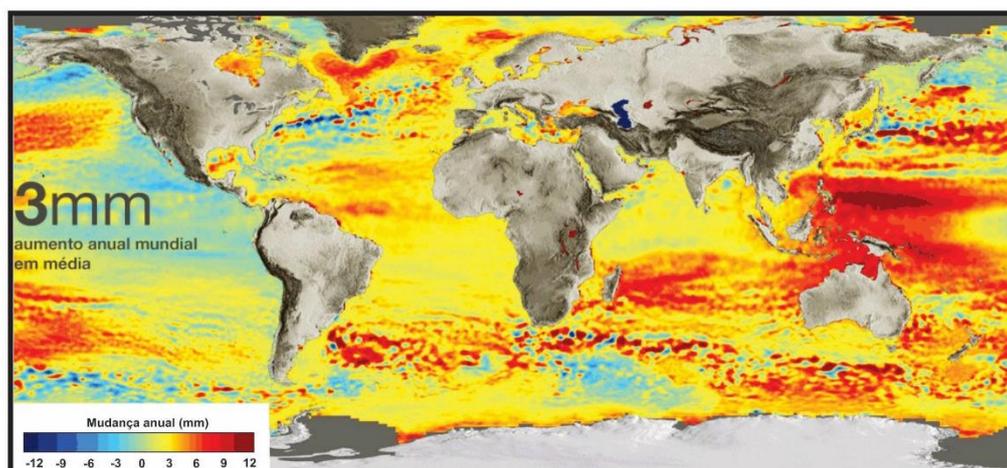


Figura 65 – Imagem de satélite mostrando o aumento médio do nível do mar para o período de 1993-2010
(fonte: https://www.ecodebate.com.br/wp-content/uploads/2012/09/120925111904_novo_mapa_976x549_esa_nocredit.jpg)

Uma reavaliação de imagens obtidas por satélites, nos últimos 18 anos, forneceu uma nova visão e mais detalhada das mudanças no nível do mar em todo o mundo. Um

novo estudo, que se valeu de informações levantadas a partir de imagens registradas por diferentes sondas espaciais, constatou que o nível do mar, no planeta, estão subindo em uma média de 3 mm/ano. Entretanto, essa reavaliação, oculta algumas grandes diferenças regionais, tanto para cima quanto para baixo.

O mar das Filipinas, por exemplo, sofreu um aumento médio que ultrapassa 10 mm/ano. Em parte, isso reflete grandes oscilações nos ventos e na temperatura do oceano Pacífico.

O estudo integra a Iniciativa de Mudanças Climáticas (CCI), aprovada pelo Agência Espacial Europeia (ESA) durante sua reunião ministerial de 2008.

O mapa de tendências é uma forma de olhar para as mudanças que ocorreram nos últimos 20 anos. Os lugares em que se observa tendências de elevação, provavelmente não terão novas tendências de alta nos próximos 20 anos. Muitas destas variações, por décadas, tendem a se tornar mais estáveis, se analisadas por períodos mais longos. É por este motivo que se necessita de mais missões para compreender o porquê de tais variações.

A pesquisa deverá ajudar os cientistas a compreender a escala de diferentes fatores no aumento do nível do mar a longo prazo e as mudanças anuais e interanuais que podem ocorrer.

Atualmente, se acredita que os principais causadores do aumento do nível do mar sejam a absorção de mais calor pelo oceano e as águas geradas pelo derretimento de geleiras e de camadas de gelo.

Mas quando se pensa na subida do nível do mar, se pensa no derretimento do gelo continental. O volume de água que estava armazenado no gelo foi para o mar, o mar aumenta de volume e portanto o nível do mar sobe, o que explica 50% desse aumento observado. No entanto, o oceano está a aquecer e a água, quando aquece, se expande, por isso 30% da alteração do nível do mar se deve a esta expansão térmica do oceano.

6.2.2. Intensificação do ciclo hidrológico

O aquecimento do oceano também tem consequências no chamado ciclo hidrológico, ou seja, o ciclo que segue a partícula de água que evapora do oceano e vai para a atmosfera, corre pelos continentes e finalmente vai para os rios e retorna ao mar.

Um oceano mais quente aquece a atmosfera, e uma atmosfera mais quente pode conter mais partículas de vapor d'água. A evaporação aumenta e o ciclo hidrológico

aumenta, desta maneira aumenta também, as trocas de calor entre o oceano e a atmosfera.

Este aumento de partículas de vapor de água e energia na atmosfera tem consequências, porque aumenta os chamados eventos extremos. As alterações climáticas são uma mudança no calor, mas também uma mudança nos eventos extremos. O que se presencia em vida são certamente ondas de calor, inundações, vendavais muito fortes, mas no oceano, também temos eventos extremos, portanto ondas de calor.

6.2.3. Ondas de calor marinhas

Estas são áreas do oceano que aquecem de forma anormal durante algumas semanas ou até alguns meses, e isto com cerca de dois, três ou quatro graus a mais (Fig.66).

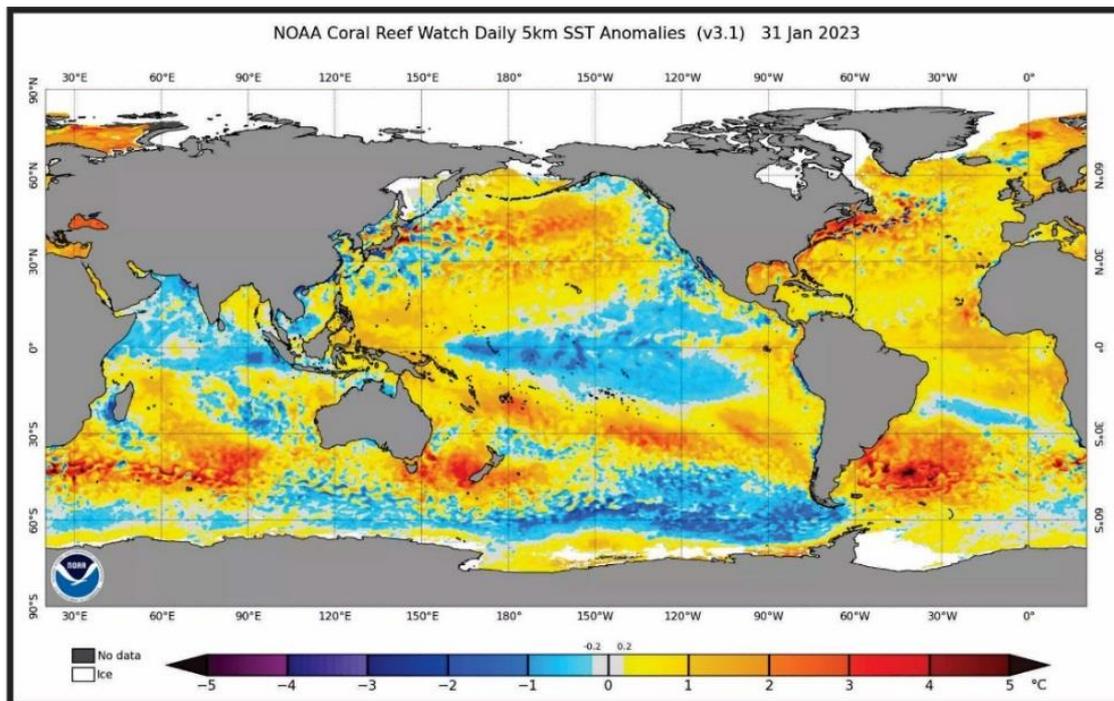


Figura 66 - Mapa de anomalias da temperatura da água oceânica para 31/01/2023.
(fonte: <https://metsul.com/como-uma-onda-de-calor-marinha-pode-ter-agravado-o-desastre-em-sao-paulo/>).

Observa-se que esse fenômeno se tornou cada vez mais comum nos últimos dez anos ou mais. O aquecimento anormal do oceano tem consequências na vida marinha, por exemplo, os corais não conseguem suportar mudanças significativas de temperatura e, portanto, morrem, ocasionando o fenômeno do branqueamento dos corais tropicais (Fig.67).

No futuro, devido ao aquecimento global, a temperatura do oceano vai aumentar, assim como esses eventos extremos, em particular, tanto em intensidade, como em duração, e isso, independentemente da projeção que se fizer para o futuro. Assim, os eventos extremos, em termos de ondas de calor, estão a se tornar cada vez mais frequentes e cada vez mais intensos.

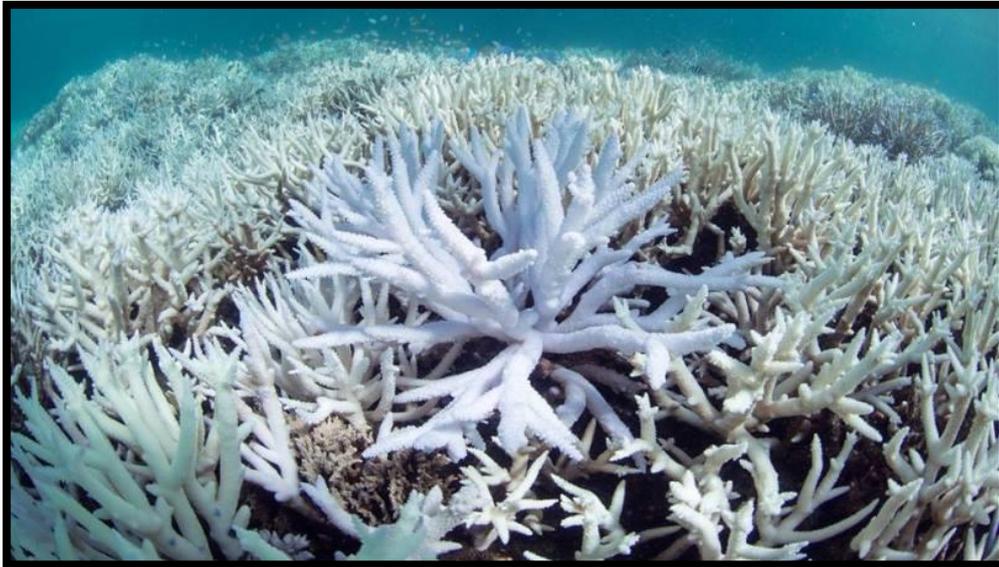


Figura 67 – Branqueamento de corais da Grande Barreira de Corais da Austrália.
(fonte: <https://conexaoplaneta.com.br/wp-content/uploads/2017/03/fenomeno-branqueamento-corais-pior-historia-conexao-planeta.jpg>)

Foi justamente esta onda de calor marinha a responsável por muitos dias de mar quente e com águas claras no litoral do sul do Brasil, no verão de 2023, o que contribuiu também para um elevado número de ocorrências envolvendo banhistas e águas-vivas (medusas) (Fig.68).



Figura 68 – Águas mais quentes e mais claras na região de Torres-RS, no verão de 2023.
(fonte: <https://metsul.com/wp-content/uploads/2023/01/agua5-1280x640.jpg>)

Nas últimas semanas do verão de 2023, as temperaturas superficiais do oceano Atlântico Sul estiveram sistematicamente mais quentes do que a média. Os desvios em algumas áreas oceânicas, mais distantes da plataforma continental, chegaram a alcançar anomalias positivas tão altas quanto 4°C ou 5°C (Fig.69).

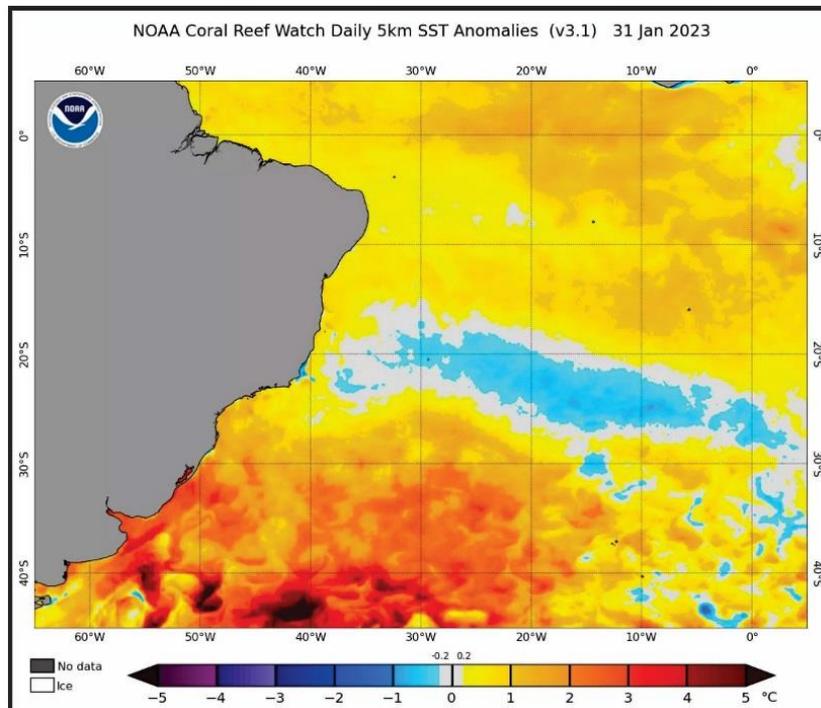


Figura 69 – Mapa de anomalias da temperatura das águas oceânicas do costa brasileira em 31/01/2023.
(fonte: <https://metsul.com/como-uma-onda-de-calor-marinha-pode-ter-agravado-o-desastre-em-sao-paulo/>).

Em nenhum lugar do planeta as águas dos oceanos estavam com temperatura tão acima dos padrões históricos, numa extensa região como o Atlântico Sul, especialmente em locais entre as latitudes de 30°S (Rio Grande do Sul) e de 60°S (extremo Sul da Argentina)(Sias,2023).

Estudos têm mostrado que a ocorrência de chuvas extremas e a magnitude dessas precipitações, que podem levar a desastres naturais, são sensíveis a grandes anomalias de temperatura da superfície do mar, em áreas adjacentes a áreas altamente populosas, próximas da costa. Neste caso, quando há uma anomalia negativa local, a área de forte precipitação tende a se deslocar para longe do continente, reduzindo a precipitação sobre as áreas povoadas. O contrário ocorre quando as águas estão mais quentes junto ao litoral. Dois exemplos notórios de lugares em que a temperatura do mar na costa traz extremos de chuva são: na América do Sul, é o Peru, o qual talvez seja o país mais exposto pelo aquecimento e o resfriamento das águas do oceano Pacífico Equatorial (El Niño e La Niña), devido a que os fenômenos se dão exatamente no seu litoral. Com El Niño, os peruanos

enfrentam excesso de chuva e extremos, ao passo que com La Niña amargam secas. Outro país que sofre muito, com a anomalia de temperatura do mar, é a Austrália. Quando as águas se aquecem na costa Oeste da América do Sul, tendem a esfriar na costa da Austrália, o que traz secas e incêndios florestais. Quando ocorre La Niña, no oceano Pacífico Centro-Leste, águas mais quentes atuam perto da Austrália e o efeito é o oposto, com muita chuva. Com La Niña no terceiro ano, a Austrália enfrentou, em 2022, chuvas, em algumas áreas, como não se via em, pelo menos, um século e meio, desde o começo das medições. Em um ano marcado por enchentes, pelo menos 10 locais registraram, ao menos um dia, mais de 500 mm de chuvas, em 24 horas (Sias,2023).

O litoral de São Paulo (Brasil), foi assolado por um episódio de chuva extraordinário entre a tarde e a noite do dia 18/02/2023 (Fig.70). Os volumes observados foram os mais altos no Brasil, desde que se iniciaram as medições meteorológicas, há mais de um século. Conforme os dados dos pluviômetros digitais do Centro Nacional de Previsão de Monitoramento de Desastres (CEMADEN), em 24 horas, choveu 682,76 mm em Bertioga, 627,5 mm em São Sebastião, 395,6 mm no Guarujá, 337,27 mm em Ilhabela, 335,05 mm em Ubatuba, 234 mm em Caraguatatuba, 232 mm em Santos, 209 mm em Praia Grande e 194 mm em São Vicente. A precipitação em alguns pontos, entre Bertioga e São Sebastião, somou até 400 mm ou mais, em menos de seis horas. É muito provável que as condições oceânicas possam ter contribuído para a magnitude fora do normal do evento de chuva. Com ou sem oceano aquecido, a região igualmente seria castigada por chuva extrema que foi de natureza orográfica (associada ao relevo) com fluxo de umidade do mar para o continente por um centro de baixa pressão e uma frente fria.



Figura 70 – Chuvas extremas na baixada Santista em 18/02/2023.
(fonte: <https://img.r7.com/images/santos-alagada-03032020103743069?dimensions=460x305>)

A temperatura da superfície do mar, mais alta do que o normal, pode ter ocasionado um agravamento do evento, fazendo com que chovesse ainda mais. Na véspera do evento extremo, dados de satélites mostravam a temperatura da superfície do mar 1°C a 2°C acima da média, na costa paulista, com algumas áreas perto de 3°C. O mar mais quente impacta o fluxo de calor latente e implica em maior presença de umidade na atmosfera. O episódio de chuva extraordinária foi consequência de uma frente fria e de um centro de baixa pressão, transportando umidade do oceano Atlântico para o relevo da Serra do Mar. A maior disponibilidade de umidade no ar oriunda do oceano aquecido, significa mais vapor de água na atmosfera para se converter em chuva, ao interagir com as elevações da região da costa (Sias,2023).

6.2.4. Inundações costeiras

Outro exemplo de evento extremo é a ocorrência de inundações costeiras. Isto é consequência de dois fatores: o primeiro é a subida do nível do mar e o segundo é a intensificação dos fenômenos meteorológicos. Eventos meteorológicos mais intensos e mais frequentes e níveis do mar mais elevados, significam que estas inundações aumentarão em intensidade e especialmente em frequência. Na figura 71, se pode observar as projeções futuras, para a metade do século XXI, por volta de 2050, e no final deste mesmo século, dessas cheias. Vê-se que a sua frequência já está a aumentar muito significativamente em meados deste século.

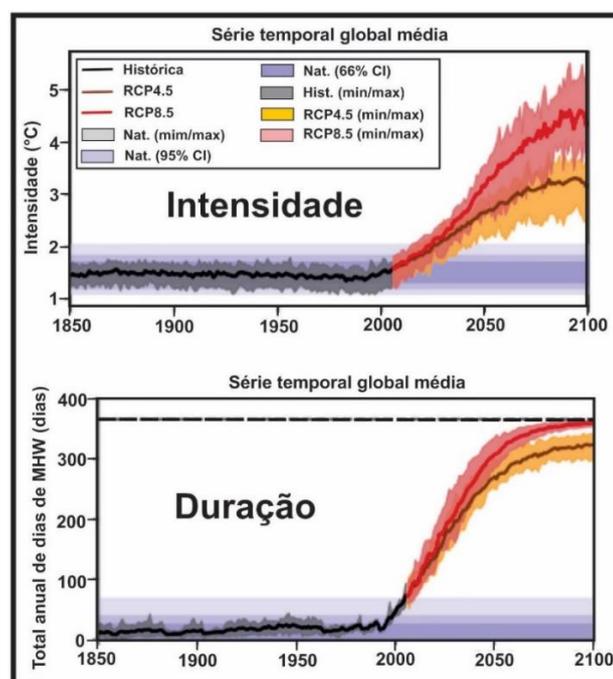


Figura 71 – Gráficos de intensidade e duração de inundações costeiras para o período 2000-2100. (modificado: Oliver et al., 2019)

As inundações costeiras, em todo o mundo, devem aumentar em cerca de 50% por conta da crise climática nos próximos 80 anos, colocando sob risco milhões de pessoas e trilhões de dólares em infraestrutura costeira (Fig.72). Os dados são de uma pesquisa conduzida por cientistas da Universidade de Melbourne (Austrália) e da Universidade de East Anglia (Reino Unido).

O estudo estima que a área exposta a eventos extremos de inundação, em todo o mundo, aumentará em cerca de 250 mil km², um aumento de 48%. Cerca de 77 milhões de pessoas correm o risco de sofrer com inundações nas próximas décadas. Em termos econômico, o prejuízo potencial que a intensificação das inundações costeiras causaria, seria de US\$ 14,2 trilhões, o que representa 20% do PIB global.

Embora o nível médio do mar aumente de forma relativamente lenta, descobriu-se que riscos de inundações, como marés altas, tempestades e grandes ondas, se tornarão muito mais frequentes e intensos, alertam pesquisador da Universidade de Melbourne.

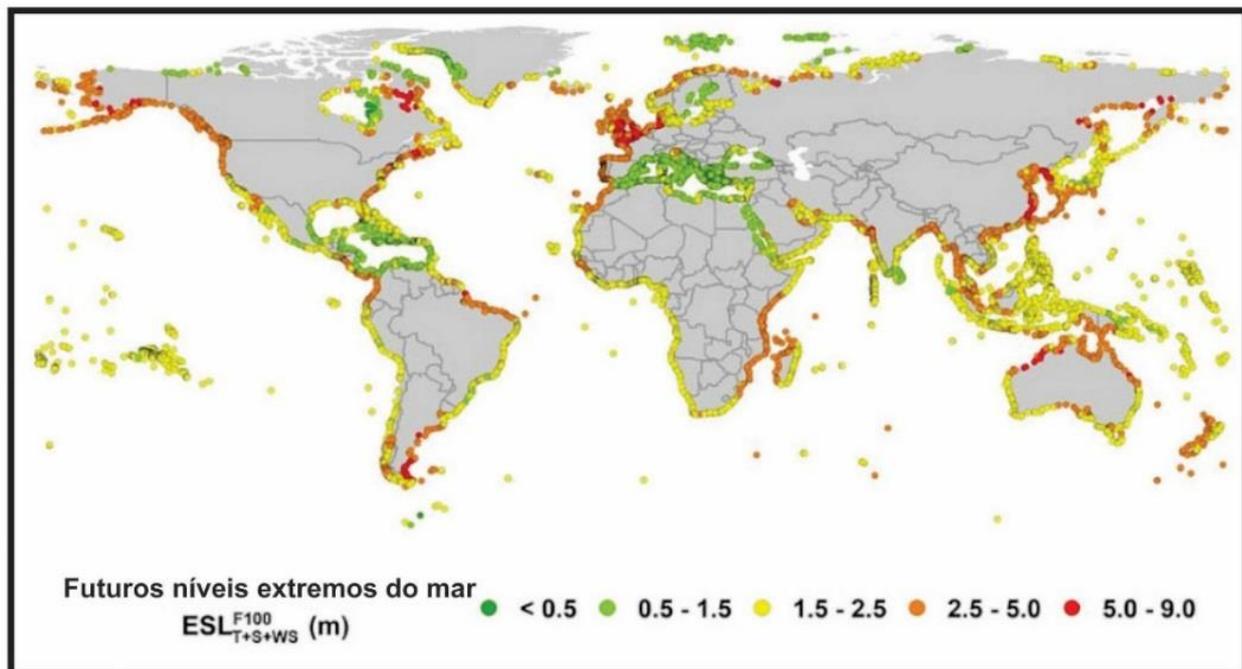


Figura 72 – Projeção futura de ocorrência de inundações devido a níveis extremos do mar.
(fonte: <https://climainfo.org.br/wp-content/uploads/2020/08/inunda%C3%A7%C3%B5es-costeiras.jpg>)

Estes resultados têm fortes consequências na gestão das regiões costeiras, nas infraestruturas e na presença humana ao longo da costa, porque se percebe a presença de erosões muito fortes, de inundações, que não só irão piorar com o tempo, e que obriga a se tomar decisões para nos adaptarmos a essas mudanças.

6.3. Biodiversidade Marinha e Mudanças Climáticas

6.3.1. Aquecimento global

O gráfico da figura 73, mostra as anomalias da temperatura global de 1880 até 2022. Pode-se ver um aumento nas temperaturas em duas fases: uma primeira fase (1910-1945) e uma segunda fase (de 1965 até o presente). Pode-se também assistir a um período de quase estagnação das temperaturas, denominado hiato, no período de 1958 a 1962. Mas também se observa, em 2014-2015, uma forte aceleração do aquecimento global na sequência de um grande evento El Niño. Atualmente se assiste a uma aceleração do aquecimento com um aumento de 0,23°C/década.

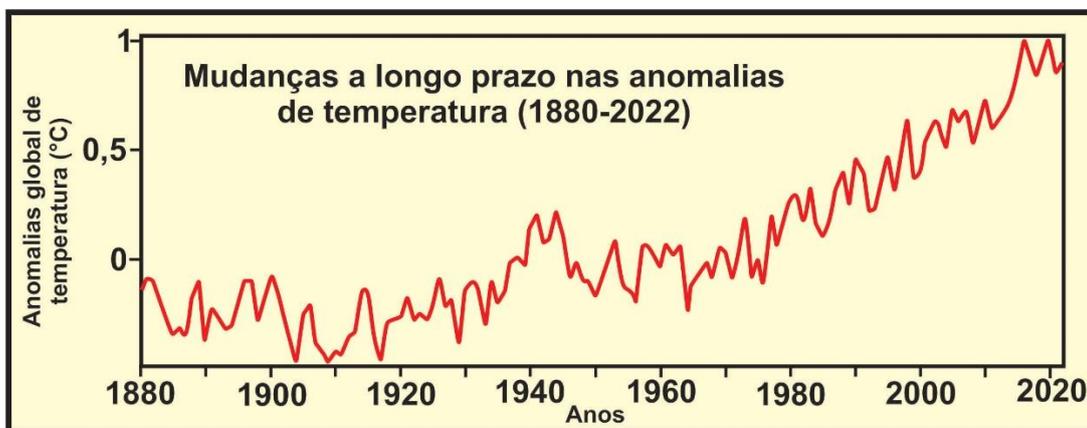


Figura 73 – Anomalias globais de temperatura (1880-2022).

(fonte: <https://cdn.universoracionalista.org/wp-content/uploads/2017/10/Consenso-Cient%C3%ADfico-sobre-a-Mudan%C3%A7a-Clim%C3%A1tica.jpg>)

A temperatura do planeta aumentou 1,1°C em comparação com o período de referência 1850-1900. Este aumento de 1,1°C pode parecer pequeno, mas mascara disparidades regionais significativas, uma vez que em certas regiões de latitudes elevadas, o aumento da temperatura pode, por vezes, exceder os 3°C. O oceano absorve 89% do aquecimento, seguido pela atmosfera, pelos continentes e pela criosfera, ou seja, gelo em todas as suas formas, incluindo o permafrost, ou seja, solo permanentemente congelado.

6.3.2. Biodiversidade marinha

Como reagirá a biodiversidade marinha às alterações climáticas? A biodiversidade é composta por todas as formas vivas do nosso planeta, e é avaliada em diferentes níveis organizacionais, por exemplo, genes, espécies, ecossistemas. A biodiversidade marinha apresenta entre 194 mil e 250 mil espécies descritas. Há uma forte incerteza quanto a esse número de espécies: poder-se-ia ter entre 500 mil e 2,2 milhões de espécies. Portanto, se conhece apenas 9% das espécies que vivem no oceano. Deve-se levar em conta ainda,

que para estas espécies já descritas, pouco se sabe sobre a sua biogeografia, a sua taxa reprodutiva e a sua fisiologia.

Com tal nível de desconhecimento, como se pode estudar globalmente a resposta da biodiversidade marinha às alterações climáticas? Uma primeira possibilidade é estudar grupos taxonômicos importantes e bem conhecidos, em regiões oceânicas bem amostradas, e tentar extrapolar para todo o oceano e todos os grupos taxonômicos. Esta é a abordagem indutiva. Outra abordagem que é favorecida: é uma abordagem baseada na teoria biológica e na modelagem. Esta é a teoria METAL, sigla para Teoria Macroecológica sobre o Arranjo da Vida.

6.3.3. Apresentação da teoria METAL

O objetivo da teoria METAL é conectar vários padrões de variabilidade e eventos observados na natureza. Esta teoria tenta conectar processos observados na ecologia comportamental, biogeografia, biologia das mudanças climáticas e macroecologia. É usada nos níveis individual, populacional, específico e comunitário (Fig.74).

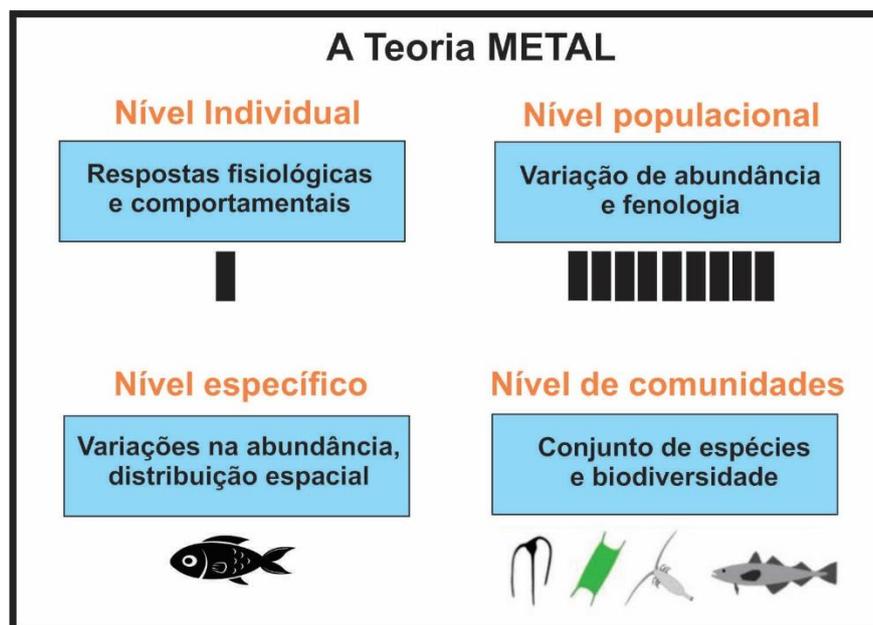


Figura 74 – Esquema da Teoria METAL.

O alicerce macroscópico elementar da teoria METAL é o conceito de nicho ecológico de Hutchinson. Nicho ecológico é o conjunto de condições ambientais que permitem que uma espécie cresça, se mantenha e se reproduza. Esse nicho ecológico permite integrar processos moleculares, fisiológicos, biológicos e comportamentais, mas também permite integrar o surgimento de novas propriedades, em cada nível

organizacional superior. É assim que o nicho é considerado, no âmbito da teoria METAL, como uma propriedade emergente que permite sintetizar as necessidades ambientais das espécies, evitando a equação de processos infra específicos e infra individuais.

Criam-se assim espécies, cada uma caracterizada por propriedades biológicas únicas e se atribui um determinado nicho ecológico a cada uma dessas espécies virtuais. Assim, dependendo das condições ambientais do oceano, certas espécies poderão se estabelecer em determinadas regiões do oceano e se reunir em comunidades. Desta forma, seremos capazes de reconstruir gradualmente a biodiversidade do oceano.

6.3.4. Validação da teoria METAL

A figura 75, o mapa-múndi, mostra a biodiversidade das regiões superficiais do oceano. Pode-se ver valores baixos de biodiversidade, em azul, e valores mais altos de biodiversidade, em vermelho, com um pico de biodiversidade nos trópicos. Na ciência, as previsões dos modelos devem ser testadas por observações. Testa-se essa previsão em diferentes grupos taxonômicos, como foraminíferos, copépodes, euphausiídeos, peixes cartilagenosos, peixes ósseos e mamíferos marinhos (cetáceos). Obtém-se relações muito boas entre previsões e observações. Às vezes se obtém variações nas correlações, mas na maioria das vezes essas correlações são significativas.

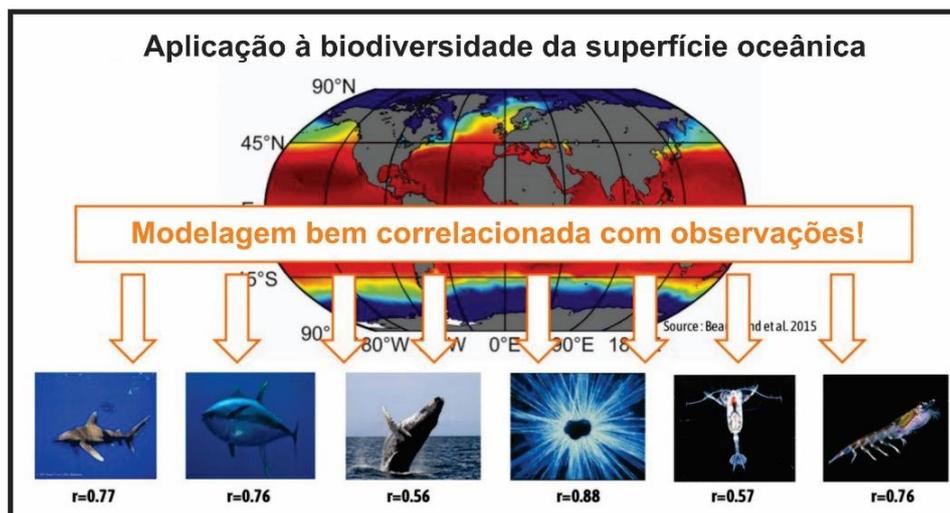


Figura 75 – Aplicação de modelagem à biodiversidade nas condições atuais.
(fonte: Bonhommeau, 2015)

6.3.5. A biodiversidade a +2°C

Pode-se tentar observar como a biodiversidade reagirá ao aumento das temperaturas. Aqui vamos ocasionar um aumento uniforme de temperatura de 2°C, ao modelo.

O que se pode ver é que, após um aumento de 2°C nas temperaturas, se observa uma diminuição da biodiversidade nas regiões quentes do oceano, ou seja, nas regiões em azul (Fig.76). Nas regiões extratropicais, por outro lado, há um forte aumento da biodiversidade. Isso pode parecer surpreendente, mas um aumento na biodiversidade não significa necessariamente um aumento nos serviços ecossistêmicos. Significa simplesmente uma reorganização na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas.

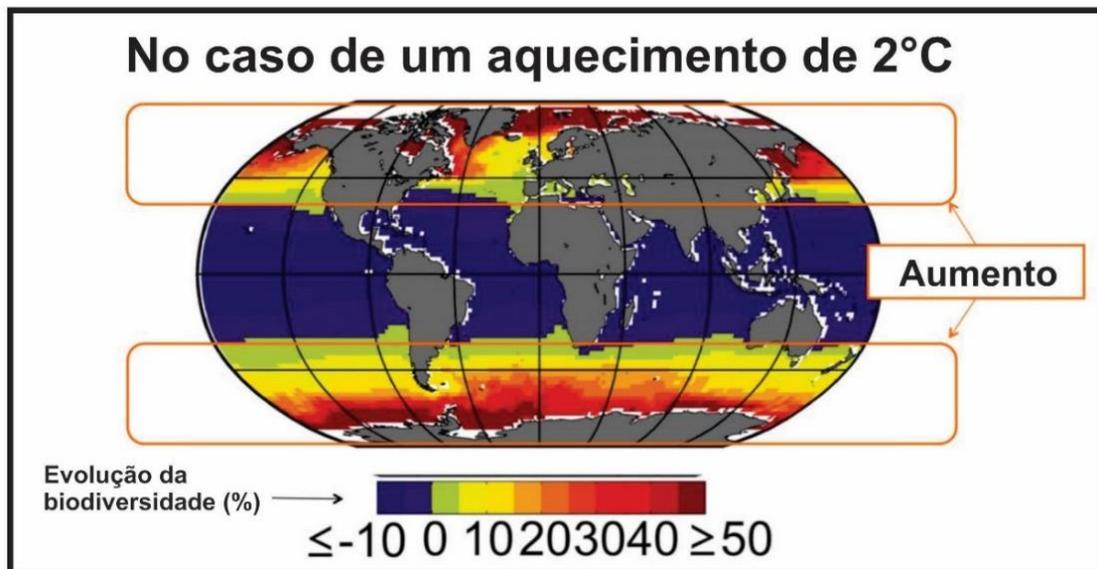


Figura 76 – Modelo da atuação da biodiversidade a partir do aumento de 2°C da temperatura
(fonte: Bonhommeau, 2015)

No Mar do Norte, se observa, atualmente, um aumento da biodiversidade, o qual foi particularmente significativo no final da década de 1980, após um aumento bastante pronunciado das temperaturas. Pode-se, também, observar que este aumento é muito bem reconstruído pelo modelo METAL.

6.3.6. A biodiversidade marinha em 2100

Pode-se tentar observar mudanças na biodiversidade entre o momento atual e o final do século. Tal trabalho foi realizado, acoplado o modelo METAL, com modelos de circulação geral oceano-atmosfera, para quatro intensidades de aquecimento global, do cenário RCP2.6 ao cenário RCP8.5 (Fig.77).

Observa-se que enquanto as temperaturas permanecerem abaixo de 2°C, 42% da superfície total do oceano sofrerá alterações substanciais na biodiversidade. Por outro lado, quando o cenário de aquecimento global é muito significativo, 94% da superfície total do oceano sofrerá alterações substanciais na biodiversidade.

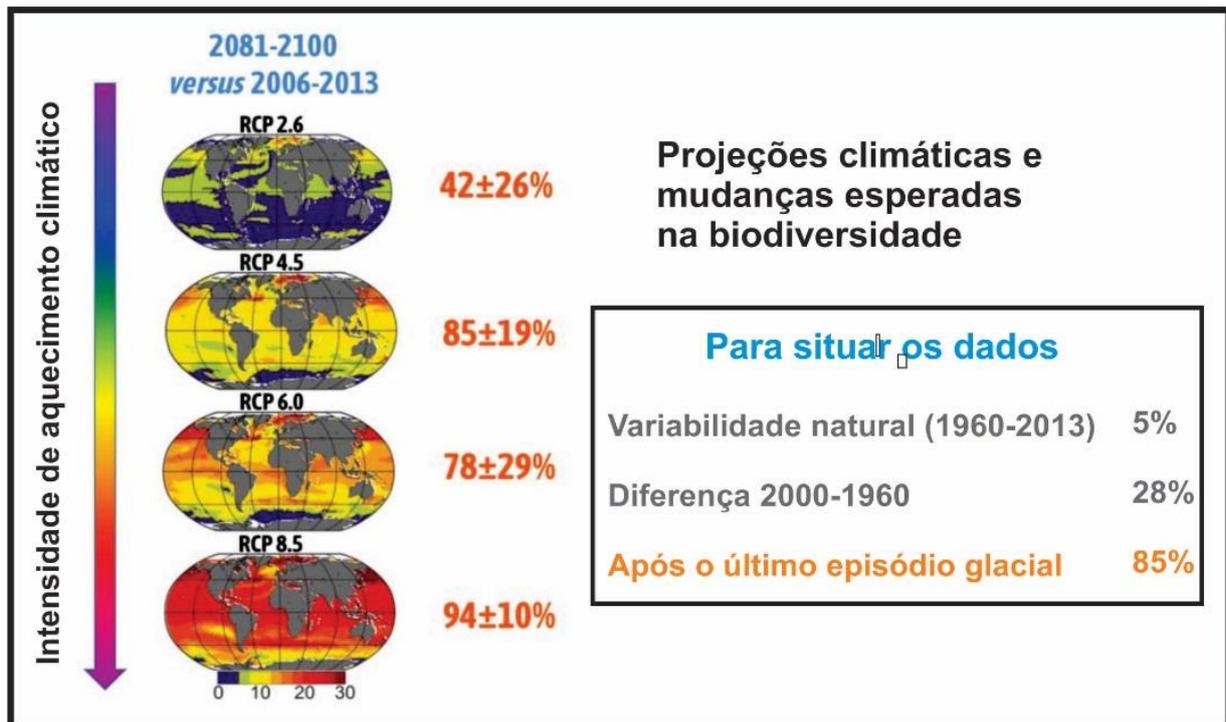


Figura 77 – Projeções climáticas e mudanças esperadas na biodiversidade dos oceanos.
(modificado: Bonhommeau, 2015)

Estas mudanças são relativamente fortes, quando comparadas com a variabilidade natural, onde temos 5% de mudança na biodiversidade. Além disso, quando se olha para as diferenças, na biodiversidade, entre os anos 2000 e 1960, vê-se que já temos 28% da superfície total do oceano que já sofreu alterações substanciais na biodiversidade.

Finalmente, para dar uma perspectiva mais ampla a essas mudanças, analisa-se as mudanças que podem ocorrer entre uma era glacial e um período interglacial. Essas alterações, na biodiversidade, são da ordem de 85%. No entanto, essas mudanças ocorrem ao longo de um período que abrange 5 a 6.000 anos, o que é muito diferente das mudanças que poderemos ter para o final deste século.

A biodiversidade marinha é muito sensível às flutuações de temperatura. Nos próximos anos e décadas, se pode esperar um aumento acentuado nas mudanças da biodiversidade, com surpresas em termos de velocidade e intensidade. Essas alterações na biodiversidade, sejam elas positivas ou negativas, terão consequências importantes nos ecossistemas. Haverá reorganizações em termos de estrutura, mas também em termos de funcionamento e de serviços ecossistêmicos. No entanto, é bom salientar que para os serviços ecossistêmicos, são estimados em 21 bilhões de euros por ano para os ecossistemas marinhos.

VII. MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SAÚDE HUMANA

7.1. Mudanças climáticas, temperatura e saúde humana

As alterações climáticas têm múltiplas manifestações ambientais, algumas das quais podem influenciar a saúde humana. O parâmetro mais conhecido é a temperatura, que influencia, particularmente, a mortalidade, com uma curva esquematicamente em forma de U (Fig.78). Esta indica uma temperatura ideal, em torno de 18°, 20°, 22°C, para a qual a mortalidade é mais baixa. A mortalidade aumenta tanto quando a temperatura diminui para valores mais baixos, como quando aumenta para temperaturas mais altas.

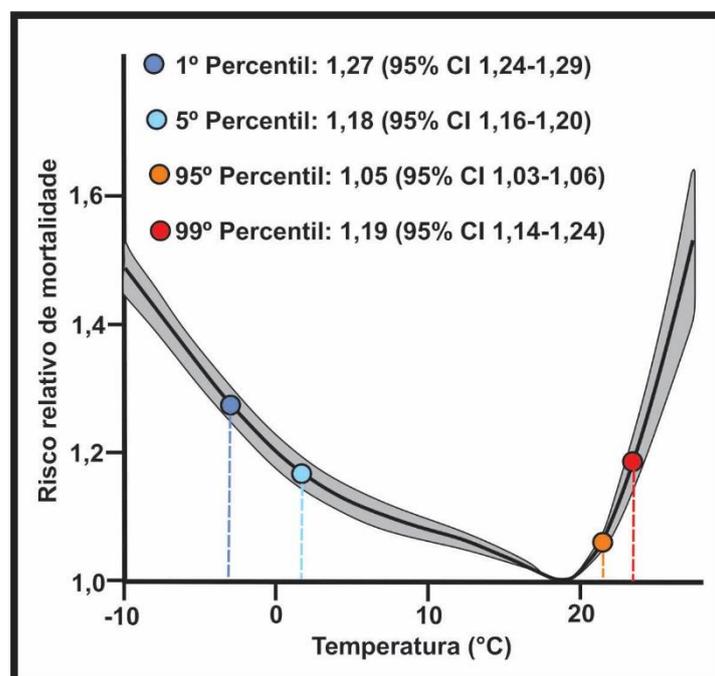


Figura 78 – Gráfico da relação de curto prazo entre temperatura e mortalidade diária, para o continente europeu. (modificado: Martinez-Solanas et al.2021)

O gráfico da figura 78, mostra que não é só quando se está em temperaturas extremas, muito quentes, acima dos 35°C ou muito frias, acima dos -10°C, que a mortalidade aumenta. As temperaturas que se desviam ligeiramente dos 19°C estão associadas a um pequeno mas real aumento da mortalidade, ao nível da população.

As mudanças climáticas causarão uma mudança na distribuição das temperaturas. A temperatura na Europa já aumentou 2 a 3°C, em comparação com a era pré-industrial. Isto pode parecer relativamente baixo. Quando faz 20°C e no dia seguinte faz 23°C, não há motivo para reclamar, mas se tem que compreender que quando a média é deslocada de 2 a 3°C, o número de dias com temperaturas extremas, acima de 30° ou 35°C, é multiplicado de forma muito significativa. Espera-se, portanto, uma multiplicação por 20,

30, 40, no número de dias com temperaturas extremas em meados do século XXI na Europa, em comparação com a época pré-industrial.

Para prever a influência das alterações climáticas na mortalidade, através da temperatura, todos estes elementos devem ser levados em consideração. É o que nos mostra as pesquisas realizadas em 2021, a qual nos informa que atualmente, cerca de 7 a 8% das mortes, se devem a temperaturas extremas, na Europa. Observa-se, na figura 79, que a maior parte deste impacto, atualmente, é decorrente de um efeito de temperaturas frias. Isto corresponde à curva em verde, enquanto as temperaturas quentes têm uma influência na mortalidade que é relativamente fraca, da ordem de 1% dos óbitos.

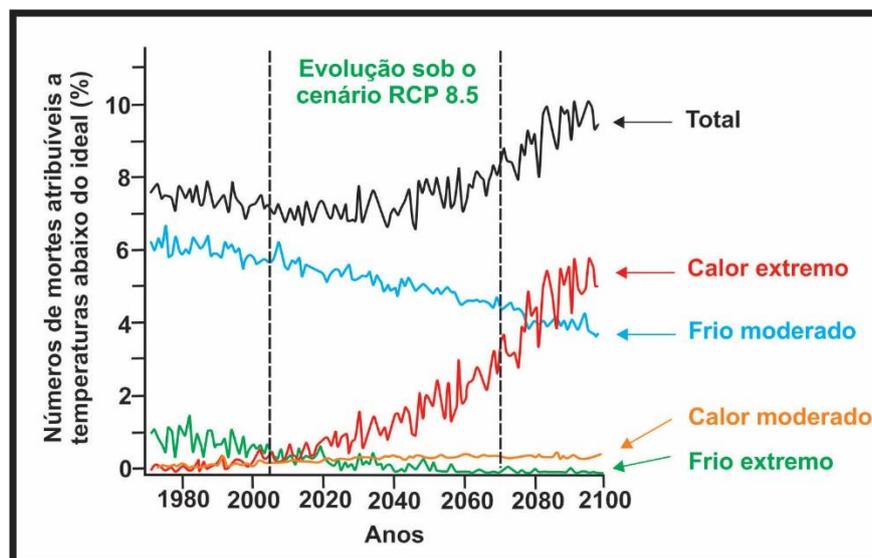


Figura 79 – Mudanças previstas na mortalidade atribuível as temperaturas extremas na Europa.
(modificado: Martinez-Solanas et al. 2021)

Agora, se projetarmos para o futuro, sob a hipótese de continuarmos a emitir GEE como no passado, o que corresponde ao cenário RCP 8.5 (Fig.79), vemos que a mortalidade por temperaturas quentes, incluindo a frequência, aumentará acentuadamente, crescerá muito significativamente, enquanto a mortalidade devido ao frio, cuja frequência diminuirá ligeiramente, diminuirá consideravelmente. No geral, a mortalidade total aumenta de forma bastante acentuada.

Se as sociedades decidirem reagir fortemente e cumprir o Acordo de Paris, limitando as emissões (cenário RCP 2.6), a situação futura deverá conduzir a uma ligeira diminuição da mortalidade atribuível às temperaturas frias, a um ligeiro aumento da mortalidade devido às temperaturas quentes e a uma avaliação global de mortalidade o que corresponde a uma estagnação, ou mesmo a uma ligeira diminuição da mortalidade na Europa, com contrastes entre países.

7.2. Outros impactos do aquecimento climático sobre a saúde

Este impacto das alterações climáticas na saúde também se manifestará através dos seguintes fatores (Fig.80):

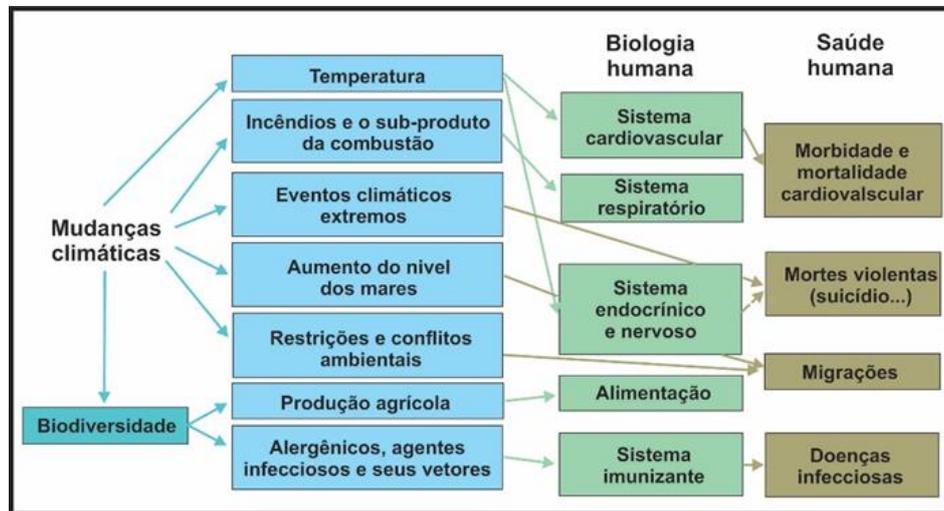


Figura 80 – Impactos das alterações climáticas na saúde.

- da frequência dos incêndios, que estão associados à mortalidade e ao aumento das emissões de partículas finas, muito prejudiciais à saúde;
- do aumento de eventos climáticos extremos como inundações, secas e tempestades, que também influenciam o bem-estar e a saúde;
- aumento do nível do mar e outras tensões ambientais que podem aumentar os conflitos ambientais;
- alteração na qualidade e quantidade da produção agrícola;
- variação na frequência de certos alergênicos e doenças infecciosas. Os fatores responsáveis por estas doenças infecciosas são, na maioria dos casos, sensíveis ao clima, particularmente à temperatura e à precipitação. Este é o caso de dois terços dos agentes infecciosos predominantes na Europa.

Por exemplo, os agentes patogênicos transmitidos por mosquitos, serão mais ou menos capazes de persistirem e se espalharem, se as temperaturas aumentarem e se tivermos permanentemente locais onde possam proliferar. As alterações climáticas, ao alterarem as temperaturas e as precipitações, são, portanto, susceptíveis de influenciarem a frequência, a distribuição e a área de vida de muitos agentes infecciosos, responsáveis por patologias, o que significa que há preocupação relativamente à ocorrência de doenças infecciosas e doenças infecciosas emergentes, ligadas a essas mudanças climáticas. Para determinadas patologias, é evidente que a sua frequência ou a sua área de distribuição,

tenderão a aumentar. Para outros, a evolução pode ser na direção oposta. Para muitas delas, não temos hoje uma quantificação precisa.

7.3. Mitigação das alterações climáticas e da saúde.

As sociedades estão a reagir a estes desenvolvimentos, tentando se adaptar às alterações climáticas. As escolhas que estas sociedades fazem para se adaptar, podem ter consequências diretas e indiretas na saúde. Se, por exemplo, lutarmos contra as temperaturas, essencialmente generalizando os aparelhos de ar-condicionado, se deve ter consciência de que estes aparelhos de ar-condicionado, certamente arrefecem o ar interior, mas rejeitam o ar quente para o ambiente exterior. Isto promove o fenômeno das ilhas de calor, ocasionando o aumento da temperatura a que estão expostas as pessoas que não podem pagar, para ter um ar-condicionado. Estes emitem também, em certos casos, gases nocivos para a camada de ozônio e, portanto, também prejudiciais para a saúde. A camada de ozônio protege as populações da perigosa radiação ultravioleta, e a sua deterioração aumentará a frequência do cancro de pele ou de problemas de catarata.

A outra grande reação da sociedade é a mitigação, ou seja, a redução dos GEE e das suas emissões. A neutralidade carbônica é visada. Para conseguir isso, significa atuar nos principais setores emissores de GEE. No entanto, estes setores estão todos ligados à saúde. Os principais setores emissores são os transportes, a agricultura, a habitação e a produção de energia.



Figura 81 – Emissão de gases poluentes pelos meios de transportes.

(fonte: <https://summitmobilidade.estadao.com.br/wp-content/uploads/2022/10/word-image-15355-3-scaled.jpeg>)

O transporte determina as emissões de partículas finas que são emitidas por muitos veículos com motor térmico (Fig.81). O transporte condiciona a quantidade de atividade física, no entanto, o sedentarismo é um dos principais fatores de risco para doenças cardiovasculares e metabólicas. Dependendo dos métodos, através dos quais descarbonizarmos o setor dos transportes, seremos, possivelmente, capazes de aumentar esta atividade física e seremos capazes de limitar, fortemente, as emissões de partículas finas, com um grande benefício para a saúde, que pode ser importante.

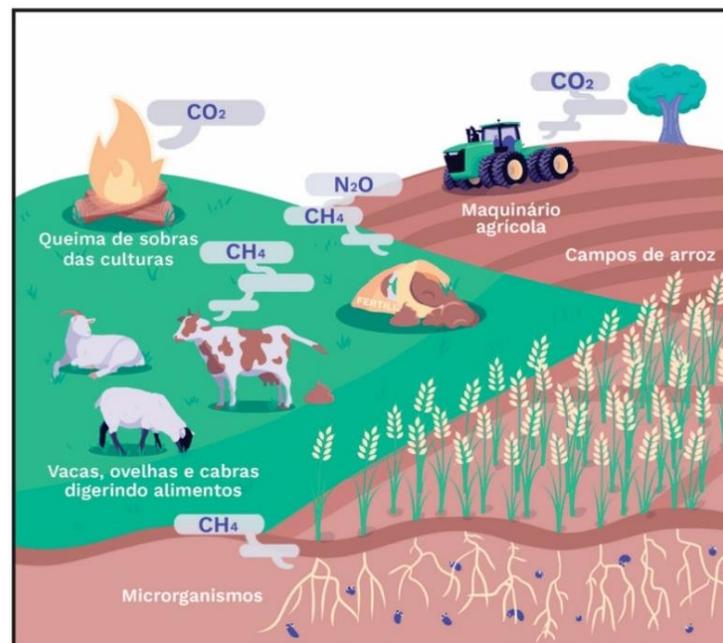


Figura 82 – Emissão de gases de efeito estufa na agricultura.
(fonte: https://storage.googleapis.com/climate-science.appspot.com/ptBR-v5/C0_1-Details-2-greenhouse_gas_emissions_from_agriculture.png)

A agricultura é outro setor com elevadas emissões de GEE (Fig.82). Esta determina a nossa dieta, que também é um fator de risco para a saúde. Ao descarbonizar a nossa agricultura, teremos de avançar para uma dieta que corresponda a uma menor proporção de carne e produtos lácteos. Estes produtos, que emitem muitos GEE na sua elaboração, estão associados a piores condições de saúde do que uma dieta rica em cereais e leguminosas, cuja produção custa muito menos GEE por um grama de proteína produzida. Existe, portanto, um grande cobenefício da descarbonização do sector agrícola.

As alterações climáticas são uma ameaça significativa à saúde humana. É uma ameaça do ponto de vista das desigualdades entre territórios e categorias sociais, mas a reação exigida por estas alterações climáticas e a descarbonização dos principais setores responsáveis pelas emissões de GEE, constituem também uma tremenda oportunidade para melhorar a saúde.

É provável que esses cobenefícios da descarbonização para a saúde humana, se manifestem num prazo muito mais curto do que os benefícios para o clima e as temperaturas, o que significa que pode ser, para os decisores e para a sociedade, uma alavanca formidável para implementar mudanças bastante significativas em todos estes setores da vida diária.

7.4. Mudanças climáticas, agricultura e segurança alimentar

7.4.1. Degradação da terra nos dias atuais

Atualmente, a pressão do uso da terra pelos seres humanos é significativa. Esta representa mais de 70% da superfície terrestre livre de gelo. Isso corresponde a infraestruturas, mas especialmente a terras cultivadas (cerca de 10%), pastagens (cerca de 35%) e plantações florestais (cerca de 20%). Como resultado, resta como área pouco utilizada pelo homem, com ecossistemas pouco perturbados, apenas 28 a 30% de terras livres de gelo (Fig.83).

Em última análise, utiliza-se, portanto, uma grande parte da produtividade primária líquida dos ecossistemas continentais. Trata-se de uma utilização da ordem de um quarto a um terço da fotossíntese dessa produtividade primária para alimentação, fibra, madeira e energia.

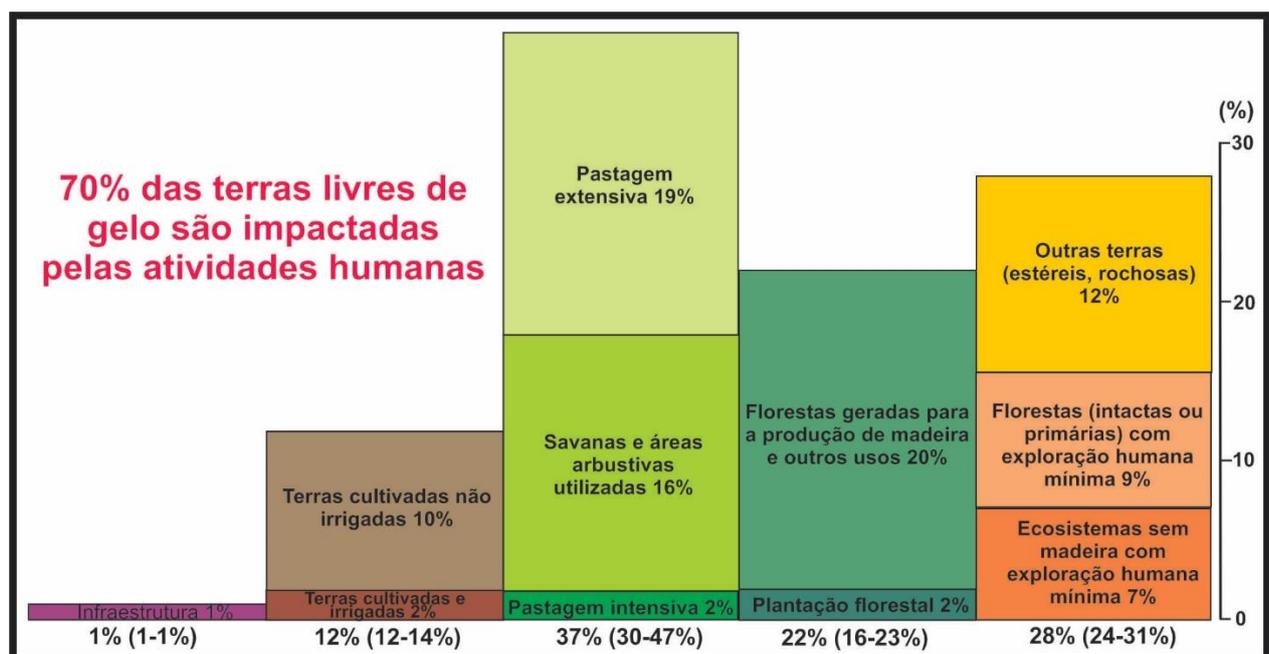


Figura 83 – Porcentagem das terras impactadas pelas atividades humanas.
(modificado: IPCC, 2019)

Além disso, um quarto da superfície livre de gelo da Terra está sujeita a degradação. Os solos estão a se degradarem, é o caso da erosão, que se espalha sobretudo na agricultura, com taxas de erosão 10 a 100 vezes superior à taxa de formação do solo. A terra é um capital que não se renova nessas condições, pois demoraria mais para renová-la e a utilizá-la muito rapidamente.

As alterações climáticas serão introduzidas neste contexto onde já existem fortes pressões antropogênicas, agravando a degradação dos solos, particularmente nas zonas costeiras baixas, mas também nos deltas dos rios, devido à intrusão de águas marinhas nas zonas costeiras e, aos fenômenos de inundação nas zonas ribeirinhas, áreas com fenômenos de erosão reforçados. Este é também o caso das zonas áridas, onde as alternâncias de secas e fortes precipitações reforçarão a degradação dos solos (Fig.84). E isto também diz respeito às áreas de permafrost, onde os solos ainda estão congelados e onde começarão a descongelar e a ficar expostos à degradação.



Figura 84 – Área degradada pela erosão do solo.
(fonte: <https://angulos.crea-rj.org.br/wp-content/uploads/2021/04/ilustra-erosao-angulos-v2.jpg>)

7.4.2. Os impactos já visíveis na segurança alimentar

As alterações climáticas já afetaram a segurança alimentar. Observa-se isso devido a extremos climáticos, com padrões de chuvas intensas, um aumento da frequência de secas e, conseqüentemente, uma maior exposição das populações a períodos de fome e de desnutrição. Nas regiões tropicais se observa que o rendimento das culturas diminui, como no caso do milho e do trigo. É algo que ocorre com alternâncias de eventos extremos que fazem com que esses retornos caiam, depois de períodos mais favoráveis.

Também se observa contraexemplos. Quando se está em altas latitudes, em climas frios, se observa que sob o efeito do aquecimento gradual, o rendimento pode aumentar. É o que se tem observado nas últimas décadas.

Além disso, há impactos na reprodução, como o da mortalidade de gado. No Corno da África, por exemplo, isto é algo que já era conhecido, mas que está a se tornar mais forte com as alterações climáticas. Os sistemas pastoris, na África, estão muito afetados e se observa, em muitas regiões do mundo, um declínio na produtividade pecuária e no crescimento animal.

O espectro de pragas e doenças está evoluindo. Nas áreas em que a temperatura está aumentando, há novos insetos, novos parasitas, novas doenças que chegam e se desenvolvem já que os invernos são mais amenos. Isto exige o reforço da proteção das culturas: isto é, portanto, um problema para a agricultura e a segurança alimentar.

A estabilidade do abastecimento alimentar tornar-se-á incerta à medida que as alterações climáticas aumentarem.

Isto é algo que necessita realmente de ser olhado, pois hoje se tem, com um aquecimento que ainda não atingiu 1,5°C, períodos de fome, que podem afetar as populações devido às secas e devido ao aumento da insegurança alimentar. Isto também leva a movimentos populacionais e migrações.

7.4.3. Projeções e riscos

Quando avançarmos para um aquecimento mais elevado, da ordem dos 2°C a nível global, várias regiões do mundo serão afetadas simultaneamente. Isto significa que criará, a nível regional, deficiências alimentares, subnutrição e portanto, choques, que terão uma escala regional. Se avançarmos para um aquecimento mais elevado, da ordem dos 3°C a 4°C, todo o sistema alimentar global estará ameaçado, já não se poderá garantir que o abastecimento alimentar possa ser mantido nestas condições.

São fenômenos que se tenta observar também a nível econômico, e se tem, na média dos modelos econômicos, um aumento de 7% nos preços dos alimentos entre agora e 2050, mas há novamente muita variação entre estes modelos.

Outro aspecto é o risco para a nutrição, com deficiências de micronutrientes (zinco, ferro) que afetam hoje quase um bilhão de pessoas. O aumento do CO₂ atmosférico, diluirá os micronutrientes dos cereais e das plantas e acabará por reforçar estas deficiências, que já afetam uma grande parte da população mundial.

7.4.4. Quais as opções de respostas?

Há muito que pode ser feito em termos de adaptação e mitigação. Algumas destas opções de resposta podem também contribuir para outros desafios, como o combate à

desertificação, a degradação dos solos e a melhoria da segurança alimentar. Este potencial é particularmente importante para a mitigação de emissões. Essas emissões, ligadas à agricultura, representam cerca de um terço do total das emissões de GEE de origem antropogênica.

Existem três opções principais:

- Utilizar o potencial técnico das opções de mitigação para culturas e pecuária, por exemplo, através da introdução de sistemas agroflorestais. Isso representa vários giga toneladas de CO₂ por ano até 2050, o que é bastante significativo.

- Lutar contra perdas e desperdícios, que contribuem para 8 a 10% das emissões antropogênicas de GEE, sabendo que hoje, perto de 30% da produção alimentar é perdida ou desperdiçada. Perde-se principalmente nos países do Sul, pois há problemas de logística e armazenamento. É desperdiçado, principalmente, nos países ricos onde será perdido parte dos alimentos que não são consumidos.

- Atuar diversificando as dietas. Hoje temos excessos nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), no consumo, por exemplo, de carne. Há um problema nutricional nesse consumo de carne, há riscos à saúde quando esse consumo for excessivo. Se esse consumo for diminuído, se a alimentação for diversificada com mais frutas, vegetais, proteaginosas e frutos secos, se pode ter um reequilíbrio e efeitos positivos para a saúde. E isto será acompanhado por mudanças na agricultura, com sistemas integrados, rotações diversificadas de culturas e uma pecuária que pode ser resiliente e com baixas emissões. É portanto uma mensagem: se for conseguido reequilibrar os regimes alimentares, se for conseguido avançar no sentido de cobenefícios para a saúde, se terá transições alimentares que poderão libertar milhões de quilômetros quadrados de terra e provocar uma redução das emissões que poderá ser importante.

Para explicar melhor, convém referir que grande parte da produção vegetal é hoje transformada pela pecuária, com uma eficiência de transformação bastante baixa. Se consumirmos produtos vegetais diretamente, saltamos a etapa de reprodução, evitando emissões de GEE e teremos sistemas alimentares que emitem menos e com cobenefícios para a saúde.

7.4.5. Busca por cobenefícios

As respostas integrativas, que podem trazer benefícios conjuntos, foram avaliadas no relatório especial do IPCC sobre a utilização dos solos.

A Tabela I nos mostra, à esquerda, a natureza das opções: na agricultura, nas florestas, nos solos, nos outros ecossistemas, como as zonas húmidas e as turfeiras. Os efeitos são apresentados nas demais colunas. Quando estes são azuis, são positivos e são cobenefícios para mitigação, adaptação, degradação da terra, segurança alimentar, biodiversidade, recursos hídricos. Observa-se que a tabela apresenta muito azul, isso é uma boa notícia.

Tabela I – Opção de resposta de cobenefícios e arbitragem na gestão da terra (fonte:IPCC,2019)

Opções de resposta baseada na gestão da terra		Cobenefícios e arbitragem					
		Mitigação	Adaptação	Degradação da terra ou desertificação	Comida segura	Biodiversidade	Estress hídrico subterrâneo / Qualidade da água
Agricultura	Aumento da produtividade alimentar	Positiva	Positiva	Insignificante	Positiva	Insignificante	Negativa
	Agrofloresta	Positiva	Positiva	Insignificante	Positiva	Positiva	Insignificante
	Melhor gestão das terras agrícolas	Positiva	Positiva	Insignificante	Positiva	Positiva	Insignificante
	Melhor gestão do gado	Positiva	Positiva	Insignificante	Positiva	Positiva	Insignificante
	Melhor gestão de terras de pastagem	Positiva	Positiva	Insignificante	Positiva	Positiva	Insignificante
Floresta	Gestão integrada da água	Positiva	Positiva	Insignificante	Positiva	Positiva	Insignificante
	Conversão reduzida de pastagens em terras agrícolas	Positiva	Insignificante	Insignificante	Negativa	Positiva	Insignificante
	Gestão florestal	Positiva	Positiva	Insignificante	Positiva	Positiva	Insignificante
Solos	Redução de desflorestamento e da degradação	Positiva	Positiva	Insignificante	Positiva	Positiva	Insignificante
	Reflorestamento e restauração florestal	Positiva	Positiva	Insignificante	Positiva	Positiva	Insignificante
Outros ecossistemas	Aumento do teor de carbono orgânico do solo	Positiva	Positiva	Insignificante	Positiva	Positiva	Insignificante
	Gestão de incêndio	Positiva	Positiva	Insignificante	Positiva	Positiva	Insignificante
	Restauração e redução da conversão de zonas úmidas costeiras	Positiva	Positiva	Insignificante	Positiva	Positiva	Insignificante
	Restauração e redução da conversão de turfeiras	Positiva	Positiva	Positiva	Negativa	Positiva	Insignificante
CDR	Bioenergia e BECCS	Positiva	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa	Negativa

Pode-se implantar essas opções. Existem opções, por exemplo, para aumentar o carbono orgânico do solo, que são virtuosas para todas as questões. Também se pode restaurar ecossistemas, se pode ter opções para melhorar a gestão das culturas e da pecuária, podendo-se também combater incêndios.

Há uma exceção na parte inferior da tabela, com muitas caixas na cor laranja. Isso é bioenergia. Na verdade, se for implantada a bioenergia em grande escala, por exemplo com culturas energéticas, que são na maioria das vezes monoculturas, ou realizando reflorestamentos em grande escala, os efeitos serão negativos, por um lado, para a biodiversidade e, por outro, para a segurança alimentar, já que vamos tomar terras que inicialmente tinham vocação alimentar. Existem portanto limites para o que se pode fazer com estas bioenergias, da ordem de 1 milhão de quilômetros quadrados, se a população for grande, e até 4 milhões de quilômetros quadrados, se o crescimento populacional for mais baixo e se ocorrer melhores políticas ambientais para limitar os efeitos negativos destas bioenergias.

7.5. A neutralidade de carbono

Desde a adoção do Acordo de Paris, os objetivos, em termos de mitigação do aquecimento global, têm sido geralmente definidos em termos de neutralidade. Assim, a União Europeia estabeleceu, como objetivo, alcançar a neutralidade climática em 2050. Por que é que esses objetivos são expressos em termos de neutralidade? Porque o que aquece o planeta não é o fluxo anual das emissões, é o estoque de GEE que se acumula na atmosfera. A neutralidade climática é a situação em que as emissões brutas de GEE, de origem antropogênica que entram na atmosfera, são reduzidas à capacidade de absorção dos GEE pelos chamados sumidouros de carbono. Estabiliza-se o estoque de GEE e, conseqüentemente, estabiliza-se o aquecimento global.

Segundo Bello *et al.* (2023), o Programa BID-CEBRI-EPE de Transição Energética (PTE), foi estabelecido com o objetivo de identificar trajetórias de neutralidade de carbono para o Brasil, buscando entender quais trajetórias possibilitariam um uso mais eficiente dos recursos e, assim, contribuir, de forma independente e aberta, com a formulação de políticas públicas para a matriz energética brasileira de 2050. Particularmente, ao estruturar diálogos e participação de diferentes *stakeholders* (partes interessadas), o Programa visou, desde o início, contribuir para a formação de consensos, mediante o detalhamento da análise de incertezas críticas, explorando cenários e sensibilidades, de forma a construir uma visão original de trajetórias, a partir das particularidades brasileiras.

Avaliar possíveis trajetórias de descarbonização e suas estratégias associadas, é desafiador por causa da complexidade em torno do curso da própria mudança climática, da evolução de trajetórias socioeconômicas, assim como do contexto sociocultural e institucional, em longos horizontes de tempo. Além disso, em longos horizontes temporais, as estimativas são altamente dependentes das premissas sobre como evoluem as políticas públicas, os consensos sociais, como se comportam as empresas e consumidores, e como são desenvolvidas e difundidas novas tecnologias.

Dessa forma, a análise de cenários é útil para estruturar o exercício analítico, fornecendo uma narrativa plausível para ancorar dados e hipóteses do arcabouço de modelagem e, assim, ajudar a identificar possíveis opções consistentes de estratégias institucionais e tecnológicas de evolução do sistema energético, do setor de transformação industrial e do setor de uso da terra (florestas e agropecuária).

Assim, os cenários de descarbonização são usados para explorar diferentes opções

de mitigação de emissões para alcançar um determinado resultado climático, que se relaciona a metas de limite de aumento da temperatura. Foram elaborados três cenários distintos que convergem para as emissões líquidas nulas de GEE no país, no horizonte de 2050, intitulados: (i) Transição Brasileira (TB); (ii) Transição Alternativa (TA) e (iii) Transição Global (TG) (Bello, *et al.*,2023).

Cenário Transição Brasileira (TB): moldado com base nos compromissos assumidos pelo país em sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), buscando indicar a trajetória ótima custo-eficiente (com base nos recursos, conhecimentos e as expectativas de custos futuro) para o Brasil, alcançando a neutralidade líquida em carbono em 2050. Nesse cenário, o Brasil alcança a neutralidade independente das ambições e compromissos dos demais países. O país volta a figurar entre as economias com grandes e interessantes oportunidades para alocação de capital.

Cenário Transição Alternativa (TA): busca-se testar uma trajetória tecnológica alternativa para o alcance da neutralidade do Brasil em 2050, considerando os impactos da própria mudança climática no setor energético e, principalmente, as incertezas do processo de difusão tecnológica. Trata-se de uma variação do cenário TB, no qual se impõe maiores restrições, de forma a limitar ou induzir a escolha de rotas tecnológicas pelas quais o processo de transição tomará forma.

Cenário de Transição Global (TG): busca destacar a contribuição do Brasil em um mundo que pretende limitar o aumento médio da temperatura superficial global em até 1,5°C em 2100, referente aos níveis pré-industriais. Dentro de um orçamento global de carbono de 400 GtCO₂, com base no mínimo custo global, o Brasil dispõe de orçamento de carbono de 13,2 GtCO₂ para realizar a descarbonização.

7.5.1. Carbono fóssil e carbono vivo

Para as sociedades, a transição para a neutralidade climática envolve duas grandes transformações: a primeira diz respeito ao carbono fóssil. Hoje, mais de 80% da energia consumida no mundo ainda provém de três produtos fósseis: carvão, petróleo e gás (Fig.85). Essa é a fonte de quase 70% das emissões globais de GEE.

Não há progresso no sentido da neutralidade climática se não se levar a cabo, muito rapidamente, uma revolução energética que consiste simplesmente em se libertar desta dependência dos combustíveis fósseis. Isto é o que comumente se chama de transição energética. Imagine que em 2050 o Brasil tenha eliminado completamente o uso de energia fóssil. Estaríamos ainda num estado de neutralidade climática?

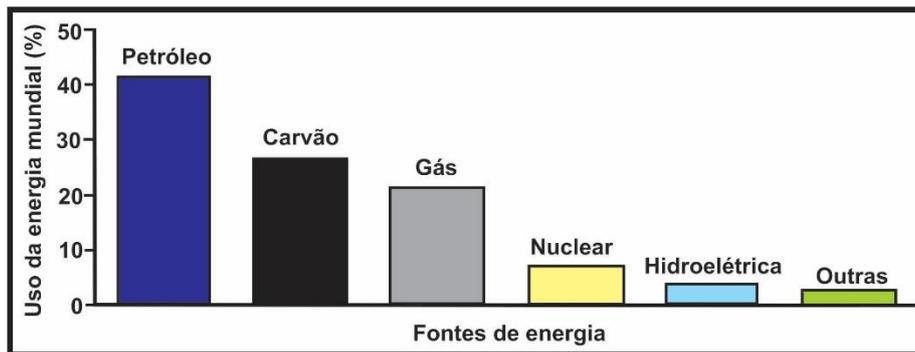


Figura 85 – Porcentagens de diferentes fontes energéticas consumidas mundialmente.

Tudo depende do que acontecer na segunda parte principal da transição para baixo carbono, que já não diz respeito ao carbono fóssil, mas sim ao carbono vivo. Este é o carbono produzido, graças à fotossíntese, por todas as plantas que produzem cadeias de carbono e que permitem alimentar-nos e integrar-nos nesta grande cadeia da vida. Hoje, a forma como os humanos trabalham com este carbono vivo, é a fonte de 25% das emissões globais de GEE. É a segunda etapa sobre a qual assenta a marcha rumo à neutralidade.

7.5.2. A transição energética numa perspectiva econômica

Durante um século e meio, a humanidade esteve em transições energéticas, mas sempre num modelo de empilhamento de fontes de energia, umas sobre as outras. A transição para baixo carbono é uma mudança de *software*. Teremos de passar desta lógica de empilhamento de fontes para uma lógica de substituição, em que as fontes de energia fósseis são removidas.

Isto tem duas implicações principais para o economista: a primeira é que não basta agir apenas sobre o fornecimento de energia, teremos que agir sobre a procura de energia. Teremos que reduzir drasticamente todos os consumos supérfluos e desnecessários. Isso é o que chamamos de sobriedade energética. Para o economista, sobriedade energética significa encontrar maneiras de criar uma certa forma de escassez na procura de energia. Que instrumentos se pode usar para criar esta escassez? Existe um instrumento bastante direto: o imposto. Aumenta-se o custo do uso de energias fósseis, tributando o CO₂. Assim, os consumidores irão racionar a sua procura, porque não terão dinheiro suficiente para pagar o imposto. Pode-se montar um sistema com cotas. As quotas transferíveis seriam um sistema em que as quotas são colocadas a um preço, para a quota de CO₂, o que também aumentará o custo de utilização da energia. A melhor forma de acelerar a transição energética, a nível sul-americano, a nível local, a nível internacional, seria

implementar preços de carbono redistribuídos. Fixam o preço do carbono para encarecer a utilização de combustíveis fósseis e reutilizam as receitas dos impostos ou as receitas da venda de quotas, para investir, precisamente, no acesso à energia ou no apoio às populações que não têm acesso suficiente à energia essencial, para o funcionamento da sociedade.

7.5.3. A transição agroecológica numa perspectiva econômica

A segunda parte da transição, para baixo carbono, é a transição agroecológica. Isso coloca problemas um pouco mais complexos para o economista. Não se trata apenas de retirar três produtos, carvão, petróleo e gás, do sistema energético. Na verdade, se trata de reinvestir na diversidade da vida, com três importantes pontos de referência.

O primeiro ponto, diz respeito aos sistemas agrícolas. Durante um século, foi desenvolvido sistemas agrícolas altamente industrializados e muito especializados, nos quais uma abundância de produtos químicos, em particular, nos dava a ilusão de estarmos a controlar a natureza forçando os sistemas naturais. Observa-se que estes sistemas agrícolas estão a perder força. A longo prazo, esgotam o solo e não são muito resistentes aos impactos do aquecimento global.

A primeira parte da transição agroecológica, consistirá na transformação das técnicas de produção agrícola, mudando para sistemas onde a biodiversidade é utilizada para produzir mais. Do ponto de vista dos incentivos econômicos, isto implica em problemas, porque se quisermos incentivar os agricultores a respeitar melhor a biodiversidade, temos que dar valor a esta biodiversidade. Contudo, este valor não é expresso espontaneamente nos mercados, devendo-se portanto, criar sistemas que possibilitem remunerar os serviços ecossistêmicos, prestados pela agroecologia.

A segunda parte desta transição agroecológica diz respeito à procura. Tal como acontece com a transição energética, não alcançaremos a transição agroecológica se não eliminarmos os produtos mais emissores da procura final e do consumo alimentar. De longe, os produtos mais emissores provêm da pecuária e, principalmente, dos produtos provenientes da criação de ruminantes, bovinos e ovinos. Essa transição alimentar e agrícola, representa um problema de incentivo do ponto de vista do consumidor. Quais são as alavancas certas para convencer os consumidores a mudar o seu consumo alimentar? Dispomos de um certo número de alavancas interessantes do ponto de vista da saúde, mas isso não é suficiente e, acima de tudo, do lado da oferta agrícola, quais são os bons sistemas agrícolas que funcionarão, não sem animais, mas com menos animais?

A terceira parte diz respeito aos sumidouros de carbono. A proteção dos sumidouros de carbono é uma questão importante e levanta dois tipos de questões. A primeira é que se deve conter os impactos antropogênicos, que são principalmente o desmatamento tropical e a prática de sistemas agrícolas que não respeitam a cobertura vegetal e que utilizam demasiada aragem. A chave para agir contra esses sistemas antropogênicos, incluindo o desmatamento, é agir sobre as causas agrícolas do desmatamento. Para o economista, voltamos um pouco à primeira questão, de como podemos transformar os sistemas de produção agrícola a longo prazo. A segunda é que o aquecimento do próprio clima tem um impacto na capacidade dos sumidouros de carbono, o qual é chamado de *feedback* climático. Observa-se, por exemplo, que hoje a capacidade de armazenamento das florestas está sendo alterada pelo aquecimento global, mesmo quando expandimos as áreas florestais. É o caso, por exemplo, da França onde, entre 2005 e 2021, essa capacidade de armazenamento foi bastante reduzida, devido as secas, ao mau tempo e os incêndios, os quais reduzem a capacidade de crescimento das árvores. A proteção dos sumidouros de carbono, para o economista, será uma questão muito importante, e as alavancas a colocar em prática são extremamente complexas, variando conforme os diferentes ambientes naturais.

Para se almejar a neutralidade carbônica nos próximos anos, percebe-se que a questão do carbono vivo se tornará a mais complexa para a sociedade, bem como para os economistas que ainda não possuem toda a caixa de ferramentas que desenvolveram para a transição energética.

7.6. As mudanças climáticas na América Latina e Caribe

A publicação “Impactos da mudança climática na América Latina e no Caribe”, realizada pelo Instituto Interamericano para a Investigação da Mudança Global (IAI) e Latinoamérica²¹, visibiliza alguns dos principais efeitos deste fenômeno que vão desde o derretimento das geleiras andinas até eventos meteorológicos extremos, como as devastadoras inundações e secas que ocorreram no Brasil, Venezuela e Peru, ou os furacões e tufões que afetam países como Cuba e República Dominicana.

O trabalho é um esforço de divulgação científica que busca visibilizar os heterogêneos efeitos das mudanças climáticas na região, mas também fornece soluções baseadas na ciência e na cooperação internacional. Assim, é possível compreender que a elevação do nível do mar e o aquecimento e acidificação dos dois grandes oceanos que

rodeiam o continente, o Pacífico e o Atlântico, produzem consequências às pessoas e aos animais, assim como perdas econômicas. Um exemplo é a plataforma continental do sul do Brasil, Uruguai e norte da Argentina, um dos maiores *hotspots* marítimos do mundo. Nesta área, a pesca artesanal, em países como o Uruguai, é particularmente vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas, que levam à redução ou impossibilidade da pesca, devido à mortalidade de peixes, bem como às marés vermelhas e aos riscos de intoxicação alimentar que essas acarretam, o que gera fortes perdas econômicas e força a população local a mudar seu modo de vida, para sobreviver ou migrar (Fig.86).



Figura 86 – Visualização da Maré Vermelha ocorrida na praia do Hermenegildo-RS no dia 30/03/1978.
(fonte: https://3.bp.blogspot.com/-oMGKytniFo0/WZ7GWQLI9SI/AAAAAAAAIMk/--YYAYRsWi41CBQ0DaMo7NGZSC2YloewCLcBGAs/s1600/Screenshot_20170816-105325%257E01.png)

A mudança climática, juntamente com o desmatamento e as transformações no uso dos solos, implica uma maior circulação e distribuição geográfica de indivíduos, animais, vírus e vetores de doenças, como os mosquitos. Estas transformações, longe de serem inócuas, multiplicam o risco de novas doenças e o surgimento de pandemias. Na América Latina de hoje, existem surtos de dengue em regiões frias da região andina ou em cidades argentinas com clima temperado, como Córdoba, enquanto os problemas de financiamento do setor sanitário e sua escassa preparação ante os riscos climáticos, nos tornam particularmente vulneráveis a futuras pandemias.

A educação é outra das áreas afetadas. A pandemia do COVID19, causou efeitos negativos sem precedentes no aprendizado e nas taxas de evasão escolar, entre as crianças e os jovens. Eventos como o calor extremo também repercutem na concentração, desenvolvimento e bem-estar dos estudantes, enquanto inundações ou furacões destroem

a infraestrutura e os materiais escolares, impedindo os alunos de receberem uma formação adequada. Em 2020, a passagem, devastadora, dos furacões Eta e Yota, causou uma crise humanitária na América Central e destruiu centenas de escolas na Nicarágua, Guatemala e Honduras (Fig.87).

O aumento da migração proveniente do Caribe ou da América Central está diretamente associado a esses fenômenos e, embora não seja uma relação determinista, espera-se que 17 milhões de latino-americanos migrem, até 2050, devido aos efeitos das mudanças climáticas.



Figura 87 – Inundações e destruição provocadas pela passagem dos furacões Eta e Yota, por Honduras em 2020.

(fonte: <https://lamanzanazul.org/wp-content/uploads/2020/12/Honduras-huracan-ETA-y-OTA-1-714x620.png>)

Estamos vivendo um momento decisivo diante dos desafios da emergência climática. Embora os efeitos das mudanças climáticas sejam mais pronunciados em regiões como a América Latina e o Caribe, a ciência não deixa espaço para ambiguidades: a mudança climática é um desafio do presente que ameaça o bem-estar e a sobrevivência das pessoas e do planeta.

Como mostrou o recente relatório do IPCC (2022), com 1,1°C de aquecimento, a mudança climática já está causando consequências generalizadas em todas as regiões do mundo e, se não se conseguir reduzir pela metade as emissões de GEE, nesta década, e promover políticas de adaptação imediatamente, as repercussões serão catastróficas.

Neste sentido, a COP27 representa uma oportunidade única para priorizar a agenda ambiental e climática, bem como para promover a solidariedade e a cooperação em várias frentes. Já não se trata de uma escolha: não há alternativas para o planeta.

7.6.1. Desafios e oportunidades

Temperaturas mais altas, eventos climáticos extremos e a dependência de setores sensíveis ao clima, como o turismo e a agricultura, são apenas alguns dos desafios enfrentados pela América Latina e Caribe (ALC). Numa região tão diversa, as mudanças climáticas produzem diferentes impactos nos países e impõem um conjunto de desafios tão variados quanto os próprios países.

Mas as mudanças climáticas também oferecem oportunidades. A transição climática poderia ajudar a impulsionar o crescimento, gerar novos empregos e, em paralelo, apoiar a recuperação após a pandemia e melhorar os resultados, em termos de saúde. A transição será facilitada, em alguns países da ALC, por suas riquezas naturais: metais “verdes” como cobre, níquel, cobalto e lítio.

Na mais recente edição do relatório Perspectivas Econômicas Regionais: América Latina e Caribe, se explora as opções de política disponíveis para maximizar essas oportunidades. A combinação de políticas mais eficaz dependerá dos desafios e circunstâncias de cada país.

As emissões líquidas de GEE na região, são compatíveis com o tamanho da economia e da população – cerca de 8% do total mundial. Contudo, a composição das emissões na ALC é muito diferente da de outras regiões (Fig.85).

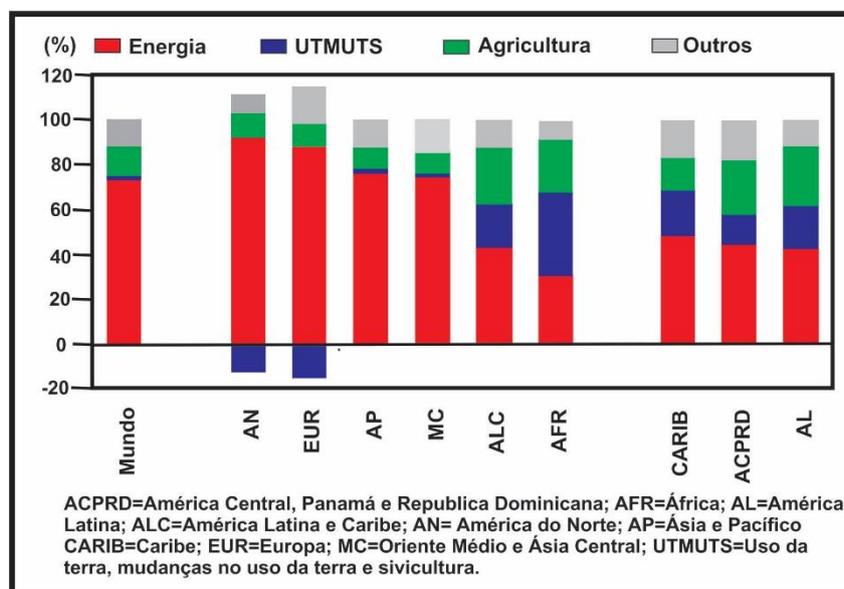


Figura 85 – O gráfico mostra as emissões de gases de efeito estufa por setores do mundo em 2018 e em porcentagem. (modificado: World Resources Institute, 2018)

O setor energético contribui bem menos, para o total de emissões na ALC (43%), do que a média mundial (74%). Por outro lado, a agricultura contribui com 25%, em

comparação com uma média mundial de 13%. O uso da terra, a mudança no uso da terra e a silvicultura (UTMUTS) contribuem com 19%, bem acima da média mundial que é de pouco mais de 1%.

Dada a grande participação nas emissões na categoria UTMUTS, bem como seus numerosos ecossistemas e espécies únicos, a região tem potencial para reduzir as emissões líquidas, com boa relação custo-benefício. De fato, simulações com modelos de Huppmann *et al.* (2019), sugerem que pode ser mais econômico, para o mundo, compensar os países da ALC pela proteção, gestão e restauração de ecossistemas, do que dedicar um volume igual de recursos, para aumentar os esforços de mitigação em outros lugares.

As autoridades da região precisarão adotar uma abordagem multifacetada para atingir suas metas de mitigação das mudanças climáticas, com o intuito de aumentar a eficiência energética e o uso de energia renovável, reduzir as emissões nos transportes e na agricultura e restaurar e proteger as florestas (que funcionam como sumidouros naturais de carbono).

Entre as ferramentas de política, para atingir essas metas, figuram: i) medidas de mitigação baseadas no preço, como a redução dos subsídios aos combustíveis fósseis, a introdução de impostos sobre o carbono, o estabelecimento de sistemas de comércio de emissões ou o desenvolvimento de um sistema de taxas; ii) medidas de mitigação que não são baseadas no preço, como o investimento público em tecnologias e infraestrutura de baixo carbono, incentivos fiscais e regulamentação favorável à mitigação.

A eliminação gradual dos subsídios à energia e a instituição de impostos universais sobre o carbono de até US\$ 75 por tonelada, poderiam ajudar alguns países da ALC a alcançar suas metas do Acordo de Paris de 2016. As receitas geradas por essas políticas variam de 0,5% a 4,5% do PIB e poderiam ser usadas para compensar as famílias vulneráveis, pela elevação dos preços do carbono.

7.7. A Europa e o desafio das mudanças climáticas

7.7.1. Principais riscos na Europa associados à mudança climático

Em fevereiro de 2022, foi publicado um relatório do IPCC sobre impactos, vulnerabilidade e adaptação, que inclui um capítulo sobre a Europa. Este capítulo identifica quatro riscos principais para o continente europeu:

- 1) ondas de calor com consequências para a saúde humana e os ecossistemas;

- 2) perdas no rendimento agrícola devido a ondas de calor e secas;
- 3) escassez de água que afeta o mundo agrícola, mas também a produção de eletricidade, barragens, centrais térmicas e indivíduos;
- 4) inundações costeiras devido ao aumento do nível do mar e inundações continentais devido a chuvas intensas.

A figura 86 ilustra uma inundação continental ligada a um episódio de chuva intensa, ocorrido entre maio e junho de 2016, na Alemanha. Esse evento custou cerca de 1,4 bilhões de euros em danos segurados. É duas vezes mais provável que ocorra atualmente do que num clima pré-industrial.

Além destes quatro riscos principais, temos uma série de riscos em cascata, que podem estar relacionado a incêndios florestais ou, riscos para o sistema segurador e financeiro ou, riscos de perdas na cadeia produtiva. Quanto mais se agravar o aquecimento global, mais intensos se tornarão esses riscos.



Figura 86 – Foto de inundação ocorrido na Alemanha entre maio e junho de 2016.
(fonte: https://www.cnnbrasil.com.br/wp-content/uploads/sites/12/2021/08/45964_2EE32C31F5629E09-1.jpg)

Se tomarmos o exemplo apresentado pelo Relatório do IPCC, em relação ao risco para a saúde humana e a mortalidade, se observa, por exemplo, que até 0,7°C de aquecimento, o efeito do aquecimento global, na saúde humana, é muito pequeno. Entretanto entre 0,7°C e 1,5°C, temos efeitos que podem ser descritos como moderados,

podendo ocorrer mortes durante ondas de calor, mas em números suficientemente menor, para não pôr em perigo os sistemas de saúde. Então, quanto mais subir as temperaturas globais, na escala da Europa, mais se avança para riscos graves, até o momento em que se atinge os limites da adaptação. Este limite pode ser atingido em torno de 3°C de aquecimento global, podendo-se ter cerca de 90.000 mortes por ano na Europa, ocasionando um colapso no sistema de saúde.

7.7.2. Adaptação às alterações climáticas na Europa

Face às alterações climáticas, temos uma adaptação que é real e está em progresso, mas que continua a ser insuficiente, dada a velocidade das mudanças. Esse é o Plano Nacional de Adaptação.

Estes planos nacionais são um dos mecanismos de adaptação, mas existem muitos outros: planos regionais, planos municipais, ações de autores privados etc. Observa-se, por exemplo, que a França está relativamente satisfeita com a forma como prepara a adaptação, avalia os riscos, identifica opções e monitoriza e avalia a sua adaptação a nível nacional. Por outro lado, em termos de implementação, ela está menos satisfeita. Se olharmos para a Grã-Bretanha, vemos que essa está mais satisfeita com a sua implementação. Apesar disso, o Alto Conselho Climático da Grã-Bretanha, considera que a Grã-Bretanha está, atualmente, menos preparada para as alterações climáticas do que em 2015, simplesmente porque a adaptação estava a avançar muito lentamente em comparação com as alterações climáticas, que estavam a avançar mais rapidamente. Em outras palavras, existe uma lacuna entre o planeamento e a implementação da adaptação, e esta lacuna continua a aumentar.

7.7.3. Viabilidade e eficácia das medidas de adaptação

O desafio é abandonar uma adaptação, que é muitas vezes localizada e limitada a um segmento de atividade, e avançar para transformações que sejam realmente susceptíveis de colocar em boas situações, face às alterações climáticas, ou mesmo de melhorar as condições de qualidade de vida.

O relatório do IPCC (2021a) avalia as medidas de adaptação, no que diz respeito à sua eficácia e viabilidade, em diferentes setores, como a saúde humana, as inundações e a agricultura.

Hoje se observa que na Europa, as medidas de adaptação consistem, principalmente, em aumentar a oferta de água. Esta será, por exemplo, o armazenamento

de água em bacias subterrâneas ou superficiais, a dessalinização da água do mar, ou mesmo a reutilização de águas usadas. Se tomarmos o caso do armazenamento, vemos que a eficiência é limitada, porque com o aquecimento global há mais evaporação e transpiração das plantas. Durante as secas viveremos, portanto, mais rapidamente situações de tensão nos recursos hídricos. Em termos de viabilidade, a viabilidade econômica é relativamente limitada, na medida em que estas infraestruturas são caras, entretanto por outro lado, existe apoio institucional para este tipo de solução. Além disso, temos compromissos em termos ecológicos, porque a água que é levada para ser armazenada em reservatórios, simplesmente faltará nos ecossistemas fluviais ou estuários.

Se olharmos para todas as medidas disponíveis, temos toda uma série de medidas hoje menos desenvolvidas, que dizem respeito à procura. Trata-se, por exemplo, de regulamentos que permitem evitar a procura excessiva de água, ou instrumentos econômicos, como a tarifação progressiva da água. Também pode ser consulta entre usuários ou utilização de culturas que requerem menos água. Economicamente, estas medidas são interessantes porque são muito baratas. Do ponto de vista institucional são apoiadas, mas talvez exijam vontade de cooperar. Além disso, o benefício que podemos ver, dessas medidas orientadas para a procura, é que elas limitam os conflitos entre utilizadores. Por outro lado, essas medidas orientadas para a “procura” por si só, são moderadamente eficazes e devem ser combinadas com medidas orientadas para a “oferta”, a fim de lidar com essa escassez de água, associada às alterações climáticas.

No sexto relatório do IPCC (2021a), vê-se toda uma série de medidas de adaptação que são verdadeiramente transformacionais e que permitem adaptar às alterações climáticas, que já estão aqui. Infelizmente, não se está indo nessa direção. Preferimos ir em direção à perdas massivas de biodiversidade marinha, biodiversidade terrestre, riscos para a produção de alimentos, cidades nas quais as ilhas de calor urbanas são amplificadas pela falta de vegetação e pela poluição atmosférica associada aos transportes, que são sempre intensivos em carbono. Temos que ir em direção a um mundo em que possamos alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, limitámo o aquecimento global, adaptámo-nos a ele e limitámo a perda de biodiversidade. Neste mundo, conseguiremos implementar Áreas Marinhas Protegidas, sem pesca, a agroecologia, que é uma solução para a agricultura que consiste em limitar insumos, nitratos, fosfatos, pesticidas, para oferecer oportunidades para os ecossistemas selvagens se adaptarem às mudanças climáticas. É também um mundo em que podemos ter cidades

com produção de energia livre de carbono, com vegetação para limitar as ilhas de calor urbanas, com transportes livres de carbono e espaço para caminhadas, ciclismo, transportes públicos.

7.8. Mudanças climáticas no sul do Brasil

Acontecimentos climáticos e meteorológicos como furacões, chuvas torrenciais e fortes estiagens, a algum tempo atrás, nunca seriam imaginados ocorrendo e alterando à rotina climática do sul do Brasil. Não só aqui, mas em todo o mundo, muitos alertas como esses têm se manifestado, mostrando que algo anômalo está acontecendo. E o ser humano, causador desses problemas que têm ocorrido com uma frequência cada vez maior, é o único que pode ajudar a resolvê-los. A fúria da natureza, manifestada em cada novo desastre, é o alerta que chama a atenção para que a humanidade corrija seus erros efetuados contra a natureza, mostrando a eles sinais de como serão as consequências de suas atitudes, caso continuem agindo de forma errada.

As alterações climáticas já não são mais uma hipótese científica; elas já estão a ocorrer nos nossos quintais. Os gaúchos, das grandes cidades e do interior, já estão percebendo que o clima do Estado não é mais o mesmo. Eventos extremos, como o ciclone Catarina, estiagens severas, noites mais quentes e o aumento na frequência e na intensidade das chuvas, podem ser apenas a ponta de um iceberg de mudanças climáticas que ainda estão por vir.

Os número de dias seguidos sem chuva está diminuindo e o número de dias com precipitação consecutiva está aumentando em todas as estações do ano. A frequência de chuvas cresce, mas os estudos mostram que, nos últimos anos, o Estado tem sofrido com as piores estiagens da história. Conclui-se que temos mais chuvas, entretanto, estas se apresentam de forma intensa e concentrada, o que prejudica diretamente a agricultura.

Picos de temperaturas extremas são observados com frequência. Faz muito calor e muito frio em um curto espaço de tempo. As estações do ano estão cada vez mais misturadas e afastadas de suas características. Essas alterações bruscas de temperatura prejudicam a qualidade de vida dos habitantes em geral, mas principalmente dos idosos e das crianças que lotam as emergências dos hospitais, vítimas de problemas respiratórios.

O desmatamento que ocorre na Amazônia, também influencia as alterações climáticas do Rio Grande do Sul. Uma parte significativa do vapor de água, formado sobre a floresta, se desloca para o sul do continente, trazendo chuvas que se precipitam no centro-sul do Brasil e no norte da Argentina.

As secas dos últimos anos estão associadas à falta de entrada de umidade vinda da Amazônia. Um desmatamento efetuado no Estado, em si, não provocaria o efeito que um desmatamento ocorrido na floresta amazônica causaria. As chuvas, no Rio Grande do Sul, são ocasionadas pelos ventos alísios que provêm da Amazônia e que devido às frentes frias, que vem da Antártica, provocam chuvas com maior ou menor densidade, dependendo das forças de cada uma dessas frentes. Um desmatamento no Rio Grande do Sul, por exemplo, não alteraria as chuvas dentro do Estado.

Em 2004, os gaúchos presenciaram cenas que só haviam visto na televisão, acontecerem diante de seus olhos. O Brasil que sempre foi caracterizado como um país sem grandes desastres naturais, foi palco, no sul do Brasil, de um violento ciclone, o Catarina. Ciclone, este, de categoria 1 na escala, com ventos de até 150 km/h, matou 11 pessoas e causou um rastro de destruição em inúmeros municípios entre Laguna (SC) e Torres (RS) (Fig.87).

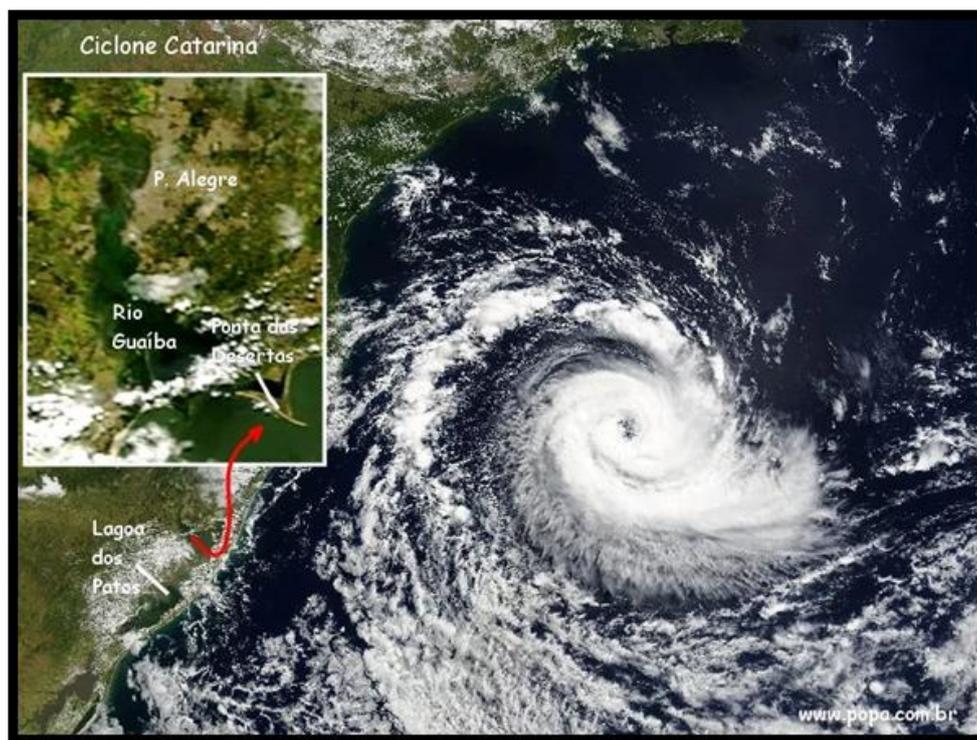


Figura - 87 Imagens da NASA do Ciclone Catarina ocorrido em 27/03/2004 que atingiu o sul do Brasil.
(fonte: https://acervo.popa.com.br/imagens/03-04/CicloneCatarina_MarceloMaia_750.jpg)

O aquecimento da costa brasileira pode fazer do litoral gaúcho, uma região com condições favoráveis para o desenvolvimento de ciclones extratropicais. O aumento do nível do mar, também decorrente do aquecimento, põem em risco a vida de milhões de brasileiros que vivem na região costeira e ameaçam a destruição de cidades inteiras.

Outra área afetada é a dos produtores, os quais mais sofrem com os períodos de estiagem. As mudanças climáticas têm um peso enorme para o equilíbrio ambiental e impacta diretamente na agricultura, única fonte de renda para milhares de famílias gaúchas. A agricultura gaúcha enfrentou em 2004/2005 a estiagem mais intensa dos últimos 50 anos. A quebra da safra chegou a 8,5 milhões de toneladas de grãos (soja, milho e feijão), com um prejuízo recorde de R\$ 3,64 bilhões e 451 municípios em situação de emergência ou estado de calamidade. Nas duas últimas décadas, para cada dez safras, os agricultores do Rio Grande do Sul, tiveram quatro delas frustradas pela ocorrência de estiagens.

Quando chove é de forma concentrada o que faz com que o nível dos rios aumente num primeiro momento e diminua drasticamente nos dias seguintes, as plantas cultivadas não resistem a tantas mudanças. Os agricultores necessitam estabelecer novas estratégias de adaptação às novas condições climáticas, com cultivo de plantas mais resistentes ao calor, irrigação, e manejo de fertilizantes.

Diante de tantas mudanças e de um quadro não muito animador para o futuro, cabe pensar nas consequências de tudo isso e o que se pode fazer para evitá-las, minimizá-las ou se adaptar a elas.

No caso do Rio Grande do Sul, a frequência e a intensidade das secas tende a piorar, aumentando o êxodo rural e inviabilizando o plantio de uma série de produtos, especialmente grãos. Na agricultura da região sul, o aumento da temperatura mínima vai certamente ocasionar redução de rendimento de culturas como o milho e o trigo. O aumento da temperatura também vai prejudicar ou reduzir as áreas aptas para as culturas ditas de clima temperado que exigem frio, como é o caso de algumas frutíferas (macieira, pessegueiro).

As chuvas cada vez mais intensas e concentradas podem castigar as cidades, especialmente os bairros mais pobres, que sofrem com falta de saneamento básico e infraestrutura (Fig.88). Extremos de temperatura podem se intensificar tanto no verão quanto no inverno. Além disso, temperaturas mais altas aumentam a incidência de doenças e a mortalidade de idosos.

As formas de minimizar esses efeitos seriam adaptar o calendário agrícola as alterações climáticas já observadas, e incentivar a diversificação de culturas. Realizar o reflorestamento de mata nativa para preservar as nascentes dos rios e aumentar a retenção de água. Além de investir em pesquisas que garantam previsões e prognósticos mais completos da situação do clima no Estado.



Figura 88 - Inundação em Venâncio Aires-RS após a passagem de um ciclone extratropical em 09/2023, devido a subida das águas do rio Taquari.

(fonte: <https://ichef.bbci.co.uk/news/640/cpsprodpb/2bcf/live/02f8eef0-4c2a-11ee-9b58-cb80889117a8.jpg>)

7.9. Consequências locais do aquecimento global: efeitos sobre cidades

Embora o aquecimento global atue a nível global, este provoca consequências muito diferentes dependendo das regiões do mundo. Depois de termos estudado o aquecimento global à escala terrestre, depois de termos analisado a América Latina e o Caribe, a Europa Ocidental e o Sul do Brasil, vamos abordar, à escala espacial, e ver como o aquecimento global do clima, também pode produzir mais consequências locais, tanto em termos de temperaturas e precipitações.

Independentemente do aquecimento global e da topografia, os diferentes ambientes geográficos que são conhecidos, apresentam características climáticas diferentes de um ambiente para outro. Por exemplo, uma floresta e um prado não terão o mesmo clima, ou uma região arenosa não terá o mesmo clima que uma região argilosa. Nestes diferentes ambientes, existem dois que se caracterizam pelas suas diferenças, são as regiões urbanas e rurais. A temperatura medida no centro de uma cidade será, quase sempre, superior à temperatura medida na zona rural circundante, especialmente durante as ondas de calor, mas também em pleno inverno (Fig.89).

Este excesso de temperatura que ocorre dentro de uma cidade é denominado “ilha de calor urbano” e é explicado, principalmente, por três fatores: materiais, atividades humanas e configurações urbanas.

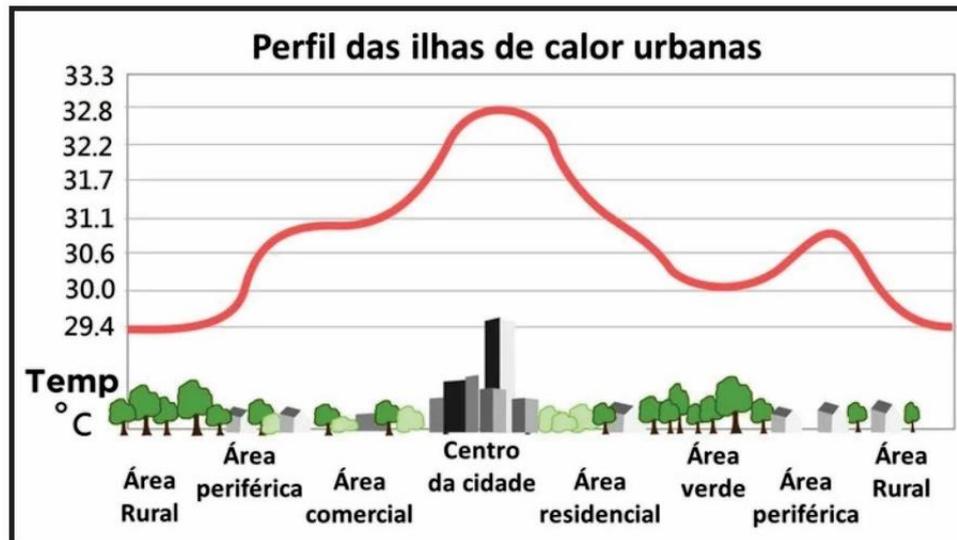


Figura 89 – Variação do aquecimento em uma zona urbana e uma zona rural.
(fonte: <https://static.todamateria.com.br/upload/va/ri/variacaodetemperaturanasilhasdecalor-cke.jpg>)

Em primeiro lugar, os materiais que constituem uma cidade, o concreto, o asfalto, os tijolos, o alcatrão, as pedras etc., são elementos minerais que têm um albedo muito baixo e por isso acumulam calor durante o dia, refletindo-os depois na forma de infravermelho e aquecendo assim o ar ambiente. Já no campo, os materiais que o compõem, apresentam maior albedo, devolvendo mais energia ao espaço. Além disso, a vegetação é mais abundante e graças ao seu teor de água que evapora, e que arrefece a temperatura, essa vegetação permite regular a temperatura, o que é especialmente útil durante as ondas de calor.

O segundo fator que influencia a ilha de calor urbana, são as atividades humanas como, aquecimento, ar-condicionado, circulação de veículos térmicos, esgotos, indústria etc. Todas essas atividades humanas liberam calor na atmosfera, adicionando assim mais algumas calorias à atmosfera de um cidade. Já no campo, estas atividades também podem existir, mas são muito menos numerosas, menos concentradas e têm pouco ou nenhum impacto na temperatura.

Finalmente, o terceiro fator é a configuração urbana de uma cidade que desempenhará um papel nesta ilha de calor urbano. À medida que a densidade construtiva é maior e os edifícios mais imponentes, a circulação do ar é mais lenta. Assim, todo o calor devolvido pelos materiais ou produzidos pelas atividades humanas, não são facilmente evacuados e se acumulam nos ambientes urbanos, o que não é o caso nos ambientes rurais, onde o excesso de calor é muito rapidamente disperso pelo vento, mesmo que esse seja fraco. Por estas razões, as cidades apresentam temperaturas mais elevadas do que as zonas rurais circundantes.

Para a cidade de Presidente Prudente (Brasil), por exemplo, a diferença de temperatura entre a cidade e os seus arredores pode variar de alguns décimos de graus a mais de 10°C, dependendo dos dias, estações e condições meteorológicas. Num dia muito nublado e com muito vento, a diferença será pequena, mas num dia ensolarado e pouco ventoso, a diferença será muito maior, como durante uma onda de calor (Fig.90).

Continuando com o exemplo de Presidente Prudente, a cidade deverá experimentar um aumento médio de temperatura de +2°C a +6°C, dependendo dos diferentes cenários de aquecimento. Imaginando uma cidade em condições normais, que experimenta uma ilha de calor urbana de +3°C, em comparação com a sua periferia, e acrescentando a esta ilha de calor os graus adicionais devido ao aquecimento global, toda a curva de calor apresentará, cidade e periferia, um aumento, digamos, 4°C. Soma-se a isso o excesso de calor, devido a uma onda de calor, vamos obter um aumento de calor de +17°C na cidade.

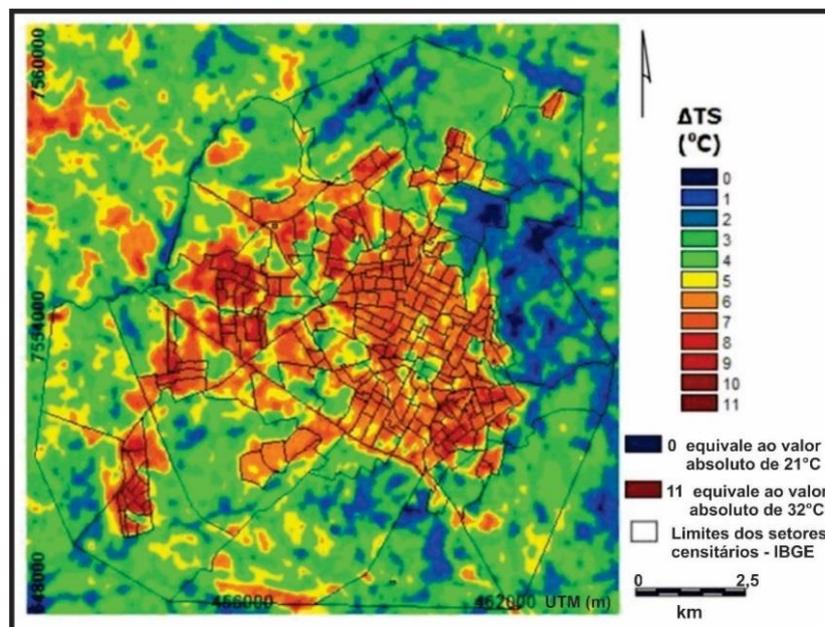


Figura 90 - Carta da intensidade de ilhas de calor superficial da cidade de Presidente Prudente-SP, gerada a partir da imagem do canal infravermelho termal (banda 10) do Landsat-8 de 28/01/2014. (modificado: Amorim,2017)

As temperaturas na cidade se tornarão quase letais, durante certos períodos do verão. É, portanto, mais do que urgente proteger as nossas cidades, reduzindo a amplificação da ilha de calor urbana.

Mas não é apenas a temperatura que pode mudar localmente, há também a precipitação, e mais uma vez, a urbanização desempenhará um papel importante. Antes de chegar ao cerne da questão, vamos definir o cenário. Como acabamos de ver, os solos não reagem da mesma forma: dependendo do seu albedo, do seu teor de água, da sua

vegetação etc., terão uma resposta diferente dependendo do mesmo aquecimento. E o mesmo vale para a precipitação. Dependendo da sua textura, da sua vegetação, do seu grau de urbanização, os solos também terão uma resposta diferente à mesma quantidade de precipitação.

A figura 91, representa esquematicamente, a esquerda, uma área rural e a direita, uma área urbana. Supomos que caia uma chuva de 10 mm, que é a intensidade de uma chuva boa num clima temperado. Lembre-se que uma chuva de 10 mm equivale a ter 10 litros de água por m² de superfície. O que acontecerá com a região rural? Bem, metade, ou seja, 5 mm, irá infiltrar-se no solo, 4 mm retornará a atmosfera por evapotranspiração e apenas 1 mm irá escorrer sobre a superfície. Vamos agora considerar a área urbana e como antes, deixar cair 10 mm de chuva. Neste caso, apenas 1,5 mm se infiltrará no solo, 3 mm irá para atmosfera por evapotranspiração e o restante, ou seja, 5,5 mm, escorrerá pela superfície em direção a pontos mais baixos.



Figura 91 – Representação esquemática de uma área rural e outra urbana.

Como a cidade possui muitas superfícies impermeáveis, a água escorre e se concentra em pontos baixos e em esgotos, até chegar ao rio mais próximo. Tudo isso são apenas números reduzidos para 1 m², faça o cálculo em uma área maior ao seu redor e esses 5,5 mm por m² se acumulam e podem virar milhares de litros.

Como vimos, a intensidade da precipitação aumentará no verão em diversas regiões do mundo, em maior ou menor grau, dependendo do cenário de aquecimento utilizado. Com base na figura 91, e desta vez causando uma chuva torrencial de 100 mm, ou 100 litros de água por m². Isto pode parecer enorme, mas é o equivalente ao que cai durante uma tempestade intensa, em regiões temperadas, durante 1 a 2 horas. O problema com precipitações tão intensas é que uma grandes quantidades de água chega em um curto período de tempo. Mesmo nas zonas rurais, os solos terão uma infiltração menos

eficaz e essa quantidade infiltrada dependerá do tipo, estrutura ou rugosidade do solo, do declive, do seu teor de água, da sua cobertura vegetal etc.

A cobertura florestal absorverá mais do que o solo descoberto, ou as terras planas absorverão mais do que as terras inclinadas. Por outro lado, em ambiente urbano é muito mais claro, seja a chuva leve ou intensa, o revestimento impermeável continua com infiltração zero, então 55 mm dos 100 mm vão escorrer e, provavelmente, ainda mais porque os raros solos que permitem a infiltração, ficarão rapidamente saturados e, portanto, transferirão essas quantidades de água, não infiltrada, para o escoamento superficial.

Quanto à evapotranspiração, ela mudará apenas ligeiramente. Assim, teremos mais de 55 mm de escoamento superficial por m², ou dezenas de milhares de litros por algumas centenas de m². Os drenos e esgotos não conseguem mais absorver todo esse escoamento e, portanto, a água é forçada a passar por outro caminho, geralmente estradas. Precipitação intensa, favorecida pelo aquecimento climático, combinado com a impermeabilização do solo, aumentará o risco de inundações, provocando danos materiais ou vítimas humanas, no pior dos casos.

Através destes dois exemplos, ondas de calor e precipitação intensa, se observa que a vegetação desempenha um papel fundamental na regulação e retardamento desses dois extremos. Mas implicitamente, se acaba de ver também, que as escolhas a nível local, particularmente no que diz respeito à urbanização e à gestão das terras, têm uma influência significativa nas consequências do aquecimento global que será amplificado nas áreas urbanas. É portanto urgente sentar-se à mesa para desenvolver soluções.



Vista de Sena Madureira sob inundações (Acre, Brasil). Foto: © Alexandre Noronha, Greenpeace
(fonte: <https://ciclovivo.com.br/wp-content/uploads/2022/02/crise-climatica-ciclovivo.jpg>)

7.10. Efeitos da mudança climática observados no ano de 2023 no Brasil.

Certamente, 2023 foi um ano em que os efeitos climáticos foram observados mais claramente por todos os brasileiros. Inúmeros episódios de inundações, chuvas torrenciais, secas intensas, ondas de calor sufocante, etc, foram observados. Apesar do IPCC estar alertando para que temos que nos preparar para enfrentar climas mais inóspito, o Brasil muito pouco tem feito. Atualmente já nos encontramos com um aumento médio de temperatura global de 1,2°C ao longo dos últimos 100-120 anos.

Este aumento de temperatura não é homogêneo em todo o território nacional. Algumas regiões, como a região Leste da Amazônia e o vale do rio São Francisco, já apresentam um aquecimento em torno de 2,3°C. Segundo pesquisas realizadas, o ano de 2023 foi o mais quente dos últimos 125 mil anos. Mas não é só isso, também se observou fortes alterações no regime de chuvas, com redução na precipitação da ordem de 20% na região Nordeste do Brasil, e em torno de 15% na região Leste da Amazônia. A partir dos diferentes cenários de emissões de CO₂, propostos pelo IPCC para as próximas décadas, as previsões de aumento médio de temperatura do planeta é de 2,8°C a 4,3°C. Para o Brasil, isso significa que poderemos observar um aumento de temperatura da ordem de 4 a 5°C, a qual terá impactos devastadores sobre toda a sociedade brasileira.

Uma das observações mais visíveis, em relação as mudanças climáticas, é o aumento da frequência e da intensidade dos chamados eventos climáticos extremos, tais como chuvas muito fortes, secas prolongadas e ondas de calor. No início do ano de 2023, observou-se chuvas intensas atingirem o litoral do Estado de São Paulo, causando destruição e mortes, particularmente para a população mais vulnerável. Em 2022, ocorreram também fortes cheias em Minas Gerais e na Bahia, que também causaram destruições e mortes. O Brasil Central, nos anos de 2021 e 2022, também sofreu uma prolongada e destrutiva seca, a qual afetou a produção agrícola e a geração de energia através das hidroelétricas.

O Sul do Brasil, em especial o Rio Grande do Sul, no ano de 2022, também sofreu uma forte estiagem, prejudicando a produção de alimentos no Estado, seguida, no ano de 2023, de um forte alagamento em torno das principais cidades localizadas próximas de rios e regiões produtoras de alimentos.

No Brasil, o número de dias com ondas de calor passou de 7 para 52 em 30 anos, segundo estudos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que analisou dados

climáticos relativos dos últimos 60 anos, a pedido do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). Até o momento, um total de 5,8 milhões de pessoas foram afetadas por chuvas intensas e secas prolongadas, segundo dados da Confederação Nacional dos Municípios (CNM).

A aceleração dos eventos climáticos extremos é nítida. As temperaturas nos meses de julho a outubro de 2023, ficaram acima da média monitorada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a partir de estações espalhadas por todo o País. O mês de setembro de 2023 foi emblemático, com 25,8°C de temperatura média, 1,6°C acima dos registros históricos para o período.

O aquecimento global ocasionado pela emissão de GEE, acelerado pela chegada do fenômeno El Niño, que aquece a superfície das águas do oceano Pacífico, explicam as elevadas temperaturas que, segundo os meteorologistas, vão se intensificar no ano de 2024.

O Brasil precisa se adaptar ao novo clima, e isso tem que ser feito em todos os níveis: desde os municípios, passando pelos governos estaduais até o Governo Federal. Políticas de redução de emissões GEE de adaptação climática são muito urgentes para diminuir o impacto das mudanças climáticas na sociedade. O País tem muitas tarefas a cumprir em um curto prazo de tempo para proteger a população e o meio-ambiente.

O Brasil necessita agir imediatamente mudando radicalmente a forma de lidar com a emergência climática, garantindo menores emissões de GEE, acelerando os processos de transição para energias limpas, a transformação com equidade e justiça na perspectiva de alcançar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Caso contrário seremos vítimas dos efeitos do aquecimento global, com aumento da degradação dos ecossistemas, perda de biodiversidade e aumento da pobreza, iniquidade e injustiça.

VIII. COMO AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS AFETARÃO OS NEGÓCIOS – E O QUE PODE SER FEITO

Os impactos das mudanças climáticas estão sendo sentidos em todos os setores. Mas quais são os riscos que devemos nos preocupar e como poderemos nos preparar para um futuro mais ecológico?

As mudanças climáticas e a transição para um futuro com carbono zero, podem dar impulso a novas indústrias e novas oportunidades de crescimento para os negócios, gerando novos empregos e até revitalizando as economias.

Por outro lado, existe um ponto negativo. Quase todos os setores estão ameaçados pelos impactos das mudanças climáticas, seja direta ou indiretamente. Para as empresas que estão pensando sobre como tais mudanças podem afetar seus negócios, se deve considerar os riscos que se enquadram em três categorias: físicos, transitórios e de responsabilidade.

a) Riscos físicos

Os riscos físicos, da mudança climática, são as ameaças imediatas que vêm do ambiente físico, incluindo inundações, furacões, secas, incêndios florestais e outros riscos naturais que são agravados pelas mudanças climáticas, e podem causar danos às pessoas, bens e infraestruturas críticas. Por exemplo, se estima que 1,8 bilhão de pessoas, ou 23% da população global, estejam diretamente expostas a inundações com nível acima de 0,15 m, em um evento de inundação de 1 em 100 anos. Além disso, 700 milhões de pessoas correm o risco de ficarem desabrigadas, devido às secas que irão ocorrer até 2030.

Os principais eventos climáticos já estão causando impacto nos negócios, tendo estes eventos climáticos custado, à economia global, US\$ 313 bilhões em 2022, e apenas US\$ 132 bilhões dessas perdas eram cobertas por seguros.

O setor agrícola está particularmente exposto a riscos climáticos físicos. As inundações e as secas podem representar um risco para as plantações e o gado, assim como o frio e o calor extremos.

A indústria do lazer é outro setor que corre risco físico imediato, com as mudanças climáticas. As estações de esqui estão tendo temporadas mais curtas, já que o aumento das temperaturas reduz a quantidade de neve: quase todos os resorts de esqui dos Estados Unidos podem ter uma temporada 50% mais curta até 2050, e de 80% até 2090.

b) Riscos transitórios

Os riscos transitórios vêm dos custos comerciais, potencialmente mais altos, em virtude de novas políticas, leis e outros regulamentos definidos, para enfrentar as mudanças climáticas. Esses riscos, também podem surgir de mudanças em tecnologias e tendências de consumo, o que também pode levar a riscos de reputação, conforme a

sociedade muda sua visão sobre práticas comerciais éticas. E à medida que os setores se afastam das atividades, que contribuem para as mudanças climáticas, mais suscetíveis ficam aos ativos irrecuperáveis – um terreno, imóvel ou equipamento cujo valor se deteriorou.

A indústria de energia é um setor particularmente aberto ao risco transitório. Com o estímulo das fontes de energia mais sustentáveis e segurança energética, os governos passam a depender cada vez mais de fontes de energia renováveis e exigem emissões de carbono zero dos produtores.

O setor de mineração, também está exposto aos riscos transitórios. A mineração de metais preciosos, por exemplo, pode estar em risco financeiro com políticas que introduzem a precificação do carbono. Os impactos negativos da mineração no clima e no meio ambiente, estão se transformando em um problema de reputação cada vez maior para as empresas de mineração, o que desperta preocupação nos investidores, quanto aos negócios que poderiam causar danos à reputação, por associação.

c) Riscos de responsabilidade

Os riscos de responsabilidade surgem de uma falha em mitigar, se adaptar, divulgar ou cumprir as mudanças nas expectativas legais e regulatórias. Os litígios climáticos estão aumentando em todo o mundo, refletindo os avanços na ciência da atribuição, a evolução das disputas judiciais e a mudança do sentimento público. Também estão sendo impulsionados por um foco maior de reguladores e investidores, que desejam garantir que as empresas façam as divulgações necessárias e estejam em conformidade com um cenário regulatório em constante evolução.

As empresas que poluem estão obviamente expostas a possíveis litígios, assim como as empresas que deixam de considerar as mudanças climáticas futuras em seus produtos e serviços. Por exemplo, engenheiros estruturais ou incorporadoras que deixam de considerar o aumento da intensidade da chuva no projeto de sistemas de drenagem.

8.1. Como as empresas devem responder aos riscos climáticos?

Toda empresa é afetada pelos riscos físicos, transitórios e de responsabilidade. Isso exigirá uma mudança significativa na forma de como as empresas gerenciam sua abordagem de resiliência e adaptação climática. Mitigar tudo que envolve esse cenário, deverá fazer parte da estratégia de negócios. Como os impactos das mudanças climáticas

e os riscos que eles representam estão em constante mudança, a análise de riscos deve ser realizada regularmente.

Essas etapas podem fazer com que empresas invistam em novas tecnologias, migrem para novas áreas da indústria ou adaptem seus modelos de negócios. Por exemplo, a estação de esqui Arosa, na Suíça, está desenvolvendo um modelo de turismo de verão, para proteger seu negócio da redução da temporada de neve no inverno. As estações de esqui, também estão adotando a tecnologia, como a semeadura de nuvens, para fazer com que as nuvens produzam neve, e até mesmo máquinas de neve movidas a vento que funcionam em temperaturas acima de zero (Fig.92).



Figura 92 – Máquina de fazer neve.

(fonte: <https://media.istockphoto.com/id/451068023/pt/foto/snowmaking.jpg?s=612x612&w=0&k=20&c=48xsmxzYZqyyAqpmTfKOV53VqbOkwGlzY3bh3ogJeXk=>)

As empresas devem ter como objetivo desenvolver, coletivamente, soluções de risco climático, aproveitando a expertise e considerando as necessidades de outras partes interessadas, incluindo pesquisas, reguladores, órgãos governamentais e comunidades.

As seguradoras também podem desempenhar um papel fundamental. Estas naturalmente desejam proteger seus clientes e podem compartilhar seus conhecimentos e expertise em gerenciamento de risco. Um grupo de 22 seguradoras se reuniram com a ONU para produzir um relatório, descrevendo como a indústria pode ajudar a analisar e mitigar os riscos climáticos. O relatório recomenda uma abordagem mais integrada que analisa os riscos físicos, transitórios e de responsabilidade das mudanças climáticas e que poderia ser adotada por seguradoras em todos os setores, a fim de que estas, preferivelmente, se protejam e protejam as empresas que asseguram.

8.2. Quais oportunidades de negócios surgem com as mudanças climáticas?

Tudo isso traz enormes desafios, mas alguns setores, como os fornecedores de energia limpa, podem aceitar as oportunidades. De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIEA), a energia renovável deve se tornar a maior fonte de geração de eletricidade no mundo, no início de 2025, superando o carvão. Espera-se que sua participação no mix energético chegue a 38% em 2027, bem acima dos 28% em 2021.

A inovação no transporte também colherá frutos. A União Europeia e o Reino Unido, planejam banir o comércio de veículos a combustão nas próximas duas décadas, o que deve trazer lucro aos fabricantes de veículos elétricos. A Tesla, talvez seja a mais conhecida, mas todos os principais fabricantes de automóveis estão lutando para criar carros elétricos mais potentes e confiáveis (Fig.93). Desde a captura de carbono até a reciclagem, as novas tecnologias que podem nos ajudar a adaptar a forma como criamos e usamos os produtos, terão alta demanda. Os negócios que apresentarem novas ideias, para atenuar os impactos prejudiciais dos processos industriais existentes, prosperarão.

Os efeitos das mudanças climáticas estão sendo sentidos nas empresas, em todo o mundo. Tomar medidas para mitigar o impacto no clima é fundamental, mas também faz sentido no aspecto financeiro. Ao agirem neste momento, as empresas podem reduzir os riscos decorrentes das mudanças climáticas e até mesmo aproveitar as novas oportunidades apresentadas, por um futuro mais ecológico.



Figura 93 – Carro elétrico da Tesla.

(fonte: <https://cdn.motor1.com/images/mgl/W89LJ1/s3/tesla-model-y-supercharger.jpg>)

IX. ADAPTAÇÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

9.1. Introdução

Como a humanidade está respondendo à crise climática? Pode-se dizer, que temos duas áreas de ação principais: a primeira é deter a origem do problema, neste caso mitigando as emissões de GEE, e a segunda é combater os impactos, o que significa ajudar a sociedade e os ecossistemas a se adaptarem a condições meteorológicas mais quentes, mais húmidas, mais ventosas, mais variáveis e mais extremas.

A ideia de adaptação às alterações climáticas foi uma discussão científica marginalizada nas décadas de 1990 e 2000. Agora, a adaptação é estudada numa vasta gama de ciências naturais e sociais, bem como nas humanas. Em todo o mundo, existem planos e políticas de adaptação, desde o nível local até ao nível nacional. Além disso, pelo menos 170 países incluíram a adaptação na sua política climática e no seu processo de planeamento, e muitas ações planejadas já estão a ser implementadas.

À medida que a adaptação se espalhou por diferentes espaços, o conhecimento sobre ela também aumentou.

9.2. Mitigação das alterações climáticas

9.2.1. Definição

A mitigação compreende a redução das emissões de GEE e o aumento dos sumidouros de carbono. Ao agir sobre as causas das alterações climáticas, a mitigação visa limitá-las e evitar os seus efeitos mais graves.

O estado do conhecimento científico destaca três atitudes principais sobre a mitigação: a primeira é que as ações implementadas hoje, são muito insuficientes. Contudo, e esta é a segunda atitude, existem soluções. Por último, a ativação destas soluções, exige a remoção de obstáculos e a reflexão sobre as sinergias e os riscos de antagonismo com os objetivos de desenvolvimento sustentável.

9.2.2. Primeira atitude

Entre os anos 2010 e 2020, foram implementadas, cada vez mais, políticas de mitigação em muitos países e em todos os níveis governamentais. Por exemplo, a percentagem de emissões de GEE, abrangidas pelas leis climáticas, aumentou de 20% para mais de 50% das emissões globais. Começou-se, portanto, a agir e a medir os efeitos. As medidas implementadas permitiram evitar vários bilhões de toneladas de emissões de

GEE por ano. Mas as emissões globais continuaram a aumentar cerca de 1,3% ao ano. Estas emissões de GEE, cuja acumulação na atmosfera provoca alterações climáticas, atingiu o equivalente a 59 bilhões de toneladas de CO₂ (Fig.94). No entanto, para seguir uma trajetória compatível com a limitação do aquecimento global a 2°C, as emissões globais devem ser reduzidas, em 20% a 30%, até 2030, em comparação com o nível de 2019.

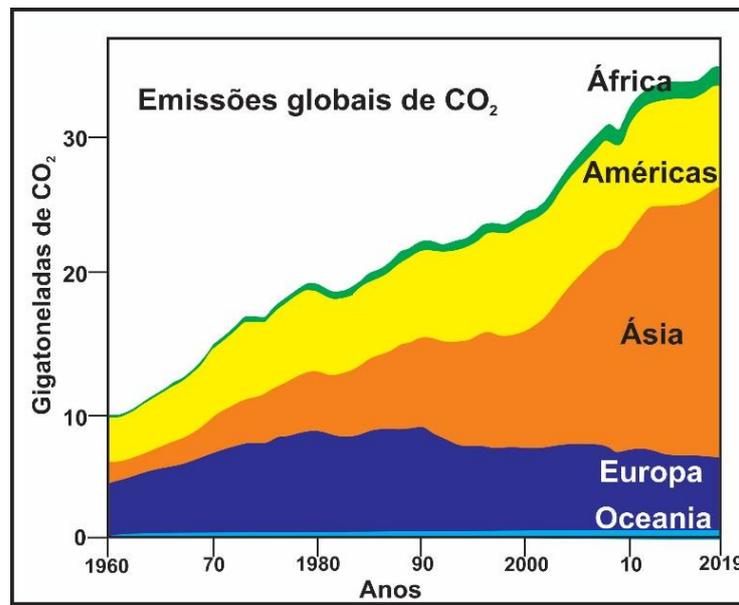


Figura 94 – Emissão global de CO₂ por continente.
(modificado: Grün, et al. 2021)

Qualquer que seja o nível de estabilização do aquecimento global pretendido, se deve alcançar zero emissões líquidas de CO₂, o que também é chamado de neutralidade de CO₂, e uma redução de outros GEE, metano, óxido nitroso e gás fluorado. Em trajetórias compatíveis com 1,5°C, a neutralidade de CO₂ é alcançada por volta de 2050; para 2°C, é por volta de 2070.

9.2.3. Segunda atitude

Estas trajetórias implicam, pela sua escala, em transformações sem precedentes de todos os sistemas: sistemas energéticos, uso do solo, sistemas alimentares, sistemas industriais, infraestruturas de transporte, edifícios e cidades. Se as transformações necessárias são importantes, uma das mensagens do relatório do IPCC, sobre mitigação, é que agora temos as soluções. Especificamente, o relatório mostra que existem opções de redução de emissões que custam menos de 100 dólares por tonelada de CO₂ e que, cumulativamente, poderiam reduzir as emissões globais pela metade, até 2030. As principais opções de redução são:

- tecnologias de produção de eletricidade renovável: solar, eólica, fluvial, nuclear;
- redução de vazamentos de metano e gases fluorados;
- armazenamento de carbono em solos agrícolas;
- restauração de ecossistemas e florestas;
- mudança nas dietas com menos consumo de carne;
- sobriedade e eficiência energética nos edifícios;
- desenvolvimento dos transportes públicos e da mobilidade ativa: ciclismo e caminhada;
- eletrificação dos veículos;
- eficiência energética e eficiência de materiais;
- eletrificação dos processos na indústria.

Na última década, o que mudou significativamente foi o custo de uma série destas opções de redução de emissões: caíram drasticamente à medida que estas opções foram implementadas. Por exemplo, o custo da energia solar foi dividido por dez, em dez anos. Assim, o custo da produção de eletricidade renovável se tornou competitivo com combustíveis fósseis, em muitos lugares do mundo.

9.2.4. Terceira atitude

Está estabelecido que, a nível macroeconômico, agir para limitar a extensão das alterações climáticas, custará menos do que sofrer os danos. No entanto, as grandes transformações necessárias, não podem ser alcançadas sem um esforço proativo ou sem a remoção de um certo número de obstáculos.

Certos obstáculos estão ligados à organização material do aparelho produtivo. Por exemplo, se as infraestruturas já existentes, cuja utilização requer combustíveis fósseis (por exemplo, centrais elétricas de carvão, gás fóssil, petróleo, instalações industriais, veículos térmicos, etc.), fossem utilizadas tecnicamente até o fim da sua vida útil, isso saturaria o orçamento de emissões correspondente a um aquecimento global de 1,5°C. Isto significa que qualquer investimento adicional em infraestruturas que utilizem carvão, petróleo ou gás, contribuiria para exceder este orçamento ou para criar os chamados ativos irrecuperáveis, ou seja, ativos que terão que ser abandonar antes do fim da sua vida útil.

Outros obstáculos são financeiros. Os investimentos ainda vão maciçamente para os combustíveis fósseis, e os destinados à mitigação, são inferiores por um fator de três a seis, dependendo dos setores e regiões, do que os investimentos que seriam necessários.

Mesmo assim, a análise mostra que há capital e poupanças globais suficientes e disponíveis para preencher esta lacuna. Trata-se, portanto, de redirecionar os investimentos para soluções de mitigação.

Outros obstáculos são institucionais. A escala das transformações a implementar, exige medidas ambiciosas e coordenadas entre todos os níveis governamentais, desde territórios, regiões, países e internacionalmente, num mundo extremamente desigual. Globalmente, os 10% dos mais ricos emitem cerca de 40% das emissões, enquanto os 50% mais pobres representam menos de 15% das emissões (Fig.95). Trata-se de organizar a solidariedade face às alterações climáticas. Isto envolve, por exemplo, transferências de tecnologia e financiamento internacional de ações de redução e adaptação de emissões.

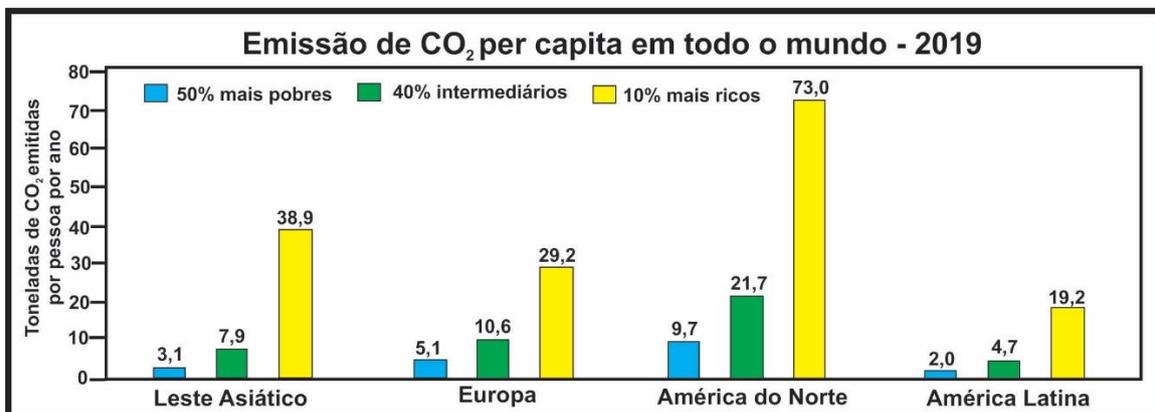


Figura 95 – Gráfico de emissão de CO₂ per capita no mundo em 2019.
(modificado: Chancel et al.,2022)

Para ajudar a remover obstáculos à mitigação, as ações podem contar com sinergias com outros objetivos de desenvolvimento sustentável, como a erradicação da pobreza, a melhoria da saúde, a educação, a redução das desigualdades e a proteção da biodiversidade. Na saúde existem múltiplas sinergias: por exemplo, a adoção de dietas com uma menor utilização de carnes, que ajudariam a reduzir as emissões de metano.

Mas a mitigação pode, inversamente, representar riscos para certas questões de desenvolvimento. Por exemplo, uma estratégia de mitigação baseada no desenvolvimento em grande escala da energia de biomassa, teria consequências muito prejudiciais para a biodiversidade. Para evitar estes riscos, a forma como a mitigação for implementada, será muito importante.

De modo geral, sabe-se que agindo sobre as demandas de energia, materiais e bens para moderar o consumo de recursos em escala global, permite reduzir os riscos. A

concepção das políticas climáticas, também é muito importante. Por exemplo, sabe-se que as consequências sociais da aplicação de um imposto sobre o carbono, dependem sobretudo da utilização que o Estado fará das receitas geradas por este imposto.

Há uma necessidade urgente de agir para reduzir as emissões GEE. Cada atraso na ação se traduz numa ameaça crescente para a humanidade. As soluções para reduzir as emissões são conhecidas. Temos os meios para implementá-las, garantindo ao mesmo tempo o bem-estar de todos, desde que sigamos abordagens de transição justa, ou seja, que tenham em conta a questão das desigualdades, desde a concepção das políticas de transição e que, todos encontrem o seu lugar num futuro mundo com baixas emissões de carbono.

9.2.5. Mitigação das mudanças climáticas do lado da demanda

As ações que respondem às exigências podem, portanto, ser de natureza bastante diversificada, desde a adoção de tecnologias até mudanças nas infraestruturas e na sua utilização, e mudanças socioculturais e comportamentais.

9.2.5.1. O caso das edificações

No que diz respeito aos edifícios, o relatório do IPCC estima o potencial de redução das emissões até 2050, em cerca de sete bilhões de toneladas de CO₂ equivalente. Na figura 96, em rosa, se tem, a parte que vem da adoção de tecnologias: eletrodomésticos eficientes, instalações renováveis e edifícios de baixo consumo de energia; em amarelo, a parte que vem de transformações de infraestrutura, planejamento urbano para cidades mais compactas, com espaços verdes, redução de novas superfícies construídas; e por fim, em azul, se tem comportamentos e práticas que promovem a economia de energia, por exemplo, aquecimento a 18°C em vez de 20°C.

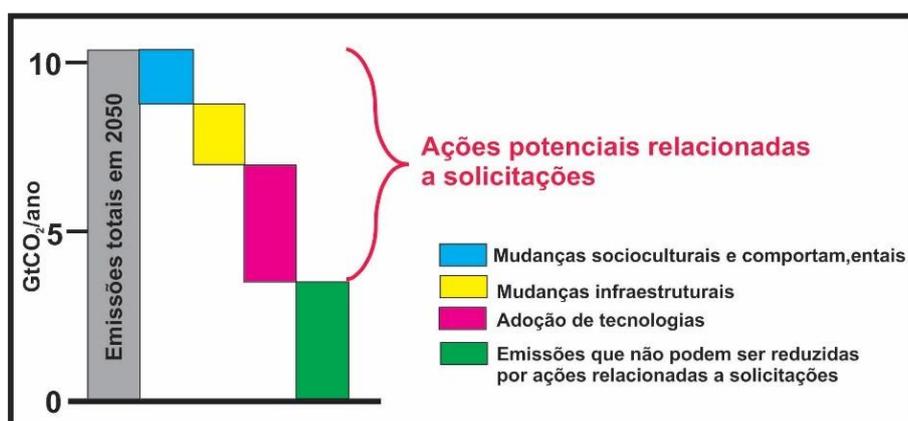


Figura 96 – Exemplo de setores de edificação.
(modificado: AR6/WG3, 2022)

9.2.5.2. Sobriedade

Dentre as ações relativas aos pedidos, algumas são baseadas na sobriedade. Esta alavanca é importante. O relatório do IPCC para os decisores, apresenta uma definição aprovada por todos os Estados do mundo. São todas as políticas, medidas e práticas diárias que permitem evitar a procura de energia, materiais, terra e água, garantindo ao mesmo tempo o bem-estar de todos os seres humanos dentro dos limites planetários. Tomando como exemplos dados no setor das edificações, a sobriedade consiste, por exemplo, em aquecer a 19°C em vez de 21°C ou em reduzir as novas superfícies construídas.

9.2.5.3. A estrutura “Evitar, Substituir, Melhorar”

Uma forma de analisar as ações de mitigação é classificando-as dentro do quadro “evitar, substituir, melhorar”: evitar demandas, substituir demandas por soluções que emitam menos GEE, melhorar os serviços dos sistemas de abastecimento.

Por exemplo, no setor dos transportes:

- evitar a circulação de pessoas e mercadorias estabelecendo um planejamento urbano que encurte as distâncias entre casa, trabalho, escola, lojas e encurtando as cadeias logísticas;
- substituir os modos de transporte de maiores emissões (avião, automóvel) por modos de baixas emissões (ferroviário, transporte público) ou nenhum (ciclismo e caminhada);
- melhorar os veículos para que sejam leves e eletrificados

9.2.5.4. A nível individual

Se olharmos para a escala individual, muitas ações podem reduzir as emissões de GEE, dependem, obviamente, das pessoas e dos contextos, mas, de um modo geral, as ações com maior potencial para reduzir as pegadas de carbono, estão na categoria “evitar”: não possuir carro e evitar viajar de avião. Na categoria “substituir”: viajar de transporte público, de bicicleta, caminhar em vez de ir de carro e mudar para dietas sem carne. E na categoria “melhorar”: utilizar veículo elétrico, isolar edifícios e instalar painéis solares.

As ações individuais não se limitam às escolhas de consumo, estas também fazem escolhas como profissionais, como investidores e como cidadãos. As possibilidades de ação dependem das pessoas e dos contextos. Os potenciais de mitigação diferem grandemente de uma região para outra e dentro da mesma região. Algumas populações

necessitam de energia e recursos adicionais para garantirem o seu bem-estar e as necessidades básicas de habitação, mobilidade e nutrição.

Entretanto, o estado dos conhecimentos, mostra que a erradicação da pobreza extrema e o acesso a um nível de vida digno para todos, não levaria a um aumento significativo das emissões globais. Na verdade, as necessidades energéticas associadas são muito baixas em comparação com a procura energética global. É possível prestar melhores serviços com baixo consumo de energia e recursos.

Por outro lado, as pessoas com elevado estatuto socioeconômico, contribuem desproporcionalmente para as emissões e, também, têm um elevado potencial para reduzir essas emissões.

9.2.5.5. Uma responsabilidade coletiva

É importante ressaltar que as ações, diante das solicitações, não são de responsabilidade exclusiva dos consumidores. Pelo contrário, exigem ações coletivas e políticas públicas para transformar as normas sociais e as infraestruturas, por exemplo, a construção de ciclovias seguras é necessária para tornar o ciclismo uma norma.

A mitigação envolve vários tipos de atores sociais:

- indivíduos - através das suas escolhas e hábitos de consumo;
- coletivos - portadores de movimentos e valores sociais;
- empresas - que investem e influenciam escolhas através de publicidade, por exemplo;
- instituições - que definem regulamentos e políticas públicas.

Os intervenientes contribuem, quer para o *status quo* do consumo global com utilização intensiva de carbono, quer para transformações no sentido de uma baixa intensidade de carbono. As mudanças sistêmicas e importantes exigem a ação de todos esses atores para mudar o espaço de possibilidades. As escolhas dos indivíduos e das comunidades são inspiradas por padrões, alterando as normas sociais orientadas por políticas e movimentos sociais. Exigem também, abastecimento e infraestruturas adequadas e investimentos correspondentes, para construir e permitir o acesso a alternativas descarbonizadas, para todos.

9.2.5.6. Os cobenefícios da mitigação do lado da procura

Um ponto importante é que muitas estratégias de ação que abordam as exigências, têm cobenefícios. Para além de reduzirem as emissões de GEE, proporcionam, por

exemplo, benefícios em termos de qualidade de vida e saúde. A mudança para a mobilidade ativa e os transportes públicos, melhora a qualidade do ar e da saúde. Da mesma forma, a redução do desperdício alimentar e a promoção de dietas com menos carne, melhoram a segurança alimentar e a saúde, e reduzem a pressão sobre os recursos hídricos, a biodiversidade e os ecossistemas.

9.3. Territórios urbanos e alterações climáticas

9.3.1. Urbanização e emissões de GEE

As cidades representam uma parcela preponderante das fontes de emissões de GEE. Cita-se, frequentemente, o número de 70% das emissões, mas isso também depende da definição que se tem de cidade, e varia de um país para outro, principalmente porque as cidades concentram a maioria da população e também uma parte significativa das atividades industriais, embora isso varia de uma cidade para outra.

A tendência secular de urbanização e de crescimento de tamanho das grandes cidades, continua nos países ocidentais, sendo também pronunciada nos países em desenvolvimento, particularmente nos chamados emergentes: China, Índia, Brasil. Os espaços urbanizados estarão, portanto, no centro dos desafios das alterações climáticas até o final do século.

Grande parte dos desafios, colocados pelo aquecimento global, ao espaço urbano e as soluções apresentadas para lhes responder, não são fundamentalmente novos: pensando-se nos transportes públicos, na natureza na cidade, na gestão da água e nos ecobairros, sendo estes já enquadrados a muito na perspectiva da cidade sustentável, na sequência da Agenda 21 e da Conferência do Rio em 1992. Entretanto as alterações climáticas estão a forçar, a mudar de escala, em termos da extensão das transformações a realizar. A cidade deve desempenhar um papel de liderança na mitigação, e prepará-la para se adaptar aos impactos já significativos das alterações climáticas.

A principal fonte de emissões nas cidades é, como em outros lugares, o consumo de energia para aquecimento, para viagens e para produção. Contudo, o fator que mais pesa na propensão das cidades, para emitirem mais ou menos GEE, é a morfologia urbana, a forma como a cidade está organizada, em particular, o fenômeno da expansão urbana através da extensão de áreas periféricas.

Esta urbanização irregular é uma tendência antiga no Brasil e principalmente na Europa, criticada pelo consumo dos espaços naturais e agrícolas que gera, o que chamamos aqui de artificialização dos solos, mas que é também fonte de emissões

adicionais de GEE, ao prolongar a vida doméstica, viagens de trabalho ou compras, ou mesmo circuitos logísticos, ou pelas infraestruturas minerais que devem ser construídas.

A expansão urbana tem causas econômicas: o preço, a disponibilidade de terrenos para habitação e o nível de impostos locais nas áreas centrais das cidades, mas também sociais com a gentrificação dos centros das cidades, a procura de comodidades ambientais por parte dos residentes das periferias. Estas tendências graves tornam difícil o controle com os instrumentos normais de ação pública. Isto se traduz, também, numa injunção à redensificação da cidade através da urbanização, da densificação da ocupação dos lotes privados, combinada com a recusa de construir edificações altas, como é o caso de muitas cidades.

9.3.2. O risco das ilhas de calor

Esta redensificação ocorre em detrimento de antigos jardins e espaços verdes. No entanto, estes espaços desempenham um papel importante na redução do impacto das ondas de calor, mantendo, ao mesmo tempo, uma certa biodiversidade na cidade. Na verdade, um dos impactos mais diretamente sensíveis das alterações climáticas, é o fenômeno das ilhas de calor urbanas, que ocorre quando uma onda de calor permanece estacionária durante vários dias consecutivos. Souza *et al.*(2017), observaram, por exemplo, no mapa da figura 97, que há uma diferença de oito a dez graus, nas medições efetuadas em setembro de 2015, entre as áreas periféricas úmidas e as partes mais centrais da cidade de Manaus.

Neste contexto, os referidos jardins fazem uma verdadeira diferença com as superfícies construídas, como é o caso da área da UFAM, localizada na parte central-sul da imagem (Fig. 97), onde a temperatura se apresenta mais amena, enquanto, uma das áreas mais quentes, se localiza nas imediações do Aeroporto Internacional de Manaus, libertando tanto calor devido a construção de concreto de sua pista de aterrissagem. Isto mostra que a presença de vegetação e o seu nível de umidade são extremamente importantes para amenizar estas áreas com as das ilhas de calor.

No entanto, a capacidade das cidades para manter a vegetação úmida e, portanto, regada, estará diretamente subordinada às futuras decisões relativas ao uso da água, cuja disponibilidade já é problemática em alguns locais.

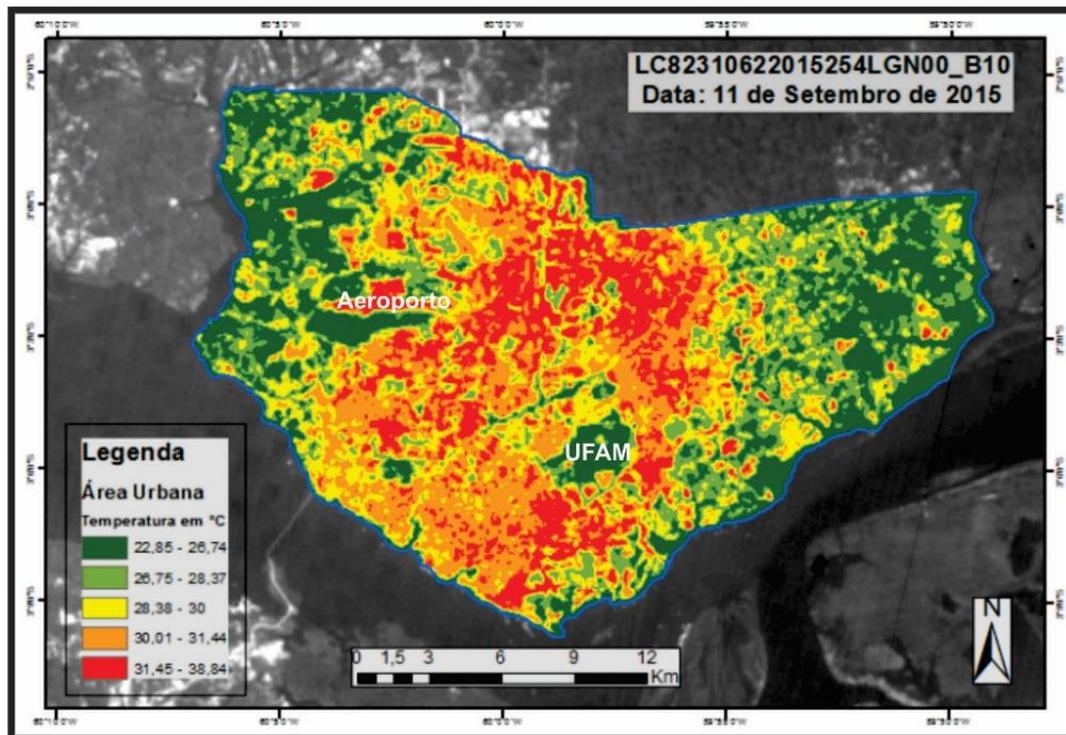


Figura 97 – Mapa de ilhas de calor urbana da cidade de Manaus, referente ao dia 11/09/2015.
(fonte: Souza et al.,2017)

Deve-se notar que o isolamento térmico dos edifícios, uma questão de limitação do consumo de energia para aquecimento no inverno, é também uma questão de climatização natural no verão. Algumas construções idealizadas em áreas denominadas de bairros ecológicos, são, muitas vezes, concebidas apenas para o conforto de uma das estações do ano, por exemplo o inverno, e se transformam numa estufa inabitável no verão. O que ocasiona a utilização do recurso à climatização artificial, fonte de aumento do consumo de energia, a qual vem a ser uma evidente falha de adaptação.

9.3.3. O risco de submersão e inundação

Outro grande impacto das alterações climáticas, em muitas cidades construídas na região costeira ou nas margens de rios, no Brasil e em todo o mundo, está ligado ao aumento do nível dos oceanos, combinado com a intensidade crescente de fenômenos meteorológicos extremos. A concomitância de ondas de submersão marinha e inundações a montante, causarão fenômenos fluviomarinhos potencialmente destrutivos, mesmo no interior.

Em muitas áreas do Brasil, estes impactos, continuam a ser mal previstos nos planos de gestão de riscos e nos documentos de planejamento urbano. No Brasil, a urbanização de cidades ou mesmo vilas localizadas as margens dos rios ou regiões costeiras, não tem levado suficientemente em conta este fenômeno, a longo prazo. Na

Europa, em alguns países, como no caso dos Países Baixos, pelo contrário, ali existe uma cultura de submersão marítima, um porto como Roterdão tem uma estratégia sofisticada para combater este risco.

9.3.4. Transporte

Para a questão dos transportes, a redução planejada do uso do automóvel na cidade deve ser um pilar das políticas de mitigação, trabalhando ao mesmo tempo para recuperar o espaço público. Na realidade, se deve reservar o automóvel para viagens em áreas rurais, escassamente povoadas e a distâncias médias.

As ações públicas destinadas a reduzir o papel do automóvel são antigas, mas pouco eficazes. Um aumento de oferta de transportes públicos mais eficaz, não conduz a uma transferência modal massiva. O aumento real do uso da bicicleta, teve pouco impacto no tráfego de automóvel.

Apesar da conhecida emergência climática, as iniciativas para reduzir o papel do automóvel, são controversas. Existe, portanto, um dever de pedagogia política mal assumido pelos governantes eleitos, como evidenciado pelos projetos de novas estradas ,circulares ou pela fantasia do grande desvio das autoestradas. Não faz sentido, ao que parece, que todos os estudos técnicos tenham provado que tais equipamentos, dispendiosos e destrutivos de áreas naturais e agrícolas, não teriam um impacto significativo no congestionamento das circulares ou perimetrais de grandes cidades, como São Paulo, Belo Horizonte, Porto Alegre, Rio de Janeiro, durante várias horas por dia, atribuível principalmente ao tráfego intraurbano (Fig.98).



Figura 98 – Congestionamento em grandes cidades.

(fonte: https://classic.exame.com/wp-content/uploads/2016/09/size_960_16_9_transito93.jpg?quality=70&strip=info&w=960)

9.3.5. Governança

As políticas públicas a implementar, especialmente nas grandes cidades, levantam questões complexas de governança. Algumas das competências permanecem no âmbito do Estado, outras do município e outras são partilhadas com a comunidade urbana, para as estradas, na sua maior parte, ou à Região, para a política energética e o desenvolvimento ferroviário. As questões de desenvolvimento e transportes, em geral, vão além da escala da área urbana, bem como as do abastecimento de água ou da prevenção de riscos fluviomarinhos que são geridos à escala de um estuário.

No entanto, comunidades de diferentes escalas não cooperam facilmente entre si ou com o Estado, e projetos estruturantes, por exemplo, estão a ser implementados a um ritmo demasiado lento. Muitas vezes, a ação pública local se refugia em projetos simbólicos, plantações de árvores ou medidas fragmentárias, por exemplo, o número de quilômetros de ciclovias. A este respeito, o conteúdo dos Planos Territoriais Clima-Ar-Energia (PCAET), é muitas vezes decepcionante e deveria fazer mais parte de uma visão estratégica de longo prazo.

9.4. Territórios agrícolas na agricultura mista e mudanças climáticas

9.4.1. Benefícios da agricultura mista e da pecuária

A agricultura mista, que já foi um modo de produção muito difundido, diminuiu nos últimos 50 anos, em favor de uma agricultura especializada, associada ao aparecimento de técnicas mais produtivas, mas confrontados, em particular, com os riscos climáticos e econômicos, que estão cada vez mais presentes, e com a consciência geral, os sistemas precisam ser repensados, para que se tornem mais sustentáveis. Neste contexto, é necessário explorar outros modos de produção e pensar em alternativas à agricultura intensiva, que se baseia na artificialização das culturas, através da utilização de insumos sintéticos e de energias fósseis.

A agricultura mista é, portanto, cada vez mais reconhecida internacionalmente como capaz de satisfazer estas expectativas. Com efeito, a complementaridade entre culturas e pecuária, permite otimizar o funcionamento da exploração, graças a um melhor encerramento dos ciclos e a uma diversidade de produção, animal e vegetal, o que conduz a uma menor dependência de fatores de produção. Parece, portanto, muito importante atualizar este sistema, outrora tradicional, que hoje se apresenta como um modelo agrícola sustentável e um dos caminhos para a transição agroecológica.

Por outro lado, não existe um modelo padrão em agroecologia. Devemos trabalhar em princípios que devem então ser aplicados em situações concretas, dependendo dos contextos locais.

9.4.2. Na escala agrícola



Figura 99 – Os cinco princípios na escala agrícola.

Na escala das operações pecuárias, existem cinco princípios (Fig.99). Muitas práticas de adaptação já estão em vigor, a nível das explorações agrícolas, e fazem eco destes cinco princípios, em particular a valorização do sanfeno ou da chicória, como plantas bioativas para proteger os rebanhos de agentes patogênicos, a valorização do farelo ou de outros subprodutos da alimentação humana, para a alimentação animal, a adaptação dos animais a alimentos de menor qualidade, a procura de complementaridade entre a produção vegetal e animal, a concepção de sistemas mais resilientes e susceptíveis de se adaptarem a perturbações biofísicas, mas também a promoção de práticas que permitam a preservação da biodiversidade, pelo menos tanto em escala agrícola como em escala territorial.

Se a mudança de paradigma, como se vê, já ocorreu na maioria das explorações pecuárias, é importante, no entanto, considerar que as questões ecológicas e ambientais extrapolam o âmbito da exploração, sendo por isso necessário passar da pecuária sistema para algo mais amplo, que pode ser o sistema alimentar, territorializado ou não.

9.4.3. A nível territorial

À escala territorial, as práticas agrícolas têm um impacto significativo na evolução das paisagens e na biodiversidade que sustentam. Essas agriculturas diversificadas,

baseadas na utilização sustentável dos recursos naturais, contribuem assim para mitigar os impactos das alterações climáticas.

Essas explorações se baseiam, frequentemente, em três pilares que interagem entre si (Fig.100): a diversidade de rotações de culturas, as práticas de extensão e a densidade da infraestrutura agroecológica. Assim, a diversidade do uso da terra gera uma diversidade de ambientes e recursos. Essa biodiversidade só pode ser rica se não for condicionada pelo uso excessivo de insumos químicos, possibilitado por uma longa rotação ou mesmo pela presença de leguminosas. A presença de infraestruturas agroecológicas, como açudes, lagoas ou mesmo prados húmidos, aumenta ainda mais a diversidade do ambiente e o seu bom funcionamento ecológico. Os agricultores se beneficiam, portanto, através da regulação biológica e do reforço da polinização. Para além do seu impacto na qualidade das paisagens, a adaptação das explorações agrícolas a uma maior diversidade de rotações de culturas, à extensificação de práticas, ou mesmo à manutenção de infraestruturas agroecológicas, permite mitigar o seu impacto no ambiente, limitando assim a sua influência nas alterações climáticas.

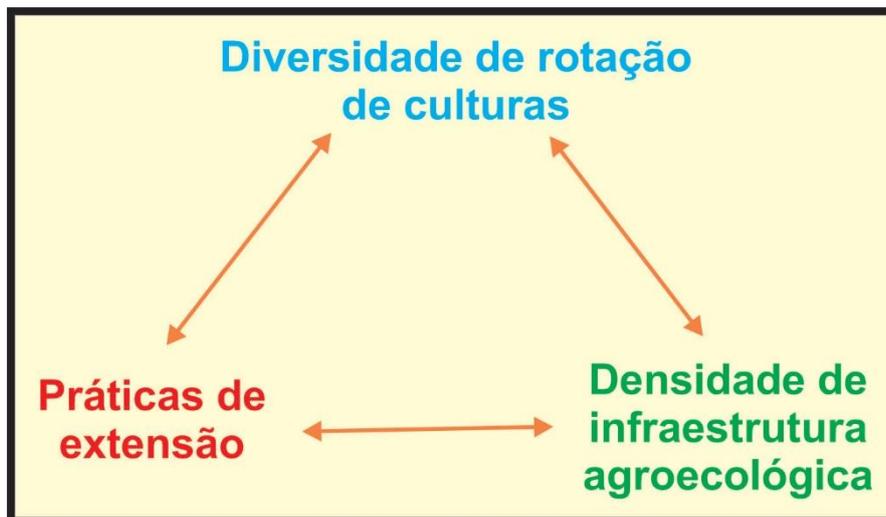


Figura 100 – Os três pilares na mitigação dos impactos das alterações climáticas.

Essas amenidades pecuárias positivas permitem qualificar áreas agrícolas que são chamadas de “alto valor natural”, ou “HVN”. Hoje, estas áreas agrícolas são essencialmente áreas de agricultura mista e pecuária, correspondentes a sistemas agrícolas relativamente homogêneos, que estão ligados a territórios, práticas, raças animais, mas também a produtos identificados e geralmente valorizados sob signos específicos. As práticas implementadas nestes territórios permitem não só reter mais água no solo, mas também reduzir a utilização deste recurso, cuja gestão deverá ser cada vez

mais sensível, através da valorização de animais mais rústicos, mais eficiente e mais adaptado às condições impostas pelas alterações climáticas.

9.5. Zonas costeiras e alterações climáticas

As alterações climáticas são um fenômeno global, principalmente, ligado ao aumento das emissões de GEE de origem antropogênica, nas últimas décadas. Mesmo que parassem completamente as emissões amanhã, teríamos de enfrentar as alterações climáticas devido à inércia térmica do oceano e à vida útil desses gases na atmosfera. Entretanto, se as alterações climáticas forem um fenômeno global, os seus efeitos serão particularmente sentidos à escala local. É precisamente nesta escala local, a dos territórios, que se pode implementar estratégias de adaptação de forma otimizada.

9.5.1. Impactos das alterações climáticas nas zonas costeiras

As zonas costeiras serão afetadas, principalmente, por dois impactos diretos das alterações climáticas. O primeiro é o aumento do nível do mar. Observa-se, na figura 101, que mesmo que haja incertezas em relação às emissões futuras, quanto aos modelos, se observa que até 2100, um aumento no nível do mar da ordem de 1 m, é inteiramente possível.

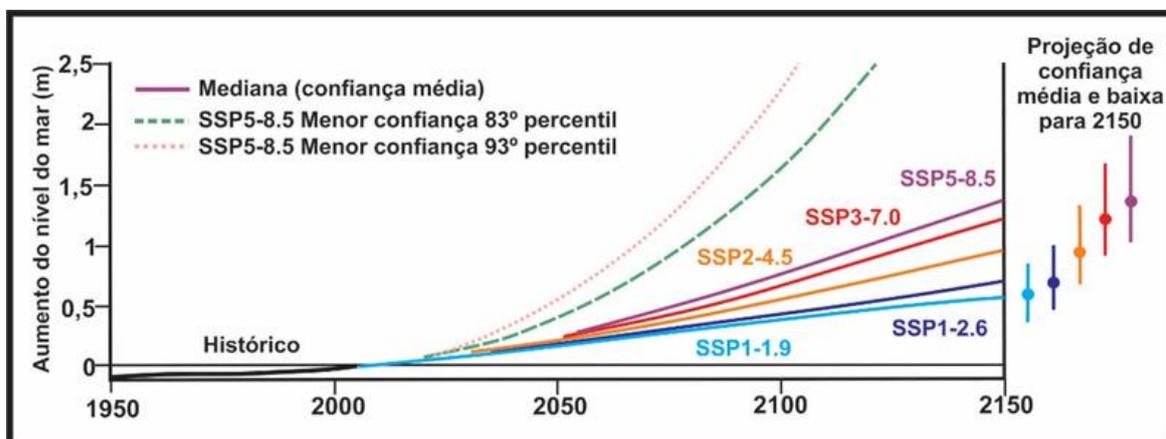


Figura 101 – Aumento do nível do mar em vários cenários.
(modificado: GIEC-AR6-WG1)

O outro impacto é a mudança nos regimes de ondas, não só nas ondas normais, mas também no regimes de ondas de tempestade. Observa-se na figura 102, um código de cores que mostra se ocorrerá um aumento ou uma diminuição, rápido ou lento, nas alturas médias das ondas, mas também, nas alturas extremas das ondas. Observa-se uma

variabilidade espacial muito forte e incertezas significativas, mesmo que ocorra, globalmente, um aumento dos extremos. Tudo isto afetará os regimes costeiros.

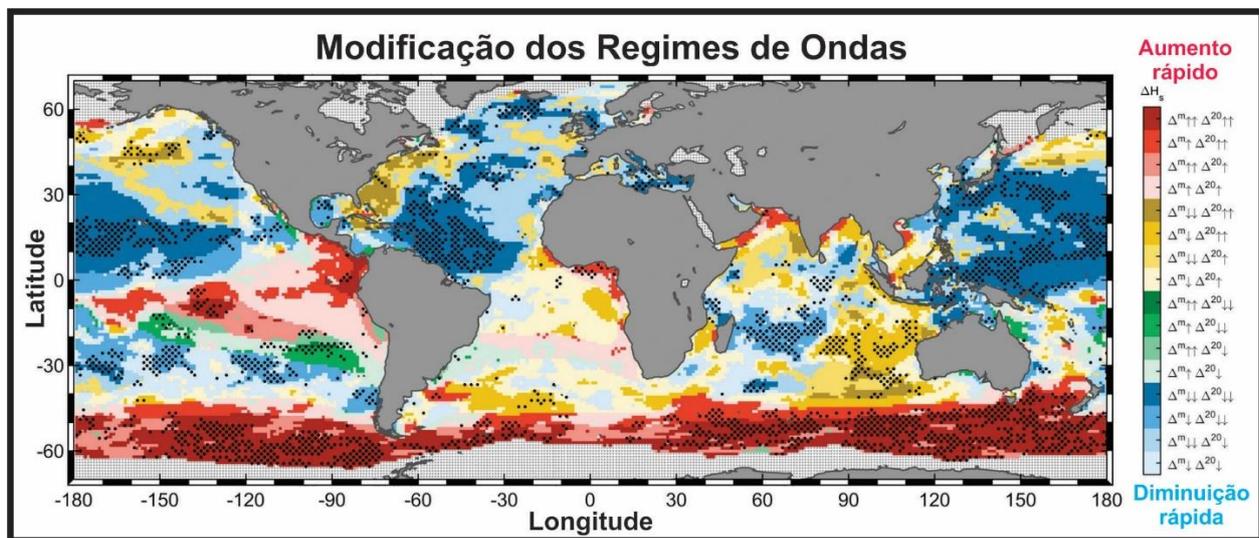


Figura 102 – Comparação das mudanças projetadas na altura significativa média (Δ^m) e extrema (Δ^{20}) das ondas no cenário RCP8.5 até o final do século (2081–2100 em relação a 1986–2005). As cores representam as combinações de sinais de mudança entre condições de ondas médias e extremas: o vermelho indica um aumento em ambas as condições, o azul representa uma diminuição em ambas as condições, o amarelo representa uma diminuição na média e um aumento nas condições extremas e o verde representa um aumento na média e uma diminuição em condições extremas. Para cada combinação, uma seta indica uma alteração relativa inferior à média global e duas setas indicam alterações relativas superiores à média global. A média global é obtida como a média das variações relativas com mesmo sinal da variação analisada. Pontilhado denota mudanças estatisticamente significativas no nível de confiança de 95%, em pelo menos 50% dos membros, e uma concordância no sinal de mudança em mais de 80% dos membros, para altura de onda significativa média e extrema.

(modificado: Lobeto et al.2021)

9.5.2. Submersão e erosão

Pode-se distinguir dois perigos costeiros principais que são particularmente preocupantes. Em primeiro lugar, existe a submersão marinha, que é definida como a inundação temporária de zonas costeiras pelo mar, o que geralmente ocorre durante um evento extremo. Há também a erosão, que também pode ocorrer durante um evento extremo, mas que geralmente é mais crônica e estrutural, e é definida como o recuo do litoral.

O impacto das alterações climáticas nas inundações marinhas é relativamente simples. Mesmo que se ignore as mudanças nos regimes de ondas, o aumento do nível do mar significará, mecanicamente, que ocorrerá um aumento na intensidade e frequência dos eventos de submersão marinha ao longo das costas baixas.

Quanto à erosão, esta é muito mais complicada. A erosão que ocorre atualmente nas regiões costeiras, e em particular nas costas de origem sedimentar, não se deve, na maior parte das vezes, às alterações climáticas, mas sim a um desequilíbrio que pode

existir entre os diferentes fluxos de sedimentos . Deve-se levar em consideração que o ser humano tem contribuído na alteração desses fluxos, nas últimas décadas. Os modelos mostram que as alterações climáticas irão acelerar estas erosões costeiras. Locais que eram relativamente estáveis, também começarão a sofrer erosão, mas tudo isto acontecerá na segunda metade do século XXI.

9.5.3. Estratégias de adaptação

Quando queremos nos adaptar, procuramos reduzir o risco. O risco é quando se tem um perigo que enfrenta um desafio. Na figura 103, a questão de risco é simbolizada por uma casa, mas poderia ser uma cidade, uma infraestrutura e até um ecossistema notável. Esta questão de risco estará exposta a um perigo, que será a submersão marinha ou a erosão. Podem existir diversas estratégias que podem ser classificadas de diferentes maneiras.

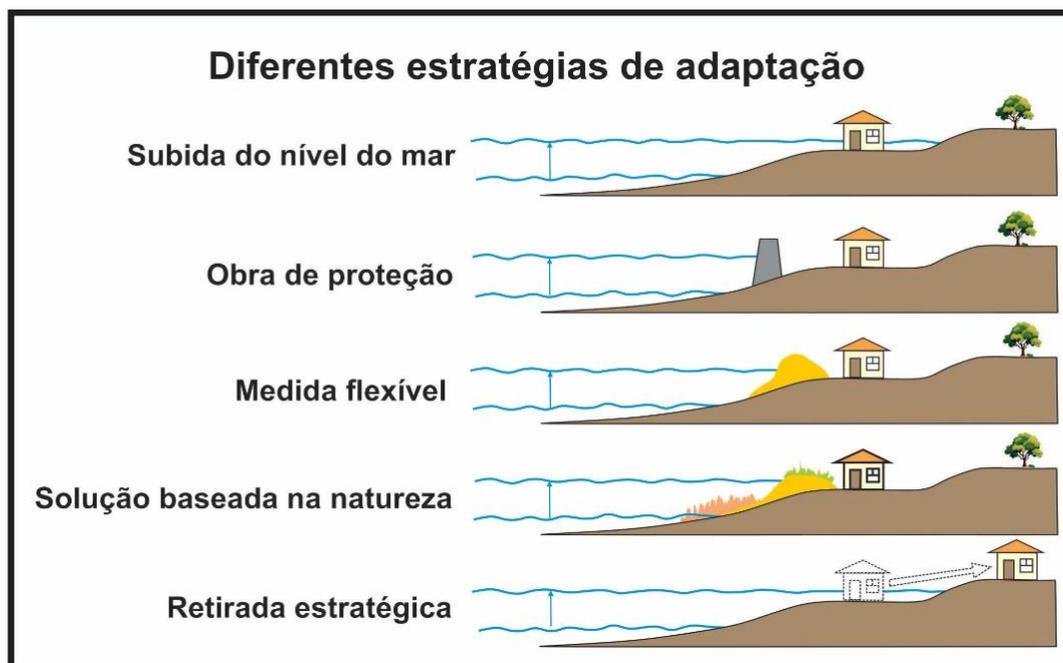


Figura 103 – Diferentes estratégias de adaptação em área de risco.
(modificado: Castelle et al.,2018)

Em primeiro lugar, não se pode fazer nada. Esta é uma solução que geralmente não é sustentável. Um dos meios de proteger a questão de risco é o de implementar obras de defesa, sendo este um combate ativo, e esta era a doutrina da engenharia costeira até o final do século XX. Gradualmente assistimos, também, ao surgimento das chamadas medidas “flexíveis” que acompanham os processos naturais. Estamos a falar, por exemplo, de gestão de dunas ou de nutrição de praias (Fig.103).

Mais recentemente, assistimos ao surgimento de soluções baseadas na natureza, que dependem da restauração dos ecossistemas costeiros para reduzir os riscos. Por fim, temos o recuo estratégico que consiste em deslocar as questões de risco, para o interior.

Para saber qual estratégia escolher, é oportuno relembrar alguns elementos contextuais. Em primeiro lugar, se deve partir da observação das capacidades de financiamento das autoridades públicas, os quais são muito inferiores aos custos que seriam necessários para reforçar e melhorar as estruturas, tal como se as conhece atualmente. Haverá, portanto, escolhas inevitáveis a serem feitas no futuro. Estas escolhas terão de ser feitas combinando o risco físico com questões socioeconômicas, tudo numa escala territorial. Devem, também, ser vistos como uma oportunidade para explorar abordagens de adaptação inovadoras, incluindo soluções baseadas na natureza.

9.5.4. Exemplos

Em zonas onde há grandes riscos, está fora de questão remover estruturas de defesa, neste caso diques, estes devem ser fortalecidos. Mas saiba também que estas estruturas de defesa permanentes, se tiverem capacidade para reduzir o problema localmente, têm quase sistematicamente a particularidade de deslocar o problema para costas adjacentes (Fig.104).



Figura 104 – Estrutura de defesa permanente contra erosão e o deslocamento do problema para outra área.

(fonte: [https://s2-g1.glbimg.com/w0eUbOMnbj3bjjpMIDHeBtByGSs=/0x0:1600x729/924x0/smart/filters:strip_icc\(\)/i.s3.glbimg.com/v1/AUTH_59edd422c0c84a879bd37670ae4f538a/internal_photos/bs/2018/b/m/aW8Od4T2un7yedGrqrdg/erosao.jpg](https://s2-g1.glbimg.com/w0eUbOMnbj3bjjpMIDHeBtByGSs=/0x0:1600x729/924x0/smart/filters:strip_icc()/i.s3.glbimg.com/v1/AUTH_59edd422c0c84a879bd37670ae4f538a/internal_photos/bs/2018/b/m/aW8Od4T2un7yedGrqrdg/erosao.jpg))

Outro aspecto importante na adaptação é a temporalidade, por exemplo, a praia de Atafona, em São João da Barra-RJ, está em processo de erosão de sua linha de costa, necessitando reforço na defesa da orla marítima. Uma estratégia seria discutir a

possibilidade da retirada das primeiras linhas de casas, que ainda existem. Talvez assim se poderia efetuar um estudo com o intuito de se encontrar um meio de estabilizar o processo erosional.



Figura 105 – Praia de Atafona em São João da Barra-RJ, em processo de erosão acelerada.
(fonte: <https://parahybano.com.br/wp-content/uploads/2015/03/casa-caindo.jpg>)

Entre as medidas ditas “flexíveis”, está o exemplo da reposição de praias. Esta solução pode ser muito eficaz, em regiões onde existam reservas significativas de areia perto da costa, podendo-se assim engordar as praias, graças a estes sedimentos. A alimentação de praia é eficaz, barata e durável (Fig.106). Este não é o caso ao longo das costas expostas às ondas oceânicas, que difundem amplamente este alimento praiano, e onde as reservas de sedimentos estão potencialmente esgotadas.



Figura 106 – Vista da praia de Balneário Camboriú-SC, antes da obra de engordamento (a), e depois do engordamento da praia (b).
(fonte: <https://static.poder360.com.br/2021/09/instagram-balneario-camboriu.png>)

Existem também soluções baseadas na natureza, sendo um exemplo o dos pântanos estuarinos. Durante séculos, o homem avançou sobre estas áreas de pântanos estuarinos, construindo diques e drenando-os, para cultivar e estabelecer cidades. O problema é que estamos em um período de elevação do nível do mar e, também, estamos com uma subsidência, ou seja, à medida que drenamos e construímos, o solo afunda.



Figura 107 – Restauração de ecossistemas de áreas pantanosas na Tchecoslováquia.
(fonte: <https://www.adaptterraawards.cz/getattachment/13e32ac9-502d-4fa3-8e49-92cee498bc1a/Revitalizace-pramenist-a-raselinist-v-Malem-Boru?width=910>)

Podemos, de fato, pensar em soluções baseadas na natureza e restaurar estes pântanos costeiros, não em todo o lado, mas localmente. Teremos sempre subsidência, aumento do nível do mar e eventos extremos que provocam tempestades mas, durante estes eventos extremos, a água inundará estes pântanos costeiros, estes pântanos dissiparão a energia das ondas, e acabaremos com níveis de água muito mais baixos, que é onde estão os problemas. Deve-se também ver que com cada evento extremo, os pântanos costeiros recebem sedimentos, e sobem e se ajustam naturalmente ao aumento do nível do mar. São também sumidouros de carbono e nichos ecológicos.



É o que queremos?

(fonte: <https://s2.static.brasilecola.uol.com.br/img/2019/11/seca-mudancas-climaticas.jpg>)

X. CONCLUSÕES DO RELATÓRIO DO IPCC 2023

O IPCC, em seu relatório de 2023, sobre mudanças climáticas, conclui que cerca da metade da população global se encontra, atualmente, em situações de escassez severa de água, pelo menos um mês por ano, enquanto as altas temperaturas propiciam a disseminação de doenças como, a malária, o vírus do Nilo ocidental, a dengue, a febre amarela, entre outras. As mudanças climáticas, também dificultam melhorias na produtividade agrícola, nas regiões de médias e baixas latitudes – na África, o crescimento da produtividade já diminuiu um terço, desde 1961 e, desde 2008, inundações e tempestades extremas ocasionaram o desabrigo de mais de 20 milhões de pessoas, todos os anos.

Deve-se levar em consideração que a cada fração de grau de aumento das temperaturas, essas ameaças vão se intensificar e, mesmo o limite de 1,5°C no aumento da temperatura, não é um cenário seguro para todos. Com esse nível de aquecimento, 950 milhões de pessoas, em todo o mundo, enfrentarão estresse hídrico, estresse térmico e desertificação e, a parcela da população mundial exposta a inundações, subirá para 24%. Restringir a ultrapassagem do limite de 1,5°C, em tempo e magnitude, será essencial para assegurar um futuro seguro e habitável, assim como manter o aquecimento o mais próximo possível ou abaixo de 1,5°C.

Atualmente, políticas climáticas, em grande parte dos países, incluem a adaptação, mas em muitas nações esses esforços ainda precisam progredir do planejamento para a implementação. Medidas para construir resiliência ainda são, em sua maioria, de pequena escala, reativas e incrementais, mais focadas em impactos imediatos e riscos de curto prazo. Essa disparidade, entre os níveis de adaptações atuais e os necessários, se deve em parte à falta de financiamento.

A adaptação baseada em ecossistemas, por exemplo, pode ajudar as comunidades a se adaptarem aos impactos climáticos, já devastadores em suas vidas e meios de subsistência (Fig.104). Ao mesmo tempo, também protege a biodiversidade, contribui para a saúde, reforça a segurança alimentar, gera benefícios econômicos e fortalece o sequestro de carbono. Muitas medidas de adaptação baseadas em ecossistemas, incluindo a proteção, restauração e manejo sustentável dos ecossistemas, bem como práticas agrícolas mais sustentáveis, como a integração de árvores nas áreas de cultivo e a diversificação das culturas, podem ser implementadas a custos relativamente baixos. A colaboração com povos indígenas e comunidades locais é de fundamental importância

para o sucesso dessa abordagem, assim como assegurar que as estratégias de adaptação baseadas em ecossistemas, sejam planejadas, levando em consideração os impactos futuros da temperatura global nos ecossistemas.



Figura 104 – Adaptação de ecossistemas na proteção de vidas e meios de subsistência.
(fonte: Bapna et al. 2019)

Comunidades costeiras, nas regiões tropicais, já viram sistemas de recifes de corais inteiros, que antes mantinham seus meios de subsistência e segurança alimentar, passarem por uma mortalidade generalizada. Em paralelo, o aumento do nível do mar já obrigou pessoas que viviam em áreas mais baixas a se mudarem para terrenos mais altos, abandonando locais associados à suas culturas.

É preciso agir com urgência para evitar, minimizar e solucionar essas perdas e danos. Na COP27, os países deram um passo essencial ao concordar em estabelecer arranjos financeiros para perdas e danos, incluindo um fundo exclusivo. Embora esse tenha sido um avanço histórico nas negociações climáticas, os países agora precisam definir como esses arranjos, bem como o novo fundo, funcionarão na prática.

Mudar o rumo para manter o aquecimento global em 1,5°C, exige uma redução profunda das emissões de GEE em curto prazo. Nos cenários que mantêm o aquecimento global dentro dessa meta, o pico das emissões de GEE acontece imediatamente antes de

2025, no mais tardar. Em seguida, as emissões caem drasticamente, 43% até 2030 e 60% até 2035 em relação aos níveis de 2019 (Fig.105).

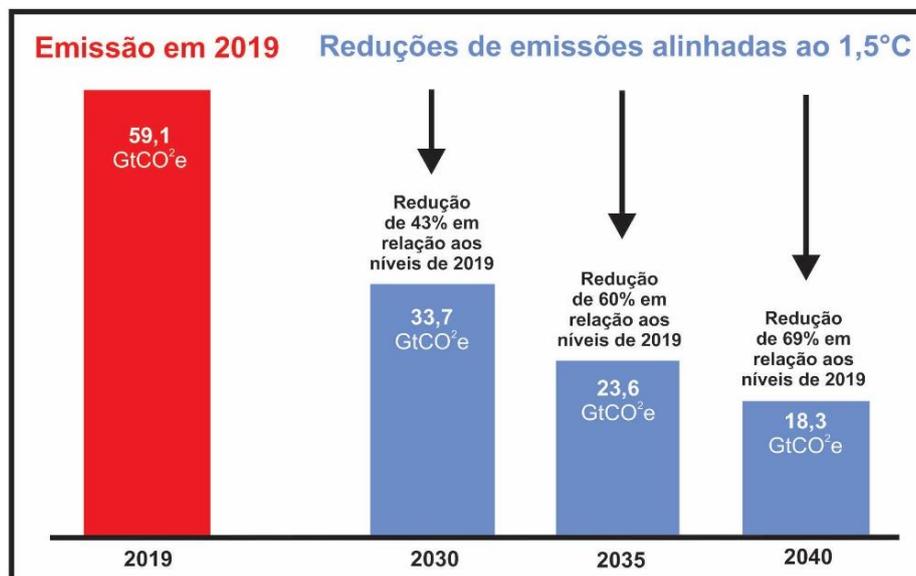


Figura 105 – Gráfico de reduções de emissões necessárias para manter o 1,5°C ao alcance. (modificado: IPCC AR6,2023)

Embora existam alguns sinais positivos, a taxa de crescimento anual das emissões de GEE desacelerou de uma média de 2,1% ao ano, entre 2000 e 2009, para 1,3% ao ano, entre 2010 e 2019. As emissões de GEE registraram um aumento constante ao longo da última década, atingindo 59 giga toneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO₂e) em 2019, aproximadamente 12% a mais do que em 2010 e 54% a mais do que em 1990.

Mesmo se os países cumprirem seus compromissos climáticos, uma pesquisa do Instituto Mundial de Recursos (WRI), revelou que a redução de emissões de GEE até 2030 seria de apenas 7% em relação aos níveis de 2018, em contraste com o índice de 43% necessário para manter o aumento da temperatura dentro do limite de 1,5°C. Embora alguns países tenham submetido Contribuições Determinadas Nacionalmente (NDCs) novas ou atualizadas, desde a data de corte do IPCC, análises mais recentes, que levam essas atualizações em consideração, mostram que esses compromissos juntos, ainda ficam aquém do necessário.

Um conjunto de estratégias pode ajudar a evitar que isso aconteça, incluindo desativar as infraestruturas existentes baseadas na queima de combustíveis fósseis, cancelar novos projetos, adaptar usinas de energia fóssil com tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS) e ampliar fontes de energia renovável, como a solar e a eólica, que hoje são mais baratas que os combustíveis fósseis, em muitas regiões.

Embora a redução rápida das emissões de GEE originadas pela queima de combustíveis fósseis seja essencial no combate à crise climática, esses cortes devem ser acompanhados por esforços para acelerar mudanças sistêmicas nos setores de energia, construções, indústria, transportes e agricultura, silvicultura e outros usos da terra (Fig.106).

Políticas que tornem essas mudanças menos disruptivas podem acelerar as transições necessárias, como criar subsídios para tecnologias de baixo carbono e taxar as principais tecnologias emissoras, como os carros movidos a combustíveis fósseis.



Figura 106 – Dez soluções cruciais para mitigar as mudanças climáticas.
(fonte, IPSS AR6,2023)

O desenho urbano, como redistribuir o espaço viário, para incluir mais calçadas e ciclovias, pode ajudar as pessoas a adotarem estilos de vida de menores emissões. É importante ressaltar que existem muitos benefícios paralelos que acompanham essas transformações. Diminuir o número de veículos nas ruas, por exemplo, reduz a poluição do ar local e o número de mortes e acidentes no trânsito.

Descarbonizar todos os sistemas e construir resiliência, não será suficiente para atingir as metas climáticas. Sabe-se que todos os cenários que mantêm o aquecimento dentro do limite de 1,5°C, dependem, em algum nível, da remoção de carbono. Essas técnicas envolvem tanto soluções naturais, como sequestrar e armazenar carbono nas

árvores e no solo, usando tecnologias emergentes que capturam o dióxido de carbono diretamente do ar.

A quantidade de remoção de carbono necessária, depende de quão rápido for reduzida as emissões de GEE em outros sistemas, e de quanto o limite de aumento da temperatura será ultrapassado; as estimativas variam entre 5 GtCO₂ e 16 GtCO₂ por ano até a metade do século.

Todas as técnicas de remoção de carbono apresentam vantagens e desvantagens. O reflorestamento, por exemplo, é uma estratégia já disponível, com custo relativamente baixo, que, se implementada de forma adequada, pode gerar uma série de benefícios para as comunidades locais (Fig.107). No entanto, o carbono armazenado nesses ecossistemas fica vulnerável a eventos como incêndios florestais, que podem se tornar mais intensos e frequentes, com o aumento das temperaturas e, embora tecnologias como a produção de bioenergia com captura e armazenamento de carbono (BECCS), sejam uma solução mais permanente, essas técnicas podem deslocar terras de cultivo e, com isso, ameaçar a segurança alimentar. Pesquisar, desenvolver e implementar tecnologias de remoção de carbono de forma responsável junto a soluções naturais existentes, exige uma análise cuidadosa dos benefícios, custos e riscos de cada técnica.

Hoje, entre 3,3 e 3,6 bilhões de pessoas vivem em países altamente vulneráveis aos impactos climáticos, com os principais focos no Ártico, América Central, América do Sul, Pequenos Estados Insulares em Desenvolvimento, Sul da Ásia e grande parte da África Subsaariana. Em muitos países, nessas regiões, os conflitos, desigualdades e desafios de desenvolvimento já existentes (como pobreza e falta de acesso a serviços básicos, como água potável), não apenas aumentam a sensibilidade aos eventos climáticos como prejudicam a capacidade de adaptação dessas comunidades. Entre 2010 e 2020, por exemplo, a taxa de mortalidade por tempestades, inundações e secas foi 15 vezes mais alta, nos países mais vulneráveis às mudanças climáticas do que nos menos vulneráveis.

Ao mesmo tempo, esforços para mitigar as mudanças climáticas, também podem ser um risco, podendo causar abalos e aumentar a desigualdade. Desativar usinas de carvão, por exemplo, pode deixar trabalhadores sem emprego, prejudicar a economia local e modificar o tecido social das comunidades. De forma semelhante, medidas de combate ao desmatamento, implementadas de forma inadequada, podem aumentar a pobreza e a falta de segurança alimentar. E algumas políticas climáticas como impostos sobre o carbono, que aumentam o custo de bens intensivos em emissões, como a gasolina,

também podem ter o efeito inverso se não contarem com esforços para transformar a receita arrecadada, com esses impostos, em programas que beneficiem comunidades de baixa renda.

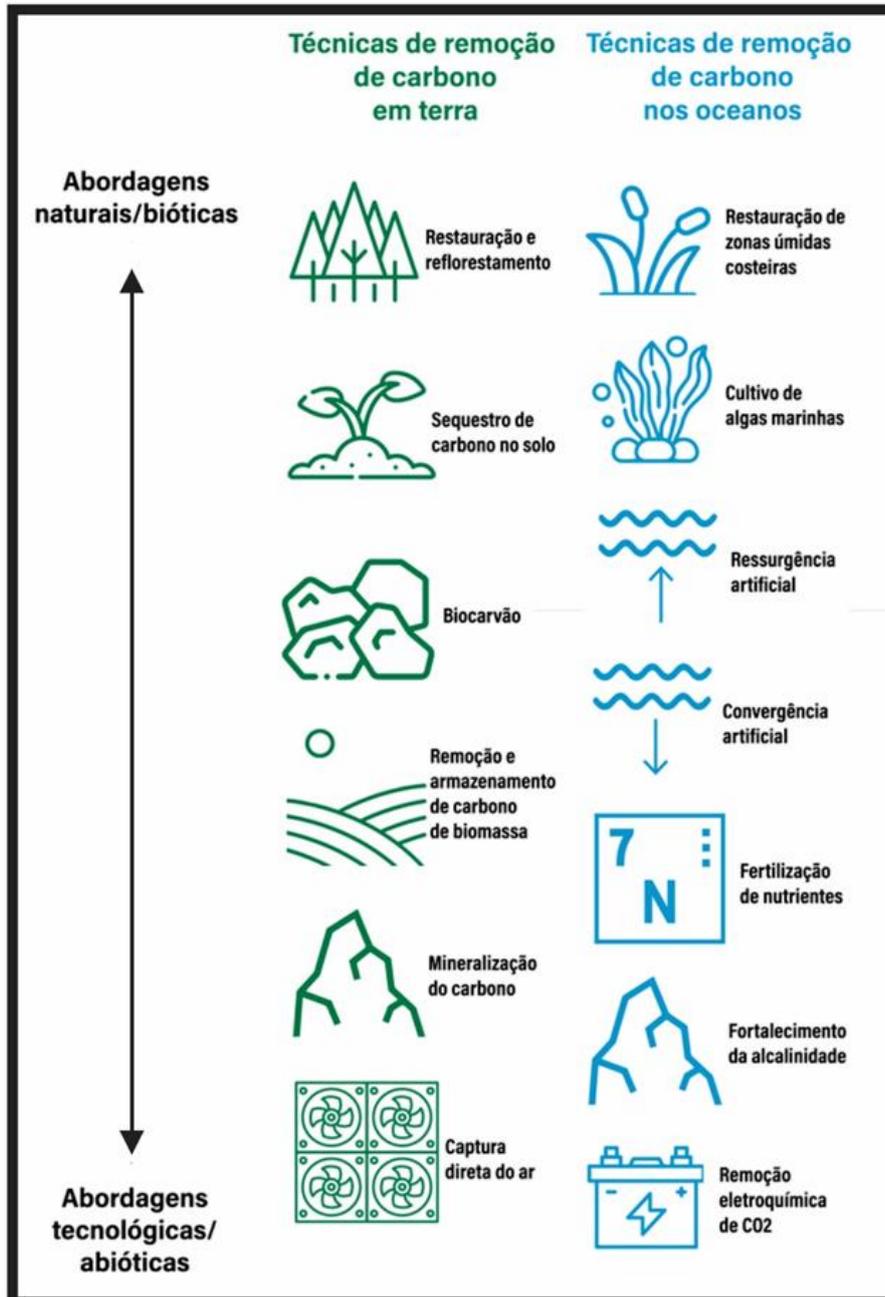


Figura 107 – Técnicas de remoção de carbono em terra e nos oceanos.
(fonte: IPCC AR6,2023)

O relatório do IPCC identifica uma série de medidas que podem apoiar uma transição justa e ajudar a garantir que ninguém fique para trás, à medida que o mundo avança em direção a um futuro resiliente e de emissões líquidas zero. Reestruturar programas de assistência social, como transferências de renda, programas públicos e redes de segurança social, para que incluam medidas de adaptação, pode reduzir a

vulnerabilidade das comunidades a uma série de futuros impactos climáticos, além de fortalecer a justiça e a equidade.

De forma semelhante, formuladores de políticas podem desenvolver estratégias de mitigação que promovam uma melhor distribuição dos custos e benefícios advindos da redução de emissões de GEE. Os governos podem unir esforços para eliminar gradualmente a geração de eletricidade a partir do carvão por meio, por exemplo, de subsídios para programas de capacitação profissional, que apoiem os trabalhadores no desenvolvimento das habilidades necessárias, para garantir novos empregos de alta qualidade. Ou, para citar outro exemplo, podem combinar políticas focadas em ampliar o acesso ao transporte público com intervenções para oferecer moradias acessíveis no entorno.

Tanto entre as medidas de mitigação quanto de adaptação, processos de tomada de decisão participativos, transparentes e inclusivos, são fundamentais para garantir uma transição justa. Mais especificamente, esses espaços podem ajudar a cultivar a confiança da população, reforçar o apoio às medidas climáticas transformadoras que forem tomadas e evitar imprevistos.



Grandes incêndios florestais na Europa

(Imagem: Anna.zabella/Shutterstock)

(fonte: <https://img.olhardigital.com.br/wp-content/uploads/2023/08/Incendios-florestais-2-1.jpg>)

XI. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- 2021: Short-Lived Climate Forcers. 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. 817–922, DOI: [10.1017/9781009157896.008](https://doi.org/10.1017/9781009157896.008).
- Alverinho Dias, J. 2016. Todo o mundo é composto de mudança. Considerações sobre o clima e a sua história. I – O Sistema Climático Terrestre. Centro de Investigação Marinha e Ambiental (CIMA), Faro, Portugal. 77p. DOI: [10.18055/Finis6888](https://doi.org/10.18055/Finis6888)
- Amorim, M. 2017. O sensoriamento remoto no diagnóstico das ilhas de calor superficiais: exemplos de cidades de porte médio e pequeno do ambiente tropical/Brasil. *Centro de Estudos Geográficos. Finisterra*, LII, 105:111-133.
- Bapna, M.; Brandon, C.; Chan, C.; Patwardhan, A.; & Dickson, B. 2019. *Adapt Now: A Global Call for Leadership on Climate Resilience*. Rotterdam, The Netherlands: Global Commission on Adaptation.
- Bello, A.; Lyro, B.; Paiba, G.; Gonzalez, G.; Araújo, G.; Lima, H.; Sampaio, L.; Guimarães, P.; Guedes, R.; Moraes, T.; Telles, Y.; Szklo, A.; Império, M.; Puggio, M.; & Schaeffer, R. 2023. Neutralidade de carbono até 2050: cenários para uma transição eficiente no Brasil. Programa de Transição Energética. CEBRI. Relatório Final. 106 p. https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-726/PTE_RelatorioFinal_PT_Digital_.pdf
- Birkel, S.D. 2023. Monthly Reanalysis Maps, Climate Reanalyzer (<https://ClimateReanalyzer.org>), Climate Change Institute, University of Maine, USA. Accessed on [date image 07/10/2023/data downloaded 07/10/2023].
- Bonhommeau, S. 2015. Connectivité marine et impact sur la biodiversité marine. MOOC Biodiversité. <https://www.uved.fr/fiche/ressource/connectivite-marine-et-impact-sur-la-biodiversite-marine>.
- Camargo, L.S.; Silva, R.W.; Amaral, S.S.; Silva, A.P.; Ferreli, T. & Silva, M.P.D. 2019. Mapeamento de Áreas Susceptíveis a Incêndios Florestais do Município de Petrópolis – RJ. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*. 42(1): 630-641. http://www.defesacivil.rj.gov.br/images/sedec-arquivos/mapeamento_de_areas_susceptiveis_a_incendios_florestais_do_municipio_de_petropolis.pdf.

- Castelle, B.; Abadie, S.; Bertin, X.; Chaumillon, E.; Le Cozannet, G.; Long, N.; Rocle, N. & Sottolichio, A. 2018. Modification du Littoral, dans "Anticiper les Changements Climatiques en Nouvelle-Aquitaine – Pour agir dans les territoires", Ed. Région Nouvelle-Aquitaine. p.305-329.
- Chancel, L.; Piketty, T., Saez, E.; Zucman, G. et al. 2022. World Inequality Report 2022. World Inequality Lab wir2022.wid.world. 236 p. https://wir2022.wid.world/www-site/uploads/2023/03/D_FINAL_WIL_RIM_RAPPORT_2303.pdf.
- Cheng, L.; Trenberth, K.E.; Fasullo, J.; Boyer, T.; Abraham, J.; & Zhu, J. 2017. Improved estimates of ocean heat content from 1960 to 2015, *Science Advances*, 3, e1601545. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601545>.
- Cheng, L.; Trenberth, K.E.; Palmer, M.D.; Zhu, J.; & Abraham, J.P. 2016. Observed and simulated full-depth ocean heat-content changes for 1970–2005, *Ocean Sci.*, 12, 925–935, <https://doi.org/10.5194/os-12-925-2016>.
- GIEC, 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. & Reisinger, A. (publié sous la direction de~)]. GIEC, Genève, Suisse, 103 pages.
- GIEC, 2021. Changement climatique. 2021. Les bases scientifiques physiques. Résumé à l'intention des décideurs, 40p. ISBN 978-92-9169-258-3. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_French.pdf.
- Gillett, N. P.; Shiogama, H.; Funke, B.; Hegerl, G.; Knutti, R.; Matthes, K.; Santer, B. D.; Stone, D.; & Tebaldi, C. 2016. The Detection and Attribution Model Intercomparison Project (DAMIP v1.0) contribution to CMIP6, *Geosci. Model Dev.*, 9: 3685–3697, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3685-2016>.
- Grün, G.C.; Schninski, R.M. & Penke, M. 2021. As mudanças climáticas em 11 gráficos. *Natureza e Meio Ambiente*. <https://www.dw.com/pt-br/as-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas-em-11-gr%C3%A1ficos/a-59713013>.
- Hansen, J. 2005. Efficacy of climate forcing, *J. Geophys. Res.*, 110, D18104, <https://doi.org/10.1029/2005JD005776>, 2005. <https://www.researchgate.net/publication/301553846>.
- Huppmann, D.; Kriegler, E.; Krey, V.; Riahi, K.; Rogelj, J.; Calvin, K.; Humpenoeder, F.; Popp, A.; Rose, S.K.; Weyant, J.; Bauer, N.; Bertram, C.; Bosetti, V.; Doelman, J.; Drouet, L.; Emmerling, J.; Frank, S.; Fujimori, S.; Gernaat, D.; Grubler, A.; Guivarch, C.; Haigh, M.; Holz, C.; Iyer, G.; Kato, E.; Keramidas, K.; Kitous, A.; Leblanc, F.; Liu, J.Y.;

- Löffler, K.; Luderer, G.; Marcucci, A.; McCollum, D.; Mima, S.; Sands, R.D.; Sano, F.; Strefler, J.; Tsutsui, J.; Van Vuuren, J.; Vrontisi, Z.; Wise, M. & Zhang, R. 2019. IAMC 1,5°C Scenario Explorer and Data hosted by IIASA. Integrated Assessment Modeling Consortium & International Institute for Applied Systems Analysis. DOI: [10.5281/zenodo.3363345](https://doi.org/10.5281/zenodo.3363345).
- IPCC AR6. 2023. Dez conclusões do Relatório do IPCC sobre Mudanças Climáticas de 2023. Programa de Clima. <https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-mudancas-climaticas-de-2023>.
- IPCC, 2019. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (Shukla, P.R.; Skea, J.; Calvo Buendia, E.; Masson-Delmotte, V.; Pörtner, H.O.; Roberts, D.C.; Zhai, P.; Slade, R.; Connors, S.; van Diemen, R.; Ferrat, M.; Haughey, E.; Luz, S.; Neogi, S.; Pathak, M.; Petzold, J.; Portugal Pereira, J.; Vyas, P.; Huntley, E.; Kissick, K.; Belkacemi, M. & Malley, J. -eds.). 874 p.
- IPCC, 2021a: Summary for Policymakers. 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., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–32, DOI: [10.1017/9781009157896.001](https://doi.org/10.1017/9781009157896.001).
- IPCC, 2021b: Chapter 8. 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 [Douville, H., Raghavan, H.; Renwick, J.; Allan, R.P.; Arias, P.A.; Barlow, M.; Cerezo-Mota, R.; Cherchi, A.; Gan, T.Y.; Gergis, J.; Jiang, D.; Khan, A.; Pokam Mba, W.; Rosenfeld, D.; Tierney, J. & Zolina, O. "2021. Water Cycle Changes. 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. 1055–1210, DOI: [10.1017/9781009157896.010](https://doi.org/10.1017/9781009157896.010).
- IPCC, 2022: 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.; Löschke, S.; Möller, V.; Okem, A.;

- Rama, B. (eds.]. Cambridge University Press. Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., DOI:[10.1017/9781009325844](https://doi.org/10.1017/9781009325844).
- IPCC, 2023. Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.]]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, DOI: [10.59327/IPCC/AR6-9789291691647](https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647)
- Jones, G. S.; Stott, P. A. & Mitchell, J. F. 2016. Uncertainties in the attribution of greenhouse gas warming and implications for climate prediction, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 121, 6969–6992. <https://doi.org/10.1002/2015JD024337>.
- Lobeto, H.; Menendez, M. & Losada, I. 2021. Future behavior of wind wave extremes due to climate change. *Scientific Reports*, 11:7869. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86524-4>.
- Loeb, N.; Lyman, J.; Johnson, G.; Allan, R.P.; Doelling, D.R.; Wong, T.; Soden, B.J. & Stephens, G.L. 2012. Observed changes in top-of-the-atmosphere radiation and upper-ocean heating consistent within uncertainty. *Nature Geosci* 5: 110–113. <https://doi.org/10.1038/ngeo1375>
- Martinez-Solanas, È.; Quijal-Zamorano, M.; Achebak, H.; Petrova, D.; Robine, J.M.; Herrmann, F.R.; Rodó, X.; & Ballester, J. 2021. Projections of temperature-attributable mortality in Europe: a time series analysis of 147 contiguous regions in 16 countries. *The Lancet Planetary Health*. 5(7):446-454. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00150-9](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00150-9)
- McMichael, A.J.; Woodruff, R.E. & Hales, S. 2006. Climate change and human health: present and future risks. *Lancet*, 11;367(9513):859-69. DOI: [10.1016/S0140-6736\(06\)68079-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68079-3).
- Oliver, E.C.J.; Burrows, M.T.; Donat, M.G.; Sen Gupta, A.; Alexander, L.V.; Perkins-Kirkpatrick, S.E.; Benthuisen, J.A.; Hobday, A.J.; Holbrook, N.J.; Moore, P.J.; Thomsen, M.S.; Wernberg, T.; & Smale, D.A. 2019. Projected Marine Heatwaves in the 21st Century and the Potential for Ecological Impact. *Front. Mar. Sci.* 6:734. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00734>
- Paterson, L.; Berod, d.; Coning, E.; Harding, J.; Holmlund, K.; Honda, Y.; Luterbacher, J.; Sparrow, M.; Fakhruddin, B. 2022. Harnessing Earth Systems Science, Technology and Services to reduce Disaster Risk – WMO contributions. *Bulletin World Meteorological Organization*. 71(1):2022.
- Pimont, F.; Ruffault, J.; Opitz, T.; Fargeon, H.; Barbero, R.; Castel-Clavera, J.; Martin-StPaul, N.; Rigolot, E. & Dupuy, J.L. 2022. Future expansion, seasonal lengthening and

- intensification of fire activity under climate change in southeastern France. *International Journal of Wildland Fire*, 32: 4-14. <https://doi.org/10.1071/WF2210>.
- Rhein, M.; Rintoul, S.R.; Aoki, S.; Campos, E.; Chambers, D.; Feely, R.A.; Gulev, S.; Johnson, G.C.; Josey, S.A.; Kostianoy, A.; Mauritzen, C.; Roemmich, D.; Talley, L.D.; & Wang, F. 2013. Observations: Ocean, in: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P.M., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 255–316, DOI:[10.1017/CBO9781107415324.010](https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.010).
- Ribes, A. & Terray, L. 2013. Application of regularized optimal fingerprinting to attribution. Part II: application to global near-surface temperature, *Clim. Dynam.*, 41: 2837–2853, <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1736-6>.
- Ribes, A.; Boé, J.; Qasmi, S.; Dubuisson, B.; Douville, H. & Terray, L. 2022. An updated assessment of past and future warming over France based on a regional observational constraint. *Supplement of Earth System Dynamics*, 13: 1397–1415. <https://doi.org/10.5194/esd-13-1397-2022-supplement>.
- Rohde, R. 2023. *Global Temperature Report for 2022*. Berkeley Earth. California-USA. <https://berkeleyearth.org/global-temperature-report-for-2022/>.
- Sias, E.; 2023. Como uma onda de calor marinha pode ter agravado o desastre em São Paulo. *MetSul – Meteorologia*. <https://metsul.com/como-uma-onda-de-calor-marinha-pode-ter-agravado-o-desastre-em-sao-paulo/>.
- Souza, B.P.; Costa, J.A.L.; Costa, S.S. & Marinho, R.R. 2017. Análise Espacial de Ilhas de Calor da Área Urbana de Manaus à partir de Imagens Landsat 8. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 28. Anais..., p. 336-343. ISBN 978-85-17-00088-1.
- von Schuckmann, K.; Cheng, L.; Palmer, M.D.; Hansen, J.; Tassone, C.; Aich, V.; Adusumilli, S.; Beltrami, H.; Boyer, T.; Cuesta-Valero, F.J.; Desbruyères, D.; Domingues, C.; García-García, A.; Gentine, P.; Gilson, J.; Gorfer, M.; Haimberger, L.; Ishii, M.; Johnson, G.C.; Killick, R.; King, B.A.; Kirchengast, G.; Kolodziejczyk, N.; Lyman, J.; Marzeion, B.; Mayer, M.; Monier, M.; Monselesan, D.P.; Purkey, S.; Roemmich, D.; Schweiger, A.; Seneviratne, S.I.; Shepherd, A.; Slater, D.A.; Steiner, A.K.; Straneo, F.; Timmermans, M.L.; & Wijffels, S.E. 2020. Heat stored in the Earth system: where does the energy go?, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 2013–2041, <https://doi.org/10.5194/essd-12-2013-2020>.

von Schuckmann, K.; Palmer, M.D.; Trenberth, K.E.; Cazenave, A.; Chambers, D.; Champollion, N.; Hansen, J.; Josey, S.A.; Loeb, N.; Mathieu, P.P.; Meyssignac, B.; & Wild, M. 2016. An imperative to monitor Earth's energy imbalance, *Nat. Clim. Change*, 6, 138–144, <https://doi.org/10.1038/nclimate2876>.



Recuperação de área degradadas pela mineração.
Restauração florestal da Companhia Brasileira de Alumínio (CBA)
(foto: Companhia Brasileira de Alumínio-CBA)

XII. ABREVIATURAS

AGI – Agência Internacional de Energia
ALC – América Latina e Caribe
ANT – Forçante Antropogênica
AO – Outro constituinte Antropogênico
AR6 – Sexto Relatório de Avaliação do IPCC
ARP – Península Arábica
BC – Carbono Negro
BECCS – Produção de Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono
BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento
CAF – África Central
CAR – Caribe
CAU – Austrália Central
CCI – Iniciativas de Mudanças Climáticas
CCS – Captura e Armazenamento de Carbono
CEBRI – Centro Brasileiro de Relações Internacionais
CEMADEN – Centro Nacional de Prevenção de Monitoramento de Desastres
CMIP6 – Modelo de execução de cenários utilizado pelo IPCC
CNA – Centro da América do Norte
CNM – Confederação Nacional dos Municípios
CO – Monóxido de Carbono
COP – Convenção das Partes
COP21 – Vigésima Primeira Conferência das Partes (Realizada em Paris)
COP27 – Vigésima Sétima Conferência das Partes (Realizada no Egito)
CSAC – Convenção Sobre as Alterações Climáticas
CSB – Convenção Sobre a Biodiversidade
DAMIP - Projeto de Intercomparação de Modelos de Detecção e Atribuição
EAU – Leste da Austrália
ECA – Ásia Central Leste
EEI – Desequilíbrio Energético da Terra
EEU – Leste da Europa
ENA – Leste da América do Norte
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
ESA – Leste da Ásia
ESAg – Agência Espacial Europeia
ESAF – Sudeste da África
ESB – Leste da Sibéria
GCOS – Sistema Global de Observações do Clima
GEE – Gases do Efeito Estufa
GIC – Groenlândia
GRACE – Recuperação Gravitacional e Experimentos Climáticos
HFCs – Compostos Halogenados

HVN – Alto Valor Natural
IAI – Investigação da Mudança Global
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
IPBES - Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos
IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MDG – Madagascar
MED – Mediterrâneo
METAL – Teoria Macroecológica sobre o Arranjo da Vida
MetSul – MetSul Meteorologia
NAT – Forçante Natural
NAU – Norte da Austrália
NCA – Norte da América Central
NDCs - Contribuições Determinadas Nacionalmente
NEAF – Nordeste da África
NEN – Nordeste da América do Norte
NES – Nordeste da América do Sul
NEU – Norte da Europa
NOx – Óxido de Nitrogênio
NSA – Norte da América do Sul
NWN – Noroeste da América do Norte
NWS – Nordeste da América do Sul
NZ – Nova Zelândia
AO – Aerossóis Orgânicos
OC – Carbono Orgânico
OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OHC – Conteúdo de Calor do Oceano
OMM - Organização Meteorológica Mundial
ONU – Organização das Nações Unidas
PAC – Pequenas Ilhas do Pacífico
PCAET – Planos Territoriais Clima-Ar-Energia
PIB – Produto Interno Bruto
PNUA - Programa das Nações Unidas para o Ambiente
PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PSU – Escala Prática de Salinidade
PTE = Programa de Transição Energética
RAR – Rússia Ártica
RCP – Caminhos Representativos de Concentração
RFE – Leste da Rússia
SAH – Saara
SAM – Monções da América do Sul
SAS – Sul da Ásia
SAU – Sul da Austrália

SCA – Sul da América Central

SEA – Sudeste da Ásia

SEAF – Sudeste da África

SES – Sudeste da América do Sul

SSA – Sul da América do Sul

SSP1-2.6 – Primeiro Cenário de emissão de carbono na atmosfera usado pelo IPCC

SSP2-4.5 – Segundo Cenário de emissão de carbono na atmosfera usado pelo IPCC

SSP4-6.0 – Quarto Cenário de emissão de carbono na atmosfera usado pelo IPCC

SSP5-8.5 – Quinto Cenário de emissão de carbono na atmosfera usado pelo IPCC

SWS – Sudoeste da América do Sul

TA – Transição Alternativa

TB – Transição Brasileira

TG – Transição Global

TIB – Platô Tibetano

TOA – Topo da Atmosfera

UFAM – Universidade Federal da Amazônia

UNFCCC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

UTMUTS – Uso da terra, Mudanças do Uso da Terra e Silvicultura

VOC – Compostos Orgânicos Voláteis Não-Metano

WAF – Oeste da África

WCA – Ásia Central Oeste

WCE – Oeste e Centro da Europa

WGI – Grupo de Trabalho I

WNA – Oeste da América do Norte

WRI – Instituto Mundial de Recursos

WSAF – Sudoeste da África

WSB – Oeste da Sibéria



Atingir a neutralidade de carbono em 2050 é um dos objetivos-chave no combate contra as mudanças climáticas. (fonte: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/o-que-e-neutralidade-carbono>)

XIII. GLOSSÁRIO

Advecção - Processo pelo qual tem lugar uma transferência das propriedades de uma massa de ar, em virtude do campo de velocidades existentes na própria atmosfera.

Alteração Climática – Ver Mudança Climática.

Anomalia Climática - Flutuação extrema de um elemento em uma série climatológica, com desvios acentuados do padrão observado de variabilidade.

Antropização – é a ciência que estuda a chamada antropização, ou seja, ação do ser humano sobre o meio ambiente, tanto o biótopo como a biomassa.

Antropogênico – tudo aquilo que for gerado por ações do homem.

Aquecimento Global - O aquecimento global refere-se ao aumento anormal da temperatura média do planeta registrado nas últimas décadas. Esse fenômeno é associado principalmente às ações antrópicas. O aquecimento global é um fenômeno que tem sido registrado nas últimas décadas e evidencia um aumento anormal da temperatura média da Terra.

Aragem - brisa; vento leve, muito brando e contínuo.

Aridificação – efeito de tornar ou ficar árido ou ressequido; causar ou sofrer aridez.

Artificialização - é um processo dinâmico de transformação da paisagem natural num certo período de tempo. Esse processo ocorre sempre que o homem altera o espaço de acordo com as suas necessidades e disponibilidade de recursos.

Atmosfera - Atmosfera é um conjunto de partículas microscópicas em movimento constante, também conhecida por uma camada de ar que envolve o planeta. Composta por gases, vapor d'água e compostos sólidos, ela desempenha funções extremamente importantes para a manutenção e sobrevivência dos seres vivos.

Balanco de Massa - balanço de massas é uma aplicação do princípio da conservação de massa em um sistema e é utilizado para fundamentar quantitativamente as massas e teores dos componentes envolvidos em um processo físico ou químico.

Biocombustível - são derivados de biomassa renovável que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores a combustão ou em outro tipo de geração de energia.

Biodiversidade – descreve a riqueza e a variedade do mundo natural. As plantas, os animais e os microrganismos fornecem alimentos, remédios e boa parte da matéria-prima industrial consumida pelo ser humano.

Biogeografia - é a ciência que estuda a distribuição geográfica dos seres vivos no espaço através do tempo, com o objetivo de entender os padrões de organização espacial dos organismos e os processos que resultaram em tais padrões.

Calor Latente – é a mudança de estado físico de uma substância quando há troca de calor, em um processo de fornecimento de energia para um corpo.

Colinearidade - expressão da relação entre duas (colinearidade) ou mais (multicolinearidade) variáveis independentes. Diz-se que duas variáveis independentes exibem colinearidade completa se seu coeficiente de correlação é 1, e completa falta de colinearidade se o coeficiente de correlação é 0.

Convecção – é uma das formas de transferência de calor e ocorre em decorrência da movimentação ascendente e descendente de porções de um fluido em diferentes temperaturas.

Criosfera - O termo criosfera descreve coletivamente todos os elementos do sistema terrestre contendo água no estado sólido e inclui o gelo marinho, gelo fluvial e lacustre, a cobertura de neve, precipitação sólida, permafrost, solo sazonalmente congelado, geleiras, calotas de gelo e principalmente os dois mantos de gelo do planeta (Antártica e Groenlândia).

Desertificação - processo de modificação ambiental ou climática que leva à formação de uma paisagem árida ou de um deserto propriamente dito.

Disruptura - Ruptura, quebra de continuidade, rompimento.

Ecobairros - são coletivos construídos e geridos com preocupações de sustentabilidade ambiental, integração social e intergeracional, habitados por comunidades empenhadas na preservação da biodiversidade, da água, do solo e da energia, no quadro de uma economia comum e de futuro.

Ecossistemas Físicos – conjunto de características físicas que influenciam a existência de uma espécie animal ou vegetal.

El Niño – é um evento climático gerado a cada poucos anos devido ao aquecimento do oceano Pacífico. Seus efeitos são notáveis no norte da região do Pacífico, nos departamentos da região andina e nos departamentos da região do Caribe.

Escala Planetária - é a expressão da ação universalmente sincronizada e controlada de todos os setores da humanidade sobre o planeta Terra.

Escala Temporal - A escala temporal proporciona aos estudos geográficos uma perspectiva mais ampla das ocorrências de fenômenos ambientais e sociais, possibilitando análises mais completas.

Estados – Países que fazem parte de um grupo.

Estratosfera - Estratosfera é a segunda camada mais próxima da Terra. Nela, encontra-se o gás ozônio, responsável pela barreira de proteção dos raios ultravioleta, mais conhecida como Camada de Ozônio. Podendo chegar a até 50 km de altura, a estratosfera é caracterizada por apresentar pouco fluxo de ar e por ser muito estável.

Estresse Hídrico - expressão utilizada para designar a conjuntura socioeconômica na qual a quantidade de água utilizada é superior à quantidade do recurso disponível em dado local e por determinado período.

Estresse Térmico - ocorre quando há um aumento de temperatura durante um tempo determinado, como ondas de calor.

Exosfera - Camada de atmosfera, acima da ionosfera, que se estende para além de 1000 km de altitude aproximadamente, onde as moléculas mais leves escapam à gravidade e se elevam lentamente para o espaço interplanetário.

Expansão Térmica - aumento das dimensões (comprimento, área ou volume) de um corpo ou substância qualquer, devido ao aumento de temperatura.

Fenologia - é o ramo da Ecologia que estuda os fenômenos periódicos dos seres vivos e suas relações com as condições do ambiente, tais como temperatura, luz e umidade.

Fisiologia - é o estudo das funções e do funcionamento normal dos seres vivos, bem como dos processos físico-químicos que ocorrem nas células, tecidos, órgãos e sistemas dos seres vivos sadios.

Força de Coriolis - é uma pseudoforça ou força inercial - não sendo portanto uma força na definição do termo - percebida apenas por observadores solidários a referenciais não-inerciais, animados de movimento de rotação em relação a um

referencial inercial que se afastam ou aproximam do centro deste movimento de rotação.

Gentrificação - é um processo de transformação de áreas urbanas que leva ao encarecimento do custo de vida e aprofunda a segregação socioespacial nas cidades. A gentrificação modifica a paisagem urbana e o perfil social dos bairros, provocando sua valorização mercadológica e a expulsão de antigos moradores.

Governança - deriva do ato de governar por meio de uma gestão robusta; exercer autoridade; ter o poder perante algo.

Íon - é um espécie química carregada eletricamente, resultado de um átomo que perdeu elétrons (cátion ou íon positivo) ou ganhou elétrons (ânion ou íon negativo) durante uma reação química.

Ionosfera - A ionosfera é uma parte da atmosfera superior situada entre 100 e 1000 quilômetros da Terra, onde a radiação ultravioleta é extrema e a radiação solar de raios-x ioniza os átomos e moléculas, criando assim uma camada de elétrons.

La Niña – é um evento climático que costuma ser acompanhado por baixas temperaturas e causa graves secas nas zonas costeiras do Pacífico. La Niña é o termo usado para se referir ao resfriamento anormal das águas equatoriais do oceano Pacífico Tropical.

Lei de Wien – a lei de Wien decorre da radiação solar, a qual é concentrada nas partes visível e do infravermelho próximo, enquanto a radiação emitida pela Terra e sua atmosfera, é principalmente confinada ao infravermelho. Quanto mais quente o corpo radiante, menor é o comprimento de onda da máxima radiação.

Mesosfera - Camada atmosférica situada entre a estratosfera e a termosfera, situada de 32 a 80 km acima da superfície.

Météo France - Serviço Nacional de Meteorologia da França.

Metrônomo - O metrônomo ou metrónomo é um aparelho que através de pulsos (sonoros) de duração regular, indica um andamento musical.

MetSul - MetSul Meteorologia, é um dos principais geradores de conteúdo de informação meteorológica do Conesul.

Missão GRACE – Recuperação Gravitacional e Experimentos Climáticos.

Mitigação - ação ou consequência de mitigar, de atenuar, enfraquecer, diminuir; alívio.

Mudança Climática - Mudança climática se refere a transformações de longo prazo nos padrões de temperatura e clima. Essas alterações podem ser naturais, mas desde o século 18 as atividades humanas têm sido a principal causa das mudanças climáticas, principalmente por causa da queima de combustíveis fósseis (como carvão, petróleo e gás), que produzem gases que retêm o calor.

Nicho Ecológico - é todo conjunto de características e condições que permite a sobrevivência de uma determinada espécie no ambiente.

Nutrição de Praia – é a prática em que sedimentos são trazidos para a praia para substituir o sedimento que foi perdido. Pode ser chamado, também, por engordamento de praia.

Orografia – é o estudo das nuances do relevo de alguma região.

Parâmetros Físicos - parâmetros físicos são a cor, a turbidez, a temperatura e o sabor/odor.

Planeado - que se planeou; concebido, imaginado, idealizado: medida planeada para o povo. Que faz parte de um projeto, de uma planificação; projetado, conjecturado.

Precificação - é o processo de definição do valor monetário a ser cobrado do cliente por um produto, mercadoria ou serviço.

Proteaginosas – leguminosas com elevado teor de proteína como a ervilha e o feijão.

Proxies - No estudo de climas passados, proxies climáticos são características físicas preservadas do passado que substituem as medições meteorológicas diretas e permitem aos cientistas reconstruir as condições climáticas ao longo de uma fração mais longa da história da Terra. Registros climáticos globais confiáveis só começaram na década de 1880, e os proxies são a única maneira pela qual os cientistas podem determinar os padrões climáticos.

PSU - o valor médio da salinidade nas águas oceânicas. Também sua unidade se tornou a expressão PSU (Practical Salinity Unit, ou Unidade de Salinidade Prática), como forma de explicitar sua adimensionalidade e sua desvinculação com o conceito anterior.

Radiação Solar - A radiação solar é a energia emitida pelo Sol, que se propaga em todas as direções através do espaço por meio de ondas eletromagnéticas. Emitida

pela superfície solar, essa energia determina a dinâmica dos processos atmosféricos e climatológicos.

- RCP** - Cada RCP provê conjuntos de dados, espacialmente distribuídos, de mudanças no uso da terra e de emissões setoriais de poluentes do ar e especifica as concentrações anuais de gases de efeito estufa e as emissões antropogênicas até o ano 2100. Os RCPs foram desenvolvidos por um grupo de modelos de avaliação integrada (IAM) e para cada cenário se pesquisou e criou conjuntos de dados de síntese a partir de estudos representativos disponíveis, que foram revistos por diferentes partes interessadas repetidamente.
- RCP 2.6** - foi desenvolvido pela equipe de modelagem IMAGE da PBL (*Netherlands Environmental Assessment Agency*). Este caminho de emissão é representativo de cenários da literatura que levam a níveis de concentração de GEE muito baixos. Este é um cenário mais otimista de “pico-declino”. Seu nível de forçante radiativa primeiro atinge um valor de cerca de 3,1 W/m² até meados do século, e retorna para 2,6 W/m² até 2100. Para alcançar tais níveis de forçante radiativa, as emissões de GEE (e indiretamente emissões de poluentes atmosféricos) são substancialmente reduzidas, ao longo do tempo.
- RCP 4.5** - foi desenvolvido pela equipe de modelagem do JGCRI (*Pacific Northwest National Laboratory's Joint Global Change Research Institute*) dos EUA. É um cenário de estabilização em que a forçante radiativa total é estabilizada pouco depois de 2100, sem ultrapassar o nível alto do longo termo do forçamento radiativo.
- RCP 6.0** - foi desenvolvido pelo time de modelagem AIM do NIES (*National Institute for Environmental Studies*) do Japão. É um cenário de estabilização em que a forçante radiativa total é estabilizada pouco depois de 2100, através da aplicação de uma série de tecnologias e estratégias para reduzir as emissões de GEE.
- RCP 8.5** - foi desenvolvido usando o modelo MESSAGE e pelo quadro de avaliação integrada do IIASA (*International Institute for Applied Systems Analysis*) da Áustria. Este RCP é um cenário pessimista e é caracterizado pelo aumento das emissões de GEE ao longo do tempo, representando cenários da literatura que levam a altos níveis de concentrações.
- Redensificação** - o conceito “redensificação” está muito em voga e é definido como todo o tratamento que procura corrigir e prevenir o envelhecimento, no caso aqui, das cidades.
- Resiliência** – capacidade de se recobrar facilmente ou se adaptar à má sorte ou às mudanças.

Sanfeno - planta leguminosa da subfamília das papilionáceas, que compreende ervas vivazes produtoras de excelente forragem.

Subsistência - Conjunto de coisas essenciais para a preservação da vida; sustento, alimentação, víveres.

Taxonomia - é a área da Biologia dedicada à organização e classificação dos seres vivos.

Termohalina - A circulação termohalina ou termossalina refere-se à circulação oceânica global movida pelas diferenças de densidade das águas dos oceanos devido a variações de temperatura ou salinidade em alguma região oceânica superficial.

Termosfera - A termosfera é uma das camadas mais externas da atmosfera terrestre, localizada entre 90-1000 km de altitude, logo abaixo da exosfera. Composta por átomos e moléculas neutras, ou partículas neutras, a termosfera é extremamente sensível à variações de energia nela depositada.

Territorializado - é o processo de ocupação de um território.

Troposfera - A troposfera é a camada mais baixa da atmosfera terrestre, sendo a região em que vivemos e onde ocorrem os fenômenos meteorológicos. A sua altura varia conforme o ponto de distância da superfície.

UV - radiação ultravioleta, a qual é uma onda eletromagnética oriunda do raios solares, altamente energética e ionizante, capaz de retirar elétrons de átomos, gerando os íons.

Variabilidade Climática - Variação das condições climáticas em torno da média climatológica.

