

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA EM FREDERICO
WESTPHALEN - RS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Maria Luiza Giordano da Costa

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPACTOS AMBIENTAIS

Frederico Westphalen, RS
2023

Maria Luiza Giordano da Costa

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPACTOS AMBIENTAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), campus de Frederico Westphalen, como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Ambiental e Sanitarista**.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Gizelli Moiano de Paula

Frederico Westphalen, RS
2023

Maria Luiza Giordano da Costa

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPACTOS AMBIENTAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), campus de Frederico Westphalen, como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Ambiental e Sanitarista.**

Aprovado em 25 de janeiro de 2023:

Gizelli Moiano de Paula, Dra. (UFSM)
(Presidente/ Orientadora)

Willian Fernando de Borba, Dr. (UFSM)

Eliane Pereira dos Santos, Dra. (UFSM)

Frederico Westphalen, RS
2023

AGRADECIMENTOS

Começo meus agradecimentos por ele, o Deus maior, aquele que tem me amparado e guiado durante meus 22 anos de vida.

A minha mãe Edile Rodrigues e ao meu padrasto Augusto Cesar Padilha, pela sua paciência interminável com minhas rotinas insanas durante meu percurso acadêmico, gratidão eterna.

Ao meu pai, José Giordano da Costa, por seus ótimos conselhos e por patrocinar minha vida de estudante sem grana.

As minhas colegas e eternas amigas que a graduação me trouxe, Leandra Morandi, Dienifer Stahlhofer, Laura Gabriele de Oliveira, e ao amigo Vinicius Armandio, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando, mesmo estando distantes fisicamente e mesmo tendo sido preteridos por compromissos que eu assumi na minha jornada no movimento estudantil. Apesar de eu ter sacrificado um tempo que me era caro ao seu lado, seu companheirismo foi fundamental para o atingimento deste sonho ora concluído.

A minha orientadora, a Professora Dra. Gizelli Moiano de Paula por toda paciência e prontidão, obrigada por perdoar meus atrasos e acreditar no meu esforço.

A todos os professores que fizeram parte de minha jornada acadêmica. Obrigada por ensinar-me tanto.

A Universidade Federal de Santa Maria, Campus Frederico Westphalen pela extraordinária qualidade de ensino.

A excelentíssima Sra Ex Presidenta do Brasil Dilma Rousseff, por sancionar a Lei 12.711 de 2012, lei esta que tornou possível a mim ter acesso a educação de qualidade e gratuita.

Meus eternos agradecimentos, a todos que de alguma forma contribuíram para eu me tornar Engenheira Ambiental e Sanitarista.

“Disseram que eu tinha sorte, eu disse que eu tinha ousadia.”
Carolina Maria de Jesus

RESUMO

MUDANÇAS CLIMÁTICAS E IMPACTOS AMBIENTAIS

AUTORA: Maria Luiza Giordano da Costa

ORIENTADORA: Gizelli Moiano de Paula

O presente trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica acerca das problemáticas e impactos relacionados às mudanças climáticas. A principal fonte foi o Sexto Ciclo de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. Esta pesquisa visa trazer informações à sociedade e aos gestores públicos em contribuição ao gerenciamento de políticas que atendam às necessidades do meio ambiente. Nos últimos anos, houve um avanço substancial na política climática, como o Acordo de Paris e a adoção dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, de modo que muitos países conseguiram desenvolver ações e mecanismos para reduzir emissões de GEE (IPCC, 2022). Entre as metas estipuladas, há o limite do aquecimento global até 1,5°C até 2100 e manter este aquecimento a menos de 2°C, sendo tecnicamente e economicamente factível, entretanto, necessita de intensas estratégias de mitigação no curto prazo. Bem como, nesta década prevê-se que as emissões globais cheguem ao pico antes de 2025 e sejam reduzidas em 45% até 2030. Espera-se que a demanda emergente por fontes alternativas de energia gere oportunidades econômicas para o setor de energia renovável (PBMC, 2016). O fato de substituir os combustíveis fósseis pela utilização de energias renováveis é uma solução viável e vantajosa, pois além de serem praticamente inesgotáveis, apresentam impacto ambiental muito baixo e não afetam a composição atmosférica, nem a temperatura do planeta (FREITAS; DATHEIN, 2013). Por conseguinte, a pesquisa confirmou a hipótese de que o homem é o principal causador do agravamento do efeito estufa e impactos ambientais também impulsionadas por ele e consequentemente, aumento da temperatura global com o decorrer dos anos. As medidas de mitigação são extremamente necessárias para reduzir o risco de mudanças nos extremos climáticos e de elevação do Nível Médio do Mar e os seus impactos na população em geral, através de redução de vulnerabilidade e medidas de adaptação. É emergencial a formulação de políticas de indução e de fomento, visando o desenvolvimento de novas práticas e tecnologias que garantam a sustentabilidade e consequentemente, a mitigação das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas. Impactos Ambientais. IPCC.

ABSTRACT

CLIMATE CHANGE AND ENVIRONMENTAL IMPACTS

AUTHOR: Maria Luiza Giordano da Costa

ADVISOR: Gizelli Moiano de Paula

The present work is a bibliographic review about the problems and impacts related to climate change. The main source was the Sixth Assessment Cycle of the Intergovernmental Panel on Climate Change. This research aims to bring information to society and public managers in contributing to the management of policies that meet the needs of the environment. In recent years, there has been substantial progress in climate policy, such as the Paris Agreement and the adoption of the Sustainable Development Goals (SDGs) of the UN 2030 Agenda, so that many countries have managed to take action and control GHG emissions (IPCC, 2022). Among the stipulated targets, there is a global warming limit of 1.5°C by 2100 and keeping this warming below 2°C, which is technically and economically feasible, however, it requires intense mitigation strategies in the short term. As well, in this decade global emissions are predicted to peak before 2025 and be reduced by 45% by 2030. The emerging demand for alternative energy sources is expected to generate opportunities for the renewable energy sector (PBMC, 2016). The fact of replacing fossil fuels with the use of renewable energies is a viable and advantageous solution, since in addition to being practically inexhaustible, they have a very low environmental impact and do not produce the atmospheric composition or the temperature of the planet (FREITAS; DATHEIN, 2013). Therefore, the research confirmed the hypothesis that man is the main cause of the worsening of the greenhouse effect and environmental effects also driven by it and, consequently, the increase in global temperature over the years. Mitigation measures are critically needed to reduce the risk of changes in climate extremes and rising Mean Sea Levels and their impacts on the general population, through vulnerability reduction and adaptation measures. It is urgent to formulate induction and promotion policies, aiming at the development of new practices and technologies that guarantee sustainability and, consequently, the mitigation of climate change.

Keywords: Climate Change. Environmental Impacts. IPCC.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização dos registros paleoclimáticos dos anos 1000 e 1750.....	20
Figura 2 - Distribuição de reconstituições paleoclimáticas.....	21
Figura 3 - Capa do Grupo de Trabalho II do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas 2022.....	23
Figura 4 - Impactos e riscos associados aos RFCs.....	25
Figura 5 - Impactos e riscos aos sistemas naturais, manejados e humanos selecionados.....	26
Figura 6 - Total Global de emissões líquidas de CO ₂	29
Figura 7 - Emissões de CO ₂ entre 1850 e 2019.....	30
Figura 8 - Emissões líquidas de GEE em 2019: per capita e total por região.....	31
Figura 9 - Emissões setoriais do Brasil, em CO ₂	32
Figura 10 - Mudanças Climáticas na superfície terrestre.....	33
Figura 11 - Mudança observada na temperatura global e respostas modeladas para emissão antrópica estilizada e trajetórias de forçante.....	34
Figura 12 - (b) Trajetórias estilizadas de emissões globais líquidas de CO ₂ , (c) Emissões cumulativas líquidas de CO ₂ e (d) Trajetórias de forçante radiativa não-CO ₂	35
Figura 13 - Eventos extremos do nível do mar.....	38
Figura 14 - Diminuição da precipitação em porcentagem, estimado pelo IPCC para a Amazônia entre os anos de 2011 a 2100.....	39
Figura 15 - Vulnerabilidade aos perigos naturais por município do Brasil.....	40
Figura 16 - Representação do El Niño e La Niña conforme as estações do ano.....	42
Figura 17 - Emissões em CO ₂ eq do setor Resíduos, por subsetor, por subsetor, para o período de 1990 a 2020.....	44
Figura 18 - Emissões totais do subsetor Disposição de Resíduos Sólidos.....	44
Figura 19 - Variação média anual do ciclo da água (RCP 4.5: 2016-2035).....	47
Figura 20 - Riscos para humanos e ecossistemas por mudanças provocadas pela mudança do clima em processos baseados no uso da terra.....	49
Figura 21 - Indicativo de transições.....	49
Figura 22 - Trajetórias socioeconômicas afetam níveis de riscos relacionados ao clima.....	50
Figura 23 - Legenda referente às figuras 20, 21 e 22.....	50
Figura 24 - Custo e capacidade da Energia Solar Fotovoltaica no período de 2000-2020.....	56
Figura 25 - Custo e capacidade de Bateria para veículos leves no período de 2000-2020.....	56

Figura 26 - Custo e capacidade da Energia Eólica onshore e offshore e Energia Solar heliotérmica no período de 2000-2020.....	57
Figura 27 - Trajetória das emissões conforme os limites de temperatura.....	64
Figura 28 - Passos para o combate do aquecimento global por meio da GIRSU.....	71

LISTA DE SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AFOLU	Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra
AMOC	Circulação Meridional de Capotamento do Atlântico (<i>Atlantic Meridional Overturning Circulation</i>)
ANA	Agência Nacional de Águas
AP	Antes do Presente
BACEN	Banco Central
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CDR	Remoção de Dióxido de Carbono (<i>Carbon Dioxide Removal</i>)
CERTOH	Certificado de Avaliação da Sustentabilidade de Obras Hídricas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIM	Comitê Interministerial sobre a Mudança do Clima
CIMV	Comitê Interministerial sobre a Mudança do Clima e o Crescimento Verde
CNARH	Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos
COBRAPE	Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos
COP	Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas
CRMA	Célula de Revolvimento Meridional do Atlântico
DAURH	Declaração Anual de Uso de Recursos Hídricos
DRDH	Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica
DRI	Índice de Risco de Desastres (<i>Disaster risk index</i>)
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETEs	Estações de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
FEMC	Fórum Estadual de Mudanças Climáticas
FNMC	Fundo Nacional sobre Mudança do Clima
GBC	Conselho de Edifícios Verdes (<i>Green Building Council</i>)
GEEs	Gases de Efeito Estufa
GIRSU	Gestão Integrada de RSU
GMST	Temperatura Média Global da Superfície (<i>Global Mean Surface Temperature</i>)

GS	Fortalecimento Gradual (<i>Gradual Strengthening</i>)
HCE	Eventos Históricos Centenários (<i>Historical Centennial Events</i>)
ICLEI	Conselho Internacional para Iniciativas Ambientais Locais (<i>International Council for Local Environmental Initiatives</i>)
IES	Agência Internacional de Energia (<i>International Energy Agency</i>)
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IRENA	Agência Internacional de Energia Renovável (<i>International Renewable Energy Agency</i>)
HM	Holoceno Médio
LD	Baixa Demanda (<i>Low Demand</i>)
MBRE	Mercado Brasileiro de Redução de Emissões
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MDR	Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MoU	Memorando de Entendimento
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada (<i>Nationally Determined Contribution</i>)
NEG	Emissões Negativas (<i>Negative Emissions</i>)
NMM	Nível Médio Global do Mar
NRM	Nível Relativo do Mar
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
PAC	Plano de Ação Climática
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PEMC	Política Estadual de Mudanças Climáticas
PGCC	Plano de Gestão Colaborativa e Comunicação
PIG	Pequena Idade do Gelo
PL	Projeto de Lei

PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PMMC	Política Municipal de Mudanças Climáticas
PNA	Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNUMA	Programa das Nações Unidas de Meio Ambiente
Ren	Renováveis (<i>Renewables</i>)
RFC	Motivos de Preocupação (<i>Reasons for Concern</i>)
RSI	Resíduos Sólidos Industriais
RSS	Resíduos Sólidos de Saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SCBH	Sistema de Controle de Balanço Hídrico
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SINARE	Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa
SMAS	Sistema de Monções da América do Sul
SP	Caminhos de Mudanças (<i>Shifting Pathways</i>)
SIRENE	Sistema de Registro Nacional de Emissões
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UMG	Último Máximo Global
ZARC	Zoneamento Agrícola de Risco Climático
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	PROBLEMA	15
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos.....	16
2	METODOLOGIA	17
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1	PALEOCLIMA BRASILEIRO.....	19
3.2	PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	22
3.3	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICADA ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	26
3.4	EFEITO ESTUFA	28
3.4.1	Características das trajetórias das emissões globais	29
3.4.2	Emissão de GEE: análise entre países desenvolvidos e subdesenvolvidos	30
3.4.3	Emissão de GEE: Ações Antrópicas	31
3.5	AQUECIMENTO GLOBAL	34
3.6	IMPACTOS AMBIENTAIS	37
3.6.1	Eventos Naturais e Extremos	37
3.6.1.1	El Niño e La Niña.....	41
3.6.2	Saneamento Básico	42
3.6.2.1	Limpeza Urbana e manejo de Resíduos Sólidos	43
3.6.2.2	Abastecimento de água.....	45
3.6.2.3	Esgotamento Sanitário	47
3.6.2.4	Drenagem Urbana e Manejo de Águas Pluviais.....	48
3.7	IMPACTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS	49
4	METAS E MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	54
4.1	POLÍTICAS ENERGÉTICAS RENOVÁVEIS.....	54

4.1.1	Cenário e metas brasileiras	57
4.1.2	Acordo IPCC & IRENA	58
4.1.3	Cenários IPCC: Energias renováveis e o limite do aquecimento global	59
4.2	POLÍTICAS PÚBLICAS	59
4.2.1	Nível Federal	59
4.2.2	Níveis Estadual e Municipal	61
4.2.3	Exemplo de Política Pública: PAC de João Pessoa	63
4.3	MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	64
4.3.1	Metas de redução global e Brasileira das emissões de GEE.....	64
4.3.2	Transição de combustíveis fósseis para energias renováveis.....	65
4.3.3	Transformações ágeis em todos os setores	66
4.3.4	Mudanças de comportamento e estilo de vida	67
4.3.5	Tecnologias de remoção de carbono	68
4.3.6	Financiamento climático	69
4.3.7	Cooperação Internacional	69
4.3.8	Resíduos Sólidos	70
4.3.8	Recursos Hídricos e Abastecimento Humano.....	71
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
	REFERÊNCIAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA

Conforme o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, na sigla em inglês), o termo mudança climática representa a alteração no estado do clima através de transformações das suas propriedades, perdurando geralmente por décadas ou mais (IPCC, 2007). A mudança climática pode resultar de processos naturais internos ou forças externas, bem como de alterações antropogênicas presentes na composição atmosférica ou no uso da terra. Em outras palavras, pode-se dizer que o termo “mudança do clima” tem um significado mais amplo, pois inclui todos os fenômenos naturais que são afetados pelo processo de mudança do clima (IPCC, 2007).

Durante os 4,5 bilhões de anos do planeta, aconteceram várias mudanças climáticas extremas, as quais geraram consequências como, extensos períodos de clima estável que foram seguidos de glaciação e esta, por sua vez, do efeito estufa (EEROLA, 2003). Períodos quentes ocasionaram até desertificação de amplas áreas continentais, provocando consequências biológicas. As mudanças climáticas têm extinguido muitas espécies e favorecido outras (EEROLA, 2003). As camadas sedimentares mostram que a terra sofreu muitos congelamentos no passado. Os mais antigos têm mais de 2 bilhões de anos e os mais intensos congelaram até as regiões equatoriais (EEROLA, 2003).

A divulgação do 5º Relatório do IPCC na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP) 21 em Paris, consolidou as ações antrópicas como principais responsáveis pelas mudanças climáticas desde 1800 (FILHO, 2020).

A partir do final do século XVIII e na segunda metade do século XX, devido a Revolução Industrial, a ampliação da produção industrial causou um aumento significativo nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera (INPE, 2022). Neste período, os produtos passaram a ser produzidos em grande escala por máquinas que precisavam de combustível para o seu funcionamento, ocasionando a geração de resíduos e poluição ambiental (NOBRE et al., 2012). As máquinas emitiam todos os tipos de fumaças e substâncias e contaminam os rios com os rejeitos químicos. O principal combustível era o carvão, e os rejeitos eram lançados no meio ambiente acriticamente. (NOBRE et al., 2012).

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), desde 1990 ocorreram as décadas históricas mais quentes durante os últimos 1000 anos. Não obstante, a temperatura global tende a aumentar entre 1,8°C e 4,0°C nos próximos 100 anos. Além disso, o Nível Médio

do Mar (NMM) poderá se elevar entre 0,18m e 0,59m, o que afetaria as atividades humanas e os ecossistemas terrestres. Tal variação pode parecer insignificante, no entanto, os impactos poderão ser graves (INPE, 2022).

Jacobi et al. (2011, p. 20), considera necessário que haja “[...] um olhar mais atento sobre os efeitos e vulnerabilidades a que todos estamos expostos diante das mudanças climáticas globais, e sobre os desafios que se colocam aos educadores [...]”. Este estudo defende a pauta de que a educação desempenha um papel fundamental no enfrentamento da crise ambiental que está acelerando as mudanças climáticas, sendo uma questão de responsabilidade e cidadania global.

Nos últimos anos, houve um avanço substancial na política climática, como o Acordo de Paris e a adoção dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), de modo que muitos países conseguiram desenvolver ações e mecanismos para reduzir emissões de GEE (IPCC, 2022).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo foi elaborar uma revisão de literatura sobre mudanças climáticas a nível nacional e internacional, demonstrando a evolução dos impactos ambientais provocados em especial por ações antrópicas. Em última instância, este trabalho visa trazer informações à sociedade e aos gestores públicos em contribuição ao gerenciamento de políticas que visem atender as necessidades do meio ambiente.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Relatar historicamente a evolução das mudanças climáticas desde 1850;
- Analisar as edições do IPCC desde 2007;
- Relacionar as mudanças climáticas com a emissão de GEE e aquecimento global;
- Utilizar os três pilares da sustentabilidade (ambiental, econômico e social) para abordar os impactos relacionados às mudanças climáticas e ações antrópicas;
- Apontar as metas e ações necessárias para a mitigação das mudanças climáticas em âmbito privado e público.

2 METODOLOGIA

Para a elaboração deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), utilizou-se a revisão de literatura narrativa (abordagem explicativa), por meio de pesquisa bibliográfica. Os dados e informações foram coletados através de fontes documentais publicadas (governamentais e não-governamentais).

Conforme a UNESP (2015), as revisões narrativas tem como objetivo descrever ou discutir o cenário atual do assunto pesquisado. Os pesquisadores selecionam os trabalhos consultados com base em sua perspectiva teórica e no contexto do tópico em questão. Além disso, utilizou-se aspectos da revisão sistemática, visto que, esta pesquisa apresenta metodologia e critérios definidos. Gil (2008, p. 2) aborda que “a modalidade explicativa busca explicar fenômenos (sua natureza, características, causas, reações e relações) e gerar hipóteses”.

Assim sendo, o trabalho prosperará por meio do método conceitual-analítico, utilizando conceitos e ideias de outros autores, com o objetivo final de amplificar uma análise científica sobre o tema de Mudanças Climáticas e Impactos Ambientais. A presente pesquisa bibliográfica compreendeu as seguintes etapas (MARCONI; LAKATOS, 2017):

- **Definição do tema:** por opção, o tema escolhido sobre Mudanças Climáticas foi amplo. Entretanto, foram realizadas delimitações, como o período e espaço geográfico (nacional e internacional) de estudo. O período estipulado para a fundamentação teórica foi entre os anos de 1850 a 2022. Nota-se ao longo desta pesquisa que as citações a partir de 2012 são muito mais frequentes, visto que, o assunto tratado possui diversas fontes recentes, pelo fato de ser uma problemática mundial atual. No entanto, os estudos desde os anos 1850 servem para análise temporal da evolução das mudanças climáticas e seus impactos. Há menções específicas de bilhões de anos atrás, as quais são citadas apenas para introdução do assunto.
- **Elaboração do tópicos de trabalho:** o início se deu com a estrutura básica: introdução, desenvolvimento e conclusão. A partir disso, foi realizada a complicação, divisão e priorização dos tópicos mais relevantes relacionados ao assunto de mudanças climáticas. Os tópicos estão presentes no sumário.
- **Identificação:** elencou-se os principais estudos relacionados ao tema, os quais foram: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas dos anos de 2007 a 2022; Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas de 2013 e 2016 (últimas edições); Política Nacional sobre Mudança do Clima de 2009; Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, relatório de 2022. A partir destas referências, buscou-se os

artigos científicos, livros, publicações acadêmicas, periódicos e relatórios, considerando embasamento teórico confiável para a escrita do texto.

- **Localização:** buscou-se os arquivos supracitados em sites governamentais (oficiais) e em bibliotecas virtuais, como o Portal de Periódicos CAPES, Scielo, Google Acadêmico, entre outras revistas citadas nas referências. Cabe especificar que tanto essa etapa quanto a etapa anterior foram atualizadas durante a elaboração do TCC para aprofundamento do tema.
- **Compilação:** todos os materiais identificados e localizados foram reunidos sistematicamente em uma pasta do drive. A pasta foi atualizada conforme novos documentos eram encontrados.
- **Fichamento:** consistiu-se na leitura de todos os materiais compilados e em cada documento foram grifados os trechos/páginas mais relevantes para a pesquisa (em termos de conteúdo e bibliografia), a partir do assunto dos tópicos pré-definidos.
- **Análise e interpretação:** realizou-se uma análise crítica de interpretação (não utilizando juízo de valor ou questionamento sobre a autoridade do autor), averiguando o sentido exato das escritas dos autores.
- **Redação:** realizou-se a escrita das informações e dados trabalhados nas etapas anteriores, de modo a descrever e citar cada autor, diferenciando entre citações diretas e indiretas. Buscou-se a utilização de ilustrações (gráficos e figuras) para a compreensão assertivas dos elementos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PALEOCLIMA BRASILEIRO

Os estudos científicos do paleoclima referem-se ao clima anterior ao Holoceno, elucidados a partir de registros continentais e oceânicos do Brasil, de outros países da América do Sul e dos oceanos adjacentes (PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - PBMC, 2014).

Os registros paleoclimáticos e paleoceanográficos registram oscilações extremas e abruptas no gradiente de temperatura do Oceano Atlântico no último milênio, bem como, na pluviosidade relacionada ao Sistema de Monções da América do Sul (SMAS), e no local afetado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (PBMC 2013).

As mudanças na insolação recebidas pela Terra em escala temporal orbital (i.e., dezenas de milhares de anos) foram a principal causa de modificações na precipitação e nos ecossistemas das regiões tropical e subtropical do Brasil, principalmente aquelas regiões sob influência do sistema de monção (AMORIM, 2008). Os períodos de aumento do SMAS e vice-versa foram relacionados com os altos valores de exposição ao sol de verão para o Hemisfério Sul (PBMC 2013).

Oscilações fortes e abruptas no gradiente de temperatura meridional do oceano Atlântico e precipitação associadas a SMAS e ZCIT foram observadas ao longo da escala de tempo milenar (PBMC, 2014). A razão para essas mudanças climáticas obviamente reside em mudanças significantes na intensidade da Célula Meridional do Atlântico (CRMA). O aumento das chuvas nas regiões tropicais e subtropicais do Brasil estão associados aos período de enfraquecimento do CRMA (PBMC, 2014).

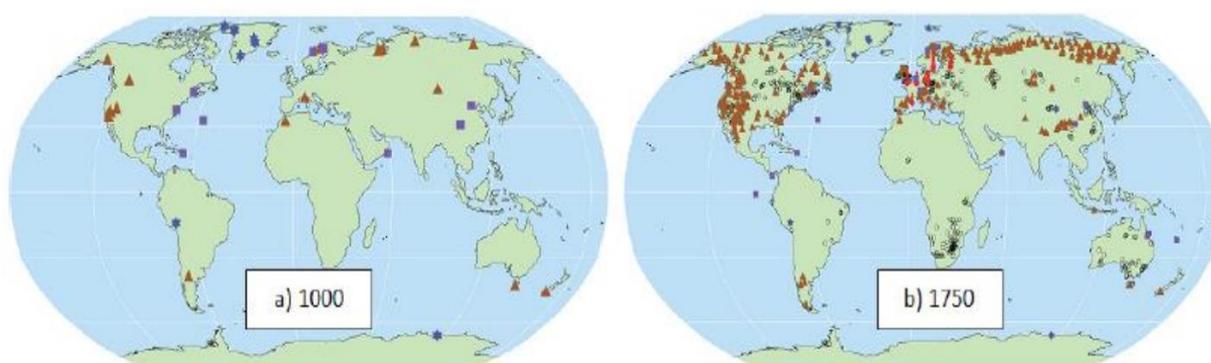
Os dados paleoclimáticos referentes aos últimos 1.000 anos no Brasil são fragmentados e escassos (PBMC 2013). A Pequena Idade do Gelo (PIG) ocorreu aproximadamente entre os anos de 1500 a 1850, sendo caracterizada por um aumento na precipitação nas porções tropicais e subtropicais da América do Sul, localizada ao sul da Linha do Equador. O acréscimo de precipitação está associado a um fortalecimento do SMAS, possivelmente controlado pela diminuição da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Atlântico Norte, e a uma desintensificação da Circulação Meridional de Capotamento do Atlântico (AMOC, na sigla em inglês) (PBMC 2013).

Quando comparado com outros períodos da história geológica da Terra, o último milênio, entre o ano 1000 e o início do período industrial (século XVIII), foi marcado por uma variabilidade relativamente baixa das principais forçantes climáticas, tais como os GEE, a radiação solar no topo da atmosfera ou as erupções vulcânicas e baixa amplitude (PBMC 2013).

O hemisfério sul exibe um número extremamente pequeno de registros paleoclimáticos tolerados por modelos de idades confiáveis e resolução temporal adequada para o último milênio (JANSEN et al., 2007 apud PBMC, 2013), como representado na Figura 1.

Na figura 1, o ano (a) apresenta os registros de valores disponíveis desde o ano 1.000, e o ano (b) apresenta os registros com valores disponíveis desde 1750. Termômetros vermelhos: registros instrumentais; triângulos marrons: anéis de crescimento de árvores; círculos pretos: poços profundos em rochas e sedimentos; estrelas azuis: testemunhos de gelo ou poços profundos em geleiras; quadrados roxos: outros, incluindo registros com baixa resolução temporal. Nota-se a pequena quantidade de registros sobre o hemisfério sul.

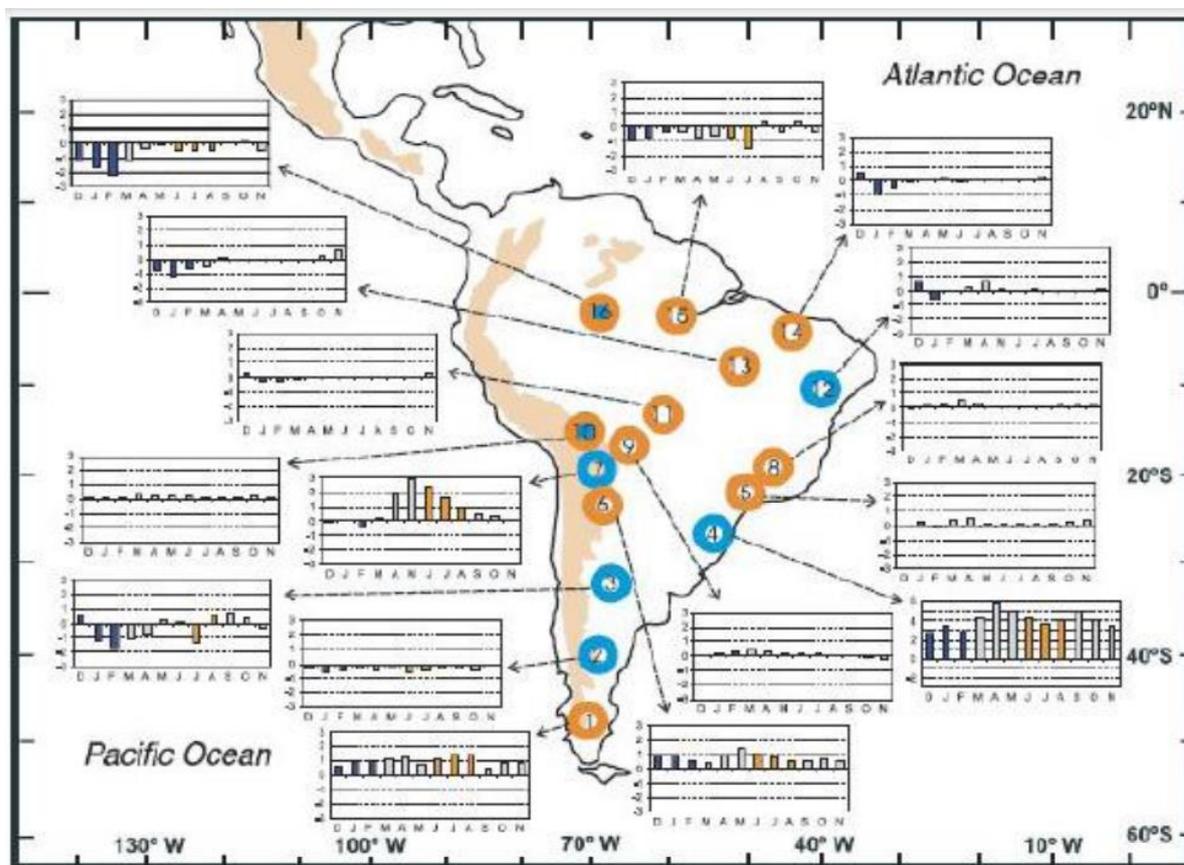
Figura 1 - Localização dos registros paleoclimáticos dos anos 1000 e 1750



Fonte: PBMC (2013).

A Figura 2 apresenta a simulação de histogramas de precipitação com desvio padrão, mostrando a disposição das reconstruções paleoclimáticas normalizadas (círculos laranja: seco, círculos azuis: húmido) e anomalias entre o Último Máximo Glacial (UMG) e o período atual (WAINER et al., 2005). As barras azul e laranja no histograma figuram o verão e o inverno do sul, respectivamente.

Figura 2 - Distribuição de reconstituições paleoclimáticas



Fonte: PBMC (2013).

No Brasil e no Atlântico Sul ocidental, mudanças climáticas abruptas milenares da última glaciação foram registradas em grutas, sedimentos continentais e náuticos (ARZ et al., 1998; BEHLING et al., 2000).

A região nordeste do Brasil e o oceano adjacente possuem uma concentração significativa de registros de mudanças climáticas abruptas. Os seguintes fatores contribuem para tais concentrações (SIFEDDINE et al., 2014):

- Alta amplitude de sinal ou direção de mudança climática abrupta nas regiões continentais e oceânicas do sul, com tais mudanças devido à influência da ZCTI no clima regional e sua relação com processos de derretimento em altas latitudes no hemisfério norte (SIFEDDINE et al., 2014);
- A alta resolução temporal de alguns registros paleoclimáticos provenientes destas regiões (SIFEDDINE et al., 2014, p. 11);
- A maior quantidade de registros paleoclimáticos disponíveis nessas regiões (SIFEDDINE et al., 2014, p. 11).

Conforme Whitlock et al. (2006) e Marlon et al. (2008) as causas das queimadas, inicialmente, podem ser as condições climáticas, embora a ação antrópica tenha papel importante como fonte de ignição. Durante o Holoceno Médio (HM), Sanford et al. (1985) demonstrou vários incêndios florestais no alto Rio Negro, ocorridos devido às mudanças climáticas. Registrou-se fragmentos de carvão de um solo do Leste da Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas, os quais foram datados entre aproximadamente 6.900 e 3.200 anos calibrados “Antes do Presente” (AP) (SOUBIÈS, 1980, p. 25).

Apesar do número reduzido, os estudos paleohidrológicos realizados nos trópicos e subtropicais da América do Sul (HAUG et al., 2001), abordando o UMG, mostraram certa coerência nas alterações de precipitação durante a Pequena Idade do Gelo – aproximadamente entre os anos de 1400 e 1700 (MANN, 2009). Devido aos poucos estudos paleoambientais do Brasil ou do oceano Atlântico adjacente, Souto et al. (2011) basearam-se em alternativas das associações de foraminíferos com testemunhos coletados na zona de ressurgência de cabo Frio (Rio de Janeiro) de 23 °S, com o propósito de inferir uma maior intensidade desse fenômeno na PIG, provavelmente por conta do fortalecimento do vento nordeste.

Por outro lado, Pessenda et al. (2008) demonstraram que, no arquipélago de Fernando de Noronha – 3°S –, em Pernambuco, a PIG apresentou diminuição na precipitação, em consonância com os resultados obtidos na Bacia de Cariaco (HAUG et al., 2001).

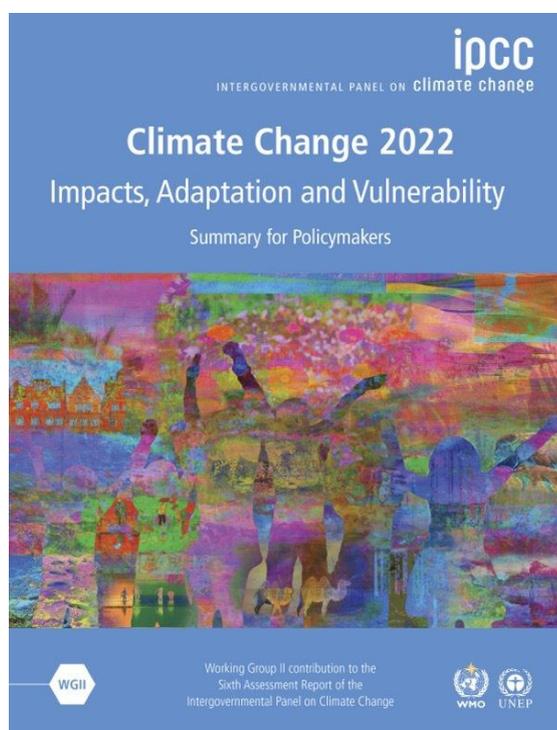
3.2 PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O Programa das Nações Unidas de Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) foram os responsáveis pela criação do IPCC em 1988. Após 2 anos, em 1990, o 1º relatório sobre mudança do clima foi publicado (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO - MCTI, 2021). Atualmente, está em seu sexto ciclo, iniciado em 2015 e concluído em 2022. Cada um dos ciclos é composto por vários programas de trabalhos, relatórios e pesquisas que são definidos pelos governos membros (195, no total) e demoram em torno de cinco a sete anos para serem concluídos (MCTI, 2021).

O IPCC produz relatórios de avaliação abrangendo todos os setores que causam e geram consequências para as mudanças climáticas, de forma técnica e socioeconômica, incluindo os impactos, riscos futuros e possibilidades de mitigação e adaptação (MCTI, 2021). Bem como, elabora relatórios especiais sobre tópicos, previamente acordados por seus governos membros (por exemplo, no AR6, intitulado “Aquecimento Global 1,5°C”) e relatórios metodológicos que orientam para a preparação de inventários nacionais de GEE (MCTI, 2021).

O Painel possui três grupos de estudos, onde cada grupo é responsável por um pilar diferente, resultando em relatórios distintos. O Grupo I aborda sobre a base física da mudança do clima. O Grupo II aborda sobre os impactos, adaptação e vulnerabilidade. E o Grupo III aborda sobre a mitigação da mudança do clima, com a premissa de trazer medidas de mitigação e adaptação tecnológicas de infraestrutura e comportamentais para reduzir as emissões globais de GEE (IPCC, 2022). Todas as pesquisas são feitas por pesquisadores nomeados pelos governos, dentro de cada especialidade (MCTI, 2021). A capa do relatório do grupo de trabalho II do IPCC 2022 está ilustrada na Figura 3.

Figura 3 - Capa do Grupo de Trabalho II do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas 2022



Fonte: IPCC (2022).

Os relatórios elaborados pelo Sexto Ciclo de Avaliação (AR6) foram os seguintes:

- I. Relatório de Síntese do AR6: Mudança do Clima 2023.
- II. AR6 Mudança do Clima 2021: A Base da Ciência Física (Grupo I).
- III. AR6 Mudança do Clima 2022: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade (Grupo II).
- IV. AR6 Mudança do Clima 2022: Mitigação da Mudança do Clima (Grupo III).
- V. Relatório metodológico: Refinamento 2019 das Diretrizes 2006 do IPCC para Inventários Nacionais de Gases do Efeito Estufa, Relatório de Metodologia sobre Forçantes Climáticas de Vida-Curta.

VI. Relatórios Especiais: Aquecimento Global de 1,5°C, Mudança do clima e terra, O Oceano e a Criosfera em um Clima em Mudança (MCTI, 2021).

Conforme o IPCC (2022), o planeta encontra-se em um cenário crítico: as mudanças climáticas já atingem todas as partes do mundo e haverá gravíssimos efeitos ambientais, sociais e econômicos se não for possível reduzir as emissões de GEE em pelo menos 43% até 2030. Deve-se começar urgentemente a estender as medidas de adaptação de combustíveis fósseis para energia renovável (IPCC, 2022). As comunidades marginalizadas e países com poucos recursos sofrerão os impactos mais intensos. O relatório também especifica quais as abordagens de adaptação climática são mais eficazes e como os grupos mais vulneráveis são afetados (IPCC, 2022).

De acordo com Guterres (2022), Secretário-Geral da ONU, o relatório do Grupo de Trabalho III no sexto ciclo de avaliação indicou que no período 2010-2019 as emissões nocivas de carbono foram as mais altas da história da humanidade. E ainda ressaltou que estamos em um caminho rápido para o desastre e emergência climática, porque há incoerência entre os discursos e ações de alguns líderes governamentais e empresariais (GUTERRES, 2022). A continuação do discurso de Guterres (2022, p. 4) é o seguinte:

[...] é o que a ciência nos diz que resultará de nossas atuais políticas energéticas. Estamos a caminho de um aquecimento global de mais do que o dobro do limite de 1,5 graus acordado em Paris.

Cientistas do clima nos alertam que estamos perigosamente perto de pontos de inflexão que podem levar a impactos climáticos em cascata e irreversíveis.

Governos e empresários estão sufocando nosso planeta, com base em seus interesses e investimentos históricos em combustíveis fósseis, quando soluções mais baratas e renováveis proporcionam empregos verdes, segurança energética e maior estabilidade de preços.

[...] A ciência é clara. Para manter o limite de 1,5 grau acordado em Paris ao alcance, precisamos cortar as emissões globais em 45% nesta década [...] mas não precisa ser assim. O relatório de hoje está focado na mitigação - redução de emissões. Ele estabelece opções viáveis e financeiramente sólidas em todos os setores [...]

Em primeiro lugar, devemos triplicar a velocidade da mudança para as energias renováveis. Isso significa transferir investimentos e subsídios de combustíveis fósseis para renováveis, agora. Em muitos casos, as energias renováveis já são muito mais baratas. Significa coalizões climáticas, compostas por países desenvolvidos, bancos multilaterais de desenvolvimento, instituições financeiras privadas e corporações, apoiando as principais economias emergentes nessa mudança. Significa proteger florestas e ecossistemas como poderosas soluções climáticas. Significa progresso rápido na redução das emissões de metano. Significa cumprir as promessas feitas em Paris e Glasgow.

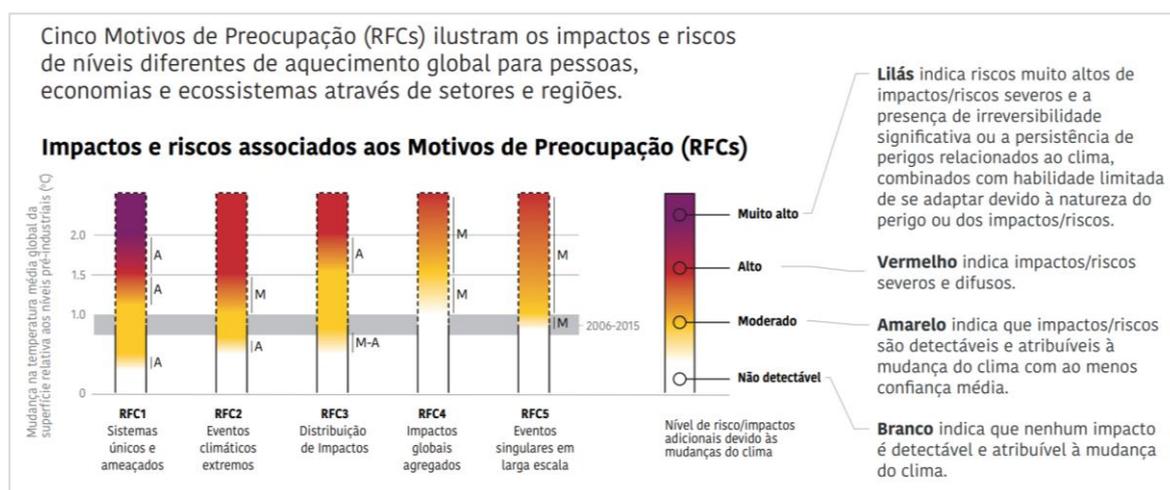
O relatório intitulado “Aquecimento Global de 1,5°C” do IPCC (2018) definiu cinco tópicos chamados de “Motivos de Preocupação” (RFC, na sigla em inglês), elencando cinco

grandes categorias com base no acúmulo de riscos que emergiram de um aumento contínuo da temperatura global (IPCC, 2018).

- **RFC1 - Sistemas únicos e ameaçados:** representam sistemas ecológicos e humanos com endemismo intenso em espaços geográficos limitados e restritos por condições climáticas (IPCC, 2018).
- **RFC 2 - Eventos climáticos extremos:** provocam impactos ambientais, sociais e econômicos de alta gravidade, por exemplo, precipitações intensas ou secas provocadas por El Niño e La Niña (IPCC, 2018).
- **RFC 3 - Distribuição de impactos:** representam impactos que afetam a população conforme a vulnerabilidade, por exemplo, pessoas de baixa renda ou moradores de áreas ribeirinhas que são afetados por perigos com maior gravidade (IPCC, 2018).
- **RFC 4 - Impactos agregados globais:** causam prejuízos monetários, degradação e perda de ecossistemas e biodiversidade em escalas globais (IPCC, 2018).
- **RFC 5 - Eventos singulares de grande escala:** caracterizam alterações de grande magnitude e abruptas, provocadas devido pelo aumento da temperatura global, como a desintegração dos mantos de gelo da Groenlândia e da Antártida (IPCC, 2018).

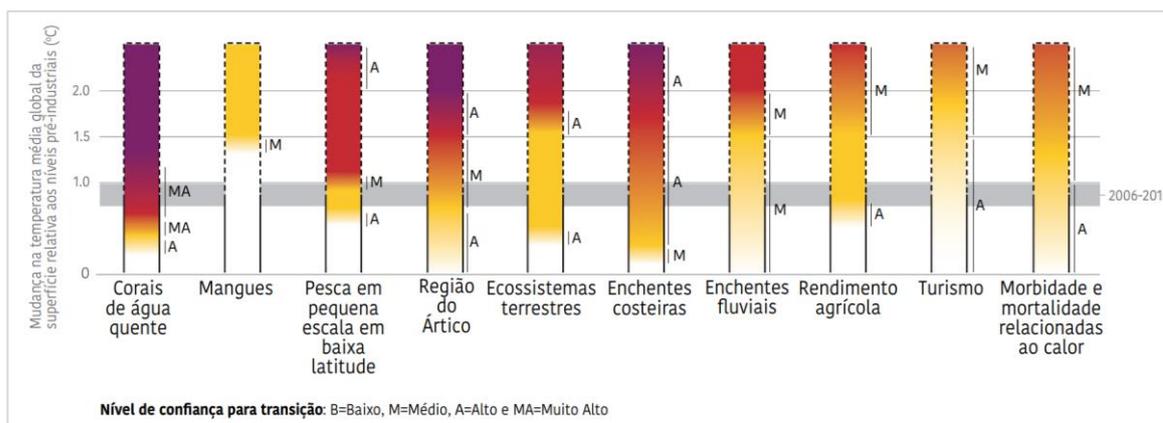
As Figuras 4 e 5 demonstram a relação do aquecimento global com os impactos e riscos dos RFCs e dos sistemas naturais, manejados e humanos selecionados (IPCC, 2022). Bem como, analisam o quanto estes impactos e riscos afetam os setores, economias e ecossistemas (IPCC, 2018).

Figura 4 - Impactos e riscos associados aos RFCs



Fonte: IPCC (2018).

Figura 5 - Impactos e riscos aos sistemas naturais, manejados e humanos selecionados



Fonte: IPCC (2018).

3.3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICADA ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O estudo e pesquisa das leis, decretos e a resolução do Banco Central (BACEN) diretamente relacionadas à mudança do clima, em vigor no Brasil, foram coletadas a partir do ano de 2009, sendo os seguintes:

- Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC);
- Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009, que cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC);
- Resolução BACEN nº 4.267/2013, que dispõe sobre o financiamento ao amparo de recurso do Fundo Nacional sobre a Mudança do Clima;
- Decreto nº 9.073, de 5 de junho de 2017, que promulga o Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, celebrado em Paris, em 12 de dezembro de 2015, e firmado em Nova Iorque, em 22 de abril de 2016;
- Decreto nº 9.082, de 26 de junho de 2017, que institui o Fórum Brasileiro de Mudança do Clima.
- Decreto nº 9.172, de 17 de outubro de 2017, que institui o Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), dispõe sobre os instrumentos da PNMC a que se refere o inciso XIII do caput do art. 6º da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, e altera o Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010, que regulamenta a referida Política.
- Decreto nº 9.578, de 22 de novembro de 2018, que consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo Federal que dispõem sobre o FNMC, de que trata a Lei nº 12.114,

de 9 de dezembro de 2009, e a PNMC, de que trata a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009;

- Decreto nº 9.841, de 18 de junho de 2019, que dispõe sobre o Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC);
- Decreto nº 10.143, de 28 de novembro de 2019, que altera o Decreto nº 9.578, de 22 de novembro de 2018, que dispõe sobre o FNMC e a PNMC;
- Decreto nº 10.845, de 25 de outubro de 2021, que dispõe sobre o Comitê Interministerial sobre a Mudança do Clima e o Crescimento Verde (CIMV);
- Decreto nº 11.075, de 19 de maio de 2022, estabelece os procedimentos para a elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, institui o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SINARE) e altera o Decreto nº 11.003, de 21 de março de 2022.

A Lei 12.187/2009 institui a PNMC e estabelece seus princípios, objetivos, diretrizes e instrumentos. A PNMC e suas ações têm como base os princípios da precaução, da prevenção, da participação cidadã e do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2009). A PNMC tem, entre outros, os seguintes objetivos (BRASIL, 2009):

- I. Compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a proteção do sistema climático;
- II. Redução das emissões antrópicas de GEE em relação às suas diferentes fontes;
- III. (VETADO);
- IV. Fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros de GEE no território nacional;
- V. Implementação de medidas para promover a adaptação à mudança do clima pelas 3 (três) esferas da Federação, com a participação e a colaboração dos agentes econômicos e sociais interessados ou beneficiários, em particular aqueles especialmente vulneráveis aos seus efeitos adversos;
- VI. Preservação, conservação e recuperação dos recursos ambientais, com particular atenção aos grandes biomas naturais tidos como Patrimônio Nacional;
- VII. Consolidação e expansão das áreas legalmente protegidas e ao incentivo aos reflorestamentos e recomposição da cobertura vegetal em áreas degradadas;
- VIII. Estímulo ao desenvolvimento do Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE).

Entre os instrumentos da PNMC, figuram o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), já elaborado pelo Governo federal, o FNMC, criado pela Lei nº 12.114/2009, os Planos de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento nos biomas, assim como mecanismos financeiros e econômicos referentes à mitigação da mudança do clima e à adaptação aos efeitos da mudança do clima (JURAS, 2010).

O FNMC é um fundo contábil associado ao MMA, cujo propósito é fornecer recursos para apoiar projetos e pesquisas, bem como financiar operações voltadas para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas e seus impactos (BNDES, 2015).

Conforme o BNDES (2015, p. 1): “as principais fontes de recursos do FNMC são: as doações consignados na lei orçamentária anual da União e em seus créditos adicionais, doações feitas por entidades nacionais e internacionais, públicas ou privadas, recursos de juros e amortização de financiamentos”. O FNMC concede recursos de duas formas: reembolsáveis e não reembolsáveis. A responsabilidade dos recursos reembolsáveis é do Banco Nacional de Desenvolvimento Económico e Social (BNDES), enquanto os recursos não-reembolsáveis são geridos pelo MMA (BNDES, 2015).

Desde 2018, houve enfraquecimento dos instrumentos existentes, e foi evidenciado um cenário de insegurança climática e jurídica (TALATONA, 2020). Em 2019, por meio do Decreto nº 9.578 de 22 de novembro de 2018, foram extintos importantes instrumentos de governança relacionados à adoção de políticas de mitigação e adaptação às mudanças no clima do planeta (TALATONA, 2020).

3.4 EFEITO ESTUFA

O efeito estufa consiste na retenção de parte da radiação infravermelha da luz solar pelos seguintes gases: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e vapor d'água (H_2O), chamados de Gases de Efeito Estufa. Posto isso, ocorre o aquecimento da Terra e os gases atuam como um “cobertor”, mantendo a temperatura estável no planeta (OLIVEIRA, 2012).

Embora o efeito estufa seja um evento natural com função útil para a preservação da vida na terra, tem contribuído para a aceleração das mudanças climáticas, onde há o aquecimento global como sua principal consequência (JACOBI et al., 2011).

Segundo Bom et al. (2007, p. 23):

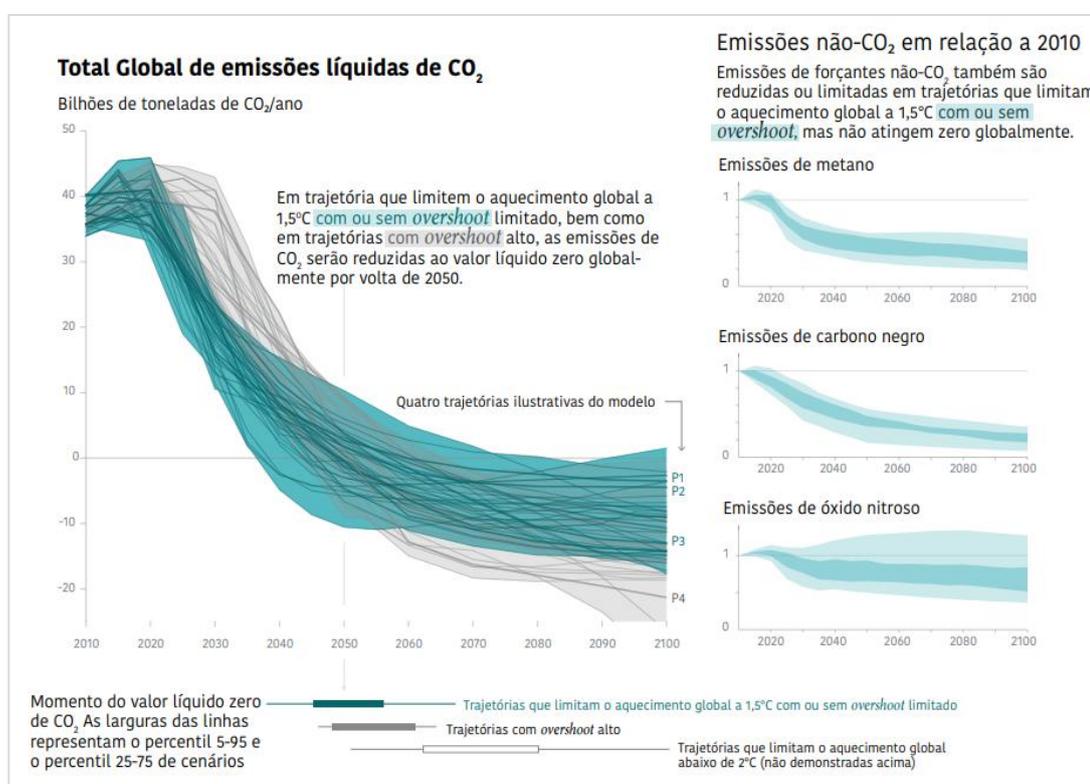
Os principais GEE misturam-se à atmosfera, fazendo-a se comportar como uma estufa e retendo o calor solar próximo à superfície terrestre à noite. Isso evita que o planeta se torne (como a Lua, por exemplo) tórrido de dia e gélido durante a noite, inviabilizando a vida como a conhecemos. Em excesso, entretanto, o efeito estufa causa um superaquecimento, que pode levar a consequências funestas, como o derretimento de parte das calotas polares e a consequente elevação do nível dos oceanos, inundando o litoral dos continentes (e eventualmente pequenos países insulares inteiros).

3.4.1 Características das trajetórias das emissões globais

O IPCC (2018) realizou pesquisas e simulações relacionadas à evolução das emissões líquidas antrópicas de CO₂ e das emissões totais de CH₄, N₂O e carbono negro. As emissões líquidas são definidas como emissões antrópicas reduzidas por remoções antrópicas, sendo alcançadas por meio de diferentes possibilidades de medidas de mitigação (IPCC, 2018).

Conforme o IPCC (2018, p. 16), na figura 6 “as trajetórias modeladas limitam o aquecimento global a 1,5°C sem *overshoot*¹ ou com *overshoot* limitado (menos de 0,1°C) e com *overshoot* mais alto”. Os gráficos à direita demonstram as emissões não-CO₂ históricas para CH₄, carbono negro e N₂O e uma porção substancial de emissões baseadas em outras fontes que não são relacionadas com a mitigação de CO₂ (IPCC, 2018). O sombreamento claro demonstra as faixas de 5 a 95% e o sombreamento escuro, o interquartis. As linhas no inferior da figura demonstram o momento em que as trajetórias alcançam os níveis globais zero de emissão líquida de CO₂ e uma exemplificação com as trajetórias que limitam o aquecimento global a 2°C com, pelo menos, 66% de probabilidade.

Figura 6 - Total Global de emissões líquidas de CO₂



Fonte: IPCC (2018).

¹ *Overshoot* de temperatura: A superação temporária de um nível específico de aquecimento global.

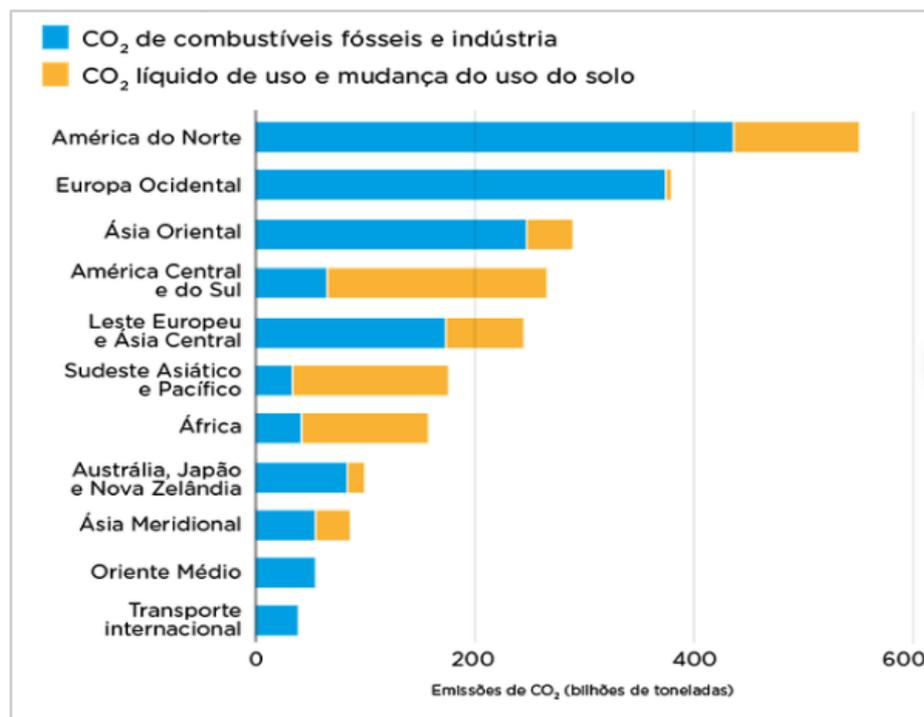
De acordo com as modelagens ilustradas, “as emissões antrópicas líquidas globais de CO₂ declinam em torno de 45% em relação aos níveis de 2010 até 2030 (intervalo interquartil entre 40–60%), atingindo o valor líquido zero em torno de 2050 (intervalo interquartil 2045–2055)” (IPCC, 2018, p. 16).

3.4.2 Emissão de GEE: análise entre países desenvolvidos e subdesenvolvidos

Os países da região Ásia-Pacífico apresentam o maior aumento anual de emissões e são responsáveis por quase 50% do total de GEE lançados na atmosfera global (IPCC, 2022). Este fato ocorre devido ao cenário de crescimento econômico dos países do sul, fator importante de ser considerado, visto que, conforme a figura 7, historicamente os EUA, Canadá e México eram os principais emissores de GEE na atmosfera (IPCC, 2022).

A distribuição de emissões de GEE é desigual entre as diferentes regiões do planeta, além das desigualdades dentro de cada país. Em média, a população 10% mais rica do mundo, encontrada em todos os continentes, contribui com 36 - 45% das emissões, enquanto os 50% mais pobres emitem apenas 13 - 15% do total das emissões (NETO, 2010). A maioria da população de baixa renda vive na África, no Sul, Sudeste Asiático, América Latina e Caribe, muitos ainda sem acesso a eletricidade e a energia limpa (IPCC, 2022).

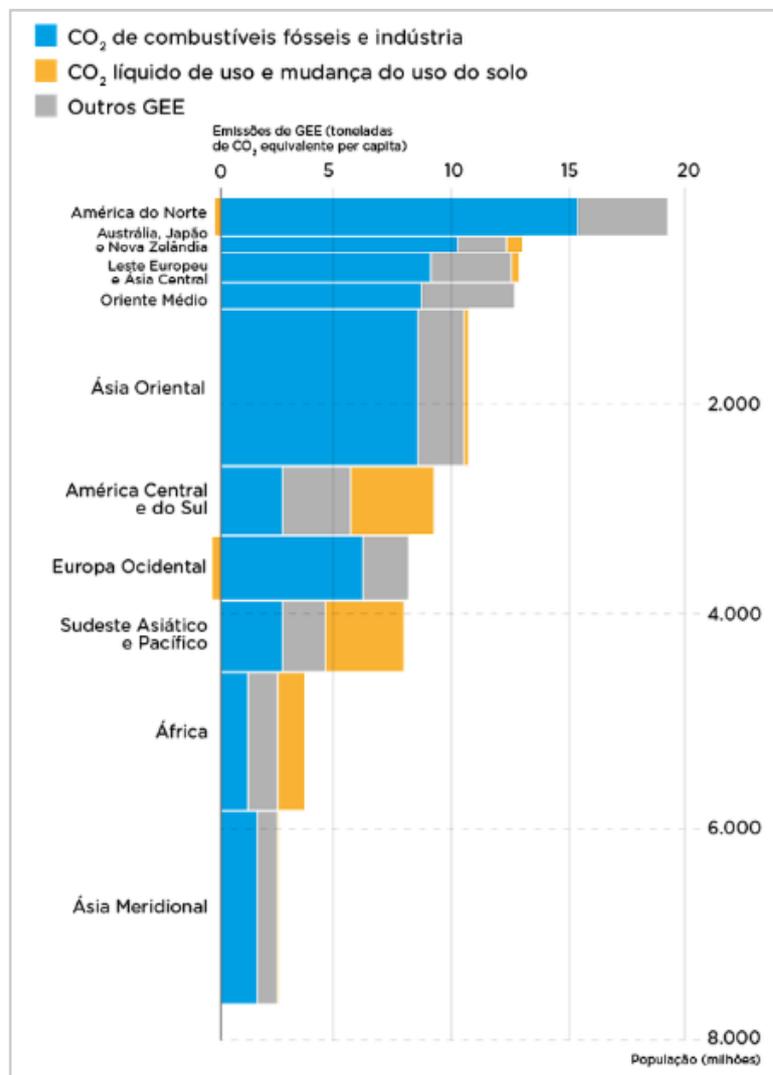
Figura 7 - Emissões de CO₂ entre 1850 e 2019



Fonte: IPCC (2022).

A Figura 8 ilustra as emissões líquidas de GEE em 2019 com análise per capita e total por região (América, Europa, África, Ásia e Oceania).

Figura 8 - Emissões líquidas de GEE em 2019: per capita e total por região



Fonte: IPCC (2022).

3.4.3 Emissão de GEE: Ações Antrópicas

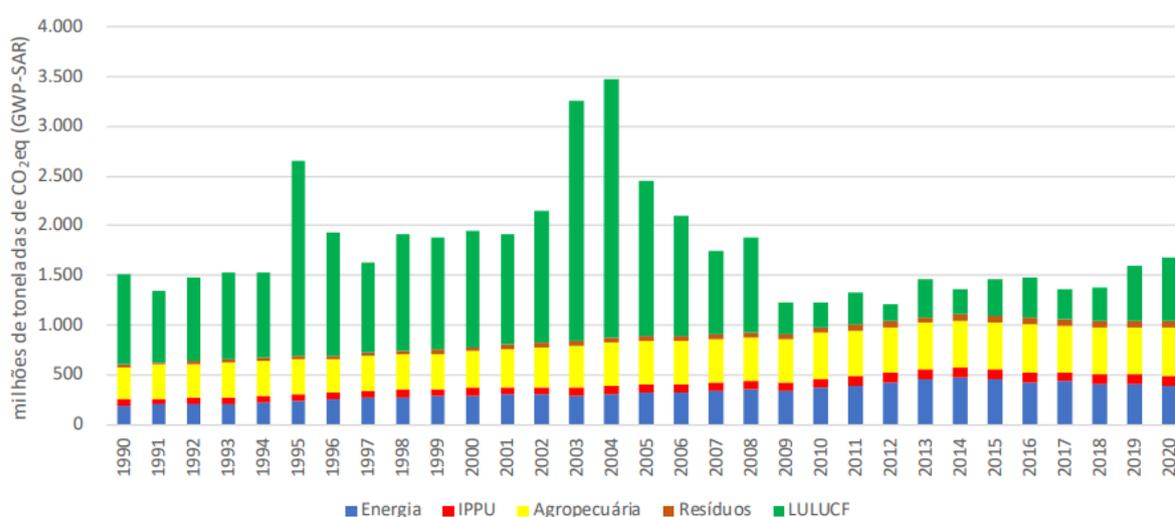
Em cada interação humana com o meio ambiente ocorre um impacto ambiental (positivo ou negativo), pois cada ação do homem altera de alguma forma um ou mais componentes do seu meio (MOREIRA et al., 2022). Ações antrópicas, propositais ou não, podem resultar em eventos indesejáveis ou de risco para a integridade e saúde ambiental (JACOBI et al., 2011).

O período entre 2000 e 2009 é considerado um dos maiores crescimentos das emissões de GEE na história da humanidade, devido ao aumento de 2,1% nas emissões. Embora o ritmo

das emissões tenha se reduzido para 1,3% na última década (2010-2019), grande parte das atividades humanas continua contribuindo para o aquecimento global (IPCC, 2022).

Durante o período de 1990 e 2019, as emissões brutas de GEE Brasileiras ultrapassaram de 1,86 bilhão de toneladas de GtCO_{2e} para 2,17 GtCO₂, representando aumento de 17%. Os crescimentos e reduções históricos das emissões foram influenciados pelas atividades antrópicas cada período (ALBUQUERQUE, 2020). Em 1995, atingiu 2,4 GtCO₂ e em 2003, quando o desmatamento na Amazônia e no cerrado estava intenso, as emissões alcançaram 3 Gt CO₂. Posteriormente, reduziu para 1,69 Gt CO₂ em 2010, o ano que obteve as menores emissões históricas (ALBUQUERQUE, 2020). A Figura 9 apresenta a série histórica das emissões brasileiras, de 1990 a 2020.

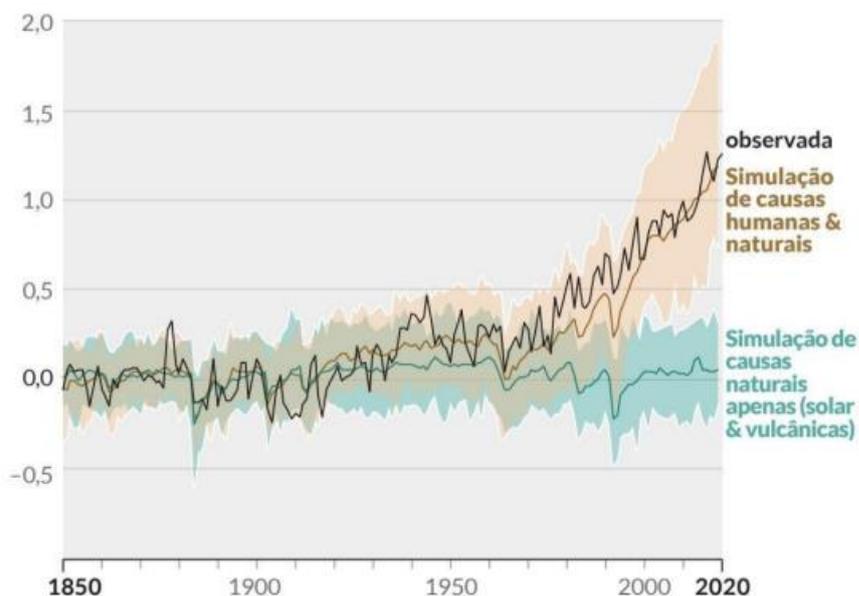
Figura 9 - Emissões setoriais do Brasil, em CO₂



Fonte: MCTI (2022).

A Figura 10 representa a evolução histórica comparativa entre as causas naturais e antrópicas do aquecimento global. Durante o período analisado (1850-2020), continuamente ocorreu o aumento da temperatura global e a partir da década de 1940, a interferência humana passou a se intensificar. Anteriormente, as principais causas eram naturais apenas (solar e vulcânica).

Figura 10 - Mudanças Climáticas na superfície terrestre



Fonte: IPCC (2021).

A produção de energia, atividades industriais, agropecuária e mudanças no uso do solo seguem como as principais emissoras de GEE entre as atividades antrópicas. O setor de energia (produção de eletricidade, calor e outros combustíveis) contribuiu com aproximadamente 33% do total de emissões, indústria com 25% e seguindo pelas atividades relacionadas à agropecuária, florestas e uso do solo (INPE, 2022). Os setores de transportes e edificações corresponderam a 15% e 6% do total de emissões, respectivamente. No entanto, quando eletricidade e calor são alocados nos setores onde são utilizados, a participação das emissões da indústria sobe para 34% e a de edificações alcança 16% (MCTI, 2022).

As indústrias poluem o meio ambiente com impactos nas águas superficiais e subterrâneas, solo e ar. Os gases emitidos nesse setor, na maioria das vezes, são tóxicos e necessitam de tratamento e devido à queima na produção, afetam a saúde humana, provocando dificuldade de respiração das pessoas, aumento de temperatura e, em outros casos, favorecem a chuva ácida (MENDES et al., 2020).

Durante o período de 2007-2016, as Atividades de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (AFOLU) contabilizaram 23% do total de emissões líquidas de GEE, sendo responsáveis por volta de 13% das emissões de CO₂, 44% de CH₄, e 81% de N₂O provenientes de atividades humanas em todo o mundo (IPCC, 2019). As consequências das atividades antrópicas e mudanças climáticas provocaram a existência de um sumidouro líquido de cerca

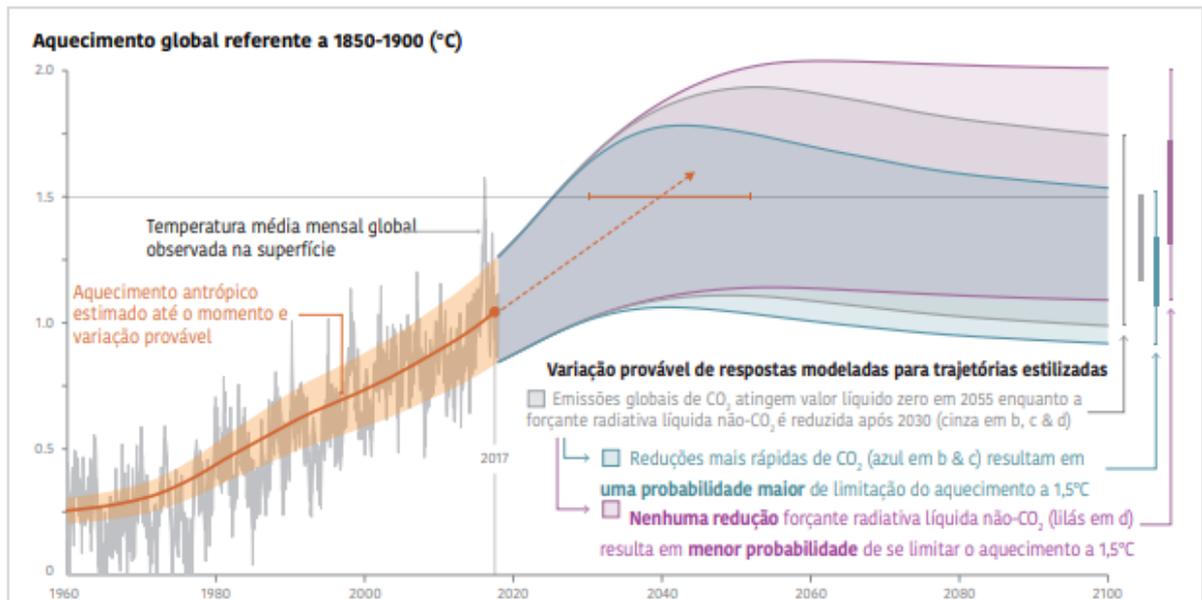
de 11,2 GtCO₂/ano durante os anos de 2007–2016 (equivalente a 29% do total de emissões de CO₂). A permanência desse sumidouro é incerta, devido à mudança do clima (INPE, 2022).

A pandemia da Covid-19 causou uma disrupção social e econômica em todo o mundo, provocando a redução drástica das emissões de GEE durante o período pandêmico. No entanto, considera-se como exceção, dado que estimativas para o ano de 2021 indicaram um novo pico de emissões oriundo, principalmente, da recuperação econômica mundial (IPCC, 2022).

3.5 AQUECIMENTO GLOBAL

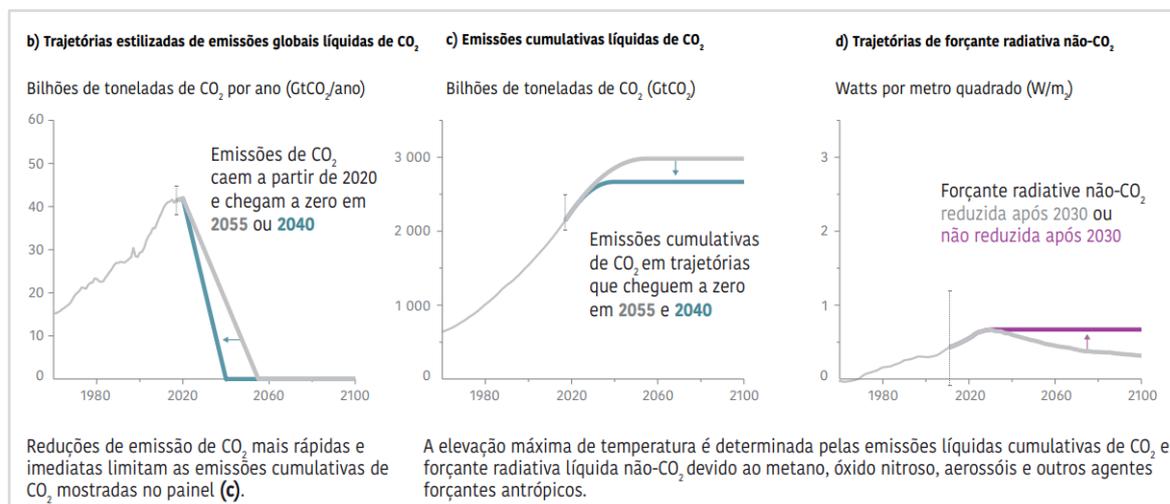
O aquecimento global é o aumento da temperatura em todo o planeta, por meio do agravamento do efeito estufa (FILHO, 2020). Nas últimas quatro décadas houve aumento exponencial de calor, maior do que qualquer década precedente desde 1850 (Figura 11), ou seja, em todas as décadas o aquecimento global tem crescido sucessivamente. A temperatura média da superfície global foi 1°C mais alta em 2011-2020 (com uma variação provável de 0,8°C a 1,2°C) do que no período de 1850-1900 (pré-industrial) (Figura 12), com aquecimento mais forte sobre áreas de terra (1,6°C) do que sobre o oceano (0,9°C) (IPCC, 2018).

Figura 11 - Mudança observada na temperatura global e respostas modeladas para emissão antrópica estilizada e trajetórias de forçante



Fonte: IPCC (2018).

Figura 12 - (b) Trajetórias estilizadas de emissões globais líquidas de CO₂, (c) Emissões cumulativas líquidas de CO₂ e (d) Trajetórias de forçante radiativa não-CO₂



Fonte: IPCC (2018).

Conforme o IPCC (2018, p. 10), segue a explicação para as figuras 11 e 12:

A Temperatura Média Global da Superfície (GMST, na sigla em inglês) observada mensalmente altera a linha cinza até 2017 e a linha laranja sólida até 2017, com sombreamento laranja indicando uma variação avaliada como provável (aquecimento global antrópico estimado (IPCC, 2018)). A seta tracejada laranja e a barra de erro laranja horizontal ilustram respectivamente a estimativa central e a variação provável de tempo no qual se alcança 1,5°C caso o ritmo atual de aquecimento continue (IPCC, 2018). A pluma cinza à direita do painel (a) ilustra a variação provável das respostas ao aquecimento, computadas com um modelo climático simples, a uma trajetória estilizada (futuro hipotético) no qual as emissões líquidas de CO₂ (linha cinza no painel b) e c) diminuem em linha reta desde 2020 e atingem o valor líquido zero em 2055, e a forçante radiativa não-CO₂ líquida (linha cinza no painel d) aumenta até 2030 e então diminui (IPCC, 2018). A faixa azul no painel (a) ilustra a resposta a reduções de emissões de CO₂ mais rápidas (linha azul no painel b), chegando ao valor líquido zero em 2040, diminuindo as emissões cumulativas de CO₂ (painel c) (IPCC, 2018). A pluma lilás ilustra a resposta à diminuição das emissões líquidas de CO₂ a zero em 2055, com a forçante radiativa não-CO₂ líquida permanecendo constante após 2030. As barras de erro verticais à direita do painel (a) demonstram as variações prováveis (linhas finas) e tercis centrais (33°–66° - linhas grossas) da distribuição estimada de aquecimento em 2100 de acordo com essas três trajetórias estilizadas (IPCC, 2018). As barras de erro pontilhadas nos painéis (b), (c) e (d) demonstram a variação provável de emissões líquidas de CO₂ anuais históricas e cumulativas globais em 2017 (dados do *Global Carbon Project*²) e forçante radiativa não-CO₂ líquida em 2011 do AR5, respectivamente (IPCC, 2018). Os eixos verticais nos painéis (c) e (d) estão dimensionados para representar aproximadamente efeitos iguais na GMST.

Conforme Nobre (2012), devido ao aquecimento global, o Sistema Terrestre – atmosfera-superfície continental – criosfera-oceano está em um estado mais alto de energia, a qual é transferida para o oceano. Considerando a temperatura média global de 0,8°C, o valor de

² Projeto de Carbono Global

80% do aumento de energia é deslocado ao oceano. Os dados oceânicos demonstram esse aquecimento, por isso os fatos são consistentes e o aquecimento é inequívoco.

O sexto relatório do IPCC ilustra o cenário de aquecimento global que causou impacto profundamente negativo nas geleiras nos Andes, as quais sofreram uma diminuição de 30% para 50% (IPCC, 2022). Esse fato somado ao aumento constante da temperatura da terra e a variabilidade da precipitação, juntamente com as novas formas de manuseio da terra pelo homem, afetaram os ecossistemas, os recursos hídricos e os meios de subsistência por meio de deslizamentos de terra e desastres de inundação (IPCC, 2022).

Os impactos provenientes do aquecimento global causam alterações dos padrões do clima e das chuvas, provocando tempestades severas, inundações, vendavais, ondas de calor, secas prolongadas, extinção de espécies, elevação do NMM, entre outros (INPE, 2022).

As projeções indicam fortes diferenças entre as características climáticas regionais atuais e o cenário ideal (aquecimento global de 1,5°C). As indicações mostram o acontecimento de aumentos em temperatura média na maioria das regiões terrestres e oceânicas, nos extremos de calor na maioria das regiões habitadas, na ocorrência de chuva intensa em diversas regiões e na probabilidade de seca e déficits de chuva em algumas regiões (IPCC, 2018).

O AR6 alerta que o pico das emissões de GEE precisa ser atingido até 2025 para cumprir o limite de 1,5 °C até 2100 estabelecido pelo acordo de Paris. Atualmente, considera-se o aumento de 0,2°C (provavelmente entre 0,1°C e 0,3°C) a cada 10 anos, devido a causas antrópicas (IPCC, 2022),

As projeções do IPCC indicam que nos próximos 100 anos poderá haver um aumento da GMST entre 1,8°C e 4,0°C, e um aumento do NMM entre 0,18 m e 0,59 m, o que pode afetar significativamente as atividades humanas e os ecossistemas terrestres (INPE, 2022).

Conforme o relatório intitulado “Aquecimento Global de 1,5°C” do IPCC (2018, p. 10), estabelece-se que:

Até 2100, a elevação média global do nível do mar seja de cerca de 0,1 metro menor com o aquecimento global de 1,5°C quando comparado com o de 2°C. O NMM continuará subindo depois de 2100, e a magnitude e ritmo dessa elevação dependem das futuras trajetórias de emissões. Um ritmo mais lento de elevação do nível do mar permite maiores oportunidades para a adaptação nos sistemas humanos e ecológicos das pequenas ilhas, zonas costeiras baixas e deltas. Em terra, os impactos sobre a biodiversidade e ecossistemas, incluindo perda e extinção de espécies, sejam menores com o aquecimento global de 1,5°C do que com o de 2°C. Projeta-se que limitar o aquecimento global a 1,5°C quando comparado a 2°C diminua os impactos em ecossistemas terrestres, de água doce e costeiros e retenha mais de seus serviços para humanos. Os riscos relacionados ao clima para a saúde, meios de subsistência, segurança alimentar, abastecimento de água, segurança humana e crescimento econômico aumentem com o aquecimento global de 1,5°C e aumentem ainda mais com 2°C. A maioria das necessidades de adaptação serão menores em um cenário de

aquecimento global de 1,5°C comparado a 2°C. Há uma grande variedade de opções de adaptação que podem reduzir os riscos da mudança do clima. Há limites de capacidade adaptativa para alguns sistemas humanos e naturais em um aquecimento global de 1,5°C, com perdas associadas.

3.6 IMPACTOS AMBIENTAIS

3.6.1 Eventos Naturais e Extremos

De acordo com o IPCC (2019), as mudanças de temperatura e precipitação estão relacionadas com o aumento dos níveis dos GEE, havendo conseqüentemente alterações nas características do ciclo hidrológico. Segundo projeções do IPCC (2007) apud Silva (2016), poderão acarretar impactos, como aumento geral na evaporação e na variabilidade das descargas dos rios junto à elevação da pluviosidade, entre outros (SILVA, 2016).

A mudança do clima antrópica aumentou a precipitação e os eventos extremos ao nível do mar associados a alguns ciclones tropicais intensificaram a ocorrência de múltiplos eventos extremos e impactos associados (PBMC, 2016). Bem como, as alterações climáticas podem exacerbar os processos de degradação da terra, inclusive por meio de aumento na intensidade das chuvas, enchentes, frequência e severidade das secas, estresse térmico, estiagens, ventos, derretimento do permafrost com resultados sendo modulados pelo manejo da terra (IPCC, 2018).

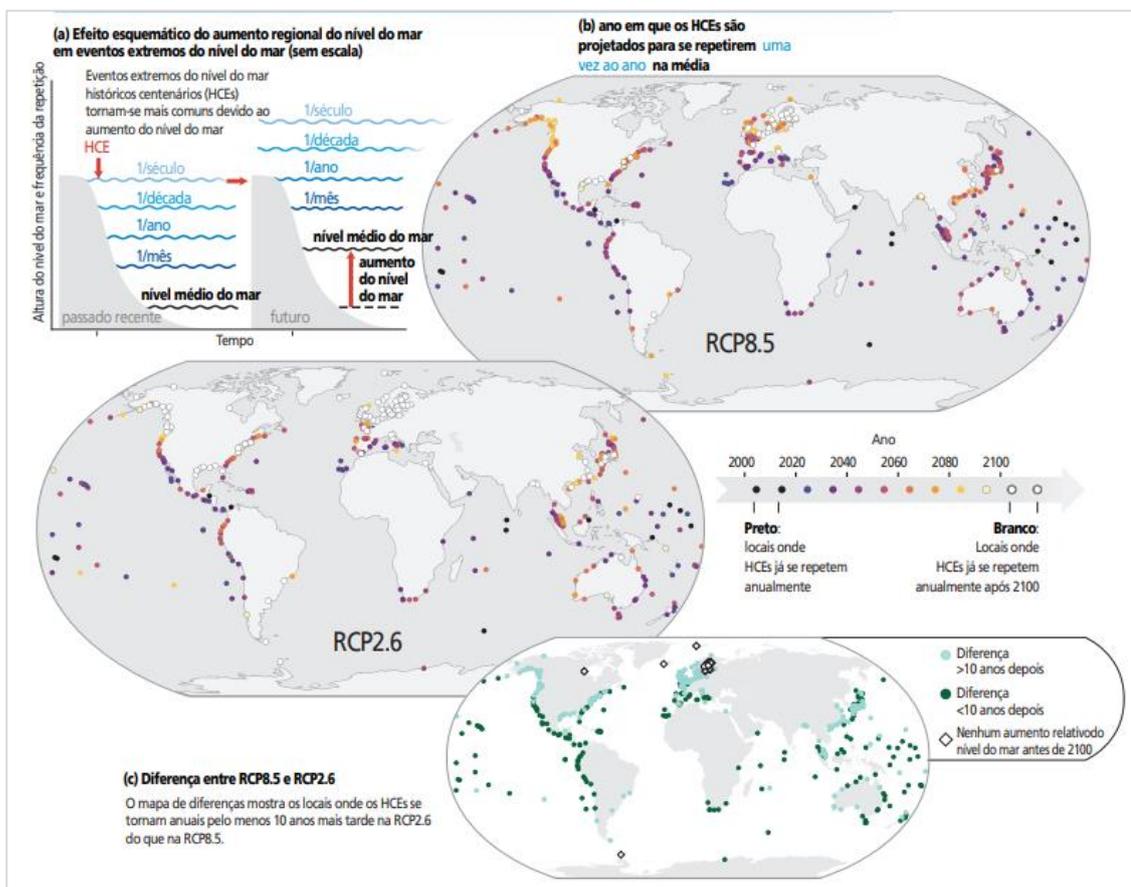
Conforme o relatório do IPCC (2019), intitulado: “O Oceano e a Criosfera em um Clima em Mudança”, projeta-se que, ocorrerá o aumento da intensidade média e proporção dos ciclones tropicais (categorias 4 e 5), bem como o aumento do NMM contribuirá para níveis extremos e graves dos ciclones, considerando o limite de 2°C da temperatura global.

O NMM acelerou nas décadas recentes devido ao aumento das taxas de perda de gelo dos mantos de gelo da Groenlândia e da Antártida, assim como a perda contínua de massa das geleiras e expansão térmica do oceano (IPCC, 2019). Devido ao aumento do NMM, proteja-se que os níveis do mar locais que ocorriam historicamente uma vez por século (Eventos Históricos Centenários – HCE, na sigla em inglês) se tornem pelo menos eventos anuais na maioria dos locais durante o século XXI (IPCC, 2019).

A figura 13 está dividida entre (a) RCP2.6, (b) RCP8.5 e (c) a diferença entre RCP8.5 e RCP2.6. O cenário (a) demonstra uma ilustração esquemática de eventos extremos no nível do mar e sua recorrência média durante o período de 1986 a 2005 e para o futuro. O cenário (b) indica o ano em que os HCEs são esperados a se repetirem uma vez por ano nas 439 áreas

costeiras individuais registradas. Os locais vazios no mapa apontam a falta de dados para a realização de análise, todavia, podem ou não sofrerem exposição ou risco. A variação provável é de ± 10 anos para locais onde a transição é esperada antes de 2100. Os círculos brancos demonstram que os HCEs não tem a expectativa de serem repetidos anualmente antes de 2100, representados em 33% dos locais na RCP2.6 e 10% na RCP8.5. A figura (c) representa as áreas em que os HCEs são projetados para ocorrerem anualmente e mais de 10 anos depois, na RCP2.6, em comparação à RCP8.5.

Figura 13 - Eventos extremos do nível do mar



Fonte: IPCC (2019).

Bork (2015) realizou um estudo a fim de detectar mudanças nos padrões de temperatura e de precipitação na região da bacia do rio Taquari-Antas (RS) com o uso de diferentes modelos climáticos de circulação geral e o modelo regional de Estação de Tratamento de Água (ETA). Os resultados demonstraram aumentos significativos na precipitação anual acumulada, podendo provocar maior número de inundações (BORK, 2015).

Desde a década de 1950, as regiões Sudeste e Sul do Brasil possuem grande quantidade de dias com chuvas intensas e ainda, aumento na frequência de dias consecutivos com ondas

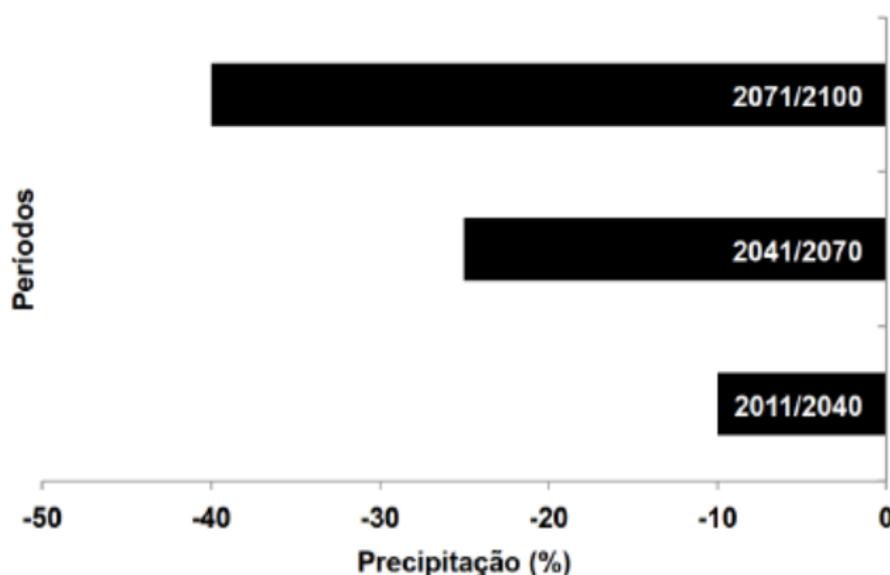
de calor, representando eventos chuvosos concentrados, intercalados com poucos dias com períodos secos e quentes. Já no Nordeste, os dias secos consecutivos aumentam intensamente (MAGRIN et al., 2014). As projeções climáticas indicam continuidade dos cenários citados no sul, sudeste e nordeste, gerando a tendência de ocorrer um maior número de desastres naturais de origem hidrometeorológica (PBMC, 2016).

De acordo com a Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, desenvolvida pela Agência Nacional de Águas (ANA), as principais áreas afetadas pela seca de 2012-2014 são a região nordeste e centro-oeste do país, o que acarretou precariedades no abastecimento de águas dessas regiões. (ANA, 2019).

Conforme o IPCC (2021), a região nordeste do Brasil possui a tendência de prejuízos climáticas devido à perspectiva de reduzir a precipitação em 22% ao longo do século, acarretando o aumento das secas. Em outras partes do Brasil, apesar do cenário de redução da pluviosidade, as chuvas que ocorrerem futuramente devem ser mais extremas, o que pode ocasionar mais enchentes e deslizamentos de terra, principalmente no Acre, Rondônia, Sul do Amazonas e Pará (IPCC, 2021).

Marengo e Dias, (2006) afirmam que essas oscilações climáticas do Brasil são mais intensas na região Amazônica, principalmente por meio de secas (MARENGO; DIAS, 2006). A Figura 14 indica a diminuição da precipitação na Amazônia até o fim do século.

Figura 14 - Diminuição da precipitação em porcentagem, estimado pelo IPCC para a Amazônia entre os anos de 2011 a 2100



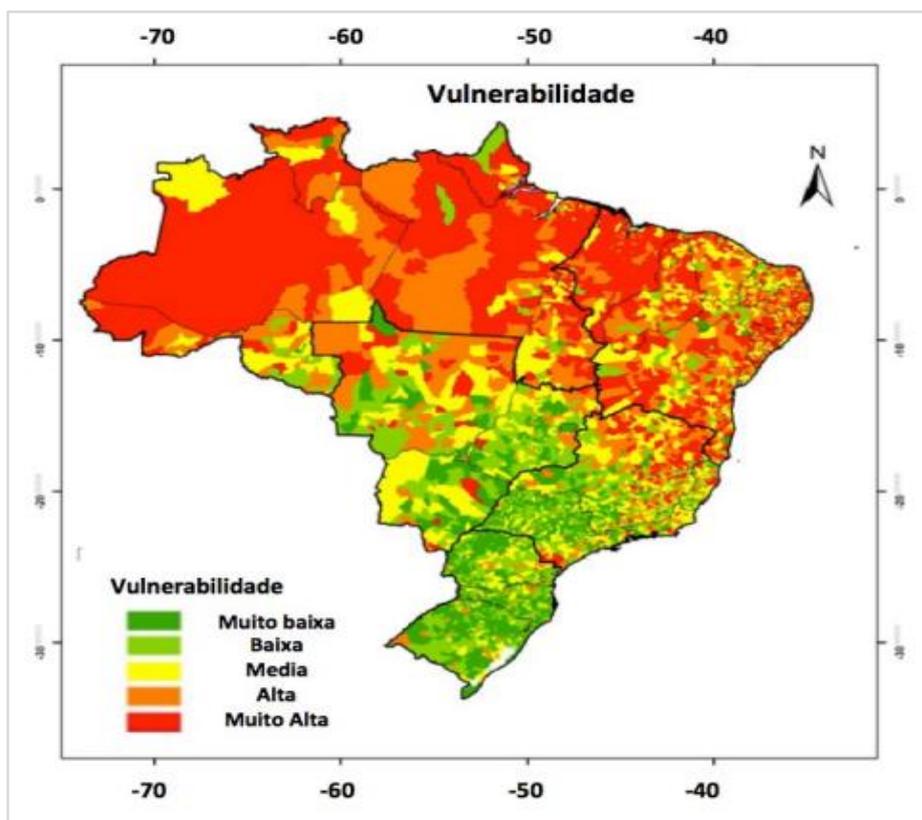
Fonte: Andrade et al. (2018).

Segundo estudo de Mishra et al. (2015) apud PBMC (2016 p. 24):

O presente estudo não contempla cidades costeiras no Brasil. Entre 1973 e 2012, quase a metade (48%) das 217 aglomerações urbanas estudadas passaram por um aumento dos dias muito quentes, e dois terços delas de noites também de muito calor. O agravamento das ondas de calor em zonas urbanas se acelerou nos últimos anos, ao mesmo tempo em que houve uma queda das ondas de frio (as mais importantes datam de 1973, 1974, 1976, 1981 e 1983), e em 60% delas, os dias com ventos intensos também diminuíram. Além disso, apenas 17% das zonas urbanas estudadas registraram um aumento dos dias de fortes chuvas, e 10% das de caráter torrencial. Esse padrão também foi identificado em São Paulo e Rio de Janeiro.

Almeida et al. (2016) aplicaram o Índice de Risco de Desastres (DRI, na sigla em inglês), que agrupa vários índices, com o objetivo de obter a vulnerabilidade a risco e impactos de eventos extremos para cada um dos 5.570 municípios Brasileiros. Os desastres são categorizados em quatro tipos de perigos naturais – enchentes/enchentes-relâmpago, secas/estiagens, escorregamentos e elevação do NMM (Figura 15). Nota-se que as regiões norte e nordeste encontra-se em vulnerabilidade muito alta e a região sul e centro-oeste possuem, quase a totalidade, vulnerabilidade muito baixa ou baixa.

Figura 15 - Vulnerabilidade aos perigos naturais por município do Brasil



Fonte: Almeida et al., 2016.

Conforme o PBMC (2016), as enchentes-relâmpago são um dos eventos que arriscam as infraestruturas dos moradores ribeirinhos, barragens, reservatórios e destroem edificações. Os locais que possuem assentamentos humanos indevidos nos recursos hídricos ou nas áreas costeiras, enfrentam os efeitos mais graves. A partir dessas enchentes, há riscos de ocorrência de inundações, devido a erosão que provoca o assoreamento dos trechos de jusante nos cursos d'água (IPT, 2004; NOBRE et al., 2011). Os processos de erosão e assoreamento também são identificados em portos, como áreas de remanso e nas desembocaduras estuarinas e em baías costeiras, acarretando dificuldades sociais e econômicas (PBMC, 2014).

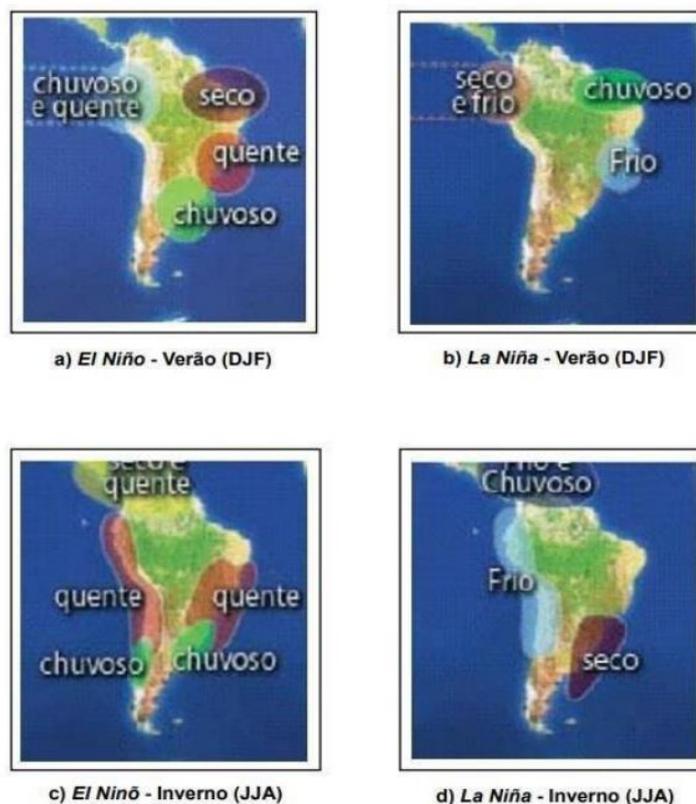
3.6.1.1. El Niño e La Niña

Tais fenômenos acontecem devido ao esfriamento e o aquecimento das águas do Oceano Pacífico que influenciam o regime dos ventos, ocasionando o deslocamento das nuvens que geralmente produzem chuvas (ALMEIDA, 2021). El Niño e La Niña estão correlacionados como causadores naturais de fortes secas que ocorreram na Amazônia nos anos de 1925-1926, 1982-1983 e 1997-1998 (ALMEIDA, 2021). Além disso, é possível identificar os efeitos desses fenômenos na biodiversidade, principalmente na população de peixes em diferentes processos ecológicos, como alimentação e reprodução (AMADIO et al. 2012 apud ALMEIDA, 2021).

Na figura 16, observa-se a análise histórica dos impactos do El Niño e La Niña na América do Sul nos últimos 50 anos. É provável que durante alguns eventos do El Niño ou La Niña não aconteçam os impactos representados nos mapas (MARENGO; DIAS, 2006).

Conforme Almeida (2021 p. 21), “no Brasil, as regiões que apresentam sinais concretos de El Niño são o Nordeste-Amazônia (períodos secos) e o Sul do Brasil (períodos chuvoso)”. Desde o inverno e a primavera do ano anterior até o verão do ano em questão, a região sul apresenta os impactos do El Niño e, durante a La Niña, no inverno e primavera, possui a tendência a secas ou chuvas menos intensas. É comprovado que que secas e enchentes podem ter outras causas, além do El Niño ou La Niña (ALMEIDA, 2021).

Figura 16 - Representação do El Niño e La Niña conforme as estações do ano



Fonte: Almeida (2021).

Conforme o relatório do IPCC (2019, p. 23), “projeta-se que eventos extremos de El Niño e La Niña ocorram duas vezes mais nas trajetórias no século XXI, se comparados ao século XX, intensificando os perigos já existentes, com respostas mais secas ou mais úmidas em diversas regiões do mundo”.

3.6.2 Saneamento Básico

De acordo com OATES et al. (2014) as soluções que podem ser adaptadas às mudanças climáticas com relação ao saneamento básico, devem ter como ponto central a governança e os sistemas. As soluções devem considerar um cenário amplo de ações e leituras da realidade, não apenas as alterações do clima como um único problema que carece de solução. Sendo assim, a problemática das mudanças climáticas precisa ser abordada em cada um dos 4 pilares do saneamento dentro dos Planos de Saneamento Básico.

3.6.2.1 Limpeza Urbana e manejo de Resíduos Sólidos

As emissões de gases por resíduos são decorrentes, principalmente, do processo de degradação anaeróbia pela destinação final de resíduos sólidos (aterros sanitários e lixões), bem como do despejo de águas residuárias que passaram ou não por algum processo de tratamento (MCTI, 2022). As emissões são predominantemente de CH_4 (95,7%) e outros gases são gerados em menor quantidade, durante o tratamento de efluentes domésticos e industriais, como é o caso do N_2O (4,0%) e CO_2 (0,3%), que acontece durante a incineração de resíduos sólidos de origem fóssil (MCTI, 2022).

A disposição inadequada e o não tratamento dos resíduos, sejam estes domésticos ou industriais, quando exposto as condições climáticas naturais como temperatura, umidade, precipitação, ventilação – produz o chorume (LIMA, 2009). O chorume é um líquido de coloração escura, produzido pela infiltração da água das chuvas e pela putrefação de compostos que lixiviam através da massa de resíduo aterrado, carreando materiais dissolvidos ou suspensos (ALVES; TEIXEIRA, 2004).

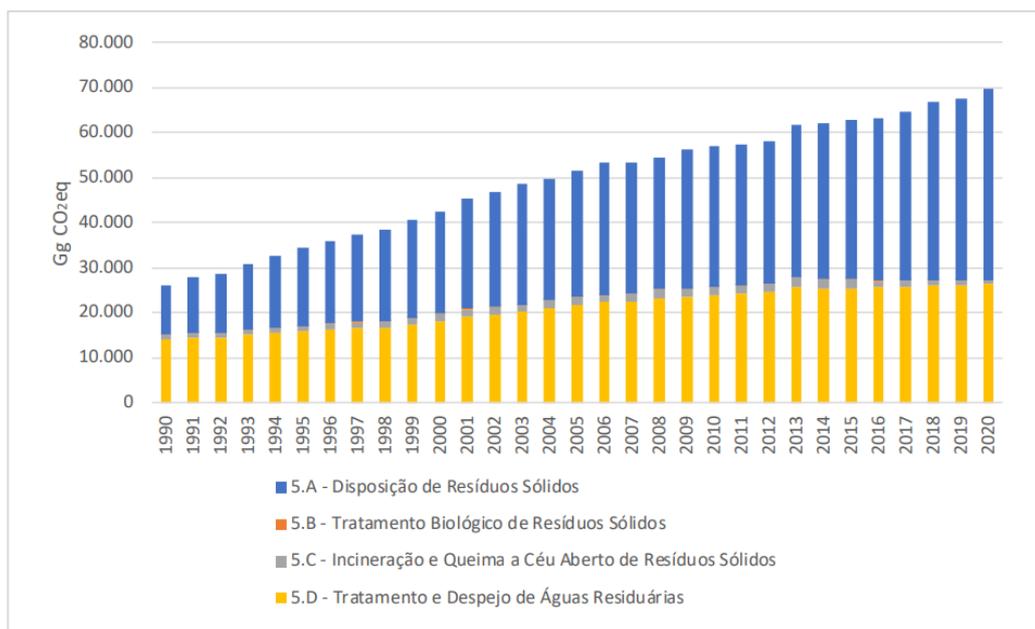
No Brasil, o setor de resíduos responde pela menor parcela de emissões. De acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), em 2019, o setor foi responsável pela emissão de cerca de 96 milhões de toneladas de CO_2eq , um discreto aumento de 1,3% em relação ao ano anterior (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL - MDR, 2022).

Em 2020, os resíduos geraram 69.630 GgCO_2eq (Quantidade total de GEE), contabilizando 4,2% do total de emissões brasileiras. Em relação a 2016, houve aumento de 10% das emissões (MCTI, 2022).

O subsetor de “Disposição de Resíduos Sólidos” possui a maior quantidade de emissões de GEE, em relação as demais etapas da gestão dos resíduos, contribuindo com 3.172,9 GgCH_4 ou 60,9% em 2020, em termos de CO_2eq , o qual apresentou um aumento de 16,7% em referência a 2016.

Já os subsetores “Incineração, Queima de Resíduos a Céu Aberto” e “Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos” tiveram uma parcela menor de contribuição, com 1,3% e 0,1% em 2020, respectivamente. A “Queima de Resíduos” apresentou aumento de 4,0%, comparado com as emissões de 2016 (MCTI, 2022). A Figura 17 mostra a série histórica de emissões por subsetor em GgCO_2eq .

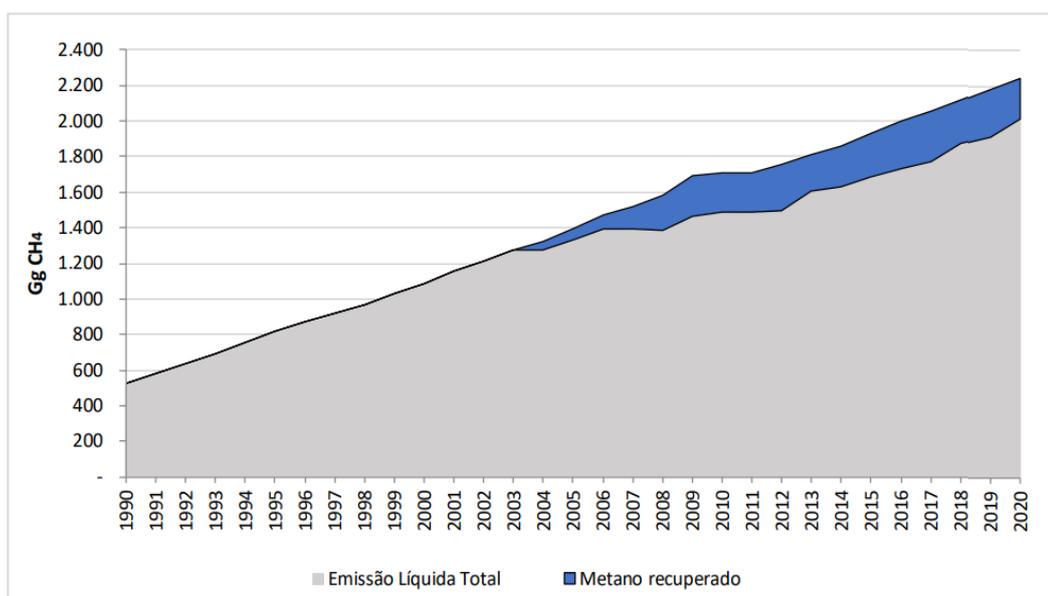
Figura 17 - Emissões em CO₂eq do setor Resíduos, por subsetor, por subsetor, para o período de 1990 a 2020



Fonte: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) (2022).

A Figura 18 demonstra as emissões totais do subsetor “Disposição de Resíduos Sólidos”, as quais já contabilizam as emissões evitadas de CH₄, pela queima do gás em aterros sanitários, contribuindo com uma diminuição de 10,0% do total de emissões do subsetor em 2020 (MCTI, 2022).

Figura 18 - Emissões totais do subsetor Disposição de Resíduos Sólidos



Fonte: MCTI (2022).

O MCTI (2022, p. 48) descreve que “o subsetor “Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos” inclui as emissões de CH₄ e N₂O associadas à compostagem”. As emissões referente a compostagem de resíduos sólidos urbanos (RSU) apresentou aumento de 18,8% comparado a 2016, e se deve, principalmente, ao aumento da compostagem de resíduos sólidos orgânicos no Brasil nesse período (MCTI, 2022).

O MCTI (2022, p. 51) descreve que “as emissões do setor “Incineração e Queima a Céu Aberto de Resíduos Sólidos” são decorrentes do processo de combustão de resíduos de forma controlada ou não”. No Brasil, a incineração de resíduos sólidos é realizada para resíduos sólidos de saúde (RSS) e resíduos sólidos industriais perigosos (RSI) (MCTI, 2022). Neste tipo de tratamento, a combustão da fração de origem fóssil dos resíduos é a responsável pelas emissões de CO₂. A matéria orgânica do resíduo emite CO₂ quando incinerada, no entanto, por ela ser biogênica, não se agrega às emissões de GEE (ALVES; VIEIRA, 2006). Já a emissão de N₂O quando incinerada se altera de acordo com a forma de incineração, acúmulo, tipo de resíduo, temperatura e tempo de queima (ALVES; VIEIRA, 2006).

3.6.2.2 Abastecimento de água

Os efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos são percebidos tanto na oferta quanto na demanda de água. Assim como, resultam na variação da distribuição desses recursos hídricos (MENDES et al., 2020). Esse fator pode proporcionar um aumento na procura por este recurso em algumas áreas, devido ao crescimento populacional, urbanização e as políticas globais de abastecimento e disponibilidade além da demanda em outras (MENDES et al., 2020).

A disponibilidade de água ao ser humano será intensamente impactada por alterações no ciclo hidrológico (ANA, 2018). O balanço hídrico poderá ser influenciado por novas formas de consumo associados ao aumento do aquecimento global (ANA, 2018).

O ciclo hidrológico está diretamente ligado ao clima, de forma que as mudanças no clima alteram os padrões da precipitação (aumento da intensidade e da variabilidade da precipitação), provocam o aumento de eventos hidrológicos extremos e ameaçam o suprimento de recursos hídricos para a população (ANA, 2018).

Para o PBMC (2014), as mudanças climáticas promovem impactos sobre as vazões nos rios, influenciando de forma ampla a gestão das águas, a operação das hidrelétricas, defesas contra inundações e sistemas de irrigação. No Brasil, a tendência é que ocorra a redução na vazão de bacias hidrográficas no Norte e no Nordeste, com graves impactos sobre os diversos

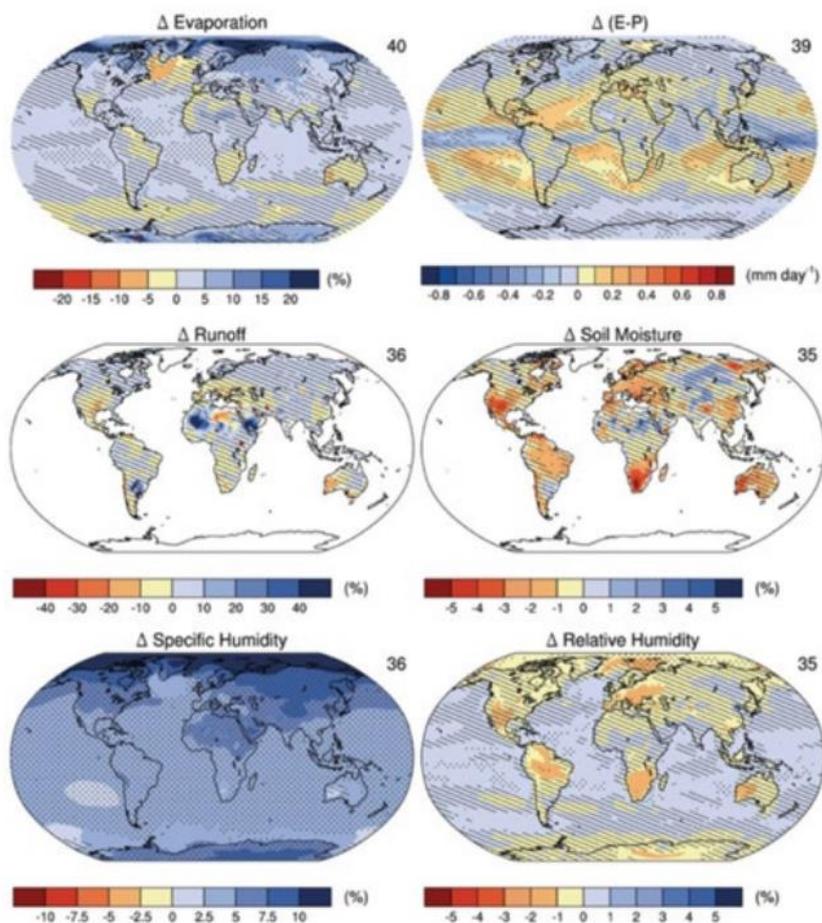
usos: abastecimento humano e industrial, irrigação, produção de energia, serviços ecossistêmicos (ANA, 2018).

A ANA (2018), aborda que a gestão dos recursos hídricos necessita de estudos das mudanças climáticas relacionadas à variabilidade climática de longo prazo e as outras modificações ocorridas nas bacias hidrográficas. Entretanto, as séries hidrológicas estão passando por perda de estacionariedade, o que intensifica a incerteza no planejamento das infraestruturas (ANA, 2018).

O relatório do IPCC (2013) fornece uma visão geral dos impactos projetados sobre os recursos hídricos de diferentes regiões do globo. A Figura 19 ilustra as projeções durante o período de 2016-2035, a partir da evolução das médias anuais de seis variáveis hidrometeorológicas, obtidas entre 1986 e 2005, considerando o cenário RCP 4,5: evaporação (%); diferença entre evaporação e precipitação (mm/dia); escoamento (%); umidade do solo (%); umidade relativa (%); umidade específica (%) (ANA, 2018).

As médias anuais de umidade do solo apresentam reduções na maioria das regiões subtropicais (exceto na bacia do rio da Prata, na América do Sul) e na Europa Central, e aumentam nas regiões de latitudes médias do hemisfério norte (IPCC, 2013). Quanto ao escoamento, os dados revelam reduções no norte da África, no oeste da Austrália, no sul da Europa e no sudoeste dos Estados Unidos da América (EUA) (IPCC, 2013). Em contra partida, podem ocorrer aumentos maiores do que a variabilidade climática natural para os EUA, noroeste da África, sul da Arábia e o sudeste da América do Sul, conforme as projeções sobre a precipitação (IPCC, 2013). (IPCC, 2013).

Figura 19 - Variação média anual do ciclo da água (RCP 4.5: 2016-2035)



Fonte: IPCC (2013).

3.6.2.3 Esgotamento Sanitário

De acordo com BRITTO et al. (2010), durante as altas precipitações e inundações, as Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) sofrem prejuízos, como mau funcionamento e interrupção dos serviços, necessitando concertos, devido ao recebimento de uma quantidade acima do normal de volume residual. Estas anomalias podem ser observadas ao ponto em que se gera um refluxo interno dos esgotos, assim como as pressões internas elevadas nos coletores de esgotos, e até uma sobrecarga hidráulica das ETEs (BRITTO et al., 2010).

Para as áreas que não dispõem de redes coletoras de esgotamento sanitário, há frequente utilização de fossas sépticas para coleta dos efluentes, podendo ser inviabilizadas durante as altas precipitações por conta da elevação do lençol freático, dado o volume de chuva em períodos curtos. Nestes casos, o dano ambiental e à saúde humana podem ser ainda mais prejudiciais (BRITTO et al., 2010).

As infraestruturas de esgotamento sanitário, quando presentes nos centros urbanos, podem apresentar anomalias em épocas de alta precipitação, devido às possíveis ligações irregulares das águas pluviais nestas redes (BILOTTA et al., 2016). Ademais, as ETEs contribuem com a geração de CH₄. BILOTTA et al. (2016) apud FILHO (2020) explicam que:

O gás metano, responsável pela capacidade calorífica do biogás, é produzido na degradação biológica anaeróbia da matéria orgânica, com a formação de amônia, dióxido de carbono, hidrogênio, monóxido de carbono, nitrogênio, compostos orgânicos voláteis, sulfetos e fosfatos. No caso das ETEs, quanto maior for a carga de tratamento biológico, maior será a produção do metano.

Considera-se que o CH₄ e outros gases emitidos pelas ETEs podem acelerar as alterações do clima localmente, uma vez que o metano tem um impacto 20 vezes maior do que o CO₂ na atmosfera, elevando os riscos de aumento na temperatura (FILHO, 2020).

Conforme o PBMC (2016), o panorama de aumento do NMM provoca impacto negativo no esgotamento sanitário. O grande desafio de algumas cidades litorâneas é referente ao efluente gerado e o tratamento através de emissários submarinos. A coleta, transporte e lançamento do efluente no mar, sem tratamento prévio, deve ser realizado com NMM mais baixos do que ocorrem em períodos de altas precipitações, projetados pelas mudanças climáticas (RIBEIRO, 2008). Caso esses dutos não sejam redimensionados, se corre o risco de refluxo desse material para a cidade, o que agravaria a poluição das praias e aumentaria a possibilidade de doenças na população (RIBEIRO, 2008).

3.6.2.4 Drenagem Urbana e Manejo de Águas Pluviais

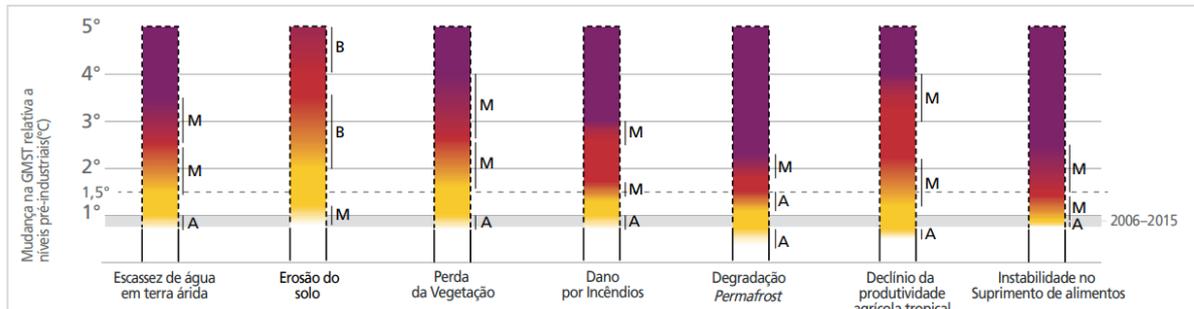
As alterações climáticas representam uma preocupação adicional relacionada à drenagem urbana, frente ao aumento dos eventos pluviométricos extremos. De outra feita, significam tornar as cidades mais eficientes para gerir crises, como a escassez de água, fazendo um aproveitamento das águas pluviais para diversos fins (FERREIRA, 2020).

O PLANSAB de 2019, definiu que os indicadores de drenagem urbana se referem apenas à redução dos riscos de desastres e da vulnerabilidade habitacional, não se abordando a eficiência dos serviços prestados, a proteção ambiental, a redução da poluição e a sustentabilidade financeira (MENDES; SANTOS, 2022). A visto disso, é necessária a ampliação destes indicadores, por meio de análises das perspectivas de mudanças climáticas, prevendo aumentos em intensidade e frequência de eventos extremos (MENDES; SANTOS, 2022).

3.7 IMPACTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS

Os aumentos da GMST relativos aos níveis pré-industriais influenciam os processos envolvidos em desertificação (escassez de água), degradação da terra (erosão do solo, perda de vegetação, incêndios, derretimento do permafrost) e segurança alimentar (instabilidades nas colheitas e oferta de alimentos), conforme demonstrado na Figura 20. As mudanças nesses cenários trazem riscos aos sistemas alimentares, meios de subsistência, infraestrutura, valor da terra e saúde humana e dos ecossistemas. Os riscos são locais específicos e diferem por região (IPCC, 2019).

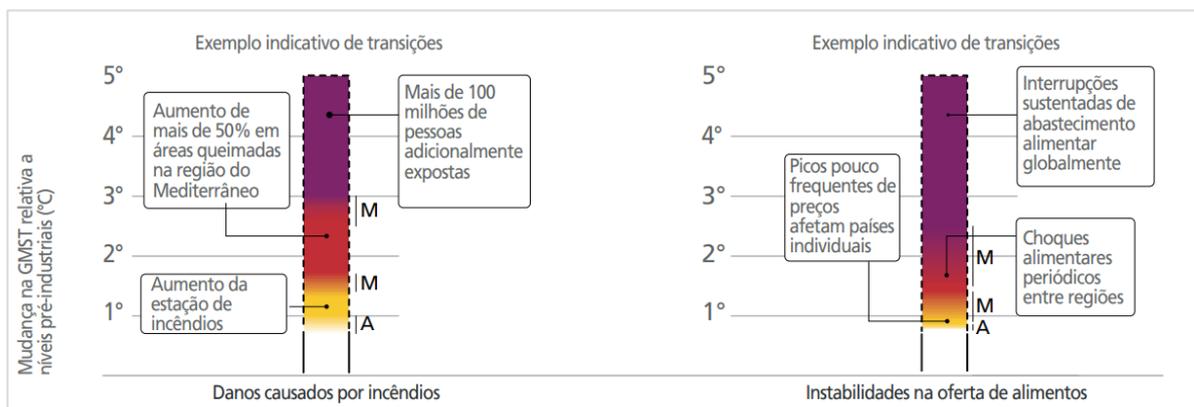
Figura 20 - Riscos para humanos e ecossistemas por mudanças provocadas pela mudança do clima em processos baseados no uso da terra



Fonte: IPCC (2019).

A Figura 21 indica exemplos de transições a partir de danos causados por incêndios (exemplo a esquerda) e instabilidades na oferta de alimentos (exemplo a direita).

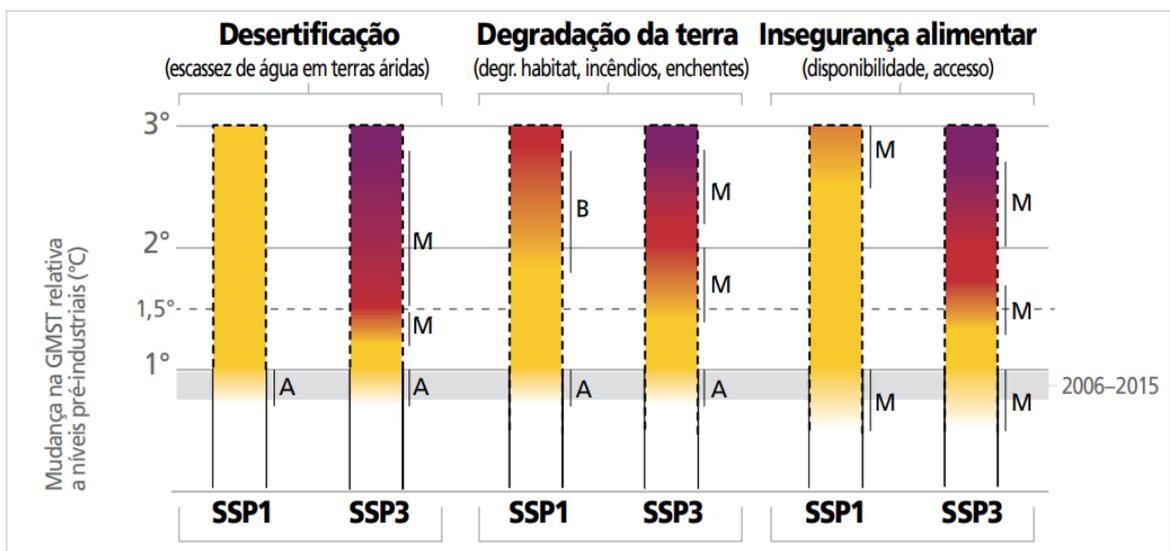
Figura 21 - Indicativo de transições



Fonte: IPCC (2019).

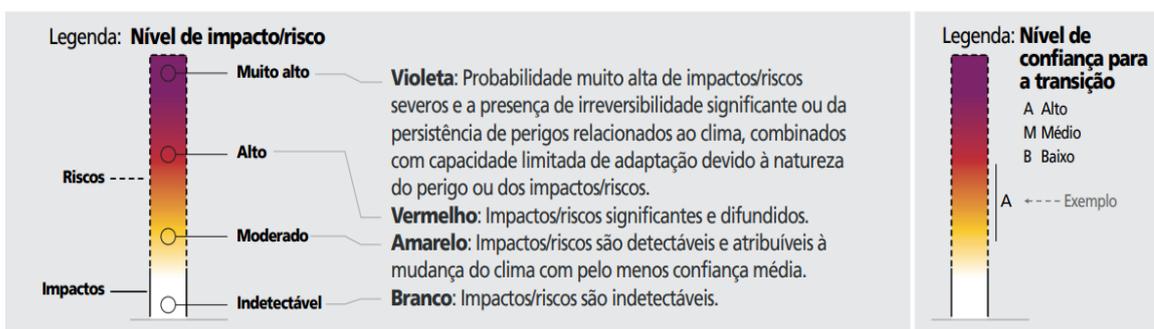
A realidade socioeconômica impacta os riscos relacionados às mudanças climáticas, negativa ou positivamente, bem como influenciam a taxa de aumento da temperatura. A trajetória SSP1 ilustra um cenário ideal, com baixo crescimento populacional, alta renda e desigualdades reduzidas, alimentos produzidos em sistemas de baixa emissão de GEE, regulamentação efetiva do uso da terra e alta capacidade adaptativa (IPCC, 2019). A trajetória SSP3 apresenta cenários contrários. Considerando um mesmo nível de aumento da GMST, os riscos são muito menores em SSP1 quando comparados a SSP3 (Figura 22).

Figura 22 - Trajetórias socioeconômicas afetam níveis de riscos relacionados ao clima



Fonte: IPCC (2019).

Figura 23 - Legenda referente às figuras 20, 21 e 22



Fonte: IPCC (2019).

O relatório intitulado “Aquecimento Global de 1,5°C” do IPCC (2018), aborda que em um cenário onde as medidas de mitigação e adaptação fossem maximizadas enquanto os *trade-*

offs fossem minimizados, os impactos ambientais relacionados ao desenvolvimento sustentável, redução das desigualdades e pobreza, seriam maiores com o limite de 1,5°C em vez de 2°C.

Em um panorama onde a temperatura global alcançasse entre 1,7°C e 1,8°C, os impactos sociais serão graves. O IPCC afirma que metade da população humana poderia ficar exposta a períodos de condições climáticas que oferecem risco à vida (MCTI, 2022). O Brasil está entre os mais afetados no cenário de aumento de calor e umidade. As mortes por calor aumentarão em 3% até 2050 e em 8% até 2090 (IPCC, 2021).

A produção de alimentos pode ser extremamente afetada pelas mudanças climáticas. O Brasil, um dos maiores produtores agrícolas do mundo, está sujeito a altos prejuízos, tanto do ponto de vista social quanto econômico (IPCC, 2021). As altas emissões podem fazer com que a produção de arroz caia 6%, ou 3% considerando redução rápida de emissões. No caso da produção de trigo, pode decrescer 21% com altas emissões ou 5% com a redução, por exemplo (IPCC, 2021). Outros impactos ocorrem na redução do crescimento animal e a produção de leite e ovos, além de aumentar a mortalidade de animais. Além do mais, o aumento contínuo das emissões provoca prejuízos alarmantes para a pesca e aquicultura e a economia alimentícia, pois segundo estimativas do IPCC (2021), a produção de peixes cairá 36% no período 2050-2070 em comparação com 2030-2050. Para os crustáceos e moluscos, a simulação do IPCC é de que diminua em 97% entre 2050-2070 (IPCC, 2021).

De acordo com o IPCC de 2022, em média, 40% da população mundial é "altamente vulnerável" às mudanças climáticas e seus eventos climáticos extremos. Durante o período de 2010 e 2020, identificou-se que o número de mortes por enchentes, secas e tempestades foi 15 vezes maiores em regiões precárias, como partes da África, sul da Ásia e Américas do Sul e Central do que as outras partes do mundo (IPCC, 2022).

Há um risco particular de que as condições climáticas em transformação poderão facilitar a propagação da dengue entre bilhões de indivíduos até o final deste século (IPCC, 2022).

Além dos efeitos que surgirão na saúde física das pessoas, o AR6 também afirma que as mudanças climáticas podem estar intensificando quadros de doença mental, inclusive o estresse e o trauma oriundos de experiências com eventos climáticos extremos e a perda de condições de vida e cultura (IPCC, 2022).

Conforme afirmação do professor Brian O'Neill, do Laboratório Nacional do Noroeste do Pacífico, dos EUA, coordenador do IPCC (2021, p. 3):

“Se nossos caminhos de desenvolvimento forem aqueles em que sistemas de saúde não melhoram muito, a educação não melhora muito, nossas economias não estão

crescendo muito rapidamente, e a desigualdade continua um grande problema, esse é um mundo em que uma quantidade determinada de mudanças climáticas terá um impacto realmente grande. Em contrapartida, se for um mundo onde estamos promovendo rápidos avanços em educação, saúde e pobreza, se as mudanças climáticas são impostas nessa sociedade, o risco será bem menor.”

Almeida et al. (2016) relata que somente 20% dos municípios brasileiros estão preparados para mitigar os impactos e contornar imediatamente crises advindas de eventos extremos, especialmente os localizados no Sudeste e Sul. Com isso, percebe-se a existência das desigualdades entre as regiões do país, incluindo a zona costeira, e que compreendem grandes barreiras para a gestão do risco, pois deve ser distinta para cada região (ALMEIDA et al., 2016). Os autores defendem a tese de que o risco associado a esses desastres é profundamente dependente das condições socioeconômicas e culturais das populações em questão, bem como com o desempenho do Estado ao lidar com os ditos desastres, ou seja, o risco é de acordo com a vulnerabilidade (ALMEIDA et al., 2016).

As pessoas que residem em áreas litorâneas estão mais suscetíveis a ameaças ligadas ao clima, incluindo ciclones, níveis extremos do oceano e inundações, além de ondas de calor marinhas e degelo marinho e do permafrost (PBMC, 2016). A maioria das cidades da América Latina concentram residências de pessoas de baixa renda em áreas costeiras (PBMC, 2016).

Nessas cidades costeiras, as mudanças climáticas exercem fortes impactos negativos sobre a infraestrutura. Muitas dessas cidades estão constantemente evoluindo o seu gerenciamento de risco ambiental, todavia ainda existem exceções (PBMC, 2016). Em resposta ao aumento na temperatura, podem ocorrer rachaduras em estradas, prejuízos na malha de ferrovias e enchentes em aeroportos, e ainda afetar a capacidade de circulação atmosférica regional, resultando em inundações costeiras, tempestades afetando terminais, conglomerados de frete, áreas de armazenagem e carga, além de prejudicar as cadeias logísticas do comércio e indústria (PBMC, 2016). Isso pode ter implicações de longo alcance no comércio internacional, uma vez que mais de 80% do comércio global de bens (por volume) é transportado pelo mar (PBMC, 2016).

A elevação do Nível Relativo do Mar (NRM) eleva o risco da infraestrutura vital, povoamentos e instalações, ameaçando o bem-estar socioeconômico (PBMC, 2014). A degradação na infraestrutura do espaço costeiro resulta em perdas de áreas de turismo e lazer, depreciação imobiliária e aumento da sensação de insegurança. Esses fatores culminam em perdas econômicas e na desvalorização das áreas costeiras (IPCC, 2014).

Segundo o IPCC (2014), a mobilidade urbana e os sistemas de transportes são um dos pontos de maior dificuldade de serem adaptados para lidar com as mudanças climáticas. A

maioria das ações focam nas interações entre infraestrutura de transportes, condições meteorológicas extremas, mudanças climáticas e seus impactos, e como melhorar a resiliência das cidades (IPCC, 2014). Eles estão suscetíveis a consequências graves para as cidades, com efeitos locais, secundários, regionais e globais. Pode-se citar a elevação do NMM, que poderá causar a inundação de rodovias costeiras ou ainda de grandes centros urbanos. Além disso, a alteração da intensidade e da frequência de ventos extremos poderá originar danos em locais como pontes, viadutos, calçadões, passarelas e placas de sinalização (HARDOY; PANDIELLA, 2009).

Conforme o PBMC (2016), as principais comunidades afetadas incluem aquelas que dependem do turismo costeiro e pesca. Os eventos extremos provocarão intensos impactos socioeconômicos, como o fechamento de refinarias localizadas em áreas costeiras, acréscimo nos preços de operação de tecnologias marinhas, ameaças aos sistemas de transporte, telecomunicações, abastecimento de água e energia (ROSENZWEIG et al., 2011) e ainda, os parques industriais instalados, portos e aeroportos poderão ser afetados, de forma direta ou indireta (PBMC, 2016).

4 METAS E MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

4.1 POLÍTICAS ENERGÉTICAS RENOVÁVEIS

As ações para desenvolver, viabilizar e promover o acesso a fontes de energia e tecnologias mais limpas caracterizam-se como soluções para a mitigação e adaptação à mudança do clima. Assim como, auxiliam no combate a desertificação e a degradação de florestas por meio da diminuição do uso da biomassa tradicional para energia, enquanto aumenta a diversidade da oferta de energia. Com isso, resultam em benefícios socioeconômicos e para a saúde, especialmente para mulheres e crianças (IPCC, 2022). A solução é a utilização das energias renováveis: solar (energia do sol), eólica (energia do vento), biomassa (energia de matéria orgânica), hídrica (energia da água dos rios), geotérmica (energia do interior da Terra) e oceânica (energia das marés e das ondas).

A substituição dos combustíveis fósseis pelas energias renováveis é a solução mais vantajosa, visto que, são praticamente inesgotáveis, apresentam baixo impacto ambiental e não prejudicam o aquecimento global (FREITAS; DATHEIN, 2013). A energia renovável proveniente do oceano, por exemplo, pode reforçar a mitigação da mudança do clima e ser compreendida pela extração de energia de ventos offshore, marés, ondas, gradiente termal e de salinidade, e biocombustíveis de algas. Existe grande expectativa pela resposta à demanda emergente por fontes alternativas de energia, a qual poderá gerar oportunidades econômicas para o setor de energia renovável do oceano (IPCC, 2019).

Segundo Iglecias (2021, p. 3), presidente Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB):

Os principais ganhos ambientais das usinas fotovoltaicas referem-se à implantação e operação sem impactos ambientais significativos, já que envolvem a baixa supressão de vegetação, movimentação de terra pouco expressiva, pouca ou nenhuma interferência com fauna e recursos hídricos, e geração de energia renovável e não poluente.

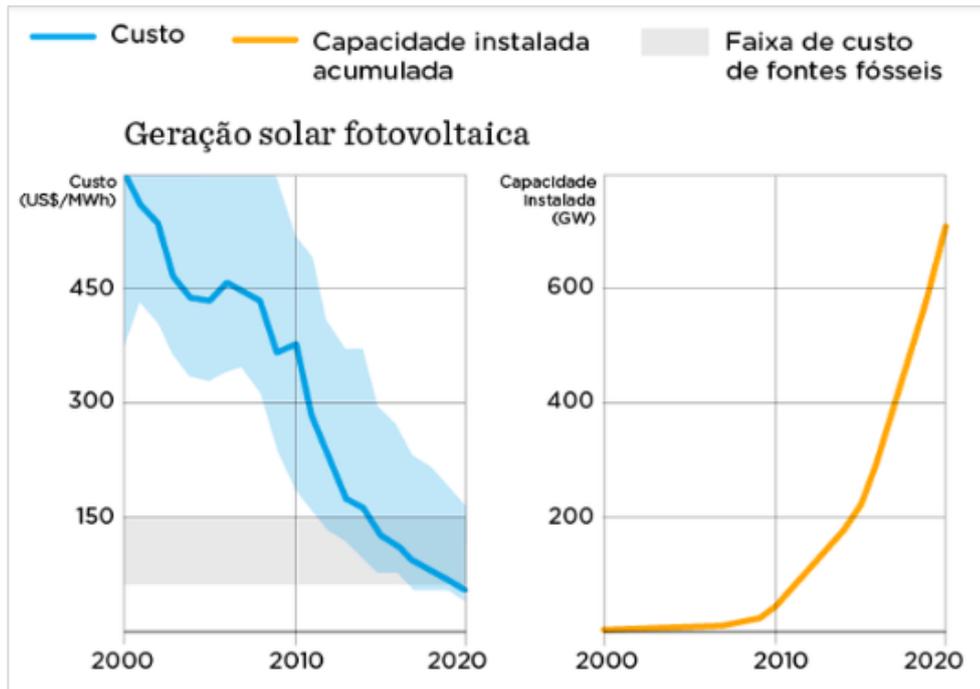
Quanto ao etanol, a diretora-presidente comentou ser uma excelente alternativa à utilização de combustíveis fósseis, razão pois seu uso reduz de forma emergente a emissão de CO₂, assim como melhora expressivamente a qualidade do ar. As emissões de CO₂ podem reduzir até 70% e 90% com a utilização do etanol como combustível, em comparação com as emissões pela gasolina. Em relação ao automóvel movido a diesel, essa redução chega em 68% (IGLECIAS, 2021).

De acordo com António Guterres, Secretário-Geral na ONU, deve-se acabar com a poluição por combustíveis fósseis e acelerar a transição para energia renovável. Destacando que as tecnologias de energia renovável, como a eólica e a solar, estão prontamente disponíveis e, na maioria dos casos, mais baratas que o carvão e outros combustíveis fósseis. O chefe da ONU propôs cinco ações para impulsionar a transição energética (GUTERRES, 2022), sendo as seguintes:

- I. Tratar as tecnologias de energia renovável como bens públicos globais essenciais: representa a existência de uma nova coalizão global sobre armazenamento de baterias disponibilizada por governos, reunindo empresas de tecnologia, fabricantes e financiadores para acelerar a inovação e a distribuição (GUTERRES, 2022).
- II. Assegurar, ampliar e diversificar os elementos de fornecimento de matéria-prima para tecnologias de energia renovável: as cadeias de provimento de tecnologia de energia renovável e matéria-prima estão centralizadas em alguns países, e é necessária mais cooperação internacional para sobrepujar esse desafio (GUTERRES, 2022).
- III. Criar estruturas e reformular as burocracias dos combustíveis fósseis: os governos devem acelerar as aprovações de projetos solares e eólicos, atualizar as redes e pontuar metas desafiadoras de energia renovável que atendam a necessidade de segurança a investidores, desenvolvedores, consumidores e produtores (GUTERRES, 2022).
- IV. Substituir os subsídios dos combustíveis fósseis: anualmente, governantes mundiais investem cerca de meio trilhão de dólares para reduzir os preços dos combustíveis fósseis, o que representa mais do que o triplo dos subsídios concedidos às energias renováveis (GUTERRES, 2022).
- V. Capitais privados e públicos investidos em energia renovável devem triplicar: significa um ajuste nas matrizes de risco e maior versatilidade para aumentar o financiamento da energia renovável (GUTERRES, 2022).

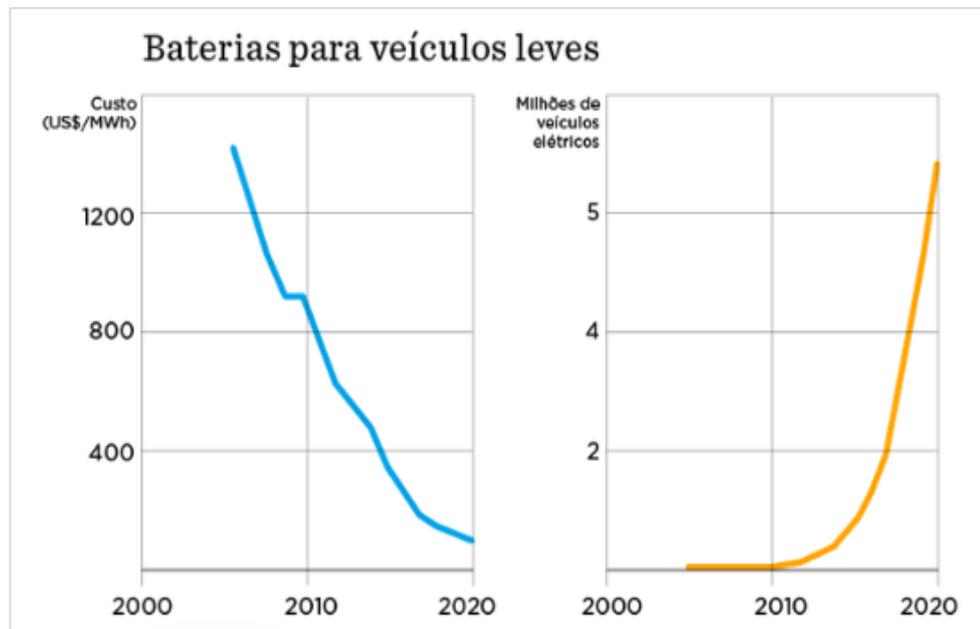
O relatório IPCC de 2022 indica que desde 2010, houve reduções sustentadas de até 85% nos custos de energia solar, eólica e baterias (IPCC, 2022). Os custos menores e a adesão a tecnologias de baixo carbono, ênfase para energia solar, energia eólica, baterias e veículos elétricos, foram aspectos relevantes para que a taxa de crescimento médio anual das emissões de GEE sofresse redução na última década (IPCC, 2022). As Figuras 24, 25 e 26 demonstram a redução no custo de cada energia, o aumento da capacidade durante o período de 2000-2020 e a comparação com o custo de fontes fósseis.

Figura 24 - Custo e capacidade da Energia Solar Fotovoltaica no período de 2000-2020



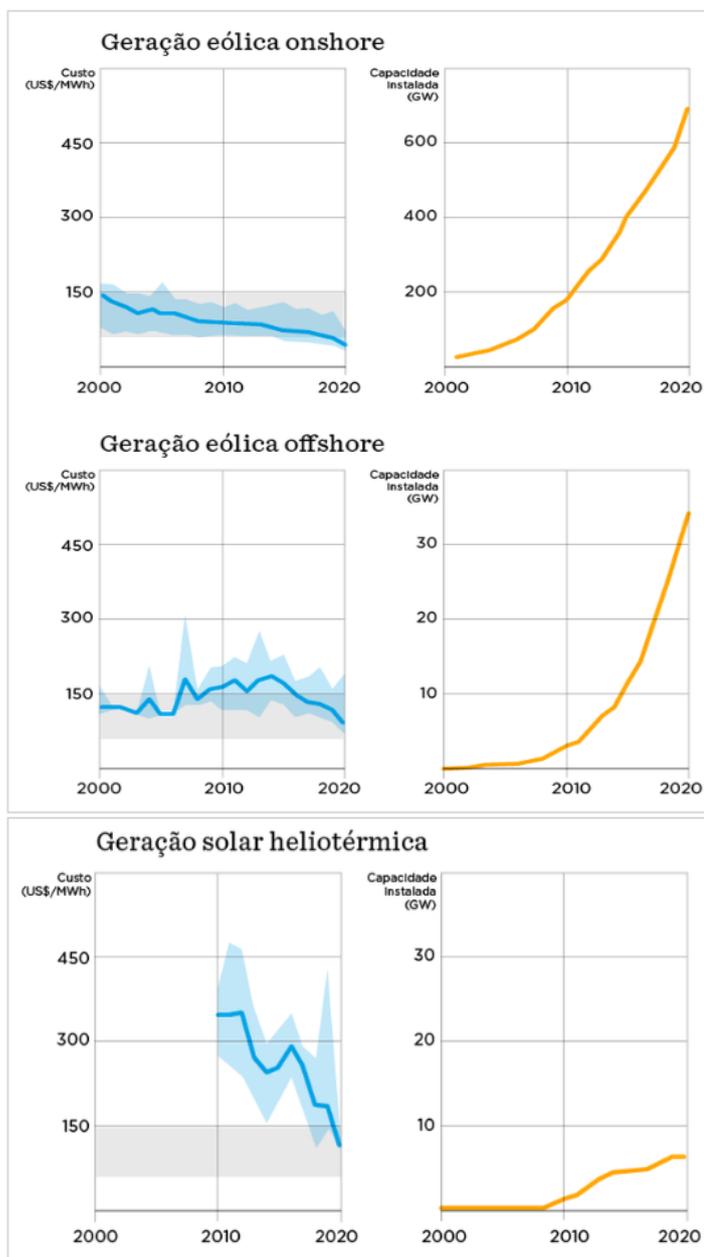
Fonte: IPCC (2022).

Figura 25 - Custo e capacidade de Bateria para veículos leves no período de 2000-2020



Fonte: IPCC (2022).

Figura 26 - Custo e capacidade da Energia Eólica onshore e offshore e Energia Solar heliotérmica no período de 2000-2020



Fonte: IPCC (2022).

4.1.1 Cenário e metas brasileiras

Segundo dados da Agência Internacional de Energia (IEA, na sigla em inglês) (2021), o Brasil produz 45% da energia entre os países das Américas do Sul e Central. O país, conforme o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), possui cerca de 85% das matrizes energéticas renováveis, distribuídas entre usinas hidrelétricas, eólicas, solares e térmicas movidas a biomassa (LAMPIS et al., 2022).

Há uma década, ocorre um crescimento contínuo do Brasil no ranking mundial de energia eólica. Em 2021, o Brasil alcançou a 6ª posição no ranking de capacidade estabelecida total de energia, ante a 7ª posição em 2020. Em 2012, o país ocupava a 15ª posição (LAMPIS et al., 2022).

De acordo com o Plano Operacional Energético (2022-2026) do ONS, as perspectivas para a energia eólica e solar para o Brasil são: até 2026, a energia eólica atingirá uma capacidade de 26.864 megawatts (MW), um aumento de 29,4% em capacidade brasileira instalada em 2022. A meta é que o Brasil tenha o dobro de energia solar em capacidade instalada até 2026, passando de 4.672 MW para 9.535 MW, o que representará 4,9% da energia produzida no país proveniente da energia solar (ONS, 2022).

4.1.2 Acordo IPCC & IRENA

A agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, na sigla em inglês) assinou um Memorando de Entendimento (MoU) com o IPCC em novembro de 2022. O MoU fornece uma estrutura para IRENA e IPCC com o objetivo de aprimorar a base científica das mudanças climáticas antrópicas, seus potenciais impactos e medidas para adaptação e mitigação (MODAL, 2022). As duas partes trabalharão em conjunto para oportunizar ampla e crescente adoção e uso sustentável de todas as energias renováveis por meio de conversações, encontros de especialistas e workshops em coordenação com os Grupos de Trabalho/Gabinete da Força-Tarefa relevantes do IPCC (MODAL, 2022).

Na COP-27, em encontro com o Abdalah Mokssit (secretário do IPCC), o diretor-geral da IRENA, Francesco La Camera, disse (MODAL, 2022, p. 2):

“A confiabilidade e a resiliência das energias renováveis diante das crescentes crises globais devem servir como fatores motivadores claros para os governos dobrarem a transição energética e acelerarem a implantação de energia renovável. A energia limpa é abundante, mas o tempo não. O conhecimento da IRENA se baseia fortemente no valioso trabalho científico do IPCC. Aguardo com expectativa a nossa estreita cooperação contínua.”

De acordo com o *World Energy Transitions Outlook*³ da IRENA (2022), as energias renováveis são a forma mais imediata disponível e econômica de alcançar a descarbonização até 2050, no entanto, isso requer triplicar as instalações atuais de energia até 2030 (MODAL, 2022).

³ Perspectivas das Transições Energéticas Mundiais

4.1.3 Cenários IPCC: Energias renováveis e o limite do aquecimento global

O relatório do IPCC de 2022 explora cinco cenários ilustrativos que podem servir como referência na busca por limitar o aquecimento global a 1,5°C ou, a menos de 2°C. Os cenários são os seguintes:

- I. Caminhos de Mudanças (SP, na sigla em inglês), cujo foco está nas sinergias entre desenvolvimento sustentável e mitigação do aquecimento global (IPCC, 2022).
- II. Baixa Demanda (LD, na sigla em inglês) representa uma estratégia baseada na redução da procura energética por meio de ganhos de eficiência, descentralização, digitalização e economia compartilhada (IPCC, 2022).
- III. Renováveis (Ren, na sigla em inglês) fornece à eletricidade renovável o protagonismo na descarbonização do sistema energético, com destaque para as fontes eólica e solar, e para o hidrogênio como vetor energético. Última entre as trajetórias compatíveis com um aquecimento de limite máximo 1,5°C até 2100 (IPCC, 2022).
- IV. Emissões Negativas (NEG, na sigla em inglês) baseia-se no uso em larga escala de tecnologias de remoção de dióxido de carbono (IPCC, 2022).
- V. Remoção de Dióxido de Carbono (CDR, na sigla em inglês) produz uma grande quantidade de emissões negativas em compensação a uma transição energética mais lenta (IPCC, 2022).
- VI. Fortalecimento Gradual (GS, na sigla em inglês) reflete os efeitos de adiar até 2030 a adoção de políticas climáticas adequadas: nessa trajetória, torna-se inviável limitar o aquecimento a 1,5°C até 2100 (IPCC, 2022).

Em todas as trajetórias, é crucial reduzir as emissões de todos os principais GEE, sendo extremamente necessária a adoção de medidas para mitigar as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O (IPCC, 2022).

4.2 POLÍTICAS PÚBLICAS

4.2.1 Nível Federal

No Brasil, o principal marco a nível nacional relacionado ao combate e adaptação aos impactos associados à mudança do clima é a Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC). O órgão responsável por sua implementação é o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM) (MMA, 2018). Com base na legislação, o MMA define as estratégias

e sugere políticas sobre o monitoramento e a concretização dos planos setoriais de mitigação e adaptação especificados na PNMC (MMA, 2018).

O principal instrumento para avançar ações de adaptação é o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima, instituído em 2016 (MMA, 2015). O PNA foi elaborado pelo governo federal em colaboração com a sociedade civil, setor privado e governos estaduais, e tem como objetivo promover a redução da vulnerabilidade nacional à mudança do clima e realizar a gestão do risco associada a esse fenômeno (MMA, 2015).

A importância da implementação do PNA foi reforçada na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, na sigla em inglês) declarada pelo Brasil no contexto internacional do Acordo de Paris (BRASIL, 2015 apud MMA, 2018). A NDC brasileira é um compromisso estabelecido pelo país na COP-21, que vigora desde 2016, e que presume metas de mitigação e ações em adaptação (MMA, 2018). Sobre a adaptação, o documento relata como fundamental ações de âmbito social e relata que o PNA fornece as bases para que o Brasil aprimore sua capacidade de adaptação, avaliação de riscos climáticos e de gestão de vulnerabilidades em níveis nacional, estadual e municipal” (MMA, 2015).

O Decreto nº 11.075, de 19 de maio de 2022, tem como objetivo regulamentar o parágrafo único do art. 11 da Lei nº 12.187, de 2009, que institui a PNMC. A finalidade é suprir a lacuna regulamentar de um período próximo a treze anos no que tange ao estabelecimento de procedimentos para a elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas e permitir, com isso, o fortalecimento das estruturas e sistemas necessários para o avanço da operacionalização do mercado de carbono no Brasil e da mitigação às mudanças do clima (BRASIL, 2022).

Conforme o decreto supracitado, as propostas dos planos setoriais são de competência dos Ministérios do Meio Ambiente e da Economia, responsáveis por definir as metas de redução de emissões antrópicas e remoções por sumidouros de GEE, mensuráveis e verificáveis (BRASIL, 2022). Os Planos deverão ser aprovados pelo CIMV, instituído na forma prevista no Decreto nº 10.845, de 25 de outubro de 2021 (BRASIL, 2021). Além disso, o decreto instituiu o SINARE, cuja função é servir de central única de registros de emissões, remoções, reduções e compensações de GEE e de atos de comércio, de transferências, de transações e de aposentadoria de créditos certificados de redução de emissões (BRASIL, 2022, Art. 8º).

4.2.2 Níveis Estadual e Municipal

Os governos dos estados e municípios têm uma função importante na mitigação e adaptação do clima, pois possuem maior proximidade com as problemáticas locais. No Brasil, os governos estaduais têm se organizado com políticas de estratégias de adaptação à mudança do clima (MMA, 2018). O Quadro 2 expressa o panorama estadual dos marcos regulatórios sobre mudanças climáticas. Todas as células em verde representam que o estado possui a política, plano ou fórum.

Os estados do Amapá, Minas Gerais e Rio Grande do Norte possuem Projeto de Lei (PL) em tramitação. Os estados do Ceará e Espírito Santo estão em fase de elaboração do PAC. A última coluna representa outras leis ou decretos que o estado possua sobre assuntos relacionados à mitigação de mudanças climáticas. Em âmbito geral, há 19 estados que possuem Política Estadual de Mudanças Climática (PEMC), 3 estados possuem Plano de Ação Climática (PAC) e 24 estados possuem Fórum Estadual Mudanças Climáticas (FEMC).

Quadro 2 - Status dos estados na construção dos marcos regulatórios leis sobre mudanças climáticas (jan./2023).

Estado	Política Estadual	PAC Estadual	Fórum Estadual	Outras iniciativas de adaptação
Acre				
Alagoas				
Amapá				
Amazonas				
Bahia				
Ceará				
Distrito Federal				
Espírito Santo				
Goiás				
Maranhão				
Mato Grosso				
Mato Grosso do Sul				
Minas Gerais				
Pará				
Paraíba				
Paraná				
Pernambuco				
Piauí				
Rio de Janeiro				
Rio Grande do Norte				
Rio Grande do Sul				
Rondônia				
Roraima				
Santa Catarina				
São Paulo				
Sergipe				
Tocantins				

Fonte: Autora (2023); Andrade (2017).

A nível municipal, realizou-se um levantamento similar ao estadual, com o panorama dos marcos regulatórios sobre mudanças climáticas das capitais brasileiras, conforme o Quadro 3. Todas as células coloridas representam que a capital possui a política ou plano.

As cidades de Belém e Cuiabá possuem Projeto de Lei (PL) em tramitação. As cidades de Curitiba e Florianópolis não possuem PMMC, entretanto, Curitiba possui o Decreto Nº 1186, que Institui o Fórum Curitiba sobre Mudanças Climáticas e Florianópolis possui um Projeto de Emenda à Lei Orgânica sobre proteção contra as Mudanças Climáticas (2021). As capitais de João Pessoa, Natal, Porto Alegre e Teresina estão em fase de elaboração do PAC. A pesquisa de existência dos planos deu-se especificamente por sites oficiais das prefeituras municipais.

Em âmbito geral, há 11 capitais brasileiras que possuem Política Municipal de Mudanças Climáticas (PMMC) e 10 capitais possuem PAC relacionado às mudanças climáticas.

Quadro 3 - Status das capitais brasileiras na construção dos marcos regulatórios sobre mudanças climáticas (jan./2023)

Capital	Estado	Política Municipal	PAC Municipal
Aracaju	Sergipe		
Belém	Pará		
Belo Horizonte	Minas Gerais		
Boa Vista	Roraima		
Brasília	Distrito Federal		
Campo Grande	Mato Grosso do Sul		
Cuiabá	Mato Grosso		
Curitiba	Paraná		
Florianópolis	Santa Catarina		
Fortaleza	Ceará		
Goiânia	Goiás		
João Pessoa	Paraíba		
Macapá	Amapá		
Maceió	Alagoas		
Manaus	Amazonas		
Natal	Rio Grande do Norte		
Palmas	Tocantins		
Porto Alegre	Rio Grande do Sul		
Porto Velho	Rondônia		
Recife	Pernambuco		
Rio Branco	Acre		
Rio de Janeiro	Rio de Janeiro		
Salvador	Bahia		
São Luis	Maranhão		
São Paulo	São Paulo		
Teresina	Piauí		
Vitória	Espírito Santo		

Fonte: Autora (2023); Espíndola; Ribeiro (2017).

4.2.3 Exemplo de Política Pública: PAC de João Pessoa

O Plano de Ação Climática para a prefeitura de João Pessoa, Paraíba, está sendo desenvolvido pela empresa WayCarbon em parceria com o Conselho Internacional para Iniciativas Ambientais Locais (ICLEI, na sigla em inglês) – Governos pela Sustentabilidade. O trabalho é financiado pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) (PESSOA, 2022).

O projeto possui o objetivo de promover a adaptação e a mitigação climática do município. Conforme metodologia da empresa supracitada, está dividido em três partes:

- I. Metodologia e Mobilização: a etapa inicial expressa-se pela definição das ações e impulsionamento de esforços para a elaboração do projeto. É concretizada a partir de discussões e alinhamentos com a Prefeitura. Com base em um Plano de Gestão Colaborativa e Comunicação (PGCC), são definidas as estratégias para prover o comprometimento efetivo dos agentes-chave e obter dados qualificados de GEE (PESSOA, 2022).
- II. Diagnóstico de emissões, pegada hídrica e análise de riscos climáticos: as análises realizadas nesta etapa serão essenciais para subsidiar a construção do Plano, uma vez que irão permitir o entendimento do contexto climático do município, identificando setores críticos e elementos de vulnerabilidade (PESSOA, 2022). Ocorre a caracterização histórica das emissões municipais registradas em Inventário de Emissão de GEE. Na sequência, o grupo de trabalho conduzirá o estudo de pegada hídrica para assimilar a forma que João Pessoa consome os recursos, quais setores demandam mais água, se está havendo prejuízos por vazamentos na rede de distribuição, entre outros aspectos (PESSOA, 2022). Posteriormente, será analisado o risco climático para compreender quais são os pontos do município com maior chance de serem impactados por eventos climáticos extremos (PESSOA, 2022).
- III. Planejamento e implementação: a partir dos dados e resultados obtidos nas etapas anteriores, esta etapa objetiva analisar as inconsistências e dificuldades e com base nisto, definir as metas, diretrizes, estratégias/ações de intervenção no curto, médio e longo prazo para mitigação e adaptação das mudanças climáticas em João Pessoa (PESSOA, 2022).

O alcance do objetivo de uma cidade neutra em emissões e resiliente aos efeitos das mudanças do clima será pautado em dois parâmetros: mitigação e adaptação. A mitigação consiste em estabelecer metas para atenuar os impactos de emissões de GEE, compreendendo as principais fontes identificadas, como a utilização de combustíveis fósseis para a mobilidade

urbana e o uso de energia nos edifícios. O critério de adaptação, por outro lado, compreende metas para reduzir os riscos climáticos que a cidade pode enfrentar, como aumento do nível do mar, inundações e ondas de calor (PESSOA, 2022).

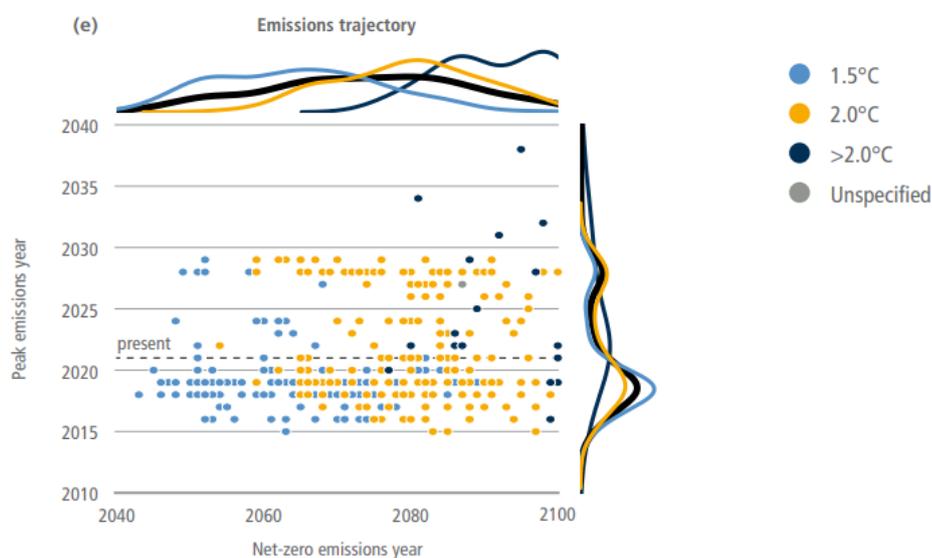
O plano de ação incluirá um Programa de Monitoramento e Avaliação das Ações, que permitirá ao município acompanhar os efeitos das medidas climáticas e rever o andamento dos objetivos (PESSOA, 2022). Ademais, uma minuta de PL será proposta para institucionalizar a Política Municipal de Mudanças Climáticas (PMMC) ao lado de dispositivos legais complementares, visando garantir a efetiva implementação do PAC de forma eficaz (PESSOA, 2022).

4.3 MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

4.3.1 Metas de redução global e Brasileira das emissões de GEE

As tendências modeladas no estudo do IPCC são condizentes com o limite de 1,5°C até 2100 do Acordo de Paris (2015). Conforme o relatório do grupo de trabalho III do IPCC 2022 (*Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*), as emissões globais de GEE são projetadas para atingir o pico entre 2020 e, no mais tardar, antes de 2025 e devem ser reduzidas em 43% até 2030. A Figura 27 demonstra a trajetória das emissões globais de acordo com a temperatura, representando o pico em 2025.

Figura 27 - Trajetória das Emissões conforme os limites de temperatura



Fonte: IPCC (2022).

A temperatura global se estabilizará quando as emissões de CO₂ atingirem zero líquido. A partir das projeções, as emissões líquidas zero de CO₂ poderão ser alcançadas em 2050 (limite de 1,5°C) ou no início da década de 2070 (limite de 2°C) (IPCC, 2022).

Conforme o BNDES (2022), as metas brasileiras descritas na NDC e definidas em 2015, determinam que o Brasil deve alcançar redução de 37% nas emissões de GEE até 2025 e posteriormente, diminuir 43% até 2030, comparado com as emissões de 2005. Em 2021, o Brasil se comprometeu em ampliar o alcance da meta até 2030, buscando redução de 50%. Até a metade do século (2050) o país deve atingir as emissões líquidas neutras de CO₂, sendo assim, as emissões deverão ser compensadas com tecnologias de captura de carbono, como o plantio de florestas, por exemplo (BNDES, 2022).

4.3.2 Transição de combustíveis fósseis para energias renováveis

As ações que auxiliam na transição de energia com origens fósseis para fontes renováveis são: a desativação das infraestruturas existentes, o cancelamento de novos negócios (por parte de empreendedores), a adaptação de usinas que ainda operam com combustíveis fósseis às tecnologias de captura e armazenamento de carbono e a transição para combustíveis de baixo carbono (LEVIN, 2022).

Conforme o relatório do grupo de trabalho III do IPCC (2022, p. 662) (*Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*)

As trajetórias compatíveis com o limite de 1,5°C (com ou sem excedente) dependem de redes alimentadas principalmente por fontes renováveis e de armazenamento, complementadas por uma combinação de energia nuclear, uma pequena parcela de combustíveis fósseis (com captura e armazenamento de carbono) e/ou outras formas de energia limpa. Portadores alternativos de energia, como hidrogênio e amônia, devem substituir os combustíveis fósseis em setores nos quais o processo de eletrificação será mais difícil, como na indústria e no transporte pesado.

Os EUA e a Europa estão eliminando as usinas de carbono, entretanto, alguns bancos internacionais de desenvolvimento ainda estão investindo em novos projetos com combustíveis fósseis o que complica a agilidade da transição para tecnologias de baixo carbono. Por isso, a importância do apoio tanto do setor público quanto do setor privado (grandes empresas).

4.3.3 Transformações ágeis em todos os setores

O IPCC revela que converter a predisposição das emissões de GEE demanda que os gerentes governamentais, a sociedade civil e o setor privado tenham como prioridade as seguintes práticas (IPCC, 2022):

- I. Elaboração de multas das quais compensem o investimento ao longo do tempo ou custam menos de US\$ 20 por tonelada de CO₂eq: a finalidade é expandir o uso de energia limpa. Toda a geração de eletricidade deve ser de baixo carbono até 2050 e a geração total deve aumentar para permitir a eletrificação de sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, transporte e maquinário industrial, entre outros (IPCC, 2022).
- II. Estimular construções verdes: presença de aquecimento elétrico, eletrodomésticos e iluminação mais eficientes e o consumo circular de materiais. São necessários avanços céleres para habituação às construções antigas e endossar que essas tecnologias e abordagens sejam incorporadas em cada vez mais novos empreendimentos sustentáveis. Estratégias verdes na etapa de construção e no uso da edificação, bem como regras de consumo de energia para construções, podem fomentar avanços significativos (IPCC, 2022). A instalação de telhados verdes e telhados brancos (proposta do *Green Building Council – GBC*, na sigla em inglês) reduzem a formação de ilhas de calor. Os telhados verdes com a absorção da energia da luz solar pelas plantas e maior retenção de água decorrente de precipitações pluviométricas, auxilia na drenagem das águas da chuva e contribui para os controles de enchentes em áreas urbanas (MDR, 2021). Bem como, auxilia para a redução da demanda energética. Os telhados brancos, por sua refletividade da luz solar, podem contribuir para diminuição da absorção do calor do sol (refletindo mais de 80% o total de incidência de raios solares), para um maior conforto térmico (reduzem de 40% a 70% a temperatura registrada nos ambientes) e para a redução de consumo de energia em aparelhos de ar-condicionado (economia estimada em cerca de 30%) (MDR, 2021).
- III. Transição para o transporte de zero e baixo carbono: sem uma mudança na trajetória, as emissões de CO₂ do setor de transportes devem aumentar em até 50% até 2050. As emissões podem ser evitadas por meio da eliminação do uso de automóveis de combustão interna e aviões, há opções de eletromobilidade, como veículos elétricos a bateria (automóveis e ônibus) e transporte ferroviário elétrico movido por energia

limpa (MDR, 2021). Bem como, a utilização de transportes públicos ou biocombustíveis sustentáveis em veículos particulares. Um melhor planejamento urbano nas grandes metrópoles, designadamente para promover maior compactação e ambientes multi-serviços, também contribui para o maior uso de bicicletas e deslocamentos a pé. No caso dos transportes marítimo e aéreo, nos quais a descarbonização é mais trabalhosa, há alternativas eficientes de biocombustíveis avançados, amônia e combustíveis sintéticos, embora necessitem de maiores subsídios financeiros e apoio político. Em geral, as possibilidades de mobilidade urbana contêm um potencial de mitigar até 75% (IPCC, 2022). Portanto, há redução nos congestionamentos e a poluição do ar.

- IV. Segurança Alimentar: reequilibrar o consumo e promover alimentos à base de plantas e sazonais, menos dependente do consumo de alimentos de origem animal, como refeições vegetarianas e/ou veganas. Essa prática oferece um potencial substancial para a redução de até 8 bilhões de toneladas de GEE anualmente, cerca de 40% das emissões globais do sistema alimentar (IPCC, 2019). Além disso, estratégias que promovem a redução de perdas e desperdício alimentares podem resultar em uma redução de até 2,1 bilhões de toneladas de GEE anualmente (VIEIRA et al., 2019).

O desenvolvimento sustentável depende da implementação e dos resultados dessas estratégias de mitigação e adaptação. Com o objetivo de contribuir para o limite do aquecimento global a 1,5°C, a sustentabilidade apoia, e quase sempre permite, as transições e transformações sociais e de sistemas fundamentais (IPCC, 2022).

Tais ações auxiliam para o desenvolvimento resiliente do clima e colaboram significativamente com a busca pelo alcance dos objetivos de mitigação e adaptação, juntamente com o atingimento dos objetivos sociais, de erradicação da pobreza e os esforços de redução de desigualdades (IPCC, 2022).

4.3.4 Mudanças de comportamento e estilo de vida

Os padrões de consumo necessitam estar condizentes com as ações de mitigação do clima. Especialmente, entre os mais ricos, incentivos governamentais e privados sobre consumo consciente e sustentável podem auxiliar na redução das emissões de GEE de 40% a 70% até 2050 (CHRISPIM et al., 2019).

São necessárias medidas como o apoio a tecnologias de baixa poluição, tributação das tecnologias de alta emissão (por exemplo, carros movidos a combustíveis fósseis) e a criação de padrões que exijam, por exemplo, maior eficiência energética. Mudanças no projeto de infraestrutura – como realocar as superfícies das estradas para outros usos, como calçadas ou ciclovias – podem ajudar as pessoas a levar estilos de vida mais sustentáveis. As medidas supracitadas (Item 4.3.2) sobre os transportes e segurança alimentar também promovem responsabilidade individual para mudança no estilo de vida.

4.3.5 Tecnologias de remoção de carbono

O IPCC (2022) apresenta que todas as projeções que limitam o aquecimento a 1,5°C (com ou sem excedente) estão sujeitas a remoção de carbono. As trajetórias incluem tanto soluções naturais, como o sequestro e armazenamento de carbono em árvores e no solo, quanto tecnologias que fazem a captura do CO₂ diretamente da atmosfera (IPCC, 2022).

Conforme o relatório intitulado “Aquecimento Global de 1,5°C” do IPCC (2018, p. 20), estabelece-se que:

Todas as trajetórias que limitam o aquecimento global a 1,5°C sem *overshoot* ou com *overshoot* limitado projetam o uso de Remoção de Dióxido de Carbono (Carbon Dioxide Removal – CDR), na ordem de 100–1000 GtCO₂ ao longo do século XXI. O CDR seria usado para compensar as emissões residuais, e, em muitos casos, chegar a valores líquidos negativos de emissões para retornar ao aquecimento global de 1,5°C. O uso de CDR de centenas de GtCO₂ está sujeito a limitações diversas de viabilidade e sustentabilidade. Reduções significativas nas emissões no curto prazo e medidas para reduzir a demanda de energia e terra podem limitar a implantação de CDRs a algumas centenas de GtCO₂ sem depender da bioenergia, com captura e armazenamento de carbono (BECCS).

A restauração de sumidouros naturais de carbono, como florestas, é uma abordagem econômica a curto prazo e que, se aplicada de forma adequada, trará muitos benefícios para as comunidades próximas. Todavia, o carbono armazenado nesses ecossistemas também é vulnerável a outros distúrbios, como incêndios florestais, os quais tendem a aumentar à medida que o clima em constante mudança libera o carbono armazenado na atmosfera (IPCC, 2022).

Inovações emergentes nas tecnologias de captura de carbono juntamente com o hidrogênio eletrolítico serão inseridas no mercado até 2025. Serão consideradas importantíssimas para a indústria química e irão colaborar para o alcance das emissões zero até 2050 (IEA 2020a apud IPCC, 2022). Em contra partida, a implantação das tecnologias de remoção de carbono com abordagens naturais, de maneira responsável, demandam de maior desenvolvimento, entendimento de benefícios, custos, riscos e financiamento (IPCC, 2022).

4.3.6 Financiamento climático

Estima-se que o financiamento anual público e privado para mitigação e adaptação às mudanças climáticas aumentou de US\$ 392 bilhões em 2014 para US\$ 640 bilhões até 2020 (WAPICHANA, 2022). No entanto, o financiamento para combustíveis fósseis ainda excede o financiamento para ações climáticas, permitindo concluir que, a substituição destes orçamentos precisa ser realizada urgentemente.

A tendência dos investidores em direcionar maiores volumes de capital para seus próprios países e a subestimação sistêmica dos riscos climáticos são desafios adicionais para a expansão dos investimentos de iniciativa privada.

Considerando todos os setores, o déficit de aportes financeiros para a mitigação das mudanças climáticas é significativamente maior na agricultura, silvicultura e outros usos da terra, onde os investimentos recentes são 10 a 29 vezes menores do que o necessário para cumprir as metas do acordo de Paris (IPCC, 2022).

As medidas governamentais e acordos internacionais são imprescindíveis para ampliar os investimentos em mitigação, como precificar as emissões de carbono, suprimir de forma crescente o financiamento público para combustíveis fósseis e promulgar regulamentos robustos para a transição para modelos de baixo carbono (IPCC, 2022). Os mecanismos inovadores de financiamento que permitem que corporações e governos compartilhem riscos podem auxiliar a elevar o capital privado. A expansão favorável das finanças públicas, especialmente em países de baixa renda, pode resultar em retornos significativos a custos comparativamente baixos.

4.3.7 Cooperação Internacional

A implementação prática e efetiva de ações nacionais que contribuam em limitar o aquecimento global a 1,5°C necessita, de forma imprescindível, do fortalecimento e união consciente das autoridades nacionais e subnacionais, da sociedade civil, do setor privado, dos povos indígenas e das comunidades locais para que a mitigação ocorra em escala e de forma conjunta.

A cooperação internacional pode proporcionar um ambiente propício para que isso seja alcançado em todos os países e para todos os povos, no contexto do desenvolvimento sustentável. Sendo assim, é um catalisador crítico para países em desenvolvimento e regiões vulneráveis (IPCC, 2022).

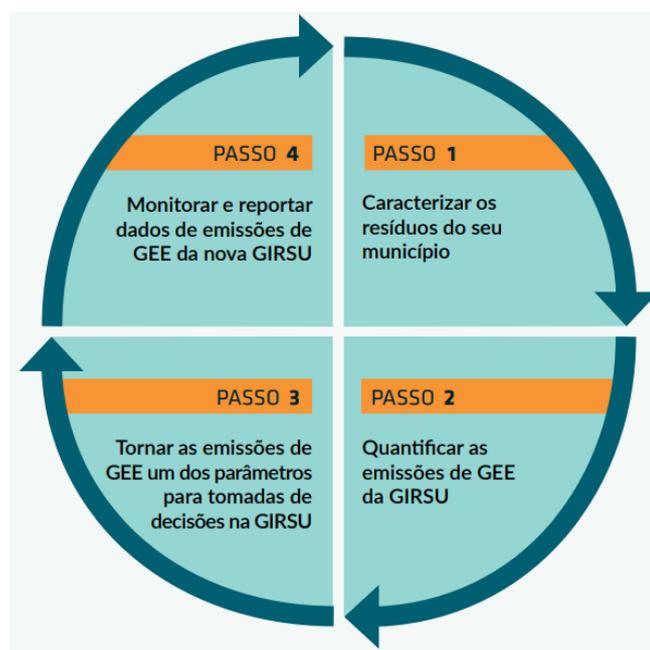
4.3.8 Resíduos Sólidos

Durante todo o processo de gerenciamento dos resíduos sólidos (desde a coleta até a disposição final), existem ações de intervenção que reduzem a emissão de GEE e consequentemente, mitigam as mudanças climáticas. Os seguintes tópicos apresentam possibilidades de práticas de mitigação:

- Reciclagem dos resíduos secos: evita a produção de novas matérias-primas, diminuindo a emissão de GEE por parte da indústria e dos setores de energia e transportes. Assim como, impede que os resíduos secos sejam destinados para aterros sanitários ou lixões.
- Compostagem dos resíduos sólidos orgânicos: impede que os resíduos secos sejam destinados para aterros sanitários e auxilia para a fixação de CH₄ no solo, evitando a emissão.
- Biodigestão: valoriza os resíduos orgânicos para a geração de energia. O biogás produzido pelo processo de biodigestão é uma energia limpa, podendo ser utilizado como fonte de energia elétrica ou como biometano para o transporte, substituindo os combustíveis fósseis.
- Utilização de rejeitos como combustível: os rejeitos, ao invés de serem destinados ao aterro sanitário, podem ser aproveitados como Combustível Derivado de Resíduos pela indústria, substituindo os combustíveis fósseis, por exemplo, do cimento. Os rejeitos também pode ser aproveitados energeticamente em plantas de incineração de resíduos.
- Captar o biogás gerado nos aterros sanitários: garante que as emissões não ocorram na atmosfera e permite a sua utilização como fonte de energia elétrica, como biometano, ou pelo menos na transformação de CH₄ em CO₂ por meio da queima do biogás.

Conforme o MDR (2021), há 4 passos para alcançar a uma Gestão Integrada de RSU (GIRSU) à nível municipal que contribua para combater o aquecimento global (Figura 28). É necessária a presença de dados suficientes para a caracterização e quantificação da emissões municipais, o estabelecimento de critérios para as tomadas de decisão, o monitoramento dos sistemas de gestão e a criação de mecanismos de retroalimentação de dados.

Figura 28 - Passos para o combate do aquecimento global por meio da GIRSU



Fonte: MDR (2021).

As estimativas aproximadas da quantificação dos impactos de GEE para o manejo de RSU, podem ser calculadas através da “Calculadora de Emissões de GEE no Manejo de RSU – Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) ou Metodologia do IPCC”. Os resultados dos cálculos contribuem para a tomada de decisão no processo de planejamento (MDR, 2021).

A qualificação da gestão de RSU e a avaliação do potencial de mitigação das emissões de GEE dependem dos processos de caracterização de resíduos e quantificação das emissões de GEE em determinados cenários (MDR, 2021).

4.3.8 Recursos Hídricos e Abastecimento Humano

As principais ações que propiciarão o uso racional e melhorias dos recursos hídricos, minimizando os potenciais conflitos esperados com o cenário de mudanças climáticas são a previsão de redução da disponibilidade hídrica em diversas regiões do planeta, a regulação no uso dos recursos hídricos, especificada na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e os investimentos governamentais e privados (BRASIL, 2009).

Os impactos para o fornecimento de água à população provindos das alterações climáticas, podem ser reduzidos com o planejamento setorial correto, considerando vulnerabilidades adicionais ocorridas por conta de alterações da disponibilidade hídrica (CARVALHO, 2005). Em conjunto, há o planejamento dos recursos hídricos e de outros

setores, relacionada as ações de redução de perdas, racionalização do uso e monitoramento quali-quantitativo da água dos mananciais (ANA, 2018). São necessários investimentos contínuos na coleta de tratamento de efluentes em bacias com potencial de escassez de água, a fim de não prejudicar o uso dos recursos hídricos (ANA, 2018).

A gestão da demanda e oferta de água monitora a redução de vulnerabilidades do setor. No âmbito da oferta, o investimento em infraestrutura focado na segurança hídrica é priorizado, garantindo maior capacidade de reservação e de adução de água, com a inclusão de redundância de fontes de abastecimento (COBRAPE, 2013). Outra medida para aumentar a resiliência dos sistemas hídricos na oferta de água é a conservação dos mananciais. Em relação à demanda, a população civil e empresas privadas possuem forte papel principalmente na redução do desperdício e de hábitos de consumo e na implementação de ações como o reuso e aproveitamento da água pluvial (COBRAPE, 2013).

As empresas de abastecimento urbano devem estar preparadas e prevenidas para solucionar às situações de escassez, definindo gatilhos para atuação, de forma tempestiva e condizente com a magnitude do evento. As medidas nesse sentido alcançam melhores resultados quanto mais clara for a comunicação com a sociedade (ANA, 2018).

A regulação consiste de um processo que se inicia com o cadastro de usuários dos recursos hídricos, passa pela outorga de direito de uso e, por fim, a cobrança. Esses instrumentos, especialmente o último, possuem o papel de incentivar o uso racional dos recursos hídricos e diminuir os conflitos entre usuários (CARVALHO, 2005). Para a efetiva regulação dos usos dos recursos hídricos, a ANA define os seguintes meios: o contrato de regulação do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH), a outorga dos direitos de uso da água, a Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica (DRDH), a fiscalização do uso dos recursos hídricos, a Declaração Anual de Uso de Recursos Hídricos (DAURH), o Sistema de Controle de Balanço Hídrico (SCBH), o Certificado de Avaliação da Sustentabilidade de Obras Hídricas (CERTOH) e a cobrança pelo direito de uso dos recursos hídricos (COBRAPE, 2013).

Além desses instrumentos, em algumas bacias hidrográficas com conflitos, são estabelecidas regras para o uso da água, negociadas entre os órgãos gestores e usuários, denominadas Marcos Regulatórios (ANA, 2018).

Em aspectos residenciais ou edifícios comerciais, uma estratégia de mitigação é a instalação de “jardins de chuva”, construídos em um nível ligeiramente mais baixo que as calçadas e ruas, permitindo a entrada e o acúmulo de água, com o objetivo de retenção temporária das águas de chuva intensas e redução de alagamentos (MDR, 2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se, no decorrer deste trabalho, o quanto as ações antrópicas são consideradas causas extremas da problemática ambiental relacionada às mudanças climáticas. Esta pesquisa confirmou a hipótese de que o homem é o principal causador do agravamento do efeito estufa e impactos ambientais também impulsionadas por ele e conseqüentemente, aumento da temperatura global com o decorrer dos anos.

As medidas de mitigação são imensamente necessárias para reduzir o risco de mudanças nos extremos climáticos de elevação do NMM, aumento da temperatura global e redução de GEE e os seus impactos na população em geral. Bem como, para o atingimento das principais metas do IPCC (2022), como limitar o aquecimento global até 1,5°C para 2100 (2º cenário de manter a menos de 2°C), atingir o pico até 2025 e reduzir em 43% até 2030 e alcançar até 2050 (limite de 1,5°C) emissões líquidas zero de CO₂, são essenciais intensas estratégias de mitigação imediatas e no curto, médio e longo prazo. A principal ação apresentada pelas pesquisas científicas é a transição de investimentos e subsídios de combustíveis fósseis para renováveis, triplicando a velocidade da mudança para as energias renováveis.

Por fim, o objetivo desta pesquisa foi promover informações para o gerenciamento de políticas relacionadas às mudanças climáticas, considerando o quanto o conhecimento científico é imprescindível para as tomadas de decisão em relação às futuras ações emergenciais de mudanças do clima por parte dos setores público e privado. É emergencial a formulação de políticas de indução e de fomento, visando ao desenvolvimento de novas práticas e tecnologias que garantam a sustentabilidade e conseqüentemente, a redução das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, I. et al. **Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil**. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). 2020. 41p.

ALMEIDA, I. M. **AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E OS EFEITOS EM COMUNIDADES DE PEIXES AMAZÔNICOS**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2021.

ALMEIDA, L. Q. Disaster risk indicators in Brazil: A proposal based on the world risk index, **International Journal of Disaster Risk Reduction**, 2016, vol. 17, 251–272 p.

ALVES, S. J. W.; VIEIRA, S. M. M. **Emissões de Metano no Tratamento e na Disposição de Resíduos**. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Relatórios de Referência. São Paulo – SP. 2006.

ALVES, D. C., TEIXEIRA, R. M. **ESTUDO COMPARATIVO DAS TÉCNICAS DE TRATAMENTO DO CHORUME UTILIZADAS EM ALGUNS ATERROS SANITÁRIOS**. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. 2019. Florianópolis, Santa Catarina, 11p.

AMORIM, B. **Caracterização de mudanças paleoclimáticas no nordeste do Brasil utilizando modelagem hidrológica**. 2008. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2008.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual/Agência Nacional de Águas**. Brasília, 2019. 100p.: il.

_____. **AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação/Agência Nacional de Águas**. – Brasília: ANA, GGES, 2018. 93 p.: il. ISBN: 978-85-8210-033-2.

ANDRADE, B. S. et al. Efeitos das mudanças climáticas sobre as comunidades de peixes na Bacia Amazônica. **Revista Ciências da Sociedade (RCS)**, Vol. 2, n. 4, p.107-124, Jul/Dez 2018. ISSN 2594-3987.

ANDRADE, H. V. **MAPEAMENTO DAS POLÍTICAS ESTADUAIS DE ADAPTAÇÃO DAS CIDADES ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL**. **Revista Geográfica Acadêmica**. Rio de Janeiro, v.11, n.2 (xii.2017), 24-49p. ISSN 1678-7226

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Indicadores Coletivos de Continuidade**. 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/indicadores-coletivos-de-continuidade>. Acesso em: 5 nov. 2022.

ARANTES, J. T. **Aquecimento poderá reduzir em 44% a grande circulação das águas do Atlântico**. Agência FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo). 2016, São Paulo.

ARZ, H.W. et al. **Correlated millennial-scale changes in surface hydrography and terrigenous sediment yield inferred from Last-Glacial marine deposits off Northeastern Brazil**. 1998. *Quaternary Research*, 50, 157-166.

BEHLING, H. et al. **Late quaternary vegetational and climate dynamics in Northeastern Brazil**, inferences from marine core GeoB3104-1. 2000. *Quaternary Science Reviews*, 19, 981-994.

BACEN. BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Resolução nº 4.267, de 30 de setembro de 2013**. Dispõe sobre financiamentos ao amparo de recursos do Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (FNMC). São Paulo, 2013. 3p.

BNDES. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO. **Fundo Nacional sobre Mudança do Clima - FNMC**. 2015. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/fundos-governamentais/fundo-nacional-sobre-mudan%C3%A7a-do-clima-fnmc>. Acesso em: 20 nov. 2022.

_____. BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO. **Painel NDC - nossa contribuição para as metas de redução de emissões do Brasil**. 2022. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/desenvolvimento-sustentavel/resultados/emissoes-evitadas/>. Acesso em: 05. Jan. 2022.

BOM, G. et al. **Mudanças Climáticas e o Brasil: Contribuições e Diretrizes para incorporar questões de mudança de clima em políticas públicas**. Brasília e São Lourenço da Terra, DF. 2007. 60 p.

BORK, C. K. **Projeções de temperatura e precipitação para detecção de mudanças climáticas na Bacia do Rio Taquari-Antas, RS**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2015.

BRASIL. Decreto nº 9.073, de 5 de junho de 2017. Promulga o Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, celebrado em Paris, em 12 de dezembro de 2015, e firmado em Nova Iorque, em 22 de abril de 2016. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2017.

_____. Decreto nº 9.082, de 26 de junho de 2017. Institui o Fórum Brasileiro de Mudança do Clima. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2017.

_____. Decreto nº 9.172, de 17 de outubro de 2017. Institui o Sistema de Registro Nacional de Emissões - Sirene, dispõe sobre os instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima a que se refere o inciso XIII do caput do art. 6º da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, e altera o Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010, que regulamenta a referida Política. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2017.

_____. Decreto nº 9.578, de 22 de novembro de 2018. Consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo federal que dispõem sobre o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009, e a Política Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2018.

_____. Decreto nº 9.841, de 18 de junho de 2019. Dispõe sobre o Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2019.

_____. Decreto nº 10.143, de 28 de novembro de 2019. Altera o Decreto nº 9.578, de 22 de novembro de 2018, que dispõe sobre o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima e a Política Nacional sobre Mudança do Clima. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2019.

_____. Decreto nº 10.845, de 25 de outubro de 2021. Dispõe sobre o Comitê Interministerial sobre a Mudança do Clima e o Crescimento Verde. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2021.

_____. Decreto nº 11.075, de 19 de maio de 2022. Estabelece os procedimentos para a elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação das Mudanças Climáticas, institui o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa e altera o Decreto nº 11.003, de 21 de março de 2022. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2022.

_____. Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009. Cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, altera os arts. 6º e 5º da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, e dá outras providências. 1 ed. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2009.

_____. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2009.

_____. Proposta de emenda à constituição nº 37, de 2021. **Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania**. 2022. 9p.

BRITTO, A. L. N. P. et al. **Mudanças climáticas, saneamento básico e governança da água na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. In: V Encontro Nacional da ANPPAS – Associação Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, Florianópolis, 2010.

CARVALHO, A. B. P. et al. **Educação ambiental: ações e práticas extensionistas no ensino superior / organizado por Aline Beatriz Pacheco Carvalho; Christian Schäfer ... [et al.]** – Porto Alegre: Editora Universitária Metodista IPA, 2015.

CARVALHO, R. C. D. **Gestão dos Recursos Hídricos: conflito e negociação na questão das águas transpostas da bacia do Paraíba do Sul**. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. 237p.

CHRISPIM, M. C. et al. Avaliação comparativa entre veículos elétricos e veículos convencionais no contexto de mitigação das mudanças climáticas. **Revista de Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 8, n. 1, p.127-148, jan/mar. 2019. 22p. DOI: 10.19177/rgsa.v8e12019127-148.

COBRAPE. **Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista, no Estado de São Paulo**. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica, 2013.

CURITIBA. **Decreto nº 1186/2009**. Institui o Fórum Curitiba sobre Mudanças Climáticas, seus membros e Plano de Ação para o Município. Prefeitura Municipal de Curitiba, 2009.

DERECZYNSKI, C. et al. Detection and Projections of Climate Change in Rio de Janeiro, Brazil, **American Journal of Climate Change**. 2013. vol. 2, p. 25-33.
<https://doi.org/10.4236/ajcc.2013.21003>.

EEROLA, T. T. **Mudanças climáticas globais: passado, presente e futuro**. 2003. Departamento de Geociências, CFH, Universidade Federal de Santa Catarina.

ESPÍNDOLA, I. B., RIBEIRO, W. C. Cidades e mudanças climáticas: desafios para os planos diretores municipais brasileiros. **Cad. Metrop.**, São Paulo, v. 22, n. 48, pp. 365-395, maio/ago. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2020-4802>.

FERREIRA, S. A. Gestão das águas pluviais: um novo paradigma? **Associação Portuguesa de Distribuição e Drenagem de Águas**, Lisboa, n. 16, p. 58-63, 2020.

FILHO, R. A. F. **Mudanças climáticas e o acesso à água e esgotamento sanitário – desafios e oportunidades para os estados do Ceará e São Paulo, Brasil**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. 153p.

FLORIANÓPOLIS. **PROJETO DE EMENDA A LEI ORGÂNICA**. Altera e inclui dispositivos na Lei Orgânica do Município de Florianópolis, em referência a proteção contra as Mudanças Climáticas, e dá outras providências. CÂMARA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. Gabinete Ver Carla Ayres. 2021. 5p.

FREITAS, G.C.; DATHEIN, R. As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. **Revista Nexos Econômicos**, v. 7, n. 1, p. 71-94, 2013.

GUTERRES, A. **Energia renovável pode tirar o mundo da crise climática**. Nações Unidas Brasil. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/182478-energia-renovavel-pode-tirar-o-mundo-da-crise-climatica-diz-guterres>. Acesso em: 03 jan. 2023.

HARDOY, J., PANDIELLA, G. Urban poverty and vulnerability to climate change in Latin America, **Environment and Urbanization**. 2009, vol. 21, 203-224 p.

HAUG, G.H. et al. Southward migration of the intertropical convergence zone through the Holocene. **Science**, 2001, n. 293, p. 1304-1308.

IGLESIAS, P. **Impactos da energia nas mudanças climáticas**. 2021. São Paulo. CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). 10p.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoramento do território: mudanças climáticas**. 2022. Disponível em: <http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=9>. Acesso em: 10 dez. 2022.

IPCC. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p.

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

_____. **Climate Change 2014: Synthesis Report.** Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. 2014. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.

_____. **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, United Kingdom and New York, NY, USA, 2021, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.

_____. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.** Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. 2022. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

_____. **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change.** Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.

_____. **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** [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press. 2019.

_____. **Global Warming of 1.5°C.** An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Summary for Policymakers. 2018.

_____. **Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate** [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 755 pp. <https://doi.org/10.1017/9781009157964>. 2019.

IRENA. World Energy Transitions Outlook 2022: 1.5°C Pathway, **International Renewable Energy Agency**, Abu Dhabi. 2022. 352p.

JACOBI, P. R. et al. Mudanças Climáticas: a resposta da educação. **Revista Educação Brasileira**. v. 16 n. 46 jan.-abr. 2011. São Paulo. 16p.

JURAS, I. **Legislação brasileira sobre mudança do clima**. Nota Técnica: Meio Ambiente e Direito Ambiental, Organização Territorial, Desenvolvimento Urbano e Regional. 2010. 6p.

LAMPIS, A. et al. **Dossier de energia 2022**. Brasil: um foco no setor elétrico. Nota técnica N° IDB-TN-2469 do Banco Interamericano de Desenvolvimento Divisão de Energia. Universidade de São Paulo. 2022. 40p.

LEVIN, K. **Impacto das mudanças climáticas: 6 descobertas do relatório do IPCC de 2022 sobre adaptação**. 2022. Disponível em: https://www.wribrasil.org.br/noticias/impacto-das-mudancas-climaticas-6-descobertas-do-relatorio-do-ipcc-de-2022-sobre-adaptacao?gclid=CjwKCAiAh9qdBhAOEiwAvxIok_ZaVPHBwOrb17Uwfe5FidI2RPrAmfQg8pALrMWMggrCrHP7aXqvxoCgA4QAvD_BwE. Acesso em: 10 dez. 2022.

LIMA, D. G. G. A. **A gestão dos resíduos sólidos urbanos e sua relação com as mudanças climáticas**. In: V Encontro Nacional e III Encontro Latinoamericano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis (ELECS). 2009. Recife/PE. 9p.

MAGRIN, G. O. et al. **Central and South America**. 2014. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1499-1566.

MANN, M.E. et al. Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly. **Science**, 2009, n. 236, p. 1256-1260.

MARCONI, M. A., LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa**. Editora ATLAS S.A. 2017, 8ª ed., 328p. São Paulo.

MARENGO, J. A., DIAS, P. S. **Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da USP, Academia Brasileira de Ciências, p.63-109. 2006.

MARLON, J.R. et al. Climate and human influences on global biomass burning over the past two millennia. **Nature Geoscience**, 2008, vol. 1, p. 697-702.

MCTI. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC**. 2021 Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/ciencia_do_clima/painel_intergovernamental_sobre_mudanca_do_clima.html. Acesso em: 14 nov. 2022.

MCTI. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. 6ª Ed., 2022, Brasília. 137p.

MDR. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Resíduos e Clima**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/proteger/residuos-e-clima>. Acesso em: 20 dez. 2022.

_____. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Roteiro para redução de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no manejo de RSU**. BRASÍLIA/DF 2021. Org. Cooperação para a proteção do clima na gestão dos resíduos sólidos urbanos – ProteGEEr. 56p.

MENDES, G. P. et al. INTERFERÊNCIA INDUSTRIAL NAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEU IMPACTO ECONÔMICO NO USO DA ÁGUA. **International Journal of Environmental Resilience Research and Science**, [S. l.], v. 2, n. 2, 2020. DOI: 10.48075/ijerrs.v2i2.26447.

MENDES, A. T., SANTOS, G. R. **DRENAGEM E MANEJO SUSTENTÁVEL DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS: O QUE FALTA PARA O BRASIL ADOPTAR?** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) 2022. Texto para discussão/Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) - Brasília, Rio de Janeiro, 2022, - ISSN 1415-4765, 54p. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/td2791>

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Acordos internacionais e políticas públicas**. Plataforma AdaptaClima. 2018. Disponível em: <http://adaptaclima.mma.gov.br/>. Acesso em: 10 dez. 2022.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima**. Grupo Executivo do Comitê Interministerial de Mudança do Clima – GEx-CIM. 2015. Brasília, 370p.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Saneamento Básico: Mais Saúde com Qualidade de Vida e Cidadania**. Secretaria Nacional de Saneamento. Versão Revisada – 2019. Brasília, DF, 238 p.

MISHRA, V. et al. Changes in observed climate extremes in global urban areas, **Environ. Environmental Research Letters**, vol. 10, 2015. Doi:10.1088/1748-9326/10/2/024005.

MODAL. **IRENA assina acordo com IPCC para acelerar a adoção generalizada de energia renovável e mitigar as mudanças climáticas**. Revista de Infraestrutura e Logística. 2022. Disponível em: <https://revistamodal.com.br/irena-assina-acordo-com-ipcc-para-acelerar-a-adoacao-generalizada-de-energia-renovavel-e-mitigar-as-mudancas-climaticas/>. Acesso em: 15 dez. 2022.

MOREIRA, A. T. R. et al. O impacto da ação antrópica no meio ambiente: aquecimento global. 2022. **Revista Educação em Foco** – Edição nº 14, 6p.

NETO, P. D. T. Ecopolítica das mudanças climáticas: o IPCC e o ecologismo dos pobres. Rio de Janeiro: **Centro Edelstein de Pesquisas Sociais**, 2010. 155 p. ISBN: 978-85-7982-049-6.

NOBRE, C. A. et al. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. – São José dos Campos, SP: Rede Clima e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas/INPE, 2012.

_____. **Vulnerabilidades das Megacidades Brasileiras às Mudanças Climáticas:** Região Metropolitana de São Paulo, Relatório Final. Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, Brazil and Núcleo de Estudos de População (NEPO), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). 2011. São Paulo, Campinas, 179 p.

OATES, N. et al. **Adaptation to climate change in water, sanitation, and hygiene:** Assessing risks, appraising options in Africa. London: Overseas Development Institute. 2014.

OLIVIER, J. G. J. e PETERS, J.A.H.W. Trends in Global CO₂ and Total Greenhouse Gas Emissions 2020 Report. **Netherlands Environmental Assessment Agency**, 2020.

ONS. OPERAÇÃO NACIONAL DE SISTEMA ELÉTRICO. **Plano de Operação Energética (PEN) 2022-2026.** Sumário Executivo 2022. 22p.

PBMC. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Base científica das mudanças climáticas.** Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Brasil, Vol 1, 2013. 162 p.

_____. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Mitigação das mudanças climáticas.** Contribuição do Grupo de Trabalho III do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas. COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. 463 p. ISBN: 978-85-285-0207-7.

_____. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Mudanças climáticas e cidades.** Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S. K., SANTOS, A. S. (eds.)]. Rio de Janeiro: PBMC; COPPE; UFRJ, 2016. ISBN: 978-85-285-0344-9.

_____. Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas:** Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 2016. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6.

PESSENDA, L.C.R. et al. **Interdisciplinary paleovegetation study in the Fernando de Noronha Island (Pernambuco State), Northeastern Brazil.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, 2008, n. 80, p. 677-691.

PESSOA, J. (PREFEITURA). **Plano de ação climática.** Paraíba. 2022. Disponível em: <https://www.joaopessoa.pb.gov.br/programas-e-projetos/joaopessoasustentavel/plano-de-acao-climatica/>. Acesso em: 03 jan. 2023.

RIBEIRO, W. **Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil.** 2008. Parcerias Estratégicas, vol. 27, p. 297-321, Brasília, DF.

ROSENZWEIG, C., et al. (Eds.). **Climate Change and Cities:** First Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network. 2011. Cambridge University Press.

SANFORD, R. L., et al. Amazon rain forest fires. 1985. **Science** 227: 53–55.

SIFEDDINE, A. et al. **Informações paleoclimáticas brasileiras**. Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho I do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao primeiro relatório da avaliação nacional sobre mudanças climáticas. Rio de Janeiro: COPPE, 2014, p. 126-180.

SILVA, K. K. **Impactos das mudanças climáticas sobre a demanda de água para irrigação na bacia hidrográfica do rio Ijuí, RS**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

SOUBIÈS, F. Existence d'une phase sèche en Amazonie Brésilienne par la présence de charbons dans le sols (6000-3000 ans BP). **Cahiers ORSTOM**, série Géologie, 1980, vol. 11(1), p. 133-148.

SOUTO, D. et al. Marine sediments from Southeastern Brazilian continental shelf: A 1200 year record of upwelling productivity. **Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology**, 2011, 299, 49-55.

UNESP. Faculdade de Ciências Agrônômicas. **Tipos de revisão de literatura**. Biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos. Botucatu, 2015.

VIEIRA, P. A. et al. **Geopolítica do alimento: o Brasil como fonte estratégica de alimentos para a humanidade**. Embrapa, 2019. Brasília, Distrito Federal, 317p. ISBN 978-85-7035-933-9.

VILELA, F. V. **BIOMAS E AGRICULTURA: oportunidades e desafios**. Rio de Janeiro: Vertente edições, 2019. 304p. ISBN 978-85-63100-15-3.

WAINER, I. et al. Last glacial maximum in South America: paleoclimate proxies and model results. **Geophysical Research Letters**. Vol. 32, São Paulo, Brasil. 2005. doi:10.1029/2004GL021244.

WAPICHANA, J. **PROPOSTA DE EMENDA À CONSTITUIÇÃO Nº 37, DE 2021**. Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania. Altera o art. 5º, caput, acrescenta o inciso X ao art. 170 e o inciso VIII ao §1º do artigo 225 da Constituição Federal. 2022, 9p.

WHITLOCK, C. et al. Postglacial vegetation, climate, and fire history along the east side of the Andes (lat 41-42.5S), Argentina. 2006. **Quaternary Research**, 66, p. 187-201.