

SUSTENTARE & WIPIS 2025

Sustentabilidade, Indicadores
e Gestão de Recursos Hídricos

Apoio Institucional



ÁGUA E SOCIEDADE EM TEMPOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS: UMA REVISÃO SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

Nayara Barreto da Costa

Doutoranda em Ciência do Sistema Terrestre,
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE),
São José dos Campos, São Paulo, Brasil
nayara.costa@inpe.br

Everson de Oliveira Santos

Doutorando em Geografia,
Universidade Federal de Alagoas (UFAL),
Maceió, Alagoas, Brasil
eversonoliveira2007.2@gmail.com

Lorrany Barreto da Costa

Graduanda em Química,
Universidade Federal de Alagoas (UFAL),
Maceió, Alagoas, Brasil
lorranybarretodacosta@gmail.com

José Marcelo Lopes Júnior

Tecnologista em Ciências Atmosféricas,
Instituto Nacional de Meteorologia (INMET),
Brasília, Distrito Federal, Brasil
josemarcelolopesjunior@gmail.com

Resumo

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios para a gestão sustentável dos recursos hídricos no Brasil, impactando diretamente a sociedade e os ecossistemas aquáticos, terrestres e marinhos. Este estudo teve como objetivo revisar a literatura científica sobre os efeitos das mudanças climáticas nos recursos hídricos brasileiros e na sociedade e suas consequências socioambientais. A metodologia adotada consistiu em revisão narrativa de caráter exploratório e qualitativo, baseada em pesquisas em portais científicos, relatórios do IPCC e do PBMC, além de artigos, livros, dissertações e teses publicados, em sua maioria, entre 2000 e 2023. Os resultados indicam que o Brasil apresenta aumento da temperatura média, alterações nos padrões pluviométricos, intensificação de eventos extremos, elevação do nível do mar e mudanças nos ecossistemas costeiros, aquáticos e marinhos. Tais impactos afetam a disponibilidade e qualidade da água, a produção agrícola, a geração de energia, a saúde humana e o bem-estar social, além de aumentar desigualdades regionais. Conclui-se que medidas de adaptação e mitigação são essenciais, incluindo uso eficiente da água, conservação de ecossistemas, infraestrutura resiliente e políticas públicas integradas. O estudo evidencia a necessidade de monitoramento contínuo, modelagem integrada e ações preventivas para fortalecer a resiliência hídrica e promover sustentabilidade diante das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Gestão sustentável, Saúde humana, Impactos ambientais.

1. Introdução

A disponibilidade e a gestão sustentável dos recursos hídricos representam fatores cruciais para a sociedade contemporânea, dada sua relevância na manutenção da sustentabilidade ambiental, no desenvolvimento socioeconômico e na qualidade de vida das populações. Entretanto, o avanço das mudanças climáticas tem intensificado os desafios relacionados ao acesso à água potável e ao gerenciamento adequado desses recursos. Esses efeitos, aliados ao crescimento populacional, vêm comprometendo a disponibilidade de água doce, alterando padrões de precipitação e qualidade da água, e gerando impactos significativos sobre a sociedade em diferentes escalas (Ghosh et al., 2020; ANA, 2023; Negreiros & Soldera, 2024).

No Brasil, os efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos já são perceptíveis e se expressam de forma mais intensa nas comunidades mais vulneráveis. Localizadas, em grande parte, em áreas rurais ou em centros urbanos com infraestrutura precária, essas populações enfrentam limitações severas quanto ao acesso à água de qualidade e à continuidade de suas atividades socioeconômicas (Artaxo, 2022). Nesse contexto, a questão central que orienta este trabalho é: de que maneira as mudanças climáticas têm afetado os recursos hídricos no Brasil e quais as implicações desses impactos para a sociedade?

A compreensão aprofundada desses efeitos torna-se ainda mais urgente diante da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, que estabelece os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Destacam-se, nesse âmbito, o ODS 6 (Água Potável e Saneamento), voltado ao acesso universal e à gestão sustentável da água; o ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), que reforça a necessidade de medidas urgentes de adaptação e mitigação; o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), relacionado à garantia de infraestrutura adequada e gestão hídrica urbana; e o ODS 15 (Vida Terrestre), que enfatiza a conservação dos ecossistemas e da biodiversidade aquática e terrestre (ODS, 2023). Diante disso, o objetivo deste trabalho consiste em realizar uma revisão da literatura sobre os impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos e suas consequências para a sociedade brasileira, buscando sistematizar o conhecimento existente, identificar lacunas e subsidiar discussões sobre estratégias de adaptação.

2. Fundamentação teórica

A água é um recurso natural essencial para a sobrevivência de todos os seres vivos, considerada um bem de domínio público e dotada de valor econômico, utilizada em atividades industriais, agrícolas e comerciais. Além de seu papel na saúde humana, na produção de alimentos e na manutenção dos ecossistemas aquáticos, trata-se de um recurso limitado, cuja gestão e conservação são indispensáveis para assegurar disponibilidade e qualidade no presente e no futuro. Esse desafio é ampliado pelo aumento populacional, pela industrialização e pelo uso agrícola intensivo, o que exige a adoção de práticas sustentáveis (Tundisi, 2003, 2005; Artaxo, 2022). Do ponto de vista hidrológico, a movimentação e as mudanças de estado da água ocorrem no ciclo hidrológico, processo essencial ao equilíbrio dos ecossistemas e à renovação da água doce. Esse ciclo envolve evaporação, condensação, formação de nuvens, precipitação e escoamento, que devolvem a água aos rios, lagos, oceanos e aquíferos (Tundisi, 2003; Esteves, 1998; Silveira; Louzada; Beltrame, 2000). Os rios se configuram como as principais fontes de abastecimento público, articulando-se com reservatórios naturais que integram o sistema hidrológico global, incluindo oceanos, geleiras, aquíferos, atmosfera e biosfera (Tundisi, 2005).

No âmbito conceitual, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) define recursos hídricos como toda água superficial ou subterrânea passível de utilização em atividades humanas. Embora toda água seja essencial, nem toda pode ser considerada recurso hídrico, visto que a presença de poluentes ou sais em excesso, como ocorre na água oceânica, inviabiliza

seu uso direto sem tratamento prévio. O manejo inadequado e insustentável desse recurso tem gerado conflitos e impactos de ordem social, ambiental e econômica (Embrapa, 2024). As mudanças climáticas, por sua vez, são definidas pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, 1992) como alterações do clima atribuídas, direta ou indiretamente, às atividades humanas que modificam a composição da atmosfera global, em interação com a variabilidade natural. Tais mudanças afetam diretamente a disponibilidade e a qualidade da água, ao alterar padrões de precipitação, regime hidrológico e recarga de aquíferos. No Brasil, os principais emissores de gases de efeito estufa (GEEs) são os setores de energia, agricultura, mudanças no uso da terra, processos industriais e resíduos, com destaque para o desmatamento e as queimadas (USAID, 2019; Jones et al., 2023).

O território brasileiro é caracterizado por grande diversidade de ecossistemas, condições climáticas e atributos topográficos. Biomas como a Amazônia e a Mata Atlântica exercem funções regulatórias essenciais, especialmente no regime de chuvas da América do Sul e para o equilíbrio energético global (WBG, 2021; Ferreira; Cavalcanti, 2022). A variabilidade climática do país é influenciada por sistemas meteorológicos complexos, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), El Niño-Oscilação Sul (ENOS), Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Alta da Bolívia (AB), frentes frias, brisas marítimas e Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) (WBG, 2021; Ferreira; Cavalcanti, 2022). Fatores antrópicos, como urbanização desordenada, poluição atmosférica e mudanças no uso do solo, intensificam os efeitos das mudanças climáticas, refletindo-se nos níveis de precipitação, temperatura, umidade e na dinâmica dos ecossistemas (USAID, 2018).

Segundo Silva, Silva e Pires (2014), a quantidade e a qualidade da água doce sempre foram essenciais para a manutenção da biodiversidade e para a regulação climática global, influenciando padrões de precipitação e estabilidade térmica. Todavia, problemas relacionados à água tendem a se intensificar em razão das mudanças climáticas, do aumento da temperatura global, do derretimento de geleiras e do uso inadequado dos recursos hídricos, ocasionando impactos ambientais e socioeconômicos significativos (Menezes, 2012; Veniziani Júnior, 2018). Esses efeitos já são perceptíveis e, em cenários futuros, podem comprometer a disponibilidade de água para abastecimento humano, agricultura, indústria e manutenção dos ecossistemas (Sukanya; Joseph, 2023). Assim, no contexto da disponibilidade hídrica, o Brasil concentra uma das maiores reservas de água doce do planeta, distribuídas em rios, lagos, aquíferos e uma extensa costa marítima. Entretanto, essa distribuição é heterogênea: enquanto regiões como a Amazônia apresentam abundância, outras, como o Semiárido nordestino, enfrentam escassez hídrica e secas prolongadas. Essa desigualdade espacial reforça a necessidade de políticas públicas voltadas ao uso racional da água, bem como de investimentos em infraestrutura hídrica e em estratégias de gestão sustentável (Porto & Porto, 2008; IBGE, 2020; ANA, 2010).

3. Metodologia

Para o desenvolvimento do presente trabalho, o método adotado foi a revisão de literatura narrativa (ou tradicional), de caráter exploratório e qualitativo, que consistiu na pesquisa e seleção de diferentes estudos, em diferentes portais de busca, como o *Scielo* e o *ScienceDirect*, sites oficiais de periódicos científicos e repositórios/bibliotecas digitais, sendo então uma pesquisa a partir de fontes secundárias, com base em registros realizados por estudos anteriores e atuais, a fim de fornecer uma breve visão da literatura existente acerca da temática em questão. Este tipo de revisão se equivale de um procedimento metodológico mais aberto na coleta e análise de produções científicas, permitindo a compilação de conteúdos de diferentes obras (Batista e Kumada, 2021). Para tanto, os principais termos utilizados para realizar a busca foram

“Climate in Brazil”, “Climate change in Brazil”, “Climate change and water resources over Brazil”, “Recursos Hídricos e sociedade brasileira” e “Sociedade brasileira e mudanças climáticas”, de modo que foram encontrados estudos decorrentes de publicações em formato de artigos científicos, livros, relatórios, teses e dissertações, publicados, em sua maioria, nos últimos 24 anos (2000 a 2023). Além disso, foram consultadas informações relacionadas ao tema no relatório de síntese do sexto relatório de avaliação (AR6) e AR5 elaborados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), bem como no Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC).

4. Resultados

4.1 O contexto das mudanças climáticas no Brasil

Alguns estudos apontam que, nas últimas décadas, o Brasil vem experimentando alterações significativas em variáveis como temperatura média, padrões de precipitação, eventos extremos e nível do mar, refletindo tanto a variabilidade natural quanto os efeitos das atividades humanas (WBG, 2021; USAID, 2018; Ciampittiello, Marchetto e Boggero, 2024). O Quadro 1 apresenta uma síntese das principais alterações climáticas observadas no país, com base em evidências meteorológicas e análises de impactos nos ecossistemas.

Quadro 1 – Alterações climáticas e evidências no Brasil.

Alteração Climática	Observações / Evidências
Aumento médio da temperatura	Aproximadamente 1°C entre a década de 1950 e os anos recentes
Precipitação	Crescimento de 5% na região tropical úmida da Amazônia; maior frequência de secas associadas ao ENOS
Temperatura extrema	Aumento do número de noites frias em algumas regiões e aumento de dias quentes, principalmente durante o período diurno
Elevação do nível do mar	Compatível com a média global de 1,9 m entre 1900 e 2010.

Quadro elaborado com base em WBG, 2021; USAID, 2018; Ciampittiello, Marchetto e Boggero, 2024.

Segundo Alvalá (2014), o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, AR5) identificou mudanças significativas nos ecossistemas do país (Quadro 2).

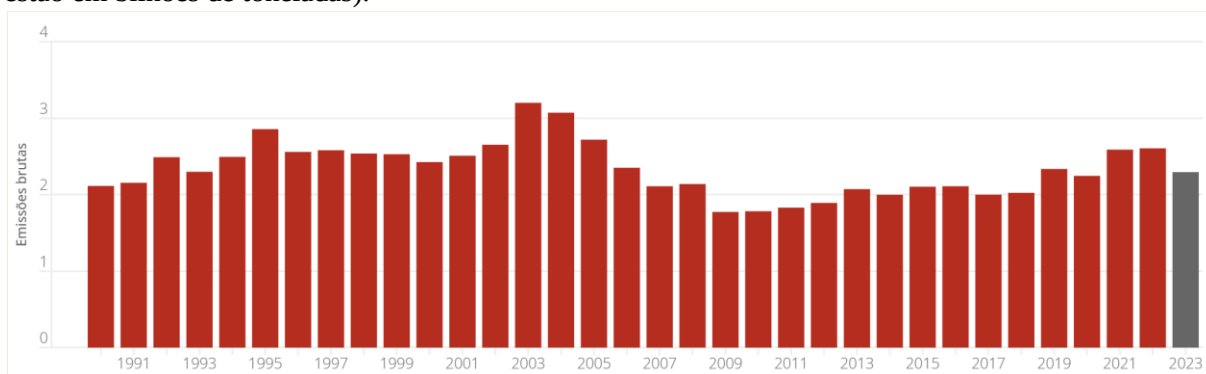
Quadro 2 – Principais mudanças nos ecossistemas.

Mudança nos Ecossistemas	Observações / Evidências
Temperaturas e períodos	Alterações nas temperaturas máximas e mínimas e nos períodos noturno e diurno.
Convecção e ondas de frio	Aumento da convecção sobre a Amazônia e ocorrência de ondas de frio nos últimos 100 anos.
Chuvas extremas	Extremos de chuvas mais frequentes no Sul e Nordeste e aumento da frequência de chuvas no Sudeste.
Eventos hidrometeorológicos	Ocorrência do primeiro furacão no Brasil (Furacão Catarina) e elevação das vazões dos rios Paraguai, Uruguai e Paraná.
Temperatura da superfície oceânica	Alterações na temperatura da superfície do oceano próximo à costa brasileira.

Quadro elaborado com base em Alvalá (2014), PBMC (AR5).

O Brasil é o quinto maior emissor mundial de gases de efeito estufa (GEEs). As emissões aumentaram de 600 milhões de toneladas em 1950 para 3 bilhões em 2005, atingindo cerca de 2,15 bilhões de toneladas anuais até 2021. Em 2023, registrou-se a maior queda em 15 anos, com 12% de redução, totalizando 2,3 bilhões de toneladas, principalmente devido à diminuição do desmatamento na Amazônia. Apesar da queda, outros biomas apresentaram aumento nas emissões: Pantanal (86%), Cerrado (23%) e Caatinga (11%). Os setores mais relevantes historicamente são energia (37,4%), agricultura (32,6%), mudanças no uso do solo e silvicultura (22,6%), processos industriais (4,2%) e resíduos (3,4%) (Jones et al., 2023; SEEG, 2023, USAID, 2019). A Figura 1 mostra a evolução das emissões brutas de gases de efeito estufa no Brasil ao longo do tempo.

Figura 1 – Nível de emissões de gases de efeito estufa no Brasil (dados consideram emissões brutas e estão em bilhões de toneladas).



Fonte: Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima (SEEG).

De acordo com o Observatório do Clima, o Brasil precisa reduzir em 92% suas emissões de gases de efeito estufa até 2035, de modo a contribuir, de forma justa, com a meta de limitar o aquecimento global a 1,5°C em relação à era pré-industrial. A nova proposta de meta climática para a Segunda Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do país, no âmbito do Acordo de Paris (2030-2035), foi divulgada pelo Observatório do Clima (OC) em 26 de agosto de 2024.

O Observatório definiu cinco pilares estratégicos para alcançar a meta:

1. Reduzir o desmatamento quase a zero, limitado a 100 mil hectares/ano a partir de 2030;
2. Recuperar 21 milhões de hectares de cobertura vegetal do Código Florestal;
3. Promover o sequestro de carbono no solo com práticas agropecuárias de baixa emissão;
4. Avançar na transição energética para fontes limpas, reduzindo combustíveis fósseis;
5. Melhorar a gestão de resíduos.

O percentual de 92% baseia-se nas emissões de 2005, quando o Brasil emitiu 2.440 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (CO₂e). A redução prevista limita as emissões a 200 milhões de toneladas de CO₂e. Trata-se da terceira proposta de NDC elaborada pelo OC, que em 2015 foi a primeira organização da sociedade civil no mundo a propor uma meta nacional para o esforço global de redução de emissões (Observatório do Clima, 2024). O OC ressalta que o Brasil é o sexto maior emissor mundial de gases de efeito estufa e, como país anfitrião da COP30, que será realizada em Belém (PA), precisa apresentar à Organização das Nações Unidas (ONU), até fevereiro, um plano climático nacional ambicioso, capaz de inspirar outros países do G20 a ampliar suas metas. De acordo com o estudo, as metas globais atuais, mesmo que

cumpridas integralmente, conduziriam a um aumento da temperatura média mundial de quase 3°C (Observatório do Clima, 2024).

4.2 Os recursos hídricos no âmbito da sociedade brasileira

Estudos recentes indicam que o crescimento urbano tem intensificado os impactos sobre os recursos hídricos e o ambiente urbano. Atualmente, cerca de 55% da população mundial reside em áreas urbanas, percentual que tende a atingir aproximadamente 70% até 2050. No Brasil, a expansão urbana tem promovido a remoção maciça da vegetação natural e a impermeabilização do solo, resultando em consequências ambientais e sociais permanentes (Santos et al., 2021). Entre os efeitos observados estão a elevação do fluxo de rios, a redução da infiltração do solo, inundações, enchentes e processos erosivos, afetando diretamente a qualidade de vida da população urbana (Kang; Marston, 2006). Além disso, a urbanização e a retirada da vegetação nativa contribuem para intensificar mudanças climáticas locais, reforçando a necessidade de planejamento urbano sustentável, uso de tecnologias energeticamente eficientes, incentivo ao transporte público, adoção de energias renováveis e restauração de ecossistemas naturais em áreas urbanas (Santos et al., 2021).

O Brasil detém uma das maiores reservas de água doce do mundo, distribuídas em rios, lagos, aquíferos e uma extensa costa marítima. Apesar da grande disponibilidade de recursos hídricos, tanto superficiais quanto subterrâneos, sua distribuição é desigual, com regiões abundantes contrastando com áreas que enfrentam escassez e secas prolongadas, como mostra o Quadro 3 (Porto; Porto, 2008; IBGE, 2020; ANA, 2010). Essa desigualdade, somada aos impactos da poluição gerada por atividades industriais, agrícolas e urbanas, à ausência de tratamento adequado de esgotos e ao descarte de resíduos tóxicos, compromete a qualidade da água e evidencia a necessidade de políticas públicas e investimentos que promovam o uso racional, eficiente e sustentável desse recurso essencial (Getirana; Libonati; Cataldi, 2021; Montagner; Vidal; Acayaba, 2017).

Quadro 3 – Distribuição percentual de água no Brasil.

Região	Disponibilidade hídrica (%)	População (%)
Norte	68,5	8,8
Nordeste	3,3	27,1
Centro-Oeste	15,7	7,8
Sudeste	6,0	42,0
Sul	6,5	14,3

Fonte: Elaborada com base no IBGE (2020) e ANA (2010).

4.3 Causas das mudanças climáticas e seus efeitos nos recursos hídricos e na sociedade

4.3.1 Principais causas das mudanças climáticas

Grande parte das pesquisas sobre mudanças e variações climáticas concentra-se no período posterior à metade do século XX. O Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do IPCC indica alta probabilidade de que mais de 50% do aumento observado na temperatura média global da superfície entre 1951 e 2010 seja decorrente do aumento antropogênico das concentrações de gases de efeito estufa (Bindoff et al., 2013). O Sexto Relatório de Avaliação (AR6), ainda em finalização, reforça que a ação humana é a principal causa das mudanças climáticas atuais (IPCC, 2023). Embora causas naturais também influenciem o clima, a Convenção-Quadro das

Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) define “mudança climática” como resultante de atividades humanas. Por isso, cientistas analisam as mudanças passadas buscando distinguir os impactos naturais e humanos (Houghton; Jenkins; Ephraumis, 1990). Modelos climáticos atuais demonstram que apenas a inclusão de fatores humanos permite reproduzir adequadamente as mudanças climáticas observadas (IPCC, 2013, 2021). A seguir, apresenta-se o Quadro 4, que resume as principais causas das mudanças climáticas:

Quadro 4 – Principais causas das mudanças climáticas.

Tipo de causa	Fatores / Descrição	Exemplos / Detalhes
Antropo-gênicas	Atividades humanas	Queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) por transportes e indústrias, liberando CO ₂ .
	Efeito estufa	Gases de efeito estufa (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCs) retêm calor na atmosfera, aumentando a temperatura média global.
	Feedbacks climáticos	Derretimento do gelo do Ártico reduz reflexão solar, amplificando o aquecimento (feedback positivo).
Naturais	Atividade solar	Variações na radiação solar e manchas solares influenciam temperaturas globais e regionais.
	Vulcões	Erupções liberam gases e aerossóis que refletem radiação solar, provocando resfriamento temporário.
	Oscilações naturais	Fenômenos como ENOS, ODP e OAN causam flutuações na temperatura e precipitação em escalas curtas.

Quadro elaborado com base em: IPCC (2013, 2021).

Hegerl et al. (2019) realizaram um estudo sobre as causas das mudanças climáticas desde o início dos registros históricos. Os autores demonstraram que os gases de efeito estufa (GEE) começaram a causar aquecimento desde a industrialização, sendo responsáveis por tendências observadas em reconstruções de temperatura até aproximadamente 1900. A influência desses gases aumentou ao longo do tempo, dominando as tendências recentes. O estudo baseou-se em sínteses de reconstruções paleoclimáticas cobrindo os últimos séculos até o século XX, complementadas por dados instrumentais. Além dos GEE, outros fatores naturais e antrópicos contribuíram para desvios nessa tendência de aquecimento. Por exemplo, erupções vulcânicas provocaram resfriamento intenso após períodos de atividade vulcânica particularmente forte, como no início do século XIX, enquanto períodos de baixa atividade vulcânica, especialmente no início e meados do século XX, coincidiram com aquecimento. Os aerossóis antropogênicos também tiveram impacto nas temperaturas regionais, influenciando padrões de monções e a variabilidade de temperatura no Atlântico, de acordo com modelagem e estudos de atribuição (Hegerl et al., 2019).

4.4 Impactos sociais e nos recursos hídricos

4.4.1 Impactos sociais

De acordo com o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), as mudanças climáticas já afetam diversos setores da sociedade brasileira, e os impactos tendem a se agravar até o final do século XXI. Muitos desses efeitos sociais decorrem de alterações no meio ambiente, como elevação do nível do mar, mudanças no uso da terra e variações nos totais pluvio-

métricos. Tais fenômenos podem provocar migrações de populações das zonas costeiras e rurais, além de exigir adaptações na agricultura. Setores como abastecimento de água, saúde, alimentos, energia e turismo também podem ser impactados (Haddad et al., 2014). Segundo o último censo do IBGE, cerca de 50,7 milhões de pessoas vivem em zonas costeiras, representando 26,6% da população brasileira, percentual que tende a ser maior atualmente devido à localização de grande parte das capitais nessas regiões (IBGE, 2011). Estima-se que, até o final do século XXI, o aumento do nível do mar poderá variar entre 0,43 m (cenário de baixa emissão – RCP2.6) e 0,84 m (cenário de altas emissões – RCP8.5). Projeções até 2300 indicam um aumento potencial de até quase 4 m em cenários de altas emissões (IPCC, 2019).

Carmo e Nunes (2008) destacam que o aumento do nível do mar afetará substancialmente regiões banhadas pelo Rio Amazonas, não apenas pela necessidade de migração populacional, mas também pela disponibilidade de recursos pesqueiros. Os autores ressaltam a importância de avaliar como as atividades humanas serão impactadas e como essas atividades afetarão a vida das pessoas. No setor agrícola, Zilli et al. (2020) analisaram os impactos das mudanças climáticas até 2050 nas principais culturas brasileiras — soja, milho e cana-de-açúcar — utilizando o modelo GLOBIOM-Brazil, que integra impactos biofísicos e dimensões econômicas. Os resultados indicam que:

- A produção de soja será a mais afetada, estabilizando-se em cerca de 130 milhões de toneladas/ano em 2035, com redução nos anos seguintes;
- A produção de milho continuará crescendo lentamente após 2035, atingindo aproximadamente 150 milhões de toneladas/ano;
- A produção de cana-de-açúcar deve estabilizar-se em 2030, em torno de 1,1 bilhão de toneladas/ano.

Estudos de Margulis, Dubeux e Marcovitch (2010, 2011) relacionaram previsões climáticas com modelos socioeconômicos, permitindo avaliar os efeitos econômicos das mudanças climáticas no Brasil. Os principais impactos identificados incluem (Quadro 5):

Quadro 5 – Principais impactos sociais das mudanças climáticas no Brasil.

Impacto	Descrição / Observações
Crescimento econômico	Redução do crescimento econômico geral.
Bem-estar da população	Diminuição do poder de compra.
Setores e regiões	Impactos heterogêneos, mais fortes na agricultura e pecuária.
Distribuição espacial	Maior concentração de atividades econômicas no Centro-Sul; ocupação da pecuária no Nordeste.
Desigualdade	Aumento potencial das desigualdades regionais e sociais.
Vulnerabilidade	Efeitos mais fortes no interior do país; menor impacto em regiões mais ricas (sem considerar eventos extremos).
Pobreza	Aumento potencial da pobreza.

Quadro elaborado com base em: Margulis, Dubeux e Marcovitch (2010, 2011).

4.4.2 Impactos na saúde humana

Um dos impactos sociais mais relevantes das mudanças climáticas refere-se à saúde humana. Estudos nessa área são essenciais, pois qualquer alteração climática de um ecossistema

ou microclima urbano exige que a população se adapte às novas condições. No entanto, a taxa de mudança climática muitas vezes supera a capacidade de adaptação do corpo humano, afetando produtividade diária e aumentando vulnerabilidades (Costa, Baptista e Diogo, 2011). O relatório de impactos, vulnerabilidades e adaptação do PBMC compila informações de diversos estudos sobre os efeitos das mudanças climáticas na saúde no Brasil (SALDIVA et al., 2014). Entre os principais efeitos identificados estão:

- **Poluição atmosférica:** Emissões de poluentes de usinas termoeletricas e escapamentos de automóveis contribuem para aumento da mortalidade por câncer, doenças cardiovasculares e respiratórias.
- **Ozônio troposférico:** A emissão crescente pode causar danos aos pulmões e agravar problemas respiratórios.
- **Radiação ultravioleta:** Maior exposição aumenta o risco de desenvolvimento de tumores de pele.
- **Qualidade da água:** Consumo de água contaminada eleva a incidência de doenças transmitidas pela água, como diarreia e intoxicação por metais pesados.
- **Doenças infecciosas:** Mosquitos transmissores, como os da malária e dengue, poderão se reproduzir mais rapidamente e atingir regiões de clima temperado, aumentando o número de casos.

Esses fatores, somados a doenças respiratórias e cardiovasculares, vêm se tornando mais frequentes à medida que os efeitos das mudanças climáticas avançam no Brasil. O quadro 6 destaca os principais impactos que as mudanças climáticas causam à saúde humana no Brasil.

Quadro 6 – Principais impactos das mudanças climáticas na saúde humana no Brasil.

Fator	Tipo de impacto	Observações / Consequências
Poluição do ar	Mortalidade	Aumento de casos de câncer e doenças cardiovasculares e respiratórias.
Ozônio troposférico	Respiratório	Danos aos pulmões e agravamento de doenças respiratórias.
Radiação UV	Dermatológico	Maior risco de tumores de pele.
Qualidade da água	Infectocontagioso	Maior incidência de diarreia e intoxicações por metais pesados.
Mosquitos transmissores	Infectocontagioso	Expansão de malária e dengue para regiões de clima temperado.

Quadro elaborado com base em Costa, Baptista e Diogo (2011) e Saldiva et al. (2014).

4.4.3 Impactos nos recursos hídricos

O capítulo 4 do relatório do PBMC (Souza Filho et al., 2014) descreve os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos, ecossistemas de água doce e marinhos, áreas costeiras, e produção agrícola. Nesta seção, enfatizam-se os efeitos das mudanças climáticas sobre os ecossistemas aquáticos brasileiros, considerando que praticamente todos os recursos hídricos serão afetados de alguma forma, gerando impactos sociais diretos ou indiretos, como na pesca, geração de energia ou uso da água na agricultura e consumo humano.

4.4.3.1 Ciclo hidrológico e disponibilidade de água

Mudanças observadas nas últimas décadas estão associadas a alterações no ciclo hidrológico em larga escala, incluindo: aumento da água retida na atmosfera, alterações nos padrões de precipitação (intensidade e extremos), redução da cobertura de neve, derretimento de gelo, mudanças na umidade do solo e no escoamento superficial (Souza Filho et al., 2014). Modelos climáticos indicam que os totais de precipitação tenderão a diminuir em regiões como o Nordeste e a Amazônia, podendo reduzir as vazões de rios em até 20%. Na Bacia do Tocantins, projeções indicam redução de até 30% entre 2080 e 2090, enquanto em algumas regiões do Sertão nordestino a redução pode chegar a 50%. Por outro lado, rios nas regiões Sul e Sudeste podem apresentar aumento de vazão devido a anomalias positivas de precipitação (Souza Filho et al., 2014). Quanto à disponibilidade de água subterrânea, espera-se redução das recargas de aquíferos em até 70% no Nordeste a partir de 2050. Na região Norte, a redução varia entre 30% e 70%, enquanto Sul e Sudeste poderão apresentar aumentos entre 30% e 100%, de acordo com diferentes cenários climáticos do IPCC (Hirata; Conicelli, 2012).

4.4.3.2 Alterações em lagos, lagoas e lagunas

Fatores atmosféricos, como temperatura, umidade, precipitação, evaporação, radiação e ventos, serão fortemente afetados pelas mudanças climáticas, provocando alterações no aquecimento da água, disponibilidade hídrica e intensidade da radiação UV (Souza Filho et al., 2014). O aquecimento da água afeta a estratificação térmica e a mistura da coluna de água, podendo elevar a temperatura do hipolímnio e reduzir a concentração de oxigênio dissolvido. Alterações no regime de ventos também podem impactar a estabilidade térmica das lagoas, enquanto a redução da camada de ozônio e da cobertura de nuvens aumenta a radiação UV, prejudicando comunidades biológicas aquáticas, como cianobactérias, fitoplâncton, macroalgas e macrófitas (Häder et al., 2011). Evidências indicam redução da diversidade nos ecossistemas aquáticos continentais do Brasil, intensificada por poluição, eutrofização, assoreamento, construção de represas, pesca excessiva e introdução de espécies não nativas (Souza Filho et al., 2014). O aumento da decomposição da matéria orgânica e dos fluxos de CO₂, N₂O e CH₄, em conjunto com intensificação de processos de eutrofização, compromete ainda mais a qualidade e dinâmica desses ecossistemas (Jeppesen et al., 2010; Carpenter, 2005).

4.4.3.3 Manguezais e marismas

Ecossistemas costeiros, como manguezais e marismas, são sensíveis às alterações climáticas e hidrológicas. Mudanças na temperatura, regime de precipitação, CO₂ atmosférico, eventos extremos e marés podem afetar esses ambientes, mas o aumento do nível do mar é o principal fator de impacto, alterando a zona entremarés, frequência de inundação e dinâmica sedimentar. A ocupação humana intensifica esses efeitos, limitando espaço para migração e alterando aporte de sedimentos, volume de água subterrânea e descarga de nutrientes e poluentes (Souza Filho et al., 2014).

4.4.3.4 Ecossistemas marinhos

O aquecimento global impacta ecossistemas marinhos em todo o mundo, inclusive na costa brasileira, devido ao armazenamento de calor nos oceanos. Esse fenômeno provoca aumento da temperatura da camada superficial, expansão térmica da água e elevação do nível do

mar (Souza Filho et al., 2014). Além disso, eutrofização e acidificação das águas podem prejudicar organismos calcificantes, como moluscos e crustáceos, e gerar áreas hipóxicas ou anóxicas (Howarth et al., 2011; Ngatia et al., 2019). O Quadro 7 resume os principais impactos.

Quadro 7 – Principais impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos e ecossistemas aquáticos.

Recurso / Ecossistema	Impactos esperados	Consequências
Rios e bacias hidrográficas	Redução de vazão no Nordeste e Amazônia; aumento no Sul e Sudeste	Escassez de água, impacto na agricultura e geração de energia
Aquíferos subterrâneos	Redução das recargas no Nordeste e Norte; aumento no Sul e Sudeste	Alteração da disponibilidade de água para consumo e agricultura
Lagos, lagoas e lagunas	Aquecimento da água, redução de oxigênio, maior radiação UV	Alteração de biotas aquáticas, redução da biodiversidade
Manguezais e marismas	Aumento do nível do mar, alterações na inundação e sedimentação	Perda de habitat, vulnerabilidade à ocupação humana
Ecossistemas marinhos	Elevação da temperatura, acidificação e eutrofização	Hipóxia/anóxia, prejuízo a organismos calcificantes e pesca

Quadro elaborado com base em: Souza Filho et al. (2014); Hirata; Conicelli (2012); Häder et al. (2011); Jeppesen et al. (2010); Carpenter (2005); Howarth et al. (2011); Ngatia et al. (2019)

5. Conclusões

Com base na revisão de literatura realizada, conclui-se que as mudanças climáticas já vêm provocando impactos significativos na sociedade brasileira e nos recursos hídricos, impactos estes que tendem a se intensificar nas próximas décadas. Entre os efeitos observados destacam-se eventos meteorológicos extremos, elevação gradual da temperatura do ar, aumento das concentrações de gases de efeito estufa, alterações nos padrões diários e sazonais de temperatura, além da elevação do nível do mar. Esses fenômenos afetam diretamente ecossistemas terrestres, aquáticos e marinhos, com reflexos especialmente na agropecuária, no setor energético e na disponibilidade de água. Os impactos sociais incluem o aumento de doenças relacionadas à poluição do ar e da água, como infecções bacterianas e respiratórias, bem como a diminuição do bem-estar social devido à ruptura de setores econômicos, turísticos e de lazer. Nos recursos hídricos, espera-se redução de volumes de água em rios e reservatórios em regiões mais vulneráveis, enquanto algumas regiões poderão registrar aumento das vazões, demandando adaptação do sistema agrícola e das populações dependentes. Além disso, alterações físico-químicas em ambientes aquáticos, como temperatura, salinidade, concentração de nutrientes e gases dissolvidos, associadas à poluição, poderão intensificar fenômenos de eutrofização e degradar a qualidade da água.

Diante desses desafios, este estudo demonstrou a relevância de medidas de adaptação e mitigação, como o uso eficiente da água, a implementação de infraestrutura resiliente, a conservação de ecossistemas e a diversificação de fontes de água. Ressalta-se também a importância da conscientização e articulação coletiva entre governo, setor privado e sociedade civil, fundamentais para reduzir os impactos negativos e promover a resiliência dos recursos hídricos. Dessa forma, o objetivo do estudo foi plenamente atendido, uma vez que foi possível analisar os impactos das mudanças climáticas sobre a sociedade e os recursos hídricos, sintetizando informações científicas relevantes e evidenciando áreas prioritárias de atenção e intervenção. Para trabalhos futuros, recomenda-se: estudos regionais detalhados, com monitoramento contínuo.

nuo de variáveis meteorológicas, hidrológicas e de qualidade da água, para identificar vulnerabilidades específicas; modelagem integrada que combine cenários climáticos, uso da terra e dinâmicas sociais, permitindo avaliar impactos futuros e testar estratégias de adaptação; avaliação de políticas públicas e medidas de mitigação em diferentes escalas, visando a eficiência no gerenciamento de recursos hídricos frente às mudanças climáticas; e investigação de impactos na saúde humana em diferentes contextos climáticos e sociais, permitindo a proposição de ações preventivas mais eficazes. Em suma, reconhecer os desafios impostos pelas mudanças climáticas e implementar estratégias integradas é fundamental para promover a resiliência dos ecossistemas, assegurar a disponibilidade hídrica e avançar em direção a um futuro sustentável.

6. Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão de bolsa de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

7. Referências bibliográficas

ALVALÁ, R. C. S. Mudanças Climáticas na Esfera Nacional. In: PBMC. PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Impactos, vulnerabilidade e adaptação**. 1 ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014. p. 22 - 40. (Relatório Técnico).

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Disponibilidade hídrica**. Brasília: ANA, 2010.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos**. Brasília: ANA, 2023.

ARTAXO, P. Mudanças climáticas: caminhos para o Brasil. **Ciência e Cultura**, [S.L.], v. 74, n. 4, p. 1-14, 2022.

BATISTA, L. S. dos.; KUMADA, K. M. O. Análise metodológica sobre as diferentes configurações da pesquisa bibliográfica. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, v. 8, n. 1, p. 1-17, jul. 2021.

BINDOLFF, N. L. Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional. In: IPCC. THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. 5 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 867 - 922. (Relatório Técnico).

CARMO, R. L.; NUNES, L. H. Climate change and human activities in Brazil with emphasis on the coastal zone. **Terra**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 40-45, 2008.

CARPENTER, S. R. Eutrophication of aquatic ecosystems: Bistability and soil phosphorus. **National Academy Of Sciences**, Madison, v. 102, n. 9, p. 10002-10005, 2005.

CIAMPITTIELLO, Marzia; MARCHETTO, Aldo; BOGGERO, Angela. Water Resources Management under Climate Change: a review. **Sustainability**, [S.L.], v. 16, n. 9, p. 1-14, 25 abr. 2024.

COSTA, E. Q. da; BAPTISTA; J. S.; DIOGO, M. T. Adaptação climática, metabolismo, e produtividade. In: CONGRESSO LUSO-MOÇAMBICANO DE ENGENHARIA, 6., 2011, Maputo. **Anais [...]**. Maputo: Edições INEGI, 2011. 12 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manejo de Recursos Hídricos**. Brasília: EMBRAPA, 2024.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 601 p., 1998.

FERREIRA, N. J. CAVALCANTI, I. F. A. (Orgs.). **Sistemas Meteorológicos Atuentes no Brasil**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2022. 122 p.

GETIRANA, A.; LIBONATI, R.; CATALDI, M. Brazil is in water crisis — it needs a drought plan. **Nature**, Londres, v. 600, p. 218-220, dez. 2021.

GHOSH, S.; CHATTERJEE, S.; PRASAD, G. S.; PAL, P. Effect of Climate Change on Aquatic Ecosystem and Production of Fisheries. **Intechopen**, Rijeka, p. 1-12, out. 2020.

HADDAD, E. *et al.* Impacto plurissetorial, risco, vulnerabilidade e oportunidade. In: PBMC. PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Impactos, vulnerabilidade e adaptação**. 1 ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014. p. 312-334. (Relatório Técnico).

HÄDER, D. P. *et al.* Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with climate change. **Photochemical & Photobiological Sciences**, Berlim, v. 10, n. 2, p. 242-260, 2011.

HEGERL, G. C. *et al.* Causes of climate change over the historical record. **Environmental Research Letters**. Bristol, v. 14, n. 12, p. 1 - 25, 2019.

HIRATA, R.; CONICELLI, B.P. Groundwater resources in Brazil: a review of possible impacts caused by climate change. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 84, n. 2, p. 297 - 312, 2012.

HOUGHTON, J.T.; JENKINS, G.J.; EPHAUMIS, J.J. Climate Change: the IPCC Scientific Assessment. 1 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 414 p. (Relatório Técnico).

HOWARTH, R. *et al.* Coupled biogeochemical cycles: Eutrophication and hypoxia in temperate estuaries and coastal marine ecosystems. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 9, n. 1, p. 18-26, 2011.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. 1 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 176 p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. 1 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 176 p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativa da população residente no Brasil e unidades da federação**. Rio de Janeiro: IBGE. 2020.

IPCC. THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. 5 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1585 p. (Relatório Técnico).

IPCC. THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**. 1 ed. In Press, 2019. 765p. (Relatório Técnico).

IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2021.

IPCC. THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Synthesis Report of The IPCC Sixth Assessment Report (AR6) - Longer Report**. 2023. (Relatório Técnico).

JEPPESEN, E. *et al.* Interaction of climate change and eutrophication, In: KERNAN, M.; BATTARBEE, R.W.; MOSS, B. (Eds.). **Climate Change Impacts on Freshwater Ecosystems**. Hoboken: Wiley Blackwell Publishing, 2010. p. 119-151.

JONES, W. M. *et al.* National contributions to climate change due to historical emissions of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide since 1850. **Scientific Data**, Londres, v. 10, n. 155, p. 1 - 23, mar. 2023.

KANG, R. S.; MARSTON, R. A. Geomorphic effects of rural-to-urban land use conversion on three streams in the Central Redbed Plains of Oklahoma. **Geomorphology**, v. 79, p. 488-506. 2006.

MARGULIS, S.; DUBEUX, C.B.S; MARCOVITCH, J. (Coord.). **Economia da mudança do clima no Brasil: Custos e oportunidades**. 1 ed. São Paulo: IBEP gráfica, 2010. 82 p.

MARGULIS, S.; DUBEUX, C.B.S; MARCOVITCH, J. (Org.). **Economia da mudança do clima no Brasil**. 1 ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2011. 332 p.

MENEZES, J. P. C. **Influência do uso e ocupação da terra na qualidade da água subterrânea e sua adequação para consumo humano e uso na agricultura**. 2012. 83 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegrete, 2012.

MONTAGNER, C. C.; VIDAL, C.; ACAYABA, R. D. Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, [s.l], v. 40, n. 9, p. 1094-1110, 2017.

NGATIA, L. et al. Nitrogen and Phosphorus Eutrophication in Marine Ecosystems. In: Fouzia, H.B. **Marine Ecosystems, Monitoring of Marine Pollution**. [S.I.]: IntechOpen, 2019.

NEGREIROS, M. V. de; SOLDERA, B. C. Água: desafios climáticos, impactos e a emergência como recurso estratégico. **Holos Environment**, [S.L.], v. 24, n. 1, p. 28-45, 2 nov. 2024.

Observatório do Clima. **Brasil precisa reduzir 92% das emissões de gases até 2035**. 2024. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/>. Acesso em: 13 set. 2025.

ODS Brasil. **Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2023. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/>. Acesso em: 10 maio 2023.

PNSH. PLANO NACIONAL DE SEGURANÇA HÍDRICA. **O Índice de Segurança Hídrica (ISH)**. Brasília: ANA, 2023.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Dossiê Água**, São Paulo, v. 63, n. 22, p. 43-63, 2008.

SALDIVA, P. H. N. *et al.* Saúde humana, bem-estar, e segurança. In: PBMC. PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Impactos, vulnerabilidade e adaptação**. 1 ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014. p. 262 - 311. (Relatório Técnico).

SCANLON, B. R. *et al.* Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future. **Nature**, Londres, v. 4, p. 87-101, jan. 2023.

SANTOS, K. A. *et al.* Mudanças morfológicas na bacia hidrográfica do Córrego Barreiro ao longo do processo de urbanização, Goiânia – GO. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 13, p. 1-17, 2021.

SEEG, Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima. **Panorama das emissões brasileiras em 2023**. 2023. Disponível em: <https://seeg.eco.br/>. Acesso em: 13 set. 2025.

SILVA, W. R.; SILVA, M. R.; PIRES, T. B. O uso sustentável e a qualidade da água na produção animal. **Nutritime**, [s. l], v. 11, n. 5, p. 3617-3636, 2014.

SILVEIRA, A. L.; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. F. Infiltração e Armazenamento no Solo. In: **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, p.335-372, 2000.

SOUZA FILHO, F. A. de. *et al.* Recursos naturais, manejo e uso de ecossistemas. In: PBMC. PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Impactos, vulnerabilidade e adaptação**. 1 ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014. p. 41 - 195. (Relatório Técnico).

S, Sukanya; JOSEPH, Sabu. Climate change impacts on water resources: an overview. **Visualization Techniques For Climate Change With Machine Learning And Artificial Intelligence**, [S.L.], p. 55-76, 2023.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**, 2. ed. São Carlos: Editora Rima, 2005.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**: São Paulo, n.70, p. 24-35, 2003.

UFNCCC. UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Article 1: definitions**. Bonn: UFNCCC, 1992.

USAID. UNITED STATES AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT. **Climate Risk Profile - Brazil**. Washington: USAID, 2018.

USAID. UNITED STATES AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT. **Greenhouse Gas Emissions in Brazil**. Washington: USAID, 2019.

VENIZIANI JÚNIOR, J. C. T. **As relações entre precipitação, vazão e cobertura vegetal nas sub-bacias dos rios Jacaré-Pepira e Jaú**. 199 p. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2018.

WBG. WORLD BANK GROUP. **Brazil Climatology**. Washington: WBG, 2021. ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **O que são Mudanças Climáticas?** New York: ONU, 2023.

ZILLI, M. *et al.* The impact of climate change on Brazil's agriculture. **Science of the total Environment**, Amsterdam, v. 740, n. 139384, p. 1-13 out. 2020.