

Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS: DESAFIOS E IMPLICAÇÕES PARA A HUMANIDADE

Reinaldo Dias¹; Fernanda Matos²

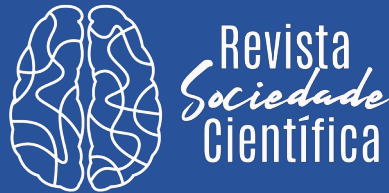
¹Unicamp, Campinas, Brasil
reinaldias@gmail.com

²NEOS/UFMG, Belo Horizonte, Brasil
fcmatosbh@gmail.com

RESUMO

Este artigo aprofunda as repercussões multifacetadas das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos, enfatizando os desafios críticos que a humanidade enfrenta. Iniciando com uma visão do cenário predominante das mudanças climáticas, o estudo estabelece o pano de fundo para uma exploração mais detalhada do papel crucial e da importância dos recursos hídricos nos ecossistemas globais e nas civilizações humanas. Como evidência, o artigo lança luz sobre a evolução dos padrões de precipitação, o rápido derretimento das geleiras e as taxas crescentes de evaporação – todos os quais são indicadores potentes das alterações na disponibilidade e pureza da água em diversas zonas geográficas. Para oferecer uma perspectiva mais tangível, o artigo introduz estudos de caso regionais, ressaltando o amplo espectro de ramificações socioeconômicas. Estes vão desde os crescentes desafios na garantia da segurança alimentar até as perspectivas inquietantes de migrações populacionais maciças e o espectro iminente de conflitos sobre a diminuição das reservas de água. Como ponto alto dessa extensa pesquisa, o artigo fornece um conjunto de recomendações estratégicas voltadas para mitigação e adaptação. Acentua a necessidade premente de uma resposta global unificada, para enfrentar os desafios relacionados com os recursos hídricos diante da intensificação das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Aquecimento global. Recursos hídricos. Água.



Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON WATER RESOURCES: CHALLENGES AND IMPLICATIONS FOR HUMANITY

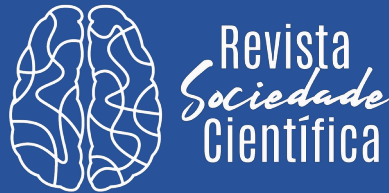
ABSTRACT

This article delves deeply into the multifaceted repercussions of climate change on the world's water resources, emphasizing the critical challenges that humanity faces. Initiating with an in-depth view of the prevailing scenario of climate change, the study sets the backdrop for a more detailed exploration of the crucial role and importance of water resources in global ecosystems and human civilizations. As evidence, the article sheds light on evolving precipitation patterns, the rapidly melting glaciers, and the escalating rates of evaporation — all of which are potent indicators of the alterations in water availability and purity across diverse geographical zones. To offer a more tangible perspective, the paper introduces regional case studies, underscoring the broad spectrum of socioeconomic ramifications. These span from the mounting challenges in ensuring food security to the unsettling prospects of massive population migrations and the looming specter of conflicts over dwindling water reserves. As a highlight of this extensive research, the article provides a set of strategic recommendations aimed at mitigation and adaptation. It emphasizes the pressing need for a unified global response to address the challenges related to water resources in the face of intensifying climate change.

Keywords: Climate change. Global warming. Water resources. Freshwater.

1 INTRODUÇÃO

As alterações climáticas são uma realidade que têm dominado a discussão científica e política desde o início deste século. O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC²⁵) destaca que a Terra está enfrentando um aumento significativo nas temperaturas médias, que está principalmente ligado às atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis, desmatamento e

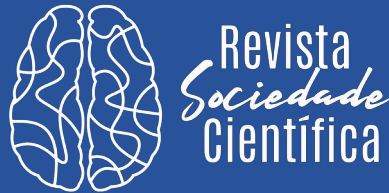


industrialização. Bilhões de pessoas e a natureza globalmente, estão sendo afetadas pelas mudanças climáticas, apesar dos esforços para minimizar os impactos. Populações e ecossistemas mais vulneráveis enfrentam as consequências mais severas. As ondas de calor, tempestades, secas, inundações e outros fenômenos, incluindo a elevação do nível do mar, estão comprometendo a saúde, propriedade e infraestrutura, como sistemas energéticos e transportes. Fatos extremos de clima, como ondas de frio e calor intenso, tempestades mais intensas e secas extensas, são evidências claras dos efeitos do clima (IPCC²⁶).

Os recursos hídricos representam um pilar fundamental para a sobrevivência e prosperidade humana. Desde o início das civilizações, a presença de água tem sido um determinante crítico para o estabelecimento e crescimento das sociedades. Ela não apenas sustenta a vida diretamente, através do consumo, mas também é crucial para a produção de alimentos, geração de energia e para várias atividades industriais (Vorosmarty et al.⁵⁶).

O aquecimento global tem consequências diretas nas mudanças climáticas, ecossistemas e recursos hídricos. A elevação, mesmo que mínima, do nível do mar potencializa inundações globais e a temperatura elevada dos corpos d'água desequilibra os ecossistemas aquáticos, gerando surtos de algas e propagação de patógenos. Até 2050, projeções indicam que 685 milhões de habitantes de mais de 570 cidades enfrentarão reduções no abastecimento de água doce devido ao aquecimento. A escassez hídrica se agravará, com 52% da população global vivendo em regiões com carência de água na mesma época (Gupta et al²⁰).

Portanto, qualquer ameaça à disponibilidade ou qualidade desses recursos tem implicações profundas para a segurança humana, prejudicando o bem-estar humano e podem contribuir para a instabilidade política, conflitos violentos, deslocamento e migrações de populações humanas, além da possibilidade de insegurança alimentar aguda, que em decorrência pode minar a segurança nacional, regional e até global (Gleick & Iceland¹⁹).



Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

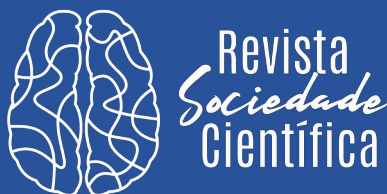
O presente artigo visa discutir os impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos globais. Através de uma análise da ciência das mudanças climáticas, foi examinado como os padrões de precipitação, o derretimento das geleiras, a evaporação e outros fenômenos estão afetando a disponibilidade e qualidade da água em diferentes regiões do mundo. Além disso, abordou-se as implicações socioeconômicas desses impactos e analisou-se estudos de caso de regiões particularmente vulneráveis. Por fim, propôs-se estratégias de mitigação e adaptação para enfrentar esses desafios emergentes.

2 METODOLOGIA

Nesta pesquisa, adotou-se um duplo método de investigação: análise sistemática da literatura e exame de dados já publicados. A escolha desta combinação deve-se ao fato de que a análise sistemática oferece uma visão abrangente sobre publicações anteriores referentes ao assunto, enquanto o exame de dados preexistentes traz suporte empírico, corroborando ou ampliando as descobertas da revisão.

Na análise sistemática, utilizou-se uma busca criteriosa em bases de dados como Web of Science, Scopus, Google Scholar, Academia.edu e Research Gate. Palavras-chave relevantes como "mudança climática", "recursos hídricos", "elevação do nível do mar", "seca", "inundação", entre outras, direcionaram o levantamento. Tal revisão se destaca pela sua rigorosidade, transparência e amplitude, possibilitando uma avaliação detalhada da literatura relacionada aos tópicos de interesse. Através da identificação e avaliação consistente de pesquisas relevantes, pode-se obter uma visão clara do panorama atual, percebendo possíveis lacunas e apontando para futuras áreas de investigação.

A exploração de dados secundários, que abrange pesquisas anteriores, relatórios e publicações acadêmicas, é válida devido ao vasto volume de informações sobre o assunto. Esta técnica permite uma compreensão mais amplificada, superando limitações comuns na coleta de dados originais, como restrições de tempo, local e recursos. Os dados preexistentes facilitam o acesso a uma variedade mais ampla de informações,



Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

enriquecendo assim o estudo. Além disso, esta abordagem é conveniente e eficaz, uma vez que evita a coleta de dados, que pode ser tanto demorada quanto onerosa.

Para assegurar a integridade e precisão dos dados preexistentes, foram estabelecidos critérios rigorosos de seleção, priorizando artigos avaliados por especialistas, documentos oficiais e publicações de fontes reconhecidas. A data de publicação também foi levada em consideração, com um enfoque em informações mais atualizadas, garantindo a pertinência das descobertas. Além disso, cada documento foi meticulosamente avaliado quanto à sua robustez metodológica e alinhamento com os objetivos da pesquisa.

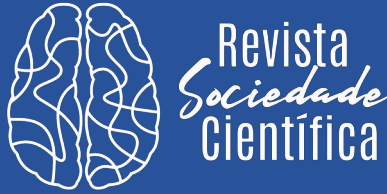
3 DISCUSSÃO

3.1 A CIÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O aquecimento global é uma das manifestações mais notáveis das mudanças climáticas e refere-se ao aumento das temperaturas médias da Terra, principalmente em resultado das atividades humanas. Desde o início da Revolução Industrial, a concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, particularmente o dióxido de carbono (CO_2), tem aumentado substancialmente, criando uma cobertura que retém mais calor na atmosfera terrestre (Trenberth et al.⁵⁰). Além do CO_2 , outros GEEs, como o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), também têm contribuído para este fenômeno. De acordo com a ONU (2023) as causas principais do aquecimento global são:

I. *Geração de Energia*: A queima de combustíveis fósseis, predominantemente carvão, petróleo e gás, para produção de eletricidade e calor é uma fonte primária de emissões. Apenas 25% da eletricidade global vem de fontes renováveis.

II. *Fabricação de Produtos*: A indústria, que utiliza combustíveis fósseis para produzir diversos itens, desde cimento até plástico, contribui significativamente para as emissões de gases de efeito estufa.



Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

III. *Desmatamento*: A remoção de florestas, que agem como sumidouros de carbono, resulta em emissões elevadas. Estas ações são responsáveis por cerca de 25% das emissões globais.

IV. *Transporte*: Movido majoritariamente por combustíveis fósseis, o setor de transporte, incluindo carros, navios e aviões, é um grande emissor, com veículos rodoviários liderando o segmento.

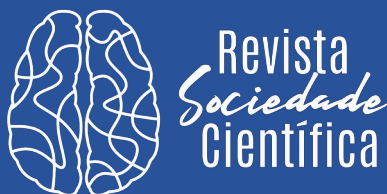
V. *Produção de Alimentos*: Desde o desmatamento até o uso de fertilizantes, a produção de alimentos é uma fonte crucial de emissões. A embalagem e distribuição também têm impactos.

VI. *Energia nos Edifícios*: Prédios em todo o mundo consomem mais da metade da eletricidade global, e a crescente demanda por aquecimento e resfriamento resulta em mais emissões.

VII. *Consumo Excessivo*: Estilos de vida, especialmente dos mais ricos, influenciam diretamente as emissões. O consumo individual, desde a mobilidade até a compra de produtos, tem consequências significativas, com o 1% mais rico emitindo mais do que os 50% mais pobres.

Apesar das mudanças climáticas serem um tema urgente globalmente, adaptar-se a elas a longo prazo é complexo devido às consideráveis variações regionais dessas mudanças. Tais variações incluem diferenças na intensidade do aumento da temperatura dependendo da latitude e alterações nas precipitações, com regiões úmidas recebendo mais chuva e áreas secas experimentando reduções. Além disso, as consequências dessas transformações são vastas, desde secas prolongadas inesperadas até inundações mais recorrentes (Wang et al⁵⁸).

As projeções indicam um aumento de temperatura entre 1,5°C a 4°C até o final do século, dependendo do cenário (Collins et al¹¹). Tal variação tem implicações significativas, não apenas para o clima global, mas também para os sistemas ecológicos, os padrões de precipitação e, conseqüentemente, os recursos hídricos.

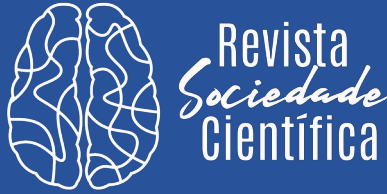


3.2 RECURSOS HÍDRICOS – UMA VISÃO GERAL

As mudanças climáticas colocam em risco todos os ecossistemas terrestres, incluindo as espécies e serviços que beneficiam os humanos. Embora os corpos de água doce representem uma pequena porção do planeta, eles abrigam cerca de 7% da biodiversidade global. Esses ecossistemas estão entre os mais vulneráveis, enfrentando ameaças como contaminação, mudanças climáticas e represamento. Muitas nascentes são exploradas para consumo humano, e lagos em áreas específicas são impactados pelo aquecimento e poluição atmosférica. Frequentemente, as zonas húmidas são vistas como inúteis e são transformadas, ignorando seu valor ecológico (Cantonati et al⁹).

Abrangendo aproximadamente 71% da superfície terrestre, a água salina, especialmente os oceanos, é crucial para a regulação climática e conservação da biodiversidade marinha. Dividido em cinco principais bacias - Pacífico, Atlântico, Índico, Ártico e Antártico - o oceano alberga 97% da água global e sustenta 90% da biosfera terrestre. Ele desempenha um papel essencial ao atenuar mudanças climáticas, gerar oxigênio e fornecer alimento e oportunidades econômicas. Apesar de sua vastidão, apenas 5% do oceano foi explorado, deixando grande parte, sobretudo as profundezas, desconhecidas (Fava¹⁷).

As águas subterrâneas, armazenadas em aquíferos, são fundamentais, sobretudo em áreas áridas, servindo como reservas vitais de água. Enquanto a irrigação, crucial para o cultivo quando as chuvas são insuficientes, depende majoritariamente de águas superficiais globalmente, em regiões mais secas a água subterrânea se torna a fonte predominante. Mais de 40% dos cereais mundiais provêm de terras irrigadas, e destas, cerca de 54% são alimentadas por águas superficiais. No entanto, 114 milhões de hectares são irrigados com água subterrânea globalmente. Por exemplo, na Planície do Norte da China, 73% da irrigação provêm de aquíferos, enquanto nos EUA, este número chega a 60%. Assim, um aquífero pode ser visto como um reservatório subterrâneo, similar em função aos reservatórios de superfície (Tian et al⁴⁸).

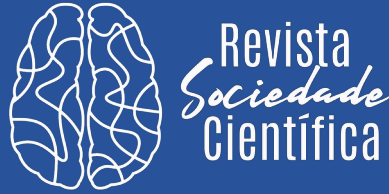


Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

A água apresenta inúmeras utilidades, sendo utilizada para consumo, para o cultivo e a produção de alimentos e de energia, para transporte e como símbolo político e cultural (valores religiosos e culturais), além de possibilitar locais de entretenimento, seja para recreação ou turismo (tais como em lagos e cachoeiras), dentre outras aplicações. Atrelada às utilidades e aos benefícios citados, há uma constatação basilar: sem água, não há vida. Para a manutenção da vida, e usufruto de todos os seus benefícios/utilizações, faz-se necessário buscar a conservação e a preservação ambiental e da água. As mudanças ocorridas no último século, como o aumento da população, da urbanização, da produção de alimentos e das atividades industriais, dentre outras, levaram a uma maior demanda pelo uso da água, além da poluição dos corpos hídricos o que também compromete sua utilização (Matos³³)

A água é fundamental para diversos setores do desenvolvimento humano, desde a saúde até a educação e proteção ambiental. No entanto, bilhões ainda carecem de acesso a água potável e saneamento adequado, levando a consequências negativas como doenças e perda de produtividade. Essa crise se agrava com a crescente demanda por água de diversos setores e pela poluição exacerbada por águas residuais não tratadas, tudo em meio às incertezas das mudanças climáticas.

A água doce é vital para o desenvolvimento sustentável e a economia, sendo central para setores como agricultura, indústria e geração de energia. Ecossistemas aquáticos sempre sustentaram civilizações devido a seus múltiplos benefícios. Contudo, desafios como crescimento populacional, urbanização e mudanças climáticas estão comprometendo a capacidade desses sistemas. Estima-se que, diante da degradação contínua, vastas parcelas do PIB (Produto Interno Bruto - representa a soma de todos os bens e serviços finais produzidos numa determinada região, durante um período determinado) e da população global estarão em risco até 2050, com as comunidades mais vulneráveis enfrentando o maior impacto. A agricultura é o principal consumidor de água, seguido pela indústria e uso doméstico. Infelizmente, uma significativa



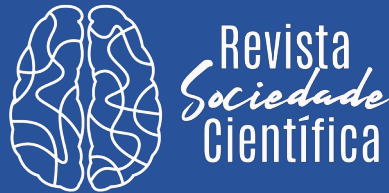
quantidade de águas residuais retorna aos ecossistemas sem tratamento, comprometendo ainda mais a qualidade e disponibilidade de recursos hídricos (UNWATER, 2018).

3.3 PADRÕES E USOS ATUAIS DOS RECURSOS HÍDRICOS GLOBALMENTE

Nos últimos 50 anos, a disponibilidade de recursos hídricos, em quantidade e em qualidade suficientes exponencialmente, se tornou objeto de preocupação da sociedade como um todo. Considera-se que as previsões de crescimento populacional e econômico e as mudanças climáticas sugerem uma pressão contínua sobre os recursos hídricos.

Os padrões de uso dos recursos hídricos têm mudado ao longo do tempo, refletindo as necessidades das populações em crescimento e o desenvolvimento industrial. A agricultura continua a ser o maior consumidor de água doce, seguida pelo uso doméstico e industrial (Hoekstra & Mekonnen²²). Em algumas regiões, a sobre-extração de aquíferos subterrâneos para a irrigação agrícola tem levantado preocupações sobre a sustentabilidade desses recursos (Wada et al⁵⁷). Além disso, o acesso desigual à água potável e saneamento ainda é uma preocupação em muitas partes do mundo, destacando a necessidade de uma gestão equitativa e sustentável dos recursos hídricos.

Um relatório da UNICEF e da Organização Mundial da Saúde (UNICEF/WHO⁵²) revela que bilhões ainda sofriam com a falta de água, saneamento e higiene. Globalmente, 2,2 bilhões de pessoas careciam de acesso a água potável segura, 4,2 bilhões não tinha saneamento adequado e 3 bilhões não possuíam instalações básicas para higienização das mãos. Apesar de progressos desde 2000, com 1,8 bilhões ganhando acesso à água potável e 2,1 bilhões a saneamento, desigualdades gritantes persistem. Dez por cento da população mundial ainda carece de água básica, com 8 em cada 10 destas pessoas em áreas rurais. Quanto ao saneamento, 2 bilhões ainda são desprovidos, com grande parte em zonas rurais e em países menos desenvolvidos. Alarmantemente, 3 bilhões de indivíduos não tinham como lavar as mãos



Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

adequadamente em 2017, contribuindo para a morte de 297.000 crianças menores de 5 anos anualmente devido a doenças relacionadas.⁵²

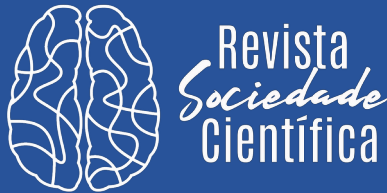
Papéis relativos a gênero não apenas determinam como homens e mulheres são afetados pela forma como os recursos hídricos são desenvolvidos e geridos. Como destaca Selborne⁴⁵, as mulheres, em particular, estão mais expostas ao impacto imediato dos desastres, são mais afetadas pela interrupção da vida doméstica e, provavelmente, terão menos acesso aos recursos do que os homens, na fase da recuperação. Não apenas, as mulheres enfrentam riscos mais elevados e maior sobrecarga dos impactos das mudanças climáticas em situações de pobreza, como a maioria dos pobres do mundo são mulheres. A participação desigual das mulheres nos processos de tomada de decisão e nos mercados de trabalho compõe desigualdades e geralmente impede que as mulheres contribuam totalmente para o planejamento, formulação de políticas e implementação relacionadas ao clima (UNFCCC⁵³), e conseqüentemente para a gestão das águas.

3.4 IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS

De acordo com diversos estudos (IPCC^{24 25}; PNUD/SAE/FCPC⁴⁰, UNESCO⁵¹), as mudanças climáticas indicam alterações no comportamento histórico das chuvas, além da redução da quantidade e da qualidade destas águas, o que pode ameaçar o suprimento deste recurso e contribuir para a ampliação dos conflitos pelo seu uso.

3.4.1 MUDANÇAS NOS PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO

As mudanças climáticas têm causado alterações nos padrões globais de precipitação, levando a períodos prolongados de seca em algumas regiões e intensificação das chuvas em outras (Trenberth⁴⁹). Com o avanço do aquecimento global, espera-se um aumento na precipitação extrema em várias regiões, já que o vapor de água na atmosfera, essencial para a chuva, cresce em torno de 6-7% para cada grau de elevação na temperatura. Este aumento na intensidade das chuvas pode levar a



inundações mais frequentes, impactando negativamente ecossistemas, sociedades e a economia (Tabari⁴⁶). A mudança nos padrões de precipitação impacta, especificamente, rios e águas superficiais, bem como as águas subterrâneas.

a. Impacto nas vazões dos rios e águas superficiais. Os padrões alterados de precipitação influenciam as vazões dos rios, podendo resultar em inundações frequentes em algumas regiões e redução do fluxo em outras, impactando ecossistemas e comunidades locais (Dai¹³).

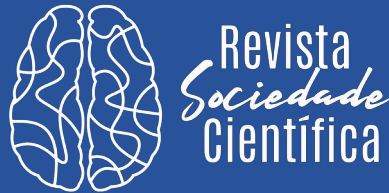
b. Efeitos na recarga de águas subterrâneas. As precipitações desempenham um papel crucial na recarga de aquíferos. Menos precipitação ou chuvas irregulares podem comprometer essa recarga, afetando a disponibilidade de água subterrânea a longo prazo (Taylor et al.⁴⁷).

3.4.2 DERRETIMENTO DAS GELEIRAS E REDUÇÃO DA MASSA DE NEVE

O aquecimento global tem levado ao derretimento acelerado das geleiras e à redução da cobertura de neve em muitas partes do mundo, especialmente em altas altitudes (Immerzeel et al.²³).

a. O papel das geleiras no abastecimento da água doce. Geleiras atuam como reservatórios naturais, liberando água durante os meses mais quentes. Sua diminuição ameaça o fornecimento de água para bilhões de pessoas, especialmente na Ásia e na América do Sul (Pritchard⁴¹).

O recuo e desaparecimento de glaciares em montanhas globais são evidências contundentes do aquecimento terrestre. 2020 marcou o 33º ano seguido em que, segundo o Serviço Mundial de Monitoramento de Glaciares (WGMS), os glaciares perderam gelo. Esses glaciares remanescentes datam da última era glacial, tendo movimentado-se por continentes e se estabilizado nas regiões polares há cerca de 10.000 anos. Embora mantos de gelo ainda cubram Groenlândia e Antártica, muitos glaciares reduziram-se a zonas montanhosas. Em locais como o oeste dos EUA, América do Sul, China e Índia, os glaciares servem como reservatórios congelados,

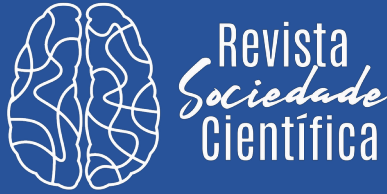


essenciais para o abastecimento de água de milhões e para os ecossistemas circundantes. A rápida retração, devido às mudanças climáticas, apresenta desafios significativos para a humanidade e o meio ambiente (Pelto & WGMS³⁹).

b. Neve em declínio e suas implicações. A neve é crucial para o clima global e o ciclo da água, influenciando o equilíbrio energético da Terra, atmosfera e condições do solo. Através do seu feedback de albedo (índice de reflexão dos raios solares. Quanto maior a reflexão, menor será o calor acumulado), equilibra a temperatura atmosférica e afeta as condições climáticas. Hidrologicamente, a neve acumula água no inverno e a libera durante o derretimento na primavera, beneficiando mais de um bilhão de pessoas que dependem dessa água e dos serviços ecossistêmicos associados. Com o aquecimento global, as mudanças na temperatura e precipitação já afetaram a acumulação e características da neve mundialmente. Aumentos de temperatura levam a menos dias frios, menos neve e mais chuvas no inverno, resultando em menos retenção de água e escassez no início do verão em zonas frias. No entanto, o declínio na cobertura de neve pode amplificar o aquecimento devido ao menor albedo. Futuras previsões apontam que a relação entre precipitação e derretimento no inverno determinará se a acumulação de neve aumentará ou diminuirá com as mudanças climáticas (Irannezhad et al²⁷).

3.4.3 AUMENTO DAS TAXAS DE EVAPORAÇÃO E TRANSPIRAÇÃO

O aumento das temperaturas leva a taxas elevadas de evaporação, afetando os níveis de água em reservatórios e lagos e aumentando o estresse hídrico em plantas. O efeito estufa, intensificado pelos gases de estufa, provoca o aumento da temperatura média global, repercutindo diretamente nas fronteiras climáticas. Esse aquecimento tem consequências como diminuição das chuvas, esgotamento das águas subterrâneas, lagoas secas e redução do escoamento superficial. Em combinação com o crescimento populacional e a urbanização, essas alterações climáticas ameaçam a vida humana, o meio ambiente e, principalmente, os recursos hídricos - essenciais para a sobrevivência.



Nas zonas áridas e semiáridas, onde os ecossistemas são particularmente frágeis, a perda de água é ampliada pela evaporação, colocando em risco a continuidade desses habitats (Bazzi et al⁷).

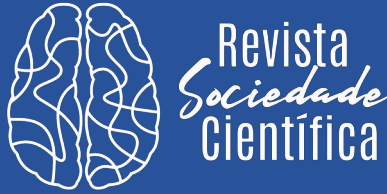
3.4.4 A SUBIDA DO NÍVEL DO MAR E A INTRUSÃO DE ÁGUA SALGADA NAS FONTES DE ÁGUA DOCE

O aumento do nível do mar resultante do derretimento do gelo polar e da expansão térmica dos oceanos ameaça contaminar fontes de água doce com água salgada, especialmente em áreas costeiras (Nicholls & Cazenave³⁶).

É amplamente aceito que a elevação do nível do mar, uma das principais consequências das mudanças climáticas, representa uma ameaça significativa para muitos países. As zonas costeiras, lar de cerca de 10% da população global, estão em risco crescente de inundações frequentes e, possivelmente, de submersão permanente. Além disso, com a ascensão do mar, ocorre uma intrusão mais regular e extensa da água salgada em ecossistemas de água doce, aumentando o risco de salinização dos solos costeiros, especialmente devido à maior incidência de marés elevadas e eventos climáticos extremos (Mazhar et al³⁵).

3.4.5 ALTERAÇÕES NA QUALIDADE DA ÁGUA

A variabilidade climática tem um impacto profundo na saúde global, especialmente nos países em desenvolvimento. Essas mudanças, que incluem alterações nos padrões de precipitação, aumento das temperaturas, inundações e secas, afetam os recursos hídricos, exacerbando problemas relacionados a doenças transmitidas pela água, como dengue, chikungunya, malária e cólera. Os países em desenvolvimento são particularmente vulneráveis a esses desafios, com catástrofes climáticas afetando seu crescimento econômico e colocando pressão sobre populações já desprotegidas. Mais de 2,5 bilhões de pessoas estão em risco de contrair dengue, e a demanda global por água e alimentos está projetada para aumentar significativamente até 2050. Desafios como



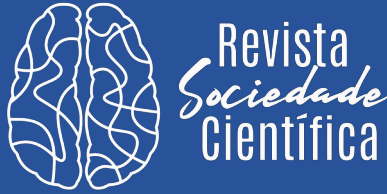
Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

pobreza, distribuição desigual de recursos e má gestão agravam o cenário. A necessidade de estratégias de adaptação e mitigação é evidente, dada a ameaça que a variabilidade climática representa para a saúde pública e a qualidade da água, particularmente em áreas costeiras e recreativas. A gestão sustentável da água emerge como uma prioridade diante dessas mudanças (Ahmed³).

3.4.6 MAIOR OCORRÊNCIA DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

A frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como secas e inundações, estão aumentando. Eventos climáticos extremos, incluindo ondas de calor e incêndios florestais, estão causando danos crescentes à saúde humana e propriedades. Em 2019, ocorreram 396 desastres globais, resultando em perdas de quase \$130 bilhões de dólares. A Ásia foi a região mais impactada, enquanto inundações e tempestades foram os principais causadores. As mudanças climáticas, impulsionadas por emissões humanas e alterações no uso do solo, intensificam esses fenômenos extremos. Os riscos surgem da combinação de perigos naturais, exposição humana e vulnerabilidade das comunidades. Um desastre, definido como um evento que ultrapassa a capacidade de resposta de uma comunidade, não requer necessariamente um evento climático extremo; áreas vulneráveis podem ser gravemente impactadas por eventos moderados. Em 2019, a América do Norte enfrentou desafios significativos, como o furacão Dorian, com perdas de U\$55 bilhões. O aumento dos desastres nas últimas décadas é devido ao aumento da exposição, vulnerabilidade e alterações climáticas. Desde 1980, os EUA sofreram 265 desastres, custando mais de U\$1,775 trilhões e resultando em uma estimativa de 14.223 mortes (Ebi et al¹⁴).

1 *Secas e suas consequências.* Secas prolongadas afetam a disponibilidade de água, reduzem a produção agrícola e podem levar à degradação da terra. A seca, um evento climático que se desenvolve gradualmente, é um dos desastres naturais mais danosos, trazendo consigo consequências como incêndios florestais, escassez de água, perdas agrícolas e aumento nos preços dos alimentos. Os efeitos das secas são sentidos

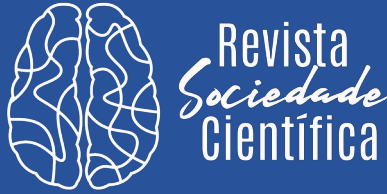


em diversos aspectos, desde a saúde humana até os ecossistemas e recursos hídricos. As mudanças climáticas, combinadas com a degradação do solo, estão intensificando a frequência e gravidade das secas, com um aumento de 29% desde 2000, afetando 55 milhões de pessoas anualmente. Em um cenário onde mais de 2,3 bilhões de pessoas já enfrentam estresse hídrico, as secas representam uma grave ameaça global. Recentemente, agências como a OMM alertaram sobre a ameaça iminente de fome na África Oriental devido à falha de quatro estações chuvosas consecutivas, um fenômeno não registrado há pelo menos 40 anos, afetando regiões da Somália, Quênia e Etiópia (WMO⁵⁹).

2 *Inundações e desafios associados.* Inundações podem causar danos a infraestruturas, perda de vidas e propriedades, e podem contaminar fontes de água potável (Hirabayashi et al., 2013). De acordo com o IPCC, espera-se um aumento nas chuvas intensas, elevando as chances de enchentes e deslizamentos. No Brasil, os estados do Acre, Rondônia, sul do Amazonas e Pará enfrentam riscos maiores de inundações mais frequentes e intensas. Um aquecimento de 1,5°C pode dobrar ou até triplicar a população impactada por inundações em países como Brasil, Argentina e Colômbia, enquanto no Equador esse número poderia aumentar em 300% e no Peru em 400% (IPCC²⁶).

3.5 IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS

Se as emissões de gases do efeito estufa não diminuam significativamente, o impacto econômico das mudanças climáticas até o final do século será devastador. O relatório do IPCC prevê redução na produção agrícola, aumento nos preços das commodities e danos à infraestrutura urbana, levando a uma queda do PIB global de até 23%. Economias maiores, como China e Índia, poderiam ver declínios de até 42% e 92% respectivamente. No Brasil, já afetado por uma redução de 13,5% no PIB devido às mudanças climáticas desde 1991, a queda pode alcançar 83% (IPCC²⁶).



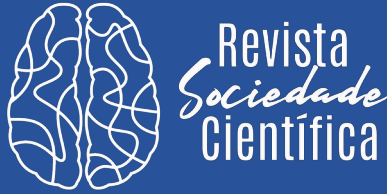
3.5.1 IMPACTOS NA AGRICULTURA E NA SEGURANÇA ALIMENTAR

As mudanças climáticas, com variações na precipitação e aumento das temperaturas, estão diretamente ligadas à produção agrícola, que enfrenta desafios crescentes em manter a produtividade e a segurança alimentar (Lobell et al.³²). A redução da produção agrícola ameaça diretamente o fornecimento de alimentos, com riscos crescentes de perdas de colheitas devido a eventos climáticos extremos, se as emissões não forem controladas, conforme aponta o relatório do IPCC²⁶. Esse cenário, somado à escassez de água, pode intensificar tensões sociais e conflitos. Culturas globais, como o milho, enfrentam até 86% de chance de ter perdas significativas anualmente. No Brasil, setor agrícola vital para o PIB, poderá sofrer grandes impactos: expectativas de queda de 21% na produção de trigo e 10% na de milho, podendo chegar a 71% para o milho no Cerrado, além de desafios na pecuária e pesca²⁶.

A insegurança alimentar é exacerbada por ondas de calor extremo, afetando diretamente a renda diária de milhões. Um estudo da revista *Nature Human Behaviour* (Kroeger³¹) revelou que uma semana de calor intenso na Índia resulta em oito milhões a mais de pessoas enfrentando grave insegurança alimentar. Esse fenômeno é prevalente em zonas tropicais e subtropicais, afetando principalmente aqueles que são pagos por produção, como as mulheres em Bengala Ocidental que, sob extremo calor, podem perder até 50% de seus ganhos diários. Países de baixa renda, com alta concentração de empregos agrícolas, são os mais atingidos. Em 2021, o calor extremo causou a perda de 470 bilhões de horas de trabalho globalmente. O IPCC prevê que, até 2080, centenas de milhões enfrentarão ao menos 30 dias de calor extremo anualmente.³¹

3.5.2 O DESAFIO DOS SISTEMAS URBANOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O rápido crescimento urbano, em conjunto com as mudanças climáticas, cria desafios significativos para os sistemas urbanos de abastecimento de água. As cidades enfrentam o risco de escassez de água e também problemas de qualidade da água. O

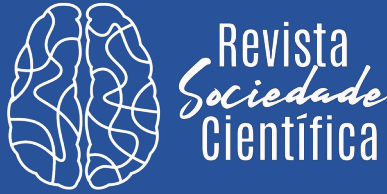


agravamento das mudanças climáticas e a alteração no padrão de chuvas ameaçam os habitantes urbanos, especialmente devido à falta de planejamento e ao crescimento desordenado das cidades. A alta densidade populacional, deficiências de infraestrutura, impermeabilização do solo, escassez de vegetação e o aumento da climatização e transportes individuais intensificam os efeitos climáticos nas áreas urbanas. Esses fatores, combinados com chuvas intensas focadas em pequenas áreas, podem causar danos significativos em zonas com grande impermeabilização do solo (Sarra & Mülfarth⁴⁴).

No Brasil, à medida que os impactos das mudanças climáticas se intensificam, a Região Metropolitana de São Paulo enfrenta potenciais agravamentos em sua crônica escassez de água, seja por enchentes decorrentes de chuvas intensas ou por períodos prolongados de seca que afetam o abastecimento e outros usos vitais. É crucial melhorar a governança da água na região, envolvendo o poder público, a população e as empresas, para planejar proativamente e mitigar futuros efeitos climáticos adversos (Jacobi et al²⁸).

3.5.3 PRODUÇÃO DE ENERGIA

A variabilidade hídrica, consequência das mudanças climáticas, coloca em risco a produção de energia, especialmente a hidrelétrica, que é altamente dependente dos fluxos fluviais. A energia hidrelétrica, principal fonte renovável mundialmente e de destaque na África Ocidental, é vista como solução para combater as mudanças climáticas devido à sua capacidade de reduzir emissões. A região apresenta um crescimento notável nessa energia, mas ainda possui 19% de seu potencial inexplorado, com países como Costa do Marfim tendo vasta capacidade ociosa. Entretanto, a geração hidrelétrica é intrinsecamente ligada à disponibilidade de água, influenciada pelo clima. Variações climáticas, como alterações na precipitação e temperatura, impactam diretamente a capacidade de geração. Eventos extremos, como secas e inundações, agravam essa vulnerabilidade. Globalmente, regiões como Califórnia, Brasil e China



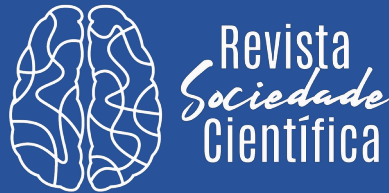
enfrentam desafios similares na geração hidrelétrica devido à instabilidade climática (Obahoundje³⁷).

A principal fonte de eletricidade no Brasil é a hidrelétrica, inserida em uma matriz elétrica majoritariamente renovável, que representou 83% da oferta de eletricidade em 2019. Contudo, essas fontes são sensíveis a variações climáticas. Mudanças nos padrões de chuva e aumento de temperatura afetam o processo hidrelétrico, influenciando a evapotranspiração, o escoamento e a evaporação dos reservatórios. Isso torna a geração hidrelétrica susceptível a eventos extremos, como longas estiagens, apresentando riscos à segurança energética brasileira (Vasquez-Arroyo⁵⁵).

3.5.4 DESLOCAMENTO E CONFLITO POR RECURSOS HÍDRICOS

O estresse hídrico pode levar ao deslocamento de populações, exacerbando tensões e potencialmente levando a conflitos, especialmente em regiões onde os recursos hídricos são compartilhados entre diferentes nações ou grupos (Gleick¹⁸).

Nos últimos anos, houve uma transformação profunda na natureza e escala da migração provocada por fatores ambientais. Esta migração, crescentemente reconhecida, emergiu como um dos desafios centrais do século 21, sendo crucial para alcançar um desenvolvimento sustentável. Tal mudança decorre da evolução na degradação ambiental, com problemas como mudanças climáticas, perda de biodiversidade, poluição de rios e oceanos, degradação do solo e desmatamento intensificando o estresse nos ecossistemas globais. Dentre eles, as alterações climáticas destacam-se como uma ameaça significativa, pois, embora não provoquem diretamente deslocamentos, exacerbam os impactos ambientais e as vulnerabilidades existentes (Přívvara & Přívarová⁴²).



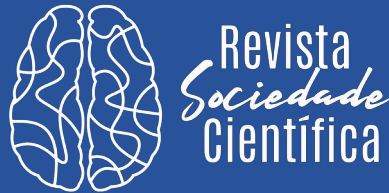
3.5.5 CUSTOS E IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS

As consequências das mudanças climáticas nos recursos hídricos têm implicações econômicas substanciais, incluindo danos à infraestrutura, perda de produtividade agrícola e custos relacionados à saúde.

As mudanças climáticas, por se tornarem um dos desafios mais significativo do século XXI, demandam uma transição para o desenvolvimento sustentável. Elas representam uma externalidade negativa econômica, já que os gases são liberados sem custo para a economia. Por isso, políticas públicas são necessárias para corrigir as falhas de mercado que intensificam as consequências econômicas, sociais e ambientais. A América Latina e Caribe, apesar de ter contribuído minimamente para as mudanças climáticas, é altamente vulnerável devido à sua geografia, clima e fatores socioeconômicos. Os custos econômicos estimados para a região, devido a tais mudanças, variam entre 1,5% e 5% do PIB até 2050, impactando desigualmente diferentes áreas. As soluções demandam ações imediatas, já que o padrão atual de desenvolvimento é insustentável. O crescimento na região, pautado nas exportações e recursos naturais, trouxe benefícios sociais, mas gerou externalidades como poluição e mudanças climáticas, ameaçando o desenvolvimento sustentável (ECLAC¹⁵).

3.5.6 EFEITOS NO COMBATE A POBREZA

As mudanças climáticas, com seus eventos extremos como tempestades, inundações, estresse térmico e secas, têm potencial para reverter avanços na luta contra a pobreza, principalmente nas regiões mais suscetíveis. Um relatório do Banco Mundial estima que entre 32 e 132 milhões de indivíduos possam ser empurrados para a extrema pobreza até 2030 por conta desses impactos (World Bank⁶⁰).



3.6 ESTUDOS DE CASO REGIONAIS

3.6.1 REGIÕES ÁRIDAS

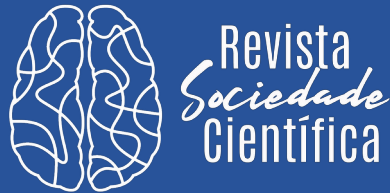
No Oriente Médio, especialmente no vale do Jordão, a escassez de água já é uma realidade. A combinação de demandas crescentes de uma população em rápido crescimento e as reduções na disponibilidade de água devido às mudanças climáticas estão exacerbando as tensões na região.

Nos países com escassez de água, as mudanças climáticas exacerbam a segurança alimentar, visto que grande parte da água é destinada à agricultura. Cada pessoa requer diversos litros de água diariamente, variando conforme o uso e o tipo de dieta. A Jordânia, por exemplo, enfrenta um desafio notável nesse contexto: está entre os quatro países mais secos do mundo, com sua disponibilidade de água muito abaixo dos padrões internacionais. As mudanças climáticas, aliadas à sua localização geográfica e ao rápido crescimento populacional devido ao influxo de refugiados, amplificam a pressão sobre seus escassos recursos hídricos e terrestres. Estes fatores conjuntos intensificam os desafios do desenvolvimento sustentável na Jordânia. (Al-Bakri et al⁴)

Outras regiões, como o Nordeste brasileiro estão experienciando períodos prolongados de seca com mais frequência, com um aumento de 65% nos meses de estiagem entre 2010 e 2019 em relação à década de 1950. Segundo o IPCC, as alterações climáticas tendem a intensificar esse cenário, podendo resultar em uma redução de até 22% nas chuvas no Nordeste neste século, caso as emissões de gases do efeito estufa continuem altas²⁶.

3.6.2 REGIÕES GLACIARES

O rápido derretimento das geleiras do Himalaia ameaça a produção agrícola e o sustento de aproximadamente 129 milhões de agricultores que confiam na água desses degelos. As bacias dos rios Indo, Ganges e Brahmaputra, com uma população de mais de 900 milhões, são extremamente dependentes dessa água derretida para irrigação,

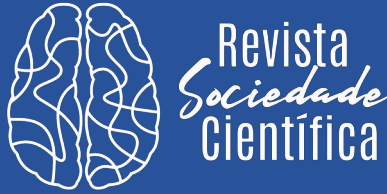


Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

especialmente em períodos de seca. Durante a estação seca, até 60% da água usada para irrigação provém do derretimento dessas montanhas. Diante do possível desaparecimento de um terço do gelo no Himalaia até o final do século e da aceleração do derretimento das geleiras, a adaptação agrícola torna-se urgente. As estratégias, como a coleta de águas pluviais ou a utilização de águas subterrâneas, podem atenuar parcialmente o problema, mas não são soluções completas. Culturas como o algodão, que demanda muita água, podem precisar ser replanejadas. Estudos destacam a importância de se fornecer informações quantitativas para tomadores de decisão e buscar estratégias de adaptação à emergente crise hídrica (Biemans⁸).

3.6.3 REGIÕES COSTEIRAS E ILHAS VULNERÁVEIS À SUBIDA DO NÍVEL DO MAR

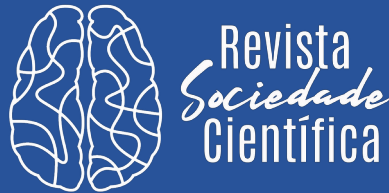
No Panamá, uma comunidade indígena vive no presente uma situação, provocada pelas mudanças climáticas, que tende a ser tornar comum em muitas regiões costeiras e ilhas. A comunidade indígena de Cartí Sugdupu, situada no arquipélago de Guna Yala no Caribe panamenho, enfrenta desafios prementes devido às mudanças climáticas e ao conseqüente aumento do nível do mar. Esta ilha, que abriga mais de mil habitantes em uma área comparável a cinco campos de futebol, sem acesso a água potável e saneamento adequado, está prevista para ser submersa até 2050. Enquanto a economia local depende da pesca, turismo e cultivo de mandioca e banana, a elevação do mar já resulta em inundações regulares, ameaçando a vida e a subsistência dos habitantes. Reconhecendo essa vulnerabilidade, o governo panamenho, em colaboração com a comunidade, tem um plano em andamento para realocar 300 famílias para uma área de 22 hectares em terra firme até o início de 2024. Este cenário, infelizmente, não é exclusivo de Cartí Sugdupu, pois muitas das 49 ilhas habitadas de Guna Yala, com altitudes entre 50 centímetros e um metro, correm o risco de submersão até o final deste século devido às conseqüências das mudanças climáticas (AFP²).



Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

Problema semelhante ocorre em maior escala e maior complexidade com as Maldivas, um arquipélago deslumbrante no Oceano Índico composto por mais de 1.100 ilhas de coral, e que são amplamente reconhecidas como um destino paradisíaco. No entanto, este refúgio está sob grave ameaça devido às mudanças climáticas. Sendo a nação mais baixa do mundo, a subida do nível do mar representa um risco existencial. Estudos indicam que quase 80% do país pode tornar-se inabitável até 2050. Embora muitas das ilhas turísticas sejam bem conhecidas, são as ilhas habitadas pelos maldivos locais que mais sofrem. A erosão severa afeta mais de 90% das ilhas, e a água doce subterrânea, vital para a sobrevivência, está se tornando cada vez mais escassa. A cultura das Maldivas está profundamente ligada aos seus recifes de coral. Em 2016, um evento de branqueamento devastou 60% desses recifes. Sem eles, as ilhas estão desprotegidas contra a erosão e o aumento do nível do mar. O governo das Maldivas tem feito esforços significativos para entender e combater esses desafios. Mais da metade do orçamento nacional é alocado para medidas de adaptação às mudanças climáticas. Os recifes de coral, que podem absorver até 97% da energia das ondas, tornando-se um escudo natural contra a erosão, estão no centro das preocupações, já que a perda contínua desses recifes pode expor ainda mais as ilhas (Manzo et al³⁴).

A vulnerabilidade das Maldivas também é agravada pela sua geologia. Com uma média de apenas 1,5m acima do nível do mar, as ilhas são morfologicamente instáveis, sujeitas a mudanças constantes devido a padrões climáticos e geológicos. Estas transformações naturais são desafios monumentais para as comunidades locais, cuja infraestrutura pode não resistir ao aumento da erosão. Com a intensificação prevista dos eventos climáticos, como tempestades mais fortes e frequentes inundações, a vida e a propriedade nas Maldivas estão em risco. As práticas e materiais de construção tradicionais podem não ser adequados para enfrentar esses desafios emergentes. É imperativo que as Maldivas, juntamente com a comunidade global, busquem soluções inovadoras para preservar este país insular e seu patrimônio único, pois se as projeções



climáticas atuais se mantiverem, as Maldivas poderão desaparecer como nação nos próximos 150-200 anos (CDS¹⁰).

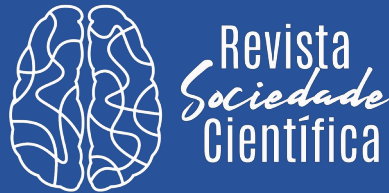
3.7 ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO

3.7.1 MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO E EFICIÊNCIA DA ÁGUA

Comunidades urbanas, fazendas, empresas e ecossistemas requerem acesso a água limpa. Com o crescimento populacional, mudanças climáticas e redução da oferta de água, métodos tradicionais tornam-se menos viáveis. É necessária a adoção de tecnologias e políticas de conservação e busca de fontes alternativas, como captação de chuva, reuso de água e dessalinização. Embora o tratamento e reuso de água e a coleta de águas pluviais tenham custos elevados por unidade, são menos onerosos do que a dessalinização da água do mar, a opção mais cara (Cooley et al¹²). Promover a eficiência do uso da água em setores agrícolas e urbanos é vital para enfrentar os desafios da escassez de água amplificadas pelas mudanças climáticas.

3.7.2 GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E ESTRATÉGIAS DE RECARGA

A gestão participativa das águas subterrâneas é valorizada pela sua eficiência, equidade e sustentabilidade, favorecendo o envolvimento da comunidade no seu monitoramento e gestão. Em regiões áridas e semiáridas, a água subterrânea é vital para agricultores devido à imprevisibilidade da precipitação. Na Índia, a dependência da agricultura em águas subterrâneas superou a de águas superficiais, sendo também responsável por fornecer 90% da água potável em áreas rurais. A adoção de políticas para recarga gerenciada de aquíferos, educação e conscientização são imperativas. A colaboração entre cientistas sociais e especialistas em água é crucial para enfrentar desafios futuros. A gestão liderada por agricultores em nível local, combinada com práticas agrícolas eficientes, pode prevenir a extração excessiva. Uma abordagem



Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

transdisciplinar ajuda a desmistificar a ciência das águas subterrâneas, facilitando a transferência de conhecimento para as comunidades (Jadeja²⁹).

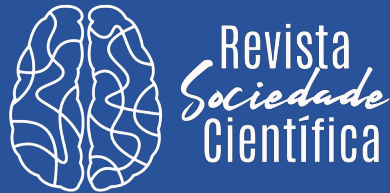
3.7.3 ADAPTAÇÕES DE INFRAESTRUTURA

O desenvolvimento e a adaptação de infraestruturas hídricas são essenciais para garantir a segurança hídrica, especialmente em face da variabilidade climática crescente (Bates et al⁶). Segundo a Global Water Partnership²¹, segurança hídrica pode ser entendida como a disponibilidade de quantidade e qualidade aceitáveis de água para a saúde, os meios de vida, os ecossistemas e a produção, associada a um nível aceitável de riscos relacionados com a água para as pessoas, as economias e o meio ambiente.

Inicialmente, as estratégias contra as mudanças climáticas focavam na mitigação, reduzindo os gases de efeito estufa. Entretanto, recentemente, a adaptação ganhou destaque, buscando ajustar sistemas humanos e naturais aos impactos previstos dessas mudanças. O IPCC define adaptação como ajustes a estímulos climáticos que reduzem danos ou aproveitam oportunidades. No setor da água, algumas estratégias incluem: captação de água da chuva, conservação, reúso, dessalinização e maior eficiência em seu uso, especialmente na irrigação, responsável por 69% da captação de água doce mundial. A adaptação hídrica não só responde às mudanças climáticas, mas também traz benefícios sociais e econômicos, fortalecendo a resiliência a eventos climáticos extremos e conservando recursos hídricos em diversos cenários possíveis (Elliot et al¹⁶).

3.7.4 GESTÃO TRANSFRONTEIRIÇA DOS RECURSOS HÍDRICOS

Metade da população mundial vive em 310 bacias hidrográficas e lacustres transfronteiriças entre 151 nações. Contudo, 60% dessas bacias carecem de estruturas de cooperação para compartilhar água. A Convenção das Nações Unidas de 1997 destaca a importância do compartilhamento de dados hídricos para fomentar confiança entre nações, mitigar conflitos e promover melhorias ambientais, econômicas e sociais. Até 2050, com uma população prevista de 9 bilhões, o foco tem se voltado para a gestão de



recursos hídricos compartilhados. Relações entre nações ribeirinhas são influenciadas por fatores como desenvolvimento econômico e diferenças socioeconômicas, oscilando entre cooperação e conflito. Em um cenário de mudança climática, a gestão eficiente da água se torna crucial, e o modo como os dados são compartilhados e validados é desafiador devido às relações internacionais e avanços tecnológicos (Sarfaraz et al⁴³).

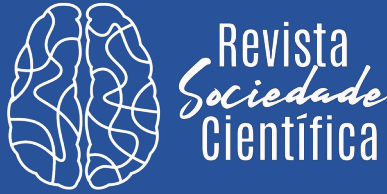
3.7.5 INCORPORAR PRÁTICAS AGRÍCOLAS RESILIENTES AO CLIMA

Para um desenvolvimento agrícola sustentável, é essencial basear investimentos em evidências sobre riscos climáticos. A resiliência climática refere-se à habilidade de um sistema agrícola em antecipar, adaptar e se recuperar dos efeitos das mudanças climáticas, sejam eles graduais, como alterações na temperatura e padrões de chuva, ou abruptos, como inundações e tempestades. Fortalecer a resiliência exige estratégias de mitigação, adaptação e uma tomada de decisão transparente com a participação de todos os envolvidos. Algumas práticas agrícolas recomendadas incluem: cultivar variedades resistentes ao calor, minimizar o estresse térmico nas fases cruciais das plantas, encurtar o ciclo de crescimento, adotar irrigação por gotejamento e usar água de forma eficaz, preferindo irrigar nas primeiras horas da manhã ou no final da tarde para reduzir a evaporação (Alvar-Beltrán et al⁵).

3.7.6 AUMENTAR A CONSCIENTIZAÇÃO E CONSTRUIR A RESILIÊNCIA DA COMUNIDADE

A conscientização e a educação das comunidades sobre as mudanças climáticas e as estratégias de adaptação são fundamentais para construir resiliência local (Adger¹).

As comunidades vulneráveis às mudanças climáticas devem se adaptar para fortalecer sua resiliência. Embora políticas governamentais sejam cruciais, a sensibilização e capacitação da comunidade são igualmente importantes. Para um planejamento eficaz contra as mudanças climáticas, o envolvimento público é vital. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) destaca que catástrofes



naturais, como inundações, secas e incêndios florestais, são impulsionadas pelas alterações climáticas. Assim, os governos enfrentam o desafio de mobilizar apoio público, tornando essencial conscientizar e informar as comunidades sobre os riscos (Khatibi et al³⁰).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

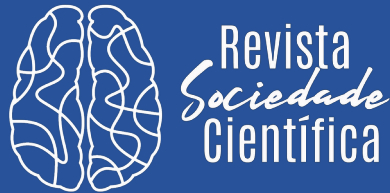
Neste estudo, enfatizamos os sérios impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos. As mudanças climáticas são urgentes e afetam de maneira desigual regiões e pessoas em todo o mundo. O estudo confirmou que as mudanças climáticas têm amplas implicações nos recursos hídricos globais. Padrões de precipitação alterados, derretimento acelerado das geleiras e o aumento da evaporação têm colocado os recursos hídricos sob estresse significativo. Ademais, os impactos socioeconômicos, que vão desde desafios na segurança alimentar até deslocamentos e potenciais conflitos, não podem ser subestimados.

O gerenciamento eficaz dos recursos hídricos requer a colaboração entre cientistas, formuladores de políticas e a comunidade em geral. A implementação de estratégias adaptativas e de mitigação, com base nas lições aprendidas através de estudos de caso regionais, é imperativa. O envolvimento comunitário e a conscientização também são cruciais para garantir a resiliência local.

A preservação dos recursos hídricos não é apenas uma questão de segurança ambiental, mas também uma necessidade para a sobrevivência humana. A gestão sustentável da água é crucial para enfrentar esses desafios e requer ação global, redução de emissões e igualdade de gênero. Com a trajetória atual das mudanças climáticas, é urgente adotar medidas para proteger esses recursos, garantindo um futuro sustentável.

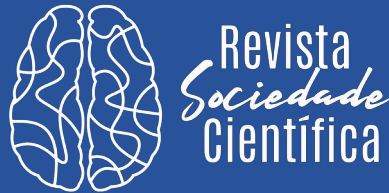
5 REFERÊNCIAS

- [1] Adger, W. N., Dessai, S. & Goulden, M., et al (2009). Are there social limits to adaptation to climate change? *Climatic Change*, 93, 335-354



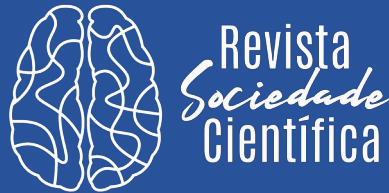
Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

- [2] Agence France-Presse – AFP (2023) We're going to sink': hundreds abandon Caribbean Island home. France24. available in: <https://www.france24.com/en/live-news/20230906-we-re-going-to-sink-hundreds-abandon-caribbean-island-home-1>
- [3] Ahmed T, Zounemat-Kermani M, Scholz M. (2020) Climate Change, Water Quality and Water-Related Challenges: A Review with Focus on Pakistan. *International Journal of Environmental Resesearch in Public Health*.17(22):8518. doi: 10.3390/ijerph17228518.
- [4] Al-Bakri JT, Salahat M, Suleiman A, et al (2013). Impact of Climate and Land Use Changes on Water and Food Security in Jordan: Implications for Transcending “The Tragedy of the Commons”. *Sustainability*. 5(2):724-748. <https://doi.org/10.3390/su5020724>
- [5] Alvar-Beltrán, J., Elbaroudi, I., Gialletti, A., Heures, A., Neretin, L. Soldan, R. 2021. *Climate Resilient Practices: typology and guiding material for climate risk screening*. Rome, FAO
- [6] Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., & Palutikof, J. P. (Eds.). (2010). *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
- [7] Bazzi, H., Ebrahimi, H., Aminnejad, B. (2021) A comprehensive statistical analysis of evaporation rates under climate change in Southern Iran using WEAP (Case study: Chahnimeh Reservoirs of Sistan Plain), *Ain Shams Engineering Journal*, 12(2), 1339-1352, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.08.030>.
- [8] Biemans, H., Siderius, C., Lutz, AF et al. (2019) Importância da neve e da água do degelo das geleiras para a agricultura na Planície Indo-Gangética. *Nature Sustainability* 2, 594–601. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0305-3>
- [9] Cantonati M, Poikane S, Pringle CM, et al. (2020) Characteristics, Main Impacts, and Stewardship of Natural and Artificial Freshwater Environments: Consequences for Biodiversity Conservation. *Water*; 12(1):260.



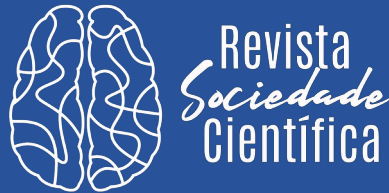
Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

- [10] Centre for Disaster Studies - CDS (2015). Climate Change Vulnerability and Adaptation Assessment of the Maldives Land and Beaches. Global partnership of education. 1-22. Available in:
<http://saruna.mnu.edu.mv/jspui/bitstream/123456789/14174/1/Maldives%20Land%20%26%20Beaches.pdf>
- [11] Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., et al (2013). Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. In Climate change 2013 the physical science basis: Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (pp. 1029-1136). Cambridge University Press.
- [12] Cooley, H. & Phurisamban, R. & Gleick, P.H. (2019). The cost of alternative urban water supply and efficiency options in California. Doi: 10.1088/2515-7620/ab22ca.
- [13] Dai, A., 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. Nature Climate Change, 3(1), 52-58.
- [14] Ebi K.L., Vanos J., Baldwin J.W., et al (2021) Extreme Weather and Climate Change: Population Health and Health System Implications. Annu Rev Public Health.42:293-315. doi: 10.1146/annurev-publhealth-012420-105026
- [15] ECLAC- Economic Commission for Latin America and the Caribbean (2015). The economics of climate change in Latin America and the Caribbean: Paradoxes and challenges of sustainable development. CEPAL. 96 p. Available in:
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/9e7fa968-a288-467f-a05b-003f32fc0400/content>
- [16] Elliot, M., Armstrong, A., Lobuglio, J. and Bartram, J. (2011). Technologies for Climate Change Adaptation—The Water Sector. T. De Lopez (Ed.). Roskilde: UNEP Risoe Centre. Available in:
<https://tech-action.unepccc.org/wp-content/uploads/sites/2/2019/04/tna-guidebook-adaptation-in-water-sector.pdf>



Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

- [17] Fava, M. (2022) What is Ocean Biodiversity. Ocean Literacy Portal. Unesco. Intergovernmental Oceanographic Commission. Available in: <https://oceanliteracy.unesco.org/ocean-biodiversity/>
- [18] Gleick, P.H. (2014). Water, drought, climate change, and conflict in Syria. *Weather, Climate, and Society*, 6(3), 331-340.
- [19] Gleick, P. & Iceland, C. (2018) Water, Security, and Conflict. World Resources Institute. Issue Brief. Available in: <https://files.wri.org/d8/s3fs-public/water-security-conflict.pdf>
- [20] Gupta, R., Yan, K., Singh, T. & Mo, D. (2020) *Journal of Risk and Financial Management*, 13(255); doi:10.3390/jrfm13110255.
- [21] GWP - Global Water Partnership (2012). Rio+20: Water Security for Growth and Sustainability. Sweden. in: <http://www.gwp.org>
- [22] Hoekstra, A.Y., & Mekonnen, M.M. 2012. The water footprint of humanity. *Proceedings of the national academy of sciences*, 109(9), 3232-3237.
- [23] Immerzeel, W.W., Van Beek, L.P.H., & Bierkens, M.F.P. (2010). Climate change will affect the Asian water towers. *Science*, 328(5984), 1382-1385.
- [24] IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- [25] IPCC, 2014. "Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- [26] IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor,



Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösckke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.,
doi:10.1017/9781009325844.

[27] Irannezhad M, Ronkanen A-K and Malekian A (2022), Editorial: Climate impacts on snowpack dynamics. *Frontiers in Earth Science* 10:970981. doi: 10.3389/feart.2022.970981

[28] Jacobi, P.R., Buckeridge, M. & Ribeiro, W.C. (2021) Governança da água na Região Metropolitana de São Paulo - desafios à luz das mudanças climáticas. *Estudos Avançados*. 35(102), 209-226 <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.013>

[29] Jadeja, Y., Maheshwari, B., Packham, R. et al. (2028) Managing aquifer recharge and sustaining groundwater use: developing a capacity building program for creating local groundwater champions. *Sustainable Water Resources Management* 4, 317–329. <https://doi.org/10.1007/s40899-018-0228-6>

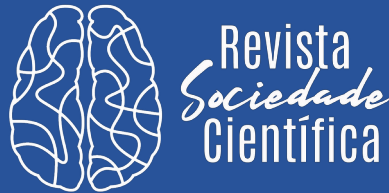
[30] Khatibi, F.S., Dedekorkut-Howes, A., Howes, M. et al. (2021) Can public awareness, knowledge and engagement improve climate change adaptation policies?. *Discover Sustainability* 2, 18. <https://doi.org/10.1007/s43621-021-00024-z>

[31] Kroeger, C. (2023) Heat is associated with short-term increases in household food insecurity in 150 countries and this is mediated by income. *Nature Human Behaviour*.

[32] Lobell, D.B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620.

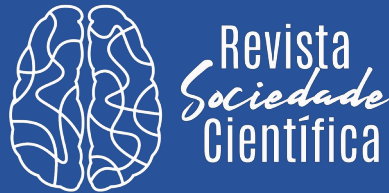
[33] Matos, F (2020). Retratos de Governanças das Águas no Brasil: Um estudo sobre o perfil dos representantes membros de Comitês de Bacia Hidrográficas. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Pós-Graduação e Pesquisas em Administração.

[34] Manzo, D., Zee, G., Uddin, S., & Jovanovic, D. (2021). Facing dire sea level rise threat, Maldives turns to climate change solutions to survive. ABC News. 3 nov



Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

2021. Available in: <https://abcnews.go.com/International/facing-dire-sea-level-rise-threat-maldives-turns/story?id=80929487>
- [35] Mazhar S, Pellegrini E, Contin M, Bravo C and De Nobili M (2022), Impacts of salinization caused by sea level rise on the biological processes of coastal soils - A review. *Frontiers in Environmental. Science* 10:909415. doi: 10.3389/fenvs.2022.909415
- [36] Nicholls, R.J. & Cazenave, A., 2010. Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328(5985), 1517-1520.
- [37] Obahoundje, S., Diedhiou, A., Kouassi, K., L., et al (2022) *Environmental Research Communications*. 4(6) 065001. DOI 10.1088/2515-7620/ac71fa
- [38] ONU (2023) *Causas e Efeitos das Mudanças Climáticas*. Disponível em: <https://www.un.org/pt/climatechange/science/causes-effects-climate-change>
- [39] Pelto, M., WGMS Network. (2020). Alpine glaciers [in *State of the Climate in 2019*]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(8), S37–S38.
- [40] PNUD/SAE/FCPC (Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura). *Adaptação às mudanças do clima: Cenário e alternativas – Recursos Hídricos. Aditivo Relatório IV. Carta Acordo n25647/2014*. Fortaleza: Fundação Cearense de Pesquisa e Cultura, 2014. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80182/RecursosHProduto%20%20Aditivo.pdf>
- [41] Pritchard HD (2018). Retraction: Asia's glaciers are a regionally important buffer against drought. *Nature*.555(7695):274. doi: 10.1038/nature25779.
- [42] Přívvara A, Přívarová M. (2019) Nexus between Climate Change, Displacement and Conflict: Afghanistan Case. *Sustainability*. 11(20):5586. <https://doi.org/10.3390/su11205586>
- [43] Sarfaraz MU, Hall DM and Rotman RM (2022) Data sharing in transboundary water management. *Frontiers in Water* 4:982605. doi: 10.3389/frwa.2022.982605
- [44] Sarra, S. R., & Mülfarth, R. C. K. (2021). *Mudanças climáticas no município de são paulo (Brasil): Desafios para a política urbana / Climate change in the city of sao*



Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

paulo (Brazil): Challenges for urban policy. *Brazilian Journal of Development*, 7(10).
<https://doi.org/10.34117/bjdv7n10-381>

[45] Selborne, Lord (2001). *A Ética do Uso da Água Doce: um levantamento*.
Brasília: Unesco

[46] Tabari, H. (2020) Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Sci Rep* 10, 13768. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>

[47] Taylor, R.G., Scanlon, B., Döll, P. et al., 2013. Ground water and climate change. *Nature Climate Change*, 3(4), 322-329.

[48] Tian Y, Xiong J, He X, et al (2018). Joint Operation of Surface Water and Groundwater Reservoirs to Address Water Conflicts in Arid Regions: An Integrated Modeling Study. *Water*; 10(8):1105. <https://doi.org/10.3390/w10081105>

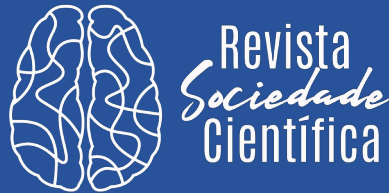
[49] Trenberth, K.E., 2011. Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1-2), 123-138.

[50] Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., et al (2007). Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. (pp. 235-336).

[51] UNESCO, UN-Water, 2020: *United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*, Paris, UNESCO.

[52] UNICEF/WHO (2019) *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017. Special focus on inequalities*. New York: United Nations Children's Fund (UNICEF) and World Health Organization.

[53] UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change. *Introduction to Gender and Climate Change*. Disponível em: <https://unfccc.int/gender>



Publicado em 23 de setembro de 2023
REVISTA SOCIEDADE CIENTÍFICA, VOLUME 6, NÚMERO 1, ANO 2023

- [54] UN WATER (2018) Sustainable Development Goal 6: Synthesis Report on Water and Sanitation. United Nations. Available in:
https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2018/12/SDG6_SynthesisReport2018_WaterandSanitation_04122018.pdf
- [55] Vasquez-Arroyo, E., Gandelman, D.A., Da Silva, F et al (2020). Implicações dos impactos das mudanças climáticas na matriz elétrica brasileira. Sustainability in Debate - Brasília, v. 11, n.3, p. 139-156.
- [56] Vorosmarty, C.J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R.B. 2000. Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth. Science, 289(5477), 284-288.
- [57] Wada, Y., Van Beek, L.P.H., & Bierkens, M.F.P. 2012. Nonsustainable groundwater sustaining irrigation: A global assessment. Water Resources Research, 48(6).
- [58] Wang X, Fan Y, Zhao S, Xie Y and Von Storch H (2022) Editorial: Future Climate Scenarios: Regional Climate Modelling and Data Analysis. Frontiers in Environmental Science. 10:858153. doi: 10.3389/fenvs.2022.858153
- [59] WMO (2022). Droughts threaten sustainable development. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/media/news/droughts-threaten-sustainable-development>
- [60] World Bank (2015). Global Monitoring Report 2014/2015: Ending Poverty and Sharing Prosperity. World Bank, Washington DC.