

viva  **água**

cuidar da **Baía de Guanabara**
é proteger a vida

Informações de riscos climáticos para a região da Baía de Guanabara - RJ

Referências Cadastrais

Estudo	Informações de riscos climáticos para a região da Baía de Guanabara - RJ
Contratante	Cooperação Alemã para o Desenvolvimento GIZ Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Projeto ProAdapta* - Apoio ao Brasil na Implantação da sua Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima
Data do documento	Outubro 2024

Responsabilidade Técnica

Geoclimate Data Analytics

Thales Vaz Penha

Isenção de Responsabilidade:

Este documento foi elaborado por Geoclimate Data Analytics em observância às normas técnicas recomendáveis e em estrita obediência aos termos de referência da contratação. Em razão disto, a empresa se isenta de qualquer responsabilidade, perante o cliente ou terceiros, pela utilização deste documento, ainda que parcialmente, fora do escopo para o qual foi preparado. O documento não pode ser reproduzido por qualquer meio (impresso, eletrônico e afins) ainda que em parte, sem a autorização prévia da GIZ.

*O Projeto ProAdapta é fruto da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA) e o Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear e Defesa do Consumidor (BMUV, na sigla em alemão), no contexto da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI, na sigla em alemão) e implementado pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. O ProAdapta "Apoio ao Brasil na Implantação da Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima" que visa favorecer o aumento da resiliência climática do Brasil, mediante apoio a processos de coordenação e cooperação entre as três esferas de governo, setores econômicos e sociedade civil, uma vez que os impactos da mudança do clima ocorrem em escala local, mas as medidas de enfrentamento dependem de ações coordenadas e implementadas em diferentes estratégias setoriais ou temáticas. Neste contexto o ProAdapta contribui para o alcance dos objetivos da iniciativa movimento Viva Água Guanabara por meio de apoio técnico para o tema de risco climático e opções de adaptação.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	4
Lista de Tabelas	5
1. Impactos climáticos observados nos municípios da Guanabara	6
1.1 Introdução	6
1.2 Eventos climáticos observados no Rio de Janeiro	6
1.3 Impactos climáticos observados segundo a plataforma S2ID	7
2. Riscos e ameaças climáticas para região da Baía de Guanabara	12
2.1 Introdução	12
2.2 Ameaças climáticas para Baía de Guanabara	12
2.2.1 Ameaças climáticas observadas	15
2.2.2 Ameaças climáticas observadas para o futuro	15
2.3 Riscos climáticos para a Região da Baía de Guanabara	17
2.3.1 Impactos para os recursos hídricos	19
2.3.2 Impactos à saúde humana	19
2.3.3 Impactos sobre a drenagem urbana	20
2.3.4 Impactos sobre deslizamentos	21
2.3.5 Impactos sobre rodovias	22
2.3.6 Impactos sobre a zona costeira	23
2.4 Vulnerabilidades climáticas para região da Baía de Guanabara	24
3. Método	30
Referências bibliográficas	33

Lista de Figuras

Figura 1: Distribuição dos tipos de desastres nos municípios do entorno da Baía de Guanabara para o período de 1991 a 2022 segundo a plataforma S2ID (BRASIL-MIDR, 2024).....	9
---	---

Lista de Tabelas

Tabela 1: Resumo dos resultados obtidos da plataforma S2ID entre 1991 e 2022 para os municípios da região da Baía de Guanabara.....	10
Tabela 2: Indicadores derivados da plataforma S2ID entre 1991 e 2022 para os municípios da região da Baía de Guanabara.....	11
Tabela 3: Mudanças observadas e futuras para região da Baía de Guanabara para diferentes tipos de ameaças climáticas.....	14
Tabela 4: Riscos climáticos na região da Baía da Guanabara segundo a plataforma Adaptabrasil-MCTI.....	27
Tabela 5: Relação entre os principais riscos climáticos e ameaças na região da Baía de Guanabara.....	28
Tabela 6: Fontes e referências consultadas para análise das ameaças climáticas na região da Baía da Guanabara.....	31
Tabela 7: Fontes consultadas e recortes geográficos para análise.....	32

1. Impactos climáticos observados nos municípios da Guanabara

1.1 Introdução

Este capítulo consolida informações sobre impactos climáticos observados nos municípios da Baía de Guanabara, no Estado do Rio de Janeiro. Para a condensação das informações neste documento foi consultada como principal fonte de coleta de dados a base pública e aberta do Sistema Integrado de Informações Sobre Desastre (S2ID-MDIR). Além disso, foi realizada uma breve revisão bibliográfica em repositórios de artigos científicos (ex: Google Scholar, Web of Science e Scopus) que avaliaram os impactos climáticos observados e das mudanças climáticas na região.

1.2 Eventos climáticos observados no Rio de Janeiro

Nos últimos anos, o Estado do Rio de Janeiro e a região sudeste do Brasil foram atingidos por inúmeros desastres de grande proporção, como o evento ocorrido em janeiro de 2011 no estado do Rio de Janeiro (RJ), quando enchentes, deslizamentos de terra e deslizamentos de terra causaram 900 mortes na região serrana, afetando os municípios de Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo, ou as secas de 2014-2017 que afetaram severamente os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Espírito Santo. Embora não haja consenso se nestes episódios houve um acoplamento aleatório destes eventos de desastre causados por riscos hidrometeorológicos ou se existem certas causas para a ocorrência cumulativa de incidentes nos últimos anos, estes acontecimentos revelaram a elevada vulnerabilidade da sociedade e dos principais sectores económicos, em particular, em relação a secas persistentes e aos desastres geohidrológicos (Nehren et al., 2018).

Movimentos de massa, deslizamentos de terra e inundações são os desastres naturais mais frequentes no RJ que levam a desastres graves. Revisitando eventos passados de deslizamentos de terra e inundações no RJ, Nehren et al. (2018) destacam que os mais graves, além do evento de 2011, ocorreram em 1966 e 1967, 1988, 1996 e 2010. Todos os eventos foram desencadeados por fortes e persistentes chuvas, que assolaram os municípios e a maioria das perdas humanas e danos materiais foram registrados em áreas urbanizadas. Nehren et al. (2018) e Sandholz et al. (2018) apontam que os principais fatores para estes desastres, incluem:

- Aumento da exposição dos seres humanos e dos seus recursos naturais aos riscos como consequência do crescimento populacional e do processo de urbanização;
- Alta vulnerabilidade dos bairros expostos, em particular dos ambientes informais, assentamentos em encostas íngremes e em várzeas;
- Estrada e assentamentos sem infraestrutura, bem como lixões localizados em encostas ameaçadas por erosão que desencadeiam deslizamentos de terra causados por cargas pesadas, desnivelado encostas e desestabilizando solos e condições climáticas adversas;
- Degradação da proteção dos ecossistemas, em particular dos remanescentes florestais de Mata Atlântica.

A partir destes dados e estudos, especialistas concordam cada vez mais sobre a gravidade e a irreversibilidade das mudanças climáticas, que afetarão diversos elementos, como temperatura, chuva, nível do mar e biodiversidade. Embora ainda haja incerteza sobre os cenários de longo prazo, já é evidente que será necessário focar na adaptação às mudanças, já que os esforços para reduzir as emissões não serão suficientes para reverter o processo. No Brasil, devido às suas dimensões e localização, os impactos serão significativos, especialmente com o aumento de eventos climáticos extremos, como chuvas torrenciais no Rio de Janeiro, resultando em perdas humanas, deslocamento de populações e prejuízos econômicos nas áreas afetadas (Young, et al., 2014).

1.3 Impactos climáticos observados segundo a plataforma S2ID

Nas últimas décadas, a região do entorno da Baía de Guanabara enfrentou diversos desastres. De acordo com a série histórica da plataforma S2ID, entre 1996 e 2023, foram reportadas aproximadamente 332 ocorrências, afetando cerca de 153.561 pessoas e gerando um total de R\$ 2,3 bilhões em danos e prejuízos nos 17 municípios analisados. Dessas ocorrências, 743 resultaram em óbitos, 7.205 pessoas ficaram feridas, 32.233 ficaram desabrigadas e 113.380 foram desalojadas em decorrência de eventos climáticos que culminaram em desastres (BRASIL-MIDR, 2024).

Com base nos dados coletados pela plataforma S2ID (Tabela 1), observa-se que os municípios com maior número de ocorrências foram Guapimirim (36), Cachoeiras de Macacu (35), Petrópolis (35), Magé (30), Duque de Caxias (29) e Rio de Janeiro (28). Esses números destacam que as regiões mais afetadas estão próximas às áreas serranas, já conhecidas por

serem zonas de maior risco para desastres naturais. Além disso, nota-se que o município mais impactado pelos desastres climáticos foi Petrópolis, com 512 óbitos, 942 feridos, 10.546 desabrigados, 24.943 desalojados e R\$ 1,1 bilhão em danos e prejuízos — o que representa quase 50% do total dos 17 municípios. Outro dado relevante é o número elevado de desalojados nos municípios da Baixada Fluminense, como Nova Iguaçu, Duque de Caxias, Belford Roxo e Mesquita, que apresentaram 27.576, 11.348, 11.155 e 8.065 desalojados, respectivamente. Nova Iguaçu, inclusive, superou Petrópolis em número de desalojados, embora Petrópolis costume ter maior destaque midiático em situações de desastre.

Outro município que se destacou negativamente foi São Gonçalo, com cerca de 9.356 desabrigados — um número alarmante, considerando que a cidade não se encontra em uma região serrana, embora possua elevada densidade populacional. É importante destacar que, embora a capital, Rio de Janeiro, também apresente números elevados de vítimas e prejuízos, quando comparado à densidade populacional, o Rio de Janeiro não se sobressai entre os piores índices de prejuízos causados por desastres climáticos. A capital carioca registrou 88 óbitos, 132 feridos, 2.719 desabrigados, 7.807 desalojados e cerca de R\$ 208 milhões em prejuízos e danos.

Segundo Young et al. (2014), as perdas e danos ocorridos no Estado do Rio de Janeiro entre 2001 e 2010 foram estimados entre R\$ 48,4 e R\$ 54,5 bilhões, correspondendo a aproximadamente 1,3% do PIB estadual de 2010. Embora os eventos climáticos extremos já sejam uma realidade, as administrações públicas infelizmente ainda carecem de políticas públicas bem estruturadas e de alocação de recursos técnicos e orçamentários adequados para ações preventivas ou de resposta emergencial em casos de desastres naturais. Os dados mostram que um grupo específico de municípios é mais severamente impactado, com suas populações e economias profundamente afetadas, sendo que muitos desses municípios possuem uma capacidade limitada de resposta a esses eventos. O estudo também identificou um subconjunto de municípios com frequência de desastres muito acima da média. Ao se analisar sub-regiões como a Serra Fluminense (Petrópolis, Magé, Guapimirim, Cachoeiras de Macacu) e a Baixada Fluminense (São Gonçalo, Belford Roxo, Duque de Caxias, Mesquita), percebe-se que o problema não está restrito apenas às áreas montanhosas (Young et al., 2014).

Para compreender a magnitude dos desastres em cada município, na Tabela 2 são apresentados indicadores associando as informações sobre os desastres às variáveis de população do município (Censo 2022) e PIB do município (2021). Assim, verificou-se que em termos relativos, destacadamente Tanguá e Petrópolis tiveram o maior comprometimento percentual da sua população afetada, 21,78% e 13,25%, respectivamente. Em seguida, Rio Bonito (6,13%) e Mesquita (5,05%) tiveram um impacto relativo alto de pessoas afetadas. Em termos de valores, em reais, os danos e prejuízos per capita (Tabela 2), em Petrópolis,

Guapimirim e Nova Iguaçu tiveram os maiores custos por pessoa afetada, respectivamente, R\$ 31.477,00, R\$ 29.331,00 e R\$ 23.269,00. O que se comparado com a renda per capita dos municípios, respectivamente, R\$ 51.003,60, R\$ 1.920,68 e R\$ 21.559,06, corresponde a 61,7%, 133,9% e 107,9% de comprometimento relativo do investimento municipal com os desastres. Revelando o alto impacto que estes eventos geram para as economias dos municípios, considerando o acumulado de todo o período histórico disponível na plataforma S2ID.

Por fim, em termos de proporção dos danos prejuízos acumulados de 1991 a 2022 em relação ao PIB de 2021 como referência (Tabela 2), Petrópolis, Nova Iguaçu, e Cachoeiras de Macacu são os três municípios que tiveram alto impacto dos danos e prejuízos com desastres em relação à própria capacidade municipal em produzir riqueza, apresentando um valor relativo percentual de 7.423%, 3.707% e 1.655% vezes o valor do PIB destes municípios. Esses dados explicitam que a magnitude dos eventos de desastres gera impactos e danos econômicos das quais os municípios por si só não possuem capacidade de prover recursos na recuperação das áreas afetadas.

Quando observados por tipos de desastre (Figura 1), o principal desencadeador de desastres na região são as chuvas intensas, que representam 28,7% das ocorrências. Em seguida, foram reportados os eventos de movimentos de massa, enxurradas e inundações, com 24,2%, 13,6% e 12,1% das ocorrências, respectivamente. Importante ressaltar que existe uma relação intrínseca entre os principais tipos de desastres na BG, visto que 90% das ocorrências estão relacionadas ao excesso de precipitação (chuva intensas, inundações, enxurradas, alagamentos e movimento de massa). Embora em menor proporção, a ocorrência de Ventos Fortes (4,2%), Erosão (1,5%), Ondas de frio (0,9%) e incêndios florestais (0,9%) também podem ser apontados como estressores para a região.

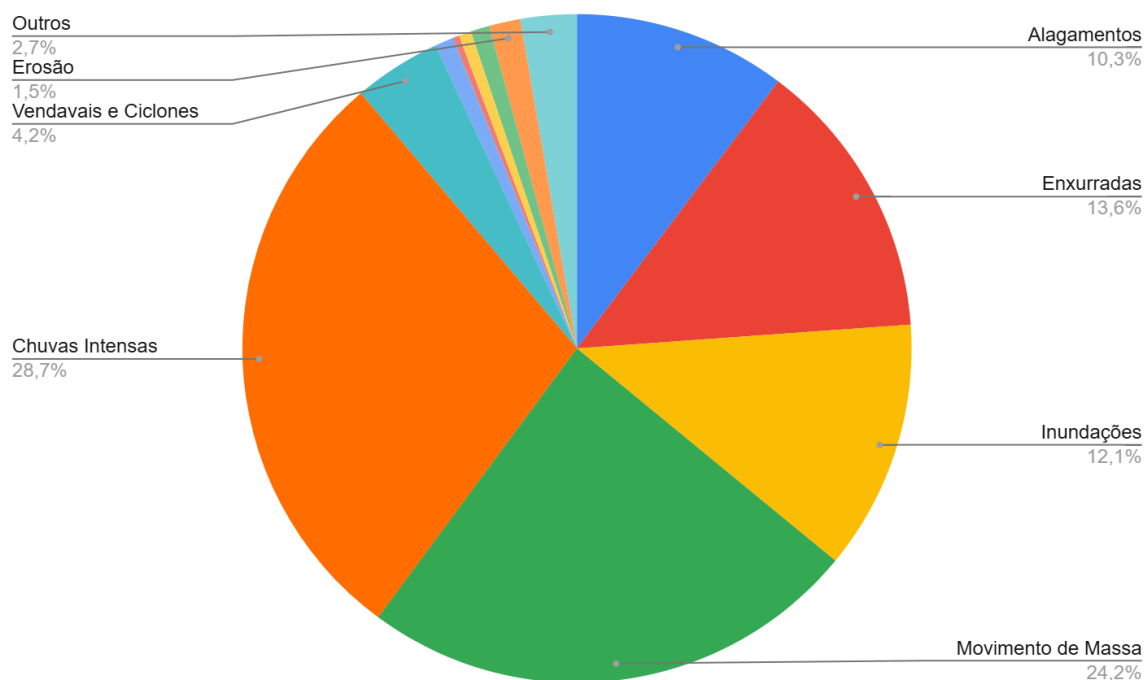


Figura 1: Distribuição dos tipos de desastres nos municípios do entorno da Baía de Guanabara para o período de 1991 a 2022 segundo a plataforma S2ID (BRASIL-MIDR, 2024).

Tabela 1: Resumo dos resultados obtidos da plataforma S2ID entre 1991 e 2022 para os municípios da região da Baía de Guanabara.

Município	Óbitos	Pessoas afetadas	Danos e prejuízos
Cachoeira de Macacu	35	2	R\$ 21.609.027
Guapimirim	36	4	R\$ 5.895.500
Itaboraí	6	0	R\$ 85.000
Rio de Janeiro	28	88	R\$ 207.435.204
Niterói	12	65	R\$ 263.000
São Gonçalo	23	24	R\$ 11.059.468
Maricá	8	3	R\$ 19.255.212
Tanguá	11	2	R\$ 5.230.063
Rio Bonito	14	3	R\$ 11.255.510
Magé	30	8	R\$ 23.115.957
Petrópolis	35	512	R\$ 1.162.871.356
Duque de Caxias	29	15	R\$ 84.365.651
Belford Roxo	18	3	R\$ 23.839.514
Mesquita	10	3	R\$ 10.170.844
São João de Meriti	10	1	R\$ 16.281.608
Nilópolis	3	1	0
Nova Iguaçu	18	9	R\$ 659.755.407

Tabela 2: Indicadores derivados da plataforma S2ID entre 1991 e 2022 para os municípios da região da Baía de Guanabara.

Município	Percentual da população afetada	Custo por pessoa para cada real de prejuízo ou dano	Proporção dos prejuízos em relação ao PIB
Cachoeira de Macacu	1,89 %	20101	1655,21%
Guapimirim	0,39 %	29331	432,22%
Itaboraí	0,82 %	46	1,51%
Rio de Janeiro	0,17 %	19303	57,68 %
Niterói	0,60 %	90	0,40 %
São Gonçalo	1,44 %	854	54,41 %
Maricá	1,61 %	6055	22,44 %
Tanguá	21,78 %	772	753,02 %
Rio Bonito	6,13 %	3262	614,58 %
Magé	0,92 %	11050	485,03 %
Petrópolis	13,25 %	31477	7423,16 %
Duque de Caxias	1,96 %	5338	158,77 %
Belford Roxo	3,62 %	1363	269,68 %
Mesquita	5,05 %	1204	388,31 %
São João de Meriti	0,25 %	14828	181,64 %
Nilópolis	0,13 %	0	0,00 %
Nova Iguaçu	3,61 %	23269	3707,62 %

2. Riscos e ameaças climáticas para região da Baía de Guanabara

2.1 Introdução

Já este capítulo consolida informações sobre ameaças e riscos climáticos observados e projetados para a região da Baía de Guanabara (BG), no Estado do Rio de Janeiro. Para a sistematização das informações neste documento foram consultadas como principais fontes de informações as ferramentas de consulta de banco de dados sobre mudanças climáticas como o Atlas do IPCC, o portal de Projeções Climáticas do Brasil do INPE, portal de mudanças climáticas do Banco Mundial, a plataforma Adaptabrasil-MCTI, o INMET, plataforma Climate Information Site-Specific Report da Organização Mundial de Meteorologia, e o portal de nível do mar da NASA/JPL. Além disso, foram considerados artigos científicos relevantes para a região da Baía da Guanabara, identificados a partir de uma breve revisão bibliográfica em repositórios de artigos científicos (ex: Google Scholar, Web of Science e Scopus), e que acrescentam à análise, especificamente do clima observado, na compreensão das tendências de mudanças climáticas.

2.2 Ameaças climáticas para Baía de Guanabara

A Tabela 3 resume os principais achados relacionados às ameaças climáticas para a região da Baía da Guanabara, considerando as mudanças observadas e futuras e por tipos de ameaças climáticas. A seguir são destacados na forma de tópicos as principais tendências de ameaças climáticas para a região da Baía da Guanabara.

Na seção 3 os dados e fontes utilizados na análise são explorados de maneira mais detalhada. Além disso, o método aplicado para identificar as principais ameaças climáticas para a Baía da Guanabara são detalhadas na seção 4.

- A BG tem experimentado um aumento de temperatura gradual nos últimos anos que são refletidos tanto em termos de temperaturas médias mais altas, quanto nas temperaturas mínimas e máximas, sendo plausível que esta tendência de aumento continue no futuro (alta concordância).
- Ondas de calor, já são sentidas no tempo presente, com tendências positivas em dados observados. Para o futuro são esperados o aumento destas ondas de calor em muitos cenários e recortes temporais (alta concordância).

- Na BG são observados aumento no volume total de chuvas anual em dados históricos (alta concordância), que podem se manifestar em eventos extremos e concentrados. Para o futuro, é projetada a redução dos totais anuais nos modelos com cenário otimista e a curto prazo no cenário pessimista. Ressalta-se que devido às variações nos sinais dos dados de modelos consultados (indefinido a médio e longo prazos no cenário RCP 8.5) e a pouca concordância entre as fontes, não há uma tendência plausível para o futuro do volume total de chuvas anuais.
- BG já experimenta episódios de chuvas extremas (sinal positivo), sejam as de curta duração e alta intensidade quanto as persistentes, no entanto, os dados observados são ainda insuficientes para consolidar esta tendência, principalmente devido a não significância estatística.
- Para o futuro, chuvas extremas (e persistentes) são esperadas para a região da BG principalmente nos cenários de maiores emissões (RCP 8.5), na qual a tendência de aumento é mais bem definida tanto a curto, médio e longo prazos (alta concordância entre as fontes).
- Quanto à episódios de estiagem e secas, já se observa tendências nos dados históricos e observados, porém, com pouco significância estatística nos estudos. Por outro lado, no futuro são esperados dias mais secos tanto a curto, médio e longo prazos, com baixa e média concordância no cenário de emissões intermediário (RCP 4.5) e alta concordância entre as fontes no cenário de altas emissões (RCP 8.5).
- Em termos de ventos mais severos que podem desencadear vendavais na região da Guanabara, observa-se uma tendência de eventos com maior intensidade no histórico, mas com baixa concordância entre as fontes. Em contraste, para o futuro são projetados cenários com alta tendência de ventos mais intensos (média concordância).
- Quanto à elevação médio do nível do mar na região da Baía de Guanabara, esta ameaça já está ocorrendo e é esperado um aumento (sinal positivo) no futuro na região. Porém, apenas uma fonte foi consultada (Altas IPCC) o que impede de garantir tendência com concordância entre as fontes.

Tabela 3: Mudanças observadas e futuras para região da Baía de Guanabara para diferentes tipos de ameaças climáticas.

Baía da Guanabara							
	Histórico	Futuro					
		RCP 4.5			RCP 8.5		
		Horizonte que representa um caminho intermediário de emissões e níveis de aquecimento.			Horizonte que representa um cenário de altas emissões e maior aquecimento.		
Ameaças climáticas	Observado	Curto prazo (2020-2039)	Médio prazo (2040-2069)	Longo Prazo (2070-2100)	Curto prazo (2020-2039)	Médio prazo (2040-2069)	Longo Prazo (2070-2100)
Temperatura média	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Temperatura máxima	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Temperatura mínima	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Ondas de calor ⁽¹⁾	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
Precipitação total anual	(+)*	(-)*	(-)*	(-)*	(-)*	(x)*	(x)*
Chuva extrema ⁽²⁾	(+)*	(-)*	(+)*	(+)*	(+)*	(+)	(+)*
Chuva extrema persistente ⁽³⁾	(+)*	(x)*	(x)*	(+)*	(+)*	(+)*	(+)*
Dias muito secos ⁽⁴⁾	(x)	(+)*	(+)*	(+)*	(+)	(+)	(+)
Vento severo ⁽⁵⁾	(+)*	(+)*	(+)*	(+)*	(+)*	(+)*	(+)*
Aumento no nível do mar	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)

1 Pode ser representado pelo número de dias com Temp > 35°C ou temperatura máxima maior que o percentil 90 ou pelo índice WSDI

2 Representado pelo índice de Precipitação máxima anual em 1 dia (Rx1day)

3 Representado pelo índice de Precipitação máxima anual em 5 dias (Rx5day)

4 Representado pelo índice de Dias Consecutivos Secos (CDD)

5 Medido pela intensidade do vento

Legenda	
(+)	Aumento
(-)	Redução
(x)	Sinal indefinido
*	Apresenta diferenças de sinal de mudança no conjunto de fontes

	Alta concordância entre as fontes (Mais de 70% das fontes concordam)
	Média concordância entre as fontes (Mais de 50% das fontes concordam)
	Baixa concordância entre as fontes (Menos de 50% das fontes concordam)
	Poucas observações

2.2.1 Ameaças climáticas observadas

Para a região da BG são esperadas mudanças nos regimes climáticos relacionados principalmente à temperatura e precipitação. Dados observados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para esta porção do Estado do Rio de Janeiro apontou para essa região um aumento da temperatura média de +2°C e redução da precipitação média de 20mm (-8,3%), no período de 1991-2020 em relação 1961-1990, acompanhados pelos aumentos da evapotranspiração total da ordem de 20% e da umidade relativa do ar em 5% na comparação dos mesmos períodos. Dados do Banco Mundial (World Bank Climate Change Knowledge Portal) corroboram essas tendências, mostrando que o Estado do Rio de Janeiro teve um aumento da temperatura média, temperatura mínima e máxima observadas da ordem de +0,6°C, no período de 1991-2020 em relação 1961-1990. Quanto a precipitação, observa-se uma redução de chuvas principalmente no período de inverno (junho, julho e agosto) de 12,8% entre os períodos de 1991-2020 em relação 1961-1990, e um aumento de chuvas nos meses de março, abril e maio da ordem de 7,48%, comparando a climatologia de 1991-2020 e 1961-1990, portanto, indicando invernos mais secos e outonos mais chuvosos.

Estudos realizados utilizando dados observados de estações meteorológicas do como as do INMET e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) verificaram que nos dados observados há pouca concordância estatística para as tendências observadas para chuvas na RMRJ, oscilando os sinais positivos e negativos a depender da localização da estação. Lima e Armond (2022) verificaram tendência positiva significativa de eventos extremos apenas em uma de quarenta e sete estações nos municípios da RMRJ entre 1970-2019, relacionados com chuvas intensas. Já Silva e Dereczynski (2014) observaram tendências positivas para as variáveis de temperatura (máxima e mínima) em estações no entorno da BG no período de 1968 a 2012, com tendências estatísticas significativas. Já para os índices de extremos climáticos derivados da precipitação, considerando o período de 1968 a 2008, de modo geral verificou-se aumento no volume anual de chuvas, em algumas estações há tendências significativas e outras não. Além disso, os períodos de estiagem tiveram leve tendência de redução, sem significância estatística nas estações.

2.2.2 Ameaças climáticas observadas para o futuro

Nesta análise, os dados do PROJETA do INPE foram considerados como referência para a BG, uma vez que os quatro modelos regionais disponibilizados pela plataforma foram calibrados para ter maior aderência e sensibilidade às características regionais do Brasil. Além disso, devido a resolução espacial mais refinada são os modelos com cenários futuros mais adequados à análise nesta escala. Devido a questão de cobertura dos dados dos modelos, outras fontes de dados, tal como o Atlas do IPCC não são os mais indicados em termos de enquadramento espacial (Sul da América do Sul), pois acabam recobrando uma área extensa muito heterogênea, desta forma, sub-representando regiões na escala de bacia hidrográfica.

Na plataforma PROJETA, selecionou-se quatro modelos regionais ETA, experimentos HADGEM-2, MIROC-5, CANESM2 e BESM, com os cenários RCP 4.5 (otimista) e RCP 8.5 (pessimista). Optou-se por analisar utilizando a média destes modelos e avaliar as projeções futuras na frequência anual. De acordo com os modelos regionais, são esperados para a BG um aumento da temperatura média entre +0,95°C (RCP 4.5) e +1,15°C (RCP 8.5) a curto prazo (2011-2040). A médio prazo (2041-2070) a temperatura média da região aumentará entre +1,62°C (RCP 4.5) e +2,10°C (RCP 8.5). Para um horizonte de longo prazo (2071-2100), até o final do século, os modelos climáticos indicam para o cenário mais pessimista (RCP 8.5) um aumento de até +3,80°C. As temperaturas mínimas e máximas também serão mais elevadas com uma variação percentual da ordem de +8% a +10% para as mínimas e +6,94% a +9,8% até 2070, respectivamente, ultrapassando assim o patamar de 30°C médios de temperatura máxima média anual no cenário pessimista (RCP 8.5). Além disso, são projetadas ondas de calor extremo, com aumento de 11 dias nos dados observados para 11 (RCP 4.5) a 12 (RCP 8.5) dias até 2040, podendo atingir entre 21 (RCP 4.5) a 25 (RCP 8.5) dias do ano com temperaturas muito altas (limiar crítico de 35°C) até 2070.

Segundo os modelos climáticos, os totais de chuvas anuais no entorno da BG têm tendência de redução em até 18% (-368 mm) no cenário pessimista (RCP 8.5) e até 12% (-217 mm) no cenário otimista (RCP 4.5) até 2070. A escassez hídrica poderá atingir limiares críticos a curto prazo (até 2040), com uma redução no volume de chuvas da ordem de -294 mm (RCP 8.5) e -240 mm (RCP 4.5). Em relação a dias secos consecutivos, as projeções indicam um aumento de seca, variando entre 3 (cenário otimista - RCP 4.5) e 4 dias (cenário pessimista - RCP 8.5) a mais por ano a médio prazo (até 2070), podendo chegar a 8 dias até o final do século no cenário pessimista (estiagens prolongadas), o que implicaria para a região cenários de menos volume de chuvas com pior distribuição (redução de chuvas fracas).

Os índices de chuvas extremas (Rx1day - Quantidade máxima de chuvas em 1 dia e Rx5day - Quantidade máxima de chuvas em 5 dias) apontam para um cenário mais crítico para BG, mas de redução destes eventos no cenário pessimista (RCP 8.5) da ordem de 4% até 2070, devido à redução acentuada nos totais de chuvas anuais para este cenário. Para

chuvas intensas em um único dia há o indicativo de aumento deste eventos (Quantidade máxima de chuvas em 1 dia) aumentando de 68 mm (histórico observado) para cerca de 69 mm nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 até 2040. Para o final do século XXI estes eventos podem chegar a 73 mm (+7% de aumento) de chuvas intensas no cenário RCP 8.5. Ainda segundo os dados do Atlas IPCC, as chuvas intensas persistentes (Quantidade máxima de chuvas em 5 dias) aumentariam de 113 mm (histórico observado) para cerca de 120 mm (+6% de aumento) no cenário mais otimista (RCP 4.5) e 123 mm (+8,6% de aumento) no cenário mais pessimista (RCP 8.5) até 2040 a macrorregião do sul da América do Sul. Complementarmente, dados do portal Site-Specific Report para a média dos municípios da região da BG, usando dados de modelos globais e regionalizados do CMIP5 e CORDEX, indicam também essas tendências nas chuvas e apresentam o reflexo destes cenários para o balanço hídrico da região, com os indicadores de recarga hídrica e escoamento superficial, apresentando redução de -2% a -3% no cenário otimista (RCP 4.5) até 2040, mas com redução de mais de 10% nestes indicadores para até 2070 no cenário RCP 8.5.

Por fim, a elevação média do nível do mar na região da Baía de Guanabara é observada em dados da NASA/JPL. De acordo com o dado ECCO v.4v4, entre 1992 e 2017 (25 anos), houve elevação da ordem de 50,3 mm, enquanto segundo o dado MEaSUREs, entre 1992 e 2022 (30 anos), o nível médio do mar na região aumentou 12,1 mm. Embora não concordem no valor nominal, o sinal é de aumento em ambos os conjuntos de dados. Para o futuro a plataforma Atlas IPCC, utilizando o CMIP6, indica que a elevação média do nível no mar pode ser de até 0,7 metros no pior cenário (RCP 8.5), e até 0,5 metros no cenário mais otimista (RCP 4.5) até 2100.

Esses dados indicam e corroboram a expectativa de aumento dos eventos de chuvas extremas concentradas para a BG, principalmente para as épocas de verão, quando as condições meteorológicas potencializam estes eventos, mas ao mesmo tempo de redução dos totais anuais de chuvas, sendo afetados nos períodos de poucas chuvas, como no inverno, por períodos mais quentes e de estiagem. Portanto, a redução das chuvas e de sua distribuição, que tende a ocorrer nos meses do verão, fará com que os ecossistemas tendem a armazenar menos água para sua manutenção ao longo do ano, notadamente nos períodos de estiagem.

2.3 Riscos climáticos para a Região da Baía de Guanabara

De acordo com o Plano de Adaptação Climática do Estado do Rio de Janeiro (PAERJ) a RMRJ e entorno da BG serão afetados pelas mudanças climáticas e particularmente apresentam riscos climáticos que dialogam com os riscos identificados pela plataforma AdaptaBrasil, bem como, estão diretamente relacionadas às ameaças climáticas identificadas

para a BG (vide seção 2 deste documento). O PAERJ destaca que o Estado do Rio de Janeiro (ERJ) é particularmente vulnerável a desastres naturais associados a eventos extremos, em decorrência de históricas e constantes alterações no espaço físico e de questões biofísicas, como o relevo montanhoso, a descaracterização de rios e córregos, e o desmatamento da cobertura original de Mata Atlântica, bem como da ocupação desordenada de sua zona costeira. Além disso, sua localização em uma área de transição entre sistemas atmosféricos favorece a ocorrência de eventos de chuva intensa, ocasionando enchentes, alagamentos e deslizamentos de terra, que acarretam transtornos à sociedade e prejuízos socioeconômicos (PAERJ, 2018).

O PAERJ considera que as alterações estruturais na forma de uso e cobertura do solo pelo qual passou o ERJ ao longo das últimas décadas combinadas com os potenciais mudanças nos padrões climáticos podem aumentar a frequência de ocorrência de desastres naturais, cujos principais afetados são as populações mais vulneráveis em termos socioeconômicos e de saúde, bem como as infraestruturas das cidades que impactam diretamente na economia e serviços estratégicos dos municípios (PAERJ, 2018).

Das ameaças climáticas citadas no PAERJ, a tendência é de aumento dos índices de temperatura, sobretudo com relação à média máxima e média mínima projetados. As diferenças relativas das temperaturas mínimas e máximas, implicam em redução da amplitude térmica diária, com elevação generalizada da temperatura. No caso da Região Metropolitana do RJ, a potencial elevação da temperatura pode ser exacerbada pelo adensamento urbano em curso, seguido pela intensa impermeabilização do solo, contribuindo para a formação e intensificação de ilhas de calor. Por outro lado, dias quentes consecutivos tenderão a aumentar significativamente, assim como a duração das ondas de calor, até 2070. Redução estatisticamente significativa poderá ocorrer com relação à precipitação total anual e o acumulado de chuvas em um dia, em ambos os cenários de emissão e modelos verificados no PAERJ. Há projeções também de aumento dos dias secos consecutivos. Independentemente dos cenários e modelos climáticos, é projetado um clima mais quente e com menores volumes de chuvas (PAERJ, 2018).

Com estes cenários postos, verificou-se no documento do PAERJ os principais potenciais impactos descritos como críticos para o ERJ, com o olhar em especial para a RMRJ e o entorno da Guanabara. Na Tabela 2 são elencados principais riscos climáticos, associados às ameaças identificadas pelo presente estudos e os impactos para a BG oriundos do PAERJ, buscando assim sintetizar as informações de risco. A seguir, cada impacto apontado é resumido.

2.3.1 Impactos para os recursos hídricos

Um dos primeiros efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos diz respeito à perturbação no ciclo da água. As séries históricas climáticas disponíveis em estações indicam alta variabilidade dos regimes de precipitação em toda região da BG e que torna ainda mais complexa as tomadas de decisões sobre a gestão de recursos hídricos. O Estado do Rio de Janeiro é dividido em nove unidades estaduais de planejamento e gestão de recursos hídricos, denominadas Regiões Hidrográficas (RH). A Região Hidrográfica V (RH V), que abrange a maior parte da Região Metropolitana, está localizada na área da Baía de Guanabara. Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI-RJ) de 2014, às principais vazões para abastecimento humano são oriundas da bacia do Rio Vale do Paraíba, assim, para garantir o abastecimento da RMRJ e a alta demanda é necessário o transporte de água para a RH V, advindas de outras RH, dada a sua importância para a metrópole (PERHI-RJ, 2014).

O PERHI-RJ também destacou a grave situação dos recursos hídricos, como a contaminação dos rios por esgoto, a intrusão salina em alguns aquíferos e a ausência de mata ciliar nos principais mananciais. Em um balanço geral, o PERHI-RJ aponta uma situação de alerta para a escassez hídrica em todo o estado, o que impõe um desafio enorme para a região da BG que sofrerá em cenários de mudanças climáticas redução da precipitação total anual e dias mais quentes e secos (PERHI-RJ, 2014).

2.3.2 Impactos à saúde humana

A saúde da população mundial está diretamente e indiretamente ligada às mudanças climáticas, como no caso do aumento ou diminuição de certas doenças em função das variações de temperatura. Fatores climáticos também influenciam o comportamento de vetores de doenças, o que pode intensificar a incidência de doenças transmitidas por arbovírus. Vale destacar que a vulnerabilidade da população não depende apenas dos fenômenos climáticos, mas também de fatores como localização geográfica, idade, gênero e condições socioeconômicas (PAERJ, 2018).

No relatório do PAERJ os possíveis impactos das mudanças climáticas no ERJ na saúde humana foram relacionados à doenças decorrentes de efeitos diretos e indiretos de eventos climáticos, incluindo doenças fisiológicas (cardiovasculares e respiratórias) e doenças transmitidas por vetores (dengue, leptospirose, leishmaniose e diarreia). Nesse contexto, é importante lembrar que o ser humano é um mamífero homeotérmico, o que significa que mantém sua temperatura corporal constante. Assim, variações extremas de temperatura, potencializadas por fatores como ventilação, umidade, radiação de paredes ou tetos e o uso de ar-condicionado, podem aumentar os riscos de hipertermia (pirexia) nas populações mais vulneráveis. Além disso, estudos mostram uma relação positiva entre o número de mortes por doenças zoonóticas (arboviroses) durante meses com temperaturas mais elevadas, entre 24°C e 27°C. Já em meses mais frios, há um aumento na mortalidade relacionada a doenças respiratórias. Considerando as mudanças nas temperaturas mínimas e máximas na região da BG para o futuro, os riscos relacionados à saúde de populações especialmente vulneráveis, tais quais crianças com menos de 5 anos, idosos com mais de 65 anos e as classes socioeconomicamente mais desfavorecidas são prioritariamente preocupantes e devem ser priorizados em políticas de adaptação (PAERJ, 2018).

2.3.3 Impactos sobre a drenagem urbana

A drenagem urbana no Estado do Rio de Janeiro é baseada na divisão territorial das nove Regiões Hidrográficas (RH). A composição geomorfológica do estado se caracteriza por duas grandes áreas: a primeira formada pelas escarpas da Serra do Mar, com elevadas amplitudes altimétricas, incluindo morros, serras escarpadas, serras isoladas e serras locais; e a segunda composta por feições de baixas amplitudes altimétricas, como colinas e extensas áreas de planícies fluviais e fluviomarinhas, como a Baixada Fluminense, que faz parte da RH V, que abrange a Baía da Guanabara. Segundo o Índice de Suscetibilidade do Meio Físico a Inundações (ISMFI), as projeções indicam que áreas em planícies de baixada são consideradas de alta suscetibilidade a inundações, que aumenta consideravelmente o risco em função das chuvas extremas para esta região, que inclui a porção da BG (PAERJ, 2018). Sabe-se que o avanço da urbanização é marcado, sobretudo, pela supressão da cobertura vegetal, ocupação de calhas secundárias de rios, impermeabilização do solo, ocupação de áreas potencialmente alagáveis e intervenções nos cursos d'água. Esses fatores podem provocar uma série de impactos, como a redução da infiltração e da evapotranspiração, além do aumento da velocidade dos escoamentos superficiais. É importante ressaltar que a RMRJ enfrenta problemas sociais graves no que diz respeito à habitação, com políticas insuficientes ou inexistentes para conter a expansão de assentamentos informais em áreas mais vulneráveis a desastres climáticos.

Vale destacar que as camadas superficiais do solo desempenham um papel fundamental no balanço hídrico, no transporte de sedimentos e na poluição difusa. A transformação antrópica da cobertura do solo é o principal fator que intensifica eventos de inundações fluviais e alagamentos urbanos. Nesse contexto, o intenso processo de ocupação territorial, quando não feito de forma planejada, reflete diretamente o grau de intervenção sobre o ambiente natural. A expansão das áreas urbanas alterou os ciclos e processos do meio físico, resultando em maior incidência de áreas alagadas, inundações e enxurradas em ambientes urbanos desprovidos de políticas preventivas adequadas, especialmente em relação às mudanças climáticas.

2.3.4 Impactos sobre deslizamentos

Considerando o histórico de incidência de deslizamentos de terra em áreas potenciais de risco no ERJ, este impacto pode ter suas consequências potencializadas pelas mudanças climáticas que podem intensificar deslizamentos em taludes por conta do aumento do volume de chuvas nas regiões com maior declividade. O ERJ se destaca com significativos eventos históricos de desastres associados a eventos pluviométricos, que geraram grande número de vítimas fatais e prejuízos financeiros. Para se ter uma ideia, na Cidade do Rio de Janeiro, grandes eventos de chuva incluem os de 1966 e 1967, que resultaram em mais de 200 mortes, 1988, com 80 mortes após 19 dias de chuva, e abril de 2010, com mais de 60 mortes. Em Niterói, no mesmo evento de 2010, 47 pessoas morreram no Morro do Bumba devido a um deslizamento que soterrou casas construídas sobre um antigo lixão, totalizando mais de 250 mortos na Região Metropolitana. Em Angra dos Reis, em janeiro de 2010, deslizamentos após o réveillon soterraram pousadas e casas, matando 53 pessoas. Na região serrana, grandes enchentes e deslizamentos em 1988 deixaram 277 mortos, e em 2011, o maior desastre socioambiental do país resultou em 916 mortes, 345 desaparecidos e 35 mil desabrigados, afetando cidades como Nova Friburgo, Teresópolis e Petrópolis (PAERJ, 2018).

Nos últimos anos o PAERJ aponta ainda para o aumento de populações que vivem em condições de risco sujeitas a escorregamentos de massa e inundações. Como o processo de urbanização ocorre de forma intensa e desigual, as populações menos favorecidas ocupam áreas inadequadas para moradias, correndo riscos de desastres fatais. O processo de ruptura de uma encosta ocorre em função da condição da geomorfologia do terreno, do processo de infiltração, das características geológicas do maciço, do índice de umidade anterior à chuva e do histórico pluviométrico da região. Os períodos críticos de chuvas intensas no Estado do Rio de Janeiro ocorrem entre outubro e março de cada ano (PAERJ, 2018).

2.3.5 Impactos sobre rodovias

Outro risco associado às mudanças climáticas que podem impactar em termos de infraestrutura o ERJ e também a região da BG está relacionado à vulnerabilidade das malhas rodoviárias federais e estaduais. Os possíveis impactos nessas estruturas seriam advindas do aumento da temperatura e chuvas torrenciais que intensificam problemas como a deterioração da pavimentação, falhas nos sistemas de drenagem e deslizamentos de material dos taludes que margeiam as vias. As alterações de temperatura e os eventos de precipitação extremos associados ao clima podem exceder os limites críticos de resistência da infraestrutura rodoviária. Desde a década de 1950, com a priorização do modal rodoviário no Brasil, impulsionada pelo desenvolvimentismo do presidente Juscelino Kubitschek, problemas nas rodovias têm potencial para causar sérias interrupções no transporte de bens e serviços, prejudicando o fluxo entre os grandes centros urbanos (PAERJ, 2018).

Os efeitos climáticos têm impacto direto na infraestrutura rodoviária, sendo o aumento da frequência de dias muito quentes e ondas de calor um dos principais desafios. As altas temperaturas causam a expansão térmica das juntas de dilatação de pontes e superfícies pavimentadas, resultando em possíveis degradações e aumentando a necessidade de manutenção. Além disso, o superaquecimento de veículos e o desgaste acelerado de pneus contribuem para a elevação dos custos de manutenção e construção. A integridade de pontes e estradas também é comprometida pela expansão de materiais como concreto e asfalto (PAERJ, 2018).

Outro efeito preocupante é o aumento da ocorrência de chuvas extremas e intensas, que elevam o risco de inundações e deslizamentos de terra, especialmente em áreas onde esses eventos já são comuns. As inundações podem sobrecarregar os sistemas de drenagem, comprometer a estrutura de estradas, pontes e túneis, e provocar interrupções no trânsito e evacuações de emergência. Além disso, chuvas mais intensas colocam em risco a estabilidade de pontes e podem causar erosão de rodovias costeiras, danos em sinalização e iluminação, e aumentam o tempo de reparo devido à maior quantidade de detritos nas vias (PAERJ, 2018).

2.3.6 Impactos sobre a zona costeira

Outro grande risco climático associado às mudanças do clima com potenciais impactos sobre as zonas costeiras é de significativa relevância, uma vez que o Estado do Rio de Janeiro, dentro todos os estados da Federação, é o que apresenta a maior concentração humana na Zona Costeira, tanto em termos absolutos quanto em termos relativos à população do estado. O ERJ apresenta feições bastantes diversificadas: baías, estuários, lagunas, manguezais, ilhas oceânicas, praias arenosas, costões rochosos, falésias vivas do Grupo Barreiras, serras e relevo acidentado junto ao mar. Sabe-se que houve intensa urbanização sobreposta às feições geomorfológicas, e implementação de atividades que tornam a Zona Costeira Fluminense uma das mais ricas do país, responsável por mais de 90% do PIB do estado. Vale apontar que, com base na legislação vigente, o Estado do Rio não dispõe de mecanismos legais relacionados às Zonas Costeiras. A Política Estadual sobre Mudança Global do Clima sequer menciona os ambientes, os fenômenos ou as atividades nas costas litorâneas, o que indica baixa resiliência sobre este tópico e consequentemente alto risco associado (PAERJ, 2018).

Com base na caracterização fisiográfica e nas atividades econômicas dos municípios costeiros do Rio de Janeiro, o PAERJ identificou os principais agentes naturais que impactam essas regiões e indicadores para medir a consciência sobre problemas costeiros, a prontidão para mudanças climáticas e a capacidade de gestão em emergências. Os municípios costeiros fluminenses podem sofrer sérios problemas decorrentes de planejamento inadequado e execução precária de obras, associados tanto a fatores naturais, como morfologia de praias e biomas costeiros, quanto a atividades econômicas, como turismo e exploração de petróleo (PAERJ, 2018). Entre os principais agentes naturais que pode citar são: ondas geradas por ventos e variações no nível do mar, ventos intensos que afetam infraestrutura e atividades econômicas, e chuvas intensas que comprometem os sistemas de drenagem. As ameaças de ventos mais intensos e elevação do nível médio do mar, são identificados com tendência de aumento no futuro para a região da Guanabara (olhar seção 2). Esses eventos resultam em inundações, deslizamentos e degradação de estruturas costeiras, além de impactos sobre estradas, aeroportos e sistemas de comunicação. Ressacas excepcionais, com tempos de recorrência de cerca de 50 anos, têm causado danos recorrentes, como inundações em áreas costeiras e elevação do lençol freático, afetando infraestrutura urbana e portuária. Além disso, a intensificação dos ventos e mudanças climáticas aumentam o risco de destruição de estradas litorâneas, interferem nas operações portuárias e afetam a estabilidade de dunas, redes de transmissão e estruturas costeiras (PAERJ, 2018).

2.4 Vulnerabilidades climáticas para região da Baía de Guanabara

Para detalhar mais as questões de Riscos climáticos, utilizou-se a plataforma AdaptaBrasil-MCTI para avaliar os principais riscos nos municípios do entorno da Baía de Guanabara e que estão inseridos da microrregião da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), com ênfase nos riscos climáticos relacionados aos recursos hídricos, desastres geohidrológicos e saúde, uma vez que são setores identificados como mais relevantes na região da Baía de Guanabara pelo relatório do Plano de Adaptação Climática do Estado do Rio de Janeiro (PAERJ), assim estabelecendo um diálogo direto com os riscos apontados no PAERJ e o resultado da revisão das ameaças climáticas.

Segundo a plataforma AdaptaBrasil-MCTI (Tabela 4), os municípios da RMRJ que estão contidos na região do entorno da Baía Guanabara, apresentam um valor médio 0,64 de Índice de Risco climático para seca no setor de recursos hídricos, pertencendo à classe de Médio Risco no tempo presente. Nos horizontes temporais de 2050, tanto no cenário otimista quanto pessimista, estes municípios têm seu Risco elevado nominalmente para valores superiores a 0,7, migrando para a classe de Risco Alto. A componente do Risco do Índice de Exposição (0,73) é o que mais para a região da Guanabara, puxado principalmente pelos indicadores de “Densidade Populacional” e “Proximidade da população em relação às áreas em processo de degradação ou desmatamento”. Em termos de vulnerabilidade o Índice de Vulnerabilidade é Médio (0,51), na média dos municípios da RMRJ, destacando-se negativamente os municípios do Mesquita (0,70), São Gonçalo (0,69), Japeri (0,64), Duque de Caxias (0,64) e Rio de Janeiro (0,60). Em contrapartida, Niterói (0,33) e Nilópolis (0,39) apresentam índice de Vulnerabilidade Baixo, sendo os municípios que terão maior resiliência aos impactos das mudanças climáticas em recursos hídricos. Das componentes da vulnerabilidade, tanto o Índice de Sensibilidade (0,52) quanto o de Capacidade Adaptativa (0,51), na média dos municípios da RMRJ, são considerados Médio, sendo necessário empreender esforços para melhorar principalmente as “Alternativas ao abastecimento por rede geral” e investir em “Programas ou ações de prevenção contra impactos da seca”. Os municípios da RMRJ que possuem maior Capacidade Adaptativa são: Niterói (0,73), São João de Meriti (0,70), Nova Iguaçu (0,65), Nilópolis (0,62) e Belford Roxo (0,62). Em comum, eles se destacam nos indicadores de “Nível de atuação dos Comitês de bacias” e “Nível de implementação e articulação do plano municipal de saneamento básico”. Em contraste, Japeri (0,31), Mesquita (0,32), São Gonçalo (0,33), Duque de Caxias (0,36) Itaboraí (0,38), apresentam índices baixos de capacidade adaptativa, com baixo desempenho em “Alternativas ao abastecimento por rede geral” e investir em “Programas ou ações de prevenção contra impactos da seca”.

No setor de Desastres Geohidrológicos, o Risco atual dos municípios da RMRJ é considerado Alto tanto para a ameaça de inundações, enxurradas e alagamentos (0,61) quanto para Deslizamento de terra (0,65). No futuro, tanto em 2030 quanto em 2050, no cenário pessimista, a situação em termos de desastres geohidrológicos, segue sendo de Alto Risco em ambas as ameaças (0,62 e 0,67 para todos os cenários e projeções), puxado pela componente de Ameaça climática. Para Risco de Inundações, enxurradas e alagamentos, o Índice de Vulnerabilidade (0,28) médio dos municípios da RMRJ é classificado como Baixo, com o Índice de Sensibilidade (0,30) considerado Baixo e a Capacidade Adaptativa (0,66) como Alto, sendo apontadas na plataforma os indicadores de “Instrumentos de gestão de ocupação urbana em áreas de risco de inundações, enxurradas e alagamentos” e “Nível de atendimento dos estabelecimentos de saúde” como os principais fatores negativos nos municípios em termos de Risco de Inundações, enxurradas e alagamentos. Em contraste, os municípios que possuem Capacidade Adaptativa mais alta, destacam-se pelo bom desempenho nos indicadores do temático de Gestão de risco, incluindo os indicadores de “Instituições que atuam em gestão de risco de desastres” e “Plano de contingência para desastres de inundações, enxurradas e alagamentos”. Os municípios com maior Capacidade Adaptativa são Cachoeiras de Macacu (0,97), Petrópolis (0,95), Niterói (0,94), São Gonçalo (0,85) e Duque de Caxias (0,85).

Para Risco de Deslizamento de terra, o Índice de Vulnerabilidade (0,31) na RMRJ é classificado como Baixo, com o Índice de Sensibilidade (0,32) considerado Baixo e a Capacidade Adaptativa (0,63) como Alto, sendo apontadas na plataforma os indicadores de “Instrumentos de gestão de ocupação urbana em áreas de risco de deslizamento de terra” “Instituições que atuam em gestão de risco de desastres” e “Nível de atendimento dos estabelecimentos de saúde” os principais fatores negativos nos municípios em termos de Risco de Deslizamento de terra. Os municípios com pior Capacidade Adaptativa são Guapimirim (0,25) e Nilópolis (0,30). Por outro lado, os municípios que possuem Capacidade Adaptativa mais alta, destacam-se pelo bom desempenho nos indicadores do temático de Gestão de risco, incluindo os indicadores de “Produto Interno Bruto por área urbana”, “Instituições que atuam em gestão de risco de desastres” e “Plano de contingência para desastres de inundações, enxurradas e alagamentos”. Os municípios com maior Capacidade Adaptativa são Cachoeiras de Macacu (0,98), Niterói (0,96), Maricá (0,88), Rio de Janeiro (0,88) e Duque de Caxias (0,85).

Do ponto de vista da Segurança Energética, os municípios da RMRJ apresentam Risco Baixo para Disponibilidade (0,35) de energia e Risco Médio para Acesso à energia (0,45). Porém, no futuro serão municípios com Risco Muito Alto (0,90) em 2050 em termos de disponibilidade de energia e Risco Alto (acima de 0,74) em no acesso à energia. Quanto à disponibilidade de energia, são municípios altamente dependentes da produção de energia

hidrelétrica, com alta demanda de resfriamento e baixo potencial de geração de energia eólica e solar. Como são previstas reduções nos volumes de chuvas anuais, as vazões para produção hidrelétrica serão altamente afetadas no cenário 2050 pessimista. Outro fator que torna a região da Guanabara com maior Risco no Futuro, deve-se a alta Exposição (0,64), representado pela Densidade Populacional.

Em Segurança Alimentar, os municípios da RMRJ apresentam para a Ameaça de Seca, valores de Risco Médio (0,51) no presente. Para a Ameaça de Chuvas Intensas, o valor de Risco também é Médio (0,40). Para o futuro, a situação da região da Guanabara é mais crítica com o Risco Alto no cenário pessimista, em 2030 (0,65) e 2050 (0,63), para Seca, e 0,6 (2030) e 0,58 (2050) para Chuvas Intensas. Para Risco de Seca em Segurança Alimentar, o Índice de Vulnerabilidade (0,37) médio da RMRJ é classificado como Baixo, com o Índice de Sensibilidade (0,39) considerado Baixo e a Capacidade Adaptativa (0,63) como Alto, sendo apontadas pela plataforma um conjunto de ações adaptativas bem estruturadas no indicador temático de “Logística e abastecimento”. Os indicadores mais frágeis do município e que podem melhorar são: “Acesso ao Programa Garantia Safra” e “Nível de atendimento à população das unidades receptoras do Programa de Aquisição de Alimentos (PAA)”. Contudo, o Índice de Exposição (0,64) é considerado Alto e quando associado à Ameaça climática de Seca, pode afetar principalmente o acesso da população aos alimentos, uma vez que o Índice de Exposição está sendo mais influenciado pelo indicador de “Densidade Populacional”. Para Risco de Chuvas Intensas em Segurança Alimentar, o Índice de Exposição (0,58) e o Índice de Vulnerabilidade (0,44) em médios nos municípios da RMRJ são classificados como Médio, com o Índice de Sensibilidade (0,40) considerado Médio e a Capacidade Adaptativa (0,52) como Médio, sendo apontadas pela plataforma como indicadores mais frágeis para os municípios e que podem ser melhorados: “Eficiência no armazenamento de alimentos”, “Nível de associativismo”, e “Acesso ao Programa Garantia Safra”. Indicadores relacionados diretamente com a manutenção da produção agropecuária no município.

No setor de Saúde, o valor de Risco para a Malária na RMRJ é considerado Médio (0,40), apresentando valor de Vulnerabilidade Alto (0,65), Sensibilidade Muito Baixo (0,04) e em contraste Capacidade Adaptativa classificado como Muito Baixo (0,10), o que mostra que os municípios da região não tem acesso a serviços básicos de saúde com qualidade, refletidos nos indicadores de “Cobertura da Atenção Básica” e “Acesso a Diagnóstico e Tratamento”. Apenas os municípios de Magé e Maricá possuem uma classificação um pouco melhor. O Risco para a Leishmaniose Tegumentar Americana na RMRJ é considerado Médio (0,57), apresentando valor de Vulnerabilidade Médio (0,44), Sensibilidade Muito Baixo (0,12) e em contraste Capacidade Adaptativa classificado como Baixo (0,25), o que mostra que os municípios da região não tem acesso a serviços básicos de saúde com qualidade, refletidos

no indicador de “Cobertura da Atenção Básica”, destacando-se positivamente os municípios de Magé e Maricá possuem uma classificação Alto nesse quesito. No setor de Saúde, o valor de Risco para a Leishmaniose Visceral na RMRJ é considerado Alto (0,61), apresentando valor de Vulnerabilidade Médio (0,43), Sensibilidade Muito Baixo (0,07) e em contraste Capacidade Adaptativa classificado como Baixo (0,25), também para esta doença a falta de acesso a serviços de saúde diminui a capacidade adaptativa da região.

Corroborando com o verificado na Plataforma Adaptabrasil, o Índice de Vulnerabilidade Municipal desenvolvido pela Fundação Oswaldo Cruz (FioCruz) em 2014 utilizou com uma das sub-dimensões o Índice de Vulnerabilidade da Saúde (IVS), que sintetiza indicadores de morbidade e mortalidade relevantes nos municípios do ERJ. Para compor o IVS, foram selecionadas quatro doenças presentes de forma endêmico-epidêmica no ERJ: dengue, leptospirose, leishmaniose tegumentar americana (LTA) e óbito por diarreia em menores de 5 anos, que apresentam formas de transmissão e persistência relacionadas com o clima. Como resultado, das quatro doenças analisadas, em três (dengue, leptospirose e leishmaniose) os municípios da RMRJ apresentaram alta vulnerabilidade. O IVS da RMRJ é o mais alto entre as regiões analisadas, o que impõe um risco alto em cenários de mudanças climáticas, posto que os efeitos da mudança do clima sobre a ocorrência das doenças infecciosas podem ser considerados como indiretos, uma vez que os mecanismos de desenvolvimento dessas doenças são mediados por outros fatores de ordem ambiental e social. A ampliação da variação da temperatura e da ocorrência de eventos extremos previstos nos cenários de clima contribuíram para a expansão de doenças transmitidas por vetores sensíveis ao clima e, por veiculação hídrica (FIOCRUZ, 2014).

Tabela 4: Riscos climáticos na região da Baía da Guanabara segundo a plataforma Adaptabrasil-MCTI.

Município	Setor Estratégico	Risco climático	Presente	2030 - Otimista	2030 - Pessimista	2050 - Otimista	2050 - Pessimista
Região Metropolitana do Rio de Janeiro	Recursos hídricos	Seca	0,64	0,64	0,67	0,77	0,75
	Segurança Alimentar	Seca	0,51	0,5	0,55	0,65	0,63
		Chuvas	0,4	0,6	0,57	0,6	0,58
	Desastres Geohidrológicos	Inundações, enxurradas e alagamentos	0,61	0,62	0,62	0,62	0,61
		Deslizamento de terra	0,65	0,67	0,67	0,67	0,67
	Segurança Energética	Disponibilidade	0,35	X	X	X	0,9
		Acesso	0,45	X	X	X	0,74
	Saúde	Malária	0,4	0,42	0,42	0,42	0,43

Legenda AdaptaBrasil	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
----------------------	-------------	-------	-------	------	------------

Tabela 5: Relação entre os principais riscos climáticos e ameaças na região da Baía de Guanabara.

Riscos climáticos	Ameaças climáticas mais associadas	Limites críticos	Impactos potenciais
Risco para os recursos hídricos	Chuvas intensas concentradas + Redução das chuvas anuais	As chuvas anuais sofrerão redução em curto prazo (até 2040) da ordem de -294 mm (RCP 8.5) e -240 mm (RCP 4.5) e até 18% (-368 mm) no cenário pessimista (RCP 8.5) e até 10% (-217 mm) no cenário otimista (RCP 4.5) até 2070 (dados dos modelos regionais do INPE) Os modelos do Atlas IPCC indicam aumento do número de chuvas intensas persistentes da ordem de +6% no cenário mais otimista (RCP 4.5) e +8,6% cenário mais pessimista (RCP 8.5) até 2040. As chuvas extremas em um único dia há o indicativo de aumento deste eventos de 68 mm (histórico observado) para cerca de 69 mm nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 até 2040. Para o final do século XXI estes eventos podem chegar a 73 mm (+7% de aumento) de chuvas intensas no cenário RCP 8.5 ((dados dos modelos regionais do INPE)	- Contaminação dos rios por esgoto - Intrusão salina em alguns aquíferos - Rebaixamento da altura do lençol freático na planície de inundação - Degradação da vegetação nativa, inclusive matas ciliares - Assoreamento dos rios - Redução da disponibilidade hídrica para abastecimento humano, irrigação e vegetação - Inundação de áreas baixas - Vazões ecológicas baixas nas partes altas - Redução do armazenamento hídrico superficial - Perda de recarga do lençol freático
Risco para a saúde humana	Meses com temperaturas mais quentes podem aumentar a incidência de arboviroses + Meses com temperaturas mais frias podem aumentar a incidência de riscos de hipertermia	As temperaturas mínimas e máximas também serão mais elevadas com uma variação percentual da ordem de +8% a +10% para as mínimas e +6,94% a +9,8% até 2070, respectivamente, ultrapassando assim o patamar de 30°C médios de temperatura máxima média anual no cenário pessimista (RCP 8.5) Ondas de calor extremo, com aumento de 11 dias nos dados observados para 11 (RCP 4.5) a 12 (RCP 8.5) dias até 2040, podendo atingir entre 21 (RCP 4.5) a 25 (RCP 8.5) dias do ano com temperaturas muito altas (limiar crítico de 35°C) até 2070	- Aumento da incidência de doenças transmitidas por vetores (arboviroses) - Aumento de doenças cardiovasculares e respiratórias - Aumento dos riscos de hipertermia (pirexia) - Aumento dos riscos relacionados à saúde de populações mais vulneráveis como idosos de mais de 65 anos e/ou crianças de até 05 anos
Risco para a drenagem urbana	Redução das chuvas anuais + Estiagens	As chuvas anuais sofrerão redução em curto prazo (até 2040) da ordem de -294 mm (RCP 8.5) e -240 mm (RCP 4.5) e até 18% (-368 mm) no cenário pessimista (RCP 8.5) e até 10% (-217 mm) no cenário otimista (RCP 4.5) até 2070 (dados dos modelos regionais do INPE) Projeções do INPE indicam um aumento de estiagens, com aumento de 19 dias (histórico) para 22 dias em curto prazo (até 2040) para o cenário otimista e 23 dias o cenário pessimista, podendo atingir 27 dias (cenário pessimista - RCP 8.5) até 2070	- Aumento de inundações em planícies de baixada - Redução da infiltração e da evapotranspiração do solo - Aumento da velocidade dos escoamentos superficiais - Maior incidência e magnitude de áreas alagadas, inundações e enxurradas em ambientes urbanos - Vegetação degradada em morretes - Impermeabilização dos solos - Maior saturação do solo - Aumento da afluência de águas para calhas
Risco para zona costeira	Chuvas intensas concentradas + Elevação do nível médio do mar + Redução das chuvas anuais	As chuvas anuais sofrerão redução em curto prazo (até 2040) da ordem de -294 mm (RCP 8.5) e -240 mm (RCP 4.5) e até 18% (-368 mm) no cenário pessimista (RCP 8.5) e até 10% (-217 mm) no cenário otimista (RCP 4.5) até 2070 (dados dos modelos regionais do INPE) Os modelos do Atlas IPCC indicam aumento do número de chuvas intensas persistentes da ordem de +6% no cenário mais otimista (RCP 4.5) e +8,6% cenário mais	- Aumento da intensidade de chuvas que comprometem os sistemas de drenagem - Possibilidade de ventos mais intensos e elevação do nível médio do mar que afetam infraestrutura, atividades econômicas de regiões costeiras, destruição de estradas

		pessimista (RCP 8.5) até 2040. As chuvas extremas em um único dia há o indicativo de aumento deste eventos de 68 mm (histórico observado) para cerca de 69 mm nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 até 2040. Para o final do século XXI estes eventos podem chegar a 73 mm (+7% de aumento) de chuvas intensas no cenário RCP 8.5 ((dados dos modelos regionais do INPE) Segundo o Atlas IPCC, para os dados CMIP6, a elevação média do nível no mar pode ser de até 0,7 metros no pior cenário, e até 0,5 metros no cenário mais otimista até 2100	litorâneas e danos às redes de transmissão • Aumento da incidência de inundações, deslizamentos e degradação de estruturas costeiras que podem impactar estradas, aeroportos e sistemas de comunicação • Aumento de ressacas nas faixas de areia e áreas urbanas costeiras • Inundações em áreas costeiras e elevação do lençol freático • Possibilidade de interferência nas operações portuárias • Desestabilização de dunas • Intrusão de água salgada em áreas de mangue prejudicando atividades econômicas como o turismo, pesca e áreas agrícolas • Tendência da redução do lençol freático pelo aumento do bombeamento de água doce para consumo humano • Interferência no abastecimento da população, e consequentemente mais custo para alternativas ao abastecimento. Regiões de aglomerados urbanos que depende de uso direto de mananciais, agricultores e os ecossistemas ripários são os mais afetados
Risco para infraestrutura rodoviária	Chuvas Intensas Concentradas + Aumento na frequência de dias com temperaturas mais elevadas	Os modelos do Atlas IPCC indicam aumento do número de chuvas intensas persistentes da ordem de +6% no cenário mais otimista (RCP 4.5) e +8,6% cenário mais pessimista (RCP 8.5) até 2040. As chuvas extremas em um único dia há o indicativo de aumento destes eventos de 68 mm (histórico observado) para cerca de 69 mm nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 até 2040. Para o final do século XXI estes eventos podem chegar a 73 mm (+7% de aumento) de chuvas intensas no cenário RCP 8.5 ((dados dos modelos regionais do INPE) Ondas de calor extremo, com aumento de 11 dias nos dados observados para 11 (RCP 4.5) a 12 (RCP 8.5) dias até 2040, podendo atingir entre 21 (RCP 4.5) a 25 (RCP 8.5) dias do ano com temperaturas muito altas (limiar crítico de 35°C) até 2070	• Intensificação da deterioração da pavimentação • Aumento de falhas nos sistemas de drenagem e deslizamentos de material dos taludes que margeiam as vias • Aumento de ocorrência de interrupções no transporte de bens e serviços, prejudicando o fluxo entre os grandes centros urbanos • Aumento da necessidade de manutenção e reconstrução de vias • Aumento do risco de inundações e deslizamentos de terra que podem comprometer a estrutura de estradas, pontes e túneis • Risco de desestabilização de pontes, danos em sinalização e iluminação
Risco de deslizamentos de terra	Aumento do volume de chuvas mais intensas e concentradas	Os modelos do Atlas IPCC indicam aumento do número de chuvas intensas persistentes da ordem de +6% no cenário mais otimista (RCP 4.5) e +8,6% cenário mais pessimista (RCP 8.5) até 2040. As chuvas extremas em um único dia há o indicativo de aumento deste eventos de 68 mm (histórico observado) para cerca de 69 mm nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 até 2040. Para o final do século XXI estes eventos podem chegar a 73 mm (+7% de aumento) de chuvas intensas no cenário RCP 8.5 ((dados dos modelos regionais do INPE)	• Intensificação de deslizamentos em taludes • Aumento da incidência de vítimas entre populações que vivem em áreas de risco, sujeitas a deslizamentos de terra e inundações

3. Método

Esta análise se baseou no método MASTRANDREA et al. (2011), o qual é usado no tratamento de incertezas nos relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC). Os sinais das tendências observadas e projetadas para cada ameaça climática identificada são baseados no nível de concordância entre as conclusões das diferentes fontes de dados e referências consultadas e no nível de evidência de cada uma delas. Foram consideradas 15 fontes de dados e referências, incluindo análises e dados advindos do do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), atlas climático do IPCC, portal sobre clima do Banco Mundial, a plataforma Adaptabrasil-MCTI, plataforma Climate Information Site-Specific Report da Organização Mundial de Meteorologia, e artigos científicos revisados por pares publicados em periódicos relevantes (ver Tabela 6). Cada fonte recebeu uma pontuação, sendo +1 para uma conclusão de aumento e -1 para uma conclusão de diminuição. Caso a fonte indique alguma incerteza (p.ex., baixa concordância entre modelos ou sinal indefinido), então o valor da conclusão é igual a 0. Se mais de 70% das fontes concordam com aumento (ou diminuição), então há alta concordância entre as fontes e para o sinal de mudança observado nas fontes, considera-se os símbolos de (+) para aumento ou (-) para diminuição. Caso as fontes concordem em mais da metade, mas em menos que 70%, existe uma média concordância entre as fontes e o sinal dominante é considerado, seja de aumento (+) ou redução (-). Se em 50% ou menos das fontes consultadas existe uma conclusão de tendência, então, há uma baixa concordância entre as fontes. Nas situações em que o sinal dominante não é identificável, utilizou-se o símbolo (x) para representar o sinal indefinido. O símbolo de asterisco (*) sinaliza quando nas fontes consultadas há diferenças de sinal de mudança no conjunto de fontes. A cor cinza, representa as situações de poucas observações para a conclusão de tendência.

No total, 15 fontes foram consultadas, 8 de origem em plataformas de dados sobre mudanças climáticas e 5 oriundos de referencial bibliográfico. Devido a escala da Baía de Guanabara, são poucas as fontes que tratam da avaliação de riscos e ameaças climáticas no contexto de mudanças climáticas especificamente para este recorte. Portanto, foram consideradas tanto fontes com diferentes recortes geográficos que abrangem a região da BG para compor a análise (Tabela 7).

Tabela 7: Fontes consultadas e recortes geográficos para análise.

Fonte		Abrangência geográfica
1	Atlas do IPCC (CMIP6)	Sul da América do Sul
2	Atlas do IPCC (CORDEX)	Sul da América do Sul
3	INMET	Estado do Rio de Janeiro
4	NASA/JLP	Baía da Guanabara
5	Climate Information Site-Specific Report	Municípios de da Baía da Guanabara
6	World Bank Climate Change Knowledge Portal	Estado do Rio de Janeiro
7	AdaptaBrasil-MCTI	Municípios de da Baía da Guanabara
8	INPE - Projeções Climáticas do Brasil	Estado do Rio de Janeiro (recorte BG)
9	Plano de Adaptação Climática do Estado do Rio de Janeiro	Estado do Rio de Janeiro
10	Lima e Armond (2022)	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
11	Silva e Dereczynski (2014)	Estado do Rio de Janeiro (recorte BG)
12	Sobral et al. (2018)	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
13	Avila-Diaz et al. (2023)	Sul da América do Sul
14	Regoto et al. (2020)	Estado do Rio de Janeiro (recorte BG)
15	Pes et al. (2015)	Estado do Rio de Janeiro (recorte BG)

Referências bibliográficas

AVILA-DIAZ, A. et al. Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalyses and earth system model projections. *Climate Dynamics*, v. 55, n. 5–6, p. 1403–1426, set. 2020.

Banco Mundial, World Bank Climate Change Knowledge Portal. Disponível em: <<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/brazil/extremes>>. Acesso em: agosto de. 2024.

BARATA, M. M. de L. et al. Mapa da vulnerabilidade da população do estado do Rio de Janeiro frente às mudanças climáticas. FIOCRUZ, 2014.

BRASIL-MIDR. Atlas Digital de Desastres do Brasil. Disponível em: <<http://atlasdigital.mdr.gov.br/>>. Acesso em: 08 agosto. 2024.

Climate Information. Site-Specific Report. Disponível em: <<https://ssr.climateinformation.org/ssr/>>. Acesso em: agosto de. 2024.

Governo do Estado do Rio de Janeiro. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (PERHI-RJ, 2014). Disponível em: <<https://www.agevap.org.br/downloads/Relatorio-Gerencial.pdf>>. Acesso em: Outubro de 2024.

GUTIÉRREZ, J. M. et al. IPCC WGI Interactive Atlas: Regional information (Advanced). Dataset: CMIP6. Disponível em: <<http://interactive-atlas.ipcc.ch/>>. Acesso em: agosto de. 2024.

GUTIÉRREZ, J. M. et al. IPCC WGI Interactive Atlas: Regional information (Advanced). Dataset: CORDEX South America. Disponível em: <<http://interactive-atlas.ipcc.ch/>>. Acesso em: agosto de. 2024.

INMET. Normais climatológicas do Brasil: Variações Climáticas. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/VariacoesClimaticas/1961-1990/diferenca_precipitacao>. Acesso em: agosto de. 2024.

INPE. Projeções Climáticas do Brasil. Disponível em: <<http://pclima.inpe.br/analise/>>. Acesso em: agosto de. 2024.

LIMA, S. S.; ARMOND, N. B.. Chuvas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro: caracterização, eventos extremos e tendências. *Sociedade & Natureza*, v. 34, p. e64770, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/sn/a/wcxM8bTfmLM6JNYxBcshNZc/?format=pdf&lang=pt>>. Acessado em agosto de 2024.

MASTRANDREA, M. D. et al. The IPCC AR5 guidance note on consistent treatment of uncertainties: a common approach across the working groups. *Climatic Change*, v. 108, n. 4, p. 675–691, out. 2011.

MCTI. Plataforma AdaptaBrasil. Disponível em: <<https://adaptabrasil.mcti.gov.br/>>. Acesso em: agosto de. 2024.

NASA/JPL. NASA Sea Level Portal. Data Analysis Tool 2.0. Disponível em: <<https://sealevel.nasa.gov/data-analysis-tool/>>. Acesso em: agosto de. 2024.

NEHREN, U., KIRCHNER, A., LANGE, W., FOLLADOR, M., & ANHUF, D. (2019). Natural hazards and climate change impacts in the state of Rio de Janeiro: a landscape historical analysis. *Strategies and tools for a sustainable rural Rio de Janeiro*, 313-330.

NEHREN U., SUDMEIER-RIEUX K., SANDHOLZ S. et al (eds) (2014) The ecosystem-based disaster risk reduction case study and exercise source book. CNRD/PEDRR. <http://postconflict.unep.ch/publications/DRR_CASE_STUDIES_&_EXERCISES.pdf>

PES, M. P. et al. Climate trends on the extreme winds in Brazil. *Renewable Energy*, v. 109, p.110–120, ago. 2017.

REGOTO, P. et al. Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil. *International Journal of Climatology*, v. 41, n. 11, p. 5125–5142, set. 2021.

Secretaria do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro (SEA). Plano de Adaptação Climática do Estado do Rio de Janeiro (PAERJ, 2018). Disponível em: <<https://www.iis-rio.org/publicacoes/adaptacao-climatica-rio-de-janeiro/>>. Acesso em: Outubro de 2024.

SILVA, W. L.; DERECZYNSKI, C. P.. Caracterização climatológica e tendências observadas em extremos climáticos no estado do Rio de Janeiro. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 37, n. 2, p. 123-138, 2014. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/7828/6309>>. Acessado em agosto de 2024.

SANDHOLZ S., LANGE W., NEHREN U. (2018) Governing green change: ecosystem-based measures for reducing landslide risk in Rio de Janeiro. *Int J Disaster Risk Reduct.* in press.

SOBRAL, B. S.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F.; GOIS, G.; BODAS TERASSI, P. M.; MUNIZ-JUNIOR, J. G. R.. Variabilidade espaço-temporal e interanual da chuva no estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 22, 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/55592/35170>>. Acessado em agosto de 2024.

YOUNG, C. E. F., AGUIAR, C., & POSSAS, E. (2014). Perdas econômicas dos desastres climáticos no estado do Rio de Janeiro, 2001-2010. *Cadernos do Desenvolvimento Fluminense*, (5), 19-30.