

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO RISCO DE CHUVAS EXTREMAS: UM ESTUDO DE CASO PARA A REGIÃO HIDROGRÁFICA DO ALTO JAGUARIBE

Taylon Alves da Silva¹ ; Antony Gabriel Ferreira Sales² ; Thaís Antero de Oliveira³; Carlos

Eduardo Sousa Lima⁴ ; Francisco de Assis de Souza Filho⁵

Abstract: This study assessed the current and future risk of extreme rainfall events in the Alto Jaguaribe River Basin, Ceará, by probabilistically comparing precipitation levels across different return periods (RPs) with projections from CMIP6. Climate change has increased the frequency and intensity of extreme hydrometeorological events. Daily precipitation data from the Tauá station (1912–2021) and 24 CMIP6 models were used under SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios. Bias correction was applied using the Equidistant Quantile Mapping (EQM) method to ensure the local applicability of the projections. The risk analysis calculated the percentage change in the probability of extreme events between historical and future periods. Results indicate an increase in median precipitation and a widening interquartile range, more pronounced under SSP5-8.5, suggesting intensified extreme events and greater uncertainty. Under SSP2-4.5, the CMCC-CM2-SR5 model showed the highest increases in probability, with a 10,000-year RP event potentially occurring every 148 years. Under SSP5-8.5, the CanESM5 model exhibited the most critical increases, with a 10,000-year RP event possibly occurring every 61 years.

Resumo: Este estudo avaliou o risco atual e futuro de grandes chuvas na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, Ceará, comparando probabilisticamente precipitações de diferentes tempos de retorno (TRs) com projeções do CMIP6. As mudanças climáticas têm intensificado a frequência e magnitude de eventos hidrometeorológicos extremos. Utilizaram-se dados diários de precipitação do posto de Tauá (1912-2021), e 24 modelos CMIP6 sob cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5. A correção de viés foi aplicada com o método de Mapeamento de Quantis Equidistantes (EQM) para garantir a aplicabilidade local das projeções. A análise de risco calculou a variação percentual na probabilidade de eventos extremos entre períodos históricos e futuros. Os resultados indicam aumento da mediana da precipitação e ampliação do intervalo interquartil, mais acentuado no SSP5-8.5, sugerindo eventos extremos intensificados e maior incerteza. Para o SSP2-4.5, o modelo CMCC-CM2-SR5 apresentou os maiores aumentos na probabilidade, com um evento de TR 10.000 anos podendo ocorrer a cada 148 anos. No SSP5-8.5, o CanESM5 mostrou os aumentos mais críticos, com um evento de TR 10.000 anos podendo ocorrer a cada 61 anos.

Palavras-Chave: Chuvas Extremas, Mudanças Climáticas, CMIP6.

1)Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Universidade Federal do Ceará (UFC), Centro de Tecnologia, Depto. de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici – Bloco 713, 60400-900, Fortaleza, Ceará, Brasil. Fone: +55 85 3366.9623; e-mail: pos@deha.ufc.br

2)Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Universidade Federal do Ceará (UFC), Centro de Tecnologia, Depto. de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici – Bloco 713, 60400-900, Fortaleza, Ceará, Brasil. Fone: +55 85 3366.9623; e-mail: pos@deha.ufc.br

3)Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Universidade Federal do Ceará (UFC), Centro de Tecnologia, Depto. de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici – Bloco 713, 60400-900, Fortaleza, Ceará, Brasil. Fone: +55 85 3366.9623. e-mail: thais.antero@gmail.com

4)Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Universidade Federal do Ceará (UFC), Centro de Tecnologia, Depto. de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici – Bloco 713, 60400-900, Fortaleza, Ceará, Brasil. Fone: +55 85 3366.9623. e-mail: eduardolima@alu.ufc.br

5)Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), Universidade Federal do Ceará (UFC), Centro de Tecnologia, Depto. de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici – Bloco 713, 60400-900, Fortaleza, Ceará, Brasil. Fone: +55 85 3366.9623; e-mail: pos@deha.ufc.br

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas vem se destacando atualmente pela grande presença de eventos climáticos extremos no mundo (IPCC, 2007). Na região tropical não podemos esquecer também a irregularidade da precipitação, associado a alta variabilidade interanual na região tropical, com anos secos e chuvosos. Nesse contexto de variabilidade interanual acentuada, o aumento na frequência e intensidade de extremos climáticos se torna um problema preocupante para as regiões tropicais do planeta (IPCC, 2021).

Inúmeros estudos e pesquisas relacionam as mudanças climáticas com fator modulador da variabilidade climática, intensificando a frequência e magnitude dos extremos hidrometeorológicos. Considerando que tais eventos como chuvas intensas afetam diretamente as atividades humanas, como na agricultura, infraestrutura urbana e sistemas de abastecimento e saneamento entre outras, o estudo na previsão desses eventos torna-se algo fundamental no contexto atual.

A preocupação desse tema se dá pelos inúmeros estudos e pesquisas relacionando as variabilidades climáticas e possivelmente as mudanças climáticas com o incremento na frequência e intensidade de desastres naturais (Sousa, 2011). Considerando que tais eventos como chuvas intensas afetam diretamente as atividades humanas, como na agricultura, infraestrutura urbana e sistemas de abastecimento e saneamento entre outras, o estudo na previsão desses eventos torna-se algo fundamental no contexto atual.

No Nordeste brasileiro, que possui um clima semiárido, nota-se uma grande presença na variabilidade temporal da distribuição pluviométrica na região, caracterizado por duas épocas, uma seca e outra chuvosa (Azevedo *et al.*, 1998). Nesses períodos chuvosos, ocorrem picos de precipitação, resultando em altas vazões de escoamento superficial por curtos períodos de tempo. Considerando esse contexto de variabilidade climática, a preocupação do aumento desses eventos no Nordeste se torna algo frequente.

Nesse sentido, é imprescindível o estudo da frequência e intensidade desses eventos extremos para poder ser possível a análise do impacto nas bacias hidrográficas. Uma chuva intensa apresenta um impacto amplo, por exemplo, pode afetar obras hidráulicas, atividades agrícolas, gerar inundações, erosão do solo, danificar reservatórios de água entre outros impactos na região.

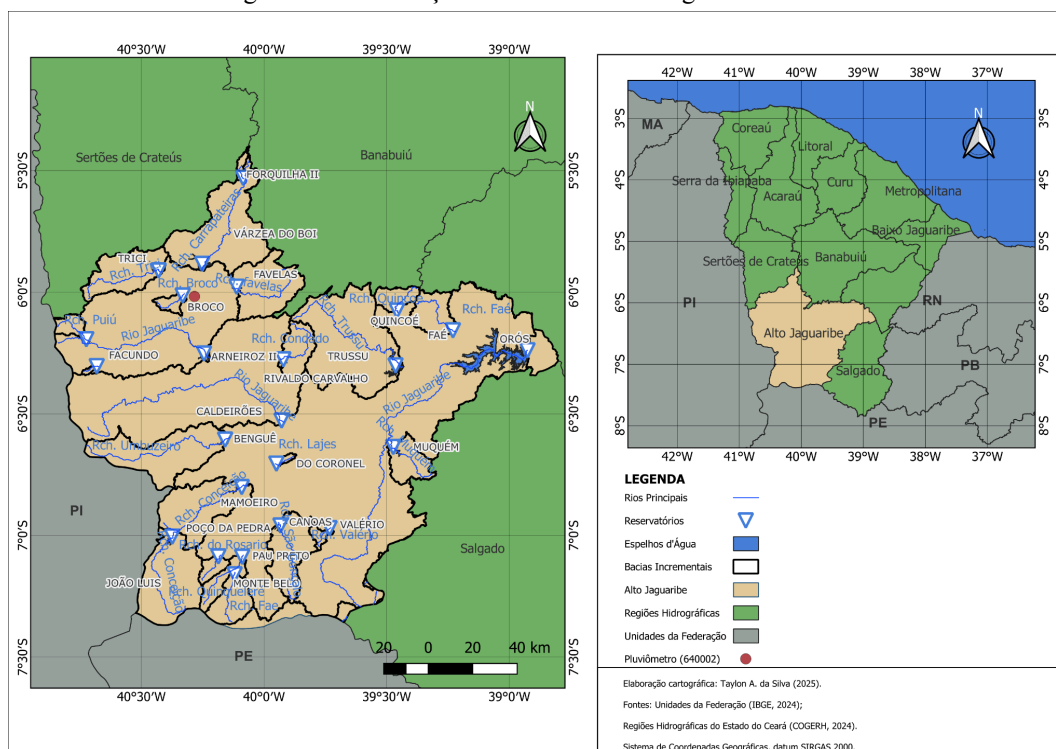
Este estudo visa avaliar o risco atual e futuro de grandes chuvas no Alto Jaguaribe, Ceará, comparando probabilisticamente precipitações de diferentes tempos de retorno (TR), com base em projeções climáticas do CMIP6. Os resultados permitirão analisar o aumento ou redução dos valores de TR devido às mudanças climáticas, avaliando seus impactos na bacia hidrográfica. Isso fomenta discussões sobre a segurança de estruturas hidráulicas e a adaptação climática na região.

METODOLOGIA

Área de Estudo

Neste estudo, adotou-se como área de análise a região hidrográfica do Alto Jaguaribe (Figura 1), situada no estado do Ceará e abrangendo 24 municípios. A bacia possui uma área de drenagem de aproximadamente 24.636 km², o que representa cerca de 16,56% da extensão territorial cearense. A região conta com 24 reservatórios supervisionados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), os quais totalizam uma capacidade acumulada de armazenamento de águas superficiais de 2.792,56 hm³ (COGERH, 2024). Dentre esses, destaca-se o

Figura 1 – Localização da Bacia do Alto Jaguaribe no Ceará



O posto pluviométrico de código “640002” está situado no município cearense Tauá, que está dentro do semiárido cearense compondo a rede hidrometeorológica operada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Localizado na região hidrográfica do Alto Jaguaribe, especificamente na sub-bacia do Facundo, este posto apresenta série histórica representativa, pois tem dados desde da década de 1910, sendo fundamental para a caracterização estatística das precipitações extremas e para a definição de padrões de frequência, intensidade e duração das chuvas (FUNCEME, 2020).

O regime pluviométrico associado ao posto é tipicamente sazonal, com precipitações concentradas no primeiro semestre do ano, principalmente entre os meses de janeiro e maio. A média anual de precipitação situa-se em torno de 600 mm, com elevada variabilidade interanual e ocorrência de eventos extremos (Marques; Lima; Costa, 2010). Registros históricos indicam episódios de chuvas intensas em curtos intervalos de tempo, os quais são relevantes para análises de cheias e para o dimensionamento de estruturas hidráulicas (Cavalcante et al., 2018).

A série histórica do posto "640002" servirá como base observacional para avaliar e remover o viés de projeções de precipitação dos modelos climáticos do CMIP6. Esse modelo global fornece simulações detalhadas de variáveis climáticas, incluindo a precipitação, sob diferentes cenários de emissões. Isso possibilitará a avaliação das mudanças esperadas no regime pluviométrico regional. A comparação entre dados observados e projeções permitirá investigar alterações na frequência e intensidade das chuvas, focando nos impactos sobre os tempos de retorno (TRs) de eventos extremos.

Tabela 1 - Posto pluviométrico utilizado

Código	Latitude	Longitude	Município	Período de observação
640002	-6.02 (S)	-40.28 (W)	Tauá	1912-2021

Modelos Utilizados

Os modelos escolhidos dentro do CMIP6 foram 24 no total (Tabela 1), com a utilização de 2 cenários de mudanças climáticas, o SSP2-4.5 e o SSP5-8.5. Esse primeiro cenário é considerando um cenário intermediário, com crescimento populacional e econômico moderado, agora o SSP5-8.5 é o pessimista, com grande crescimento econômico associado ao uso de combustíveis fósseis e alto impacto das mudanças climáticas (GIDDEN et al., 2019).

Tabela 2 - Modelos Climáticos e suas Resoluções

Modelo CMIP6	Centro de Pesquisa	País	Resol. Espacial	Resol. Nominal
ACCESS-CM2	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation	Austrália	1.875°×1.25°	250 km
BCC-CSM2-MR	Beijing Climate Center	China	1,125°×1,125°	100 km
CanESM5	Centro Canadense de Modelagem e Análise Climática	Canadá	2,8°×2,8°	500 km
CESM2	National Centre for Climate Research	Estados Unidos	1,25°×0,9375°	100 km
CMCC-CM2-SR5	Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	Itália	0.9375°×1.25°	100 km
CMCC-ESM2	Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	Itália	0.9°×1.25°	100 km
CNRM-CM6-1	Centre National de Recherches Meteorologiques	França	1,4°×1,4°	250 km
CNRM-ESM2-1	Centre National de Recherches Meteorologiques	França	1,4°×1,4°	250 km
EC-Earth3-CC	European community Earth System Model	Cons. Europeu	0.70°×0.70°	100 km
EC-Earth3-Veg-LR	European community Earth System Mode	Cons. Europeu.	1.13°×1.13°	250 km
FGOALS-g3	Chinese Academy of Sciences	China	2,0°×2,0°	250 km
GFDL-ESM4	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	Estados Unidos	1.25°×1.00°	100 km
HadGEM3-GC31-LL	Met Office Hadley Centre (UK Met Office)	Reino Unido	1,25°×1,875°	100 km
IITM-ESM	Centre for Climate Change Research (CCCR)	Índia	1,875° x 1,875°	100 km
INM-CM4-8	Institute of Numerical Mathematics (INM)	Rússia	2,0° x 1,5°	150 km
INM-CM5-0	Institute of Numerical Mathematics (INM)	Rússia	1,5° x 2,0°	120 km
IPSL-CM6A-LR	Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL),	França	2,5° x 1,25°	250 km
KACE-1-0-G	Korea Meteorological Administration	Coreia do Sul	1,25° x 1,0 °	100 km
MIROC-ES2L	Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC)	Japão	2,8° × 2,8°	250 km
MIROC6	Model for Interdisciplinary Research on Climate	Japão	1,4° × 1,4°	110 km

	(MIROC)			
MPI-ESM1-2-LR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	Alemanha	1,875° × 1,875°	200 km
MRI-ESM2-0	Meteorological Research Institute (MRI)	Japão	1,25° × 1,25°	120 km
NESM3	Nanjing University of Information Science and Technology (NUIST)	China	1.0° × 1.0°	100 km
NorESM2-MM	Norwegian Climate Centre (NCC)	Noruega	1.9° × 2.5°	100 km

Correção de Viés

A análise de risco hidrológico em Tauá, no semiárido cearense, exige uma representação precisa da precipitação. Modelos climáticos são úteis para cenários futuros, mas necessitam de tratamento prévio devido a vieses sistemáticos. Esses vieses, causados por limitações de resolução espacial, simplificações e parametrizações, resultam em superestimação ou subestimação de médias e variâncias. Isso é particularmente crítico para a intensidade e frequência de eventos extremos, comprometendo a confiabilidade das projeções para aplicações locais, como a avaliação de tempos de retorno (TRs).

Para garantir que as projeções do CMIP6 sejam consistentemente aplicáveis à realidade hidrológica de Tauá e permitam uma avaliação confiável das mudanças nos tempos de retorno (TRs) de eventos extremos, é necessária a aplicação de uma metodologia de correção de viés. Dentre as opções disponíveis, o Mapeamento de Quantis Equidistantes (EQM), conforme proposto por Li et al. (2010), destaca-se como a escolha mais adequada.

Diferente de métodos simples, o EQM (Equal Quantile Matching) não assume que o clima é estacionário, o que é crucial em um cenário de mudanças climáticas aceleradas. Ele é capaz de incorporar informações da Função de Distribuição Cumulativa (CDF) da projeção futura do próprio modelo. Essa característica permite que o método ajuste não apenas as diferenças de média, mas também de variabilidade e forma da distribuição. Essa técnica é vital para a precisão na estimativa de eventos extremos de precipitação na região do Alto Jaguaribe, foco principal da análise de risco hidrológico.

A equação do EQM utilizada para o ajuste dos valores de precipitação é apresentada como:

$$\hat{x}_{m-p}^* = x_{m-p} + F_{o-c}^{-1}(F_{m-p}(x_{m-p})) - F_{m-c}^{-1}(F_{m-p}(x_{m-p})) \quad (1)$$

Onde, x_{m-p}^* representa o valor da precipitação corrigida do modelo para o período futuro; x_{m-p} o valor bruto da precipitação do modelo climático para o período futuro; F denota a função de distribuição cumulativa (CDF), enquanto F^{-1} é sua função inversa; os subscritos o e m indicam dados observados e do modelo, respectivamente; os subscritos c e p referem-se ao período de calibração (histórico) e ao período projetado (futuro), respectivamente.

Para a aplicação desta metodologia, foram utilizadas três séries temporais de precipitação diária: a série histórica observada do posto “640002” em Tauá, Ceará, para o período de calibração; a série de precipitação dos modelos CMIP6 para a grade correspondente à bacia do Alto Jaguaribe, para o mesmo período de calibração; e as séries de precipitação dos mesmos modelos para o período de projeção futura.

Análise de Risco

Com as séries de precipitação futuras corrigidas de viés, provenientes dos modelos CMIP6 para o posto “640002” em Tauá, Ceará, a etapa seguinte consistiu na análise da mudança no risco de ocorrência de eventos extremos de precipitação. A avaliação do risco foi centrada na determinação das probabilidades de ocorrência de eventos de precipitação com magnitudes específicas, tanto para o período observado (presente) quanto para os períodos de projeção futura. Para tanto, foram ajustadas funções de distribuição de probabilidade aos dados de precipitação, permitindo a estimativa das probabilidades associadas a diferentes tempos de retorno (TRs).

A mudança no risco foi calculada através da seguinte fórmula:

$$\text{Mudança no risco} = \left(\frac{\text{Probabilidade futura}}{\text{Probabilidade presente}} - 1 \right) \quad (2)$$

Onde, “Probabilidade futura” refere-se à probabilidade de ocorrência de um evento de precipitação com uma determinada magnitude (ou superior) no cenário climático futuro, estimada a partir das séries de precipitação corrigidas de viés; e “Probabilidade presente” corresponde à probabilidade de ocorrência do mesmo evento de precipitação no cenário climático observado (período de calibração).

Um valor positivo para a mudança percentual no risco indicará um aumento na probabilidade de ocorrência do evento em questão no futuro, sugerindo um incremento no risco associado (maior risco ao evento extremo). Por outro lado, um valor negativo aponta para uma redução na probabilidade, indicando uma diminuição do risco (menor risco ao evento extremo).

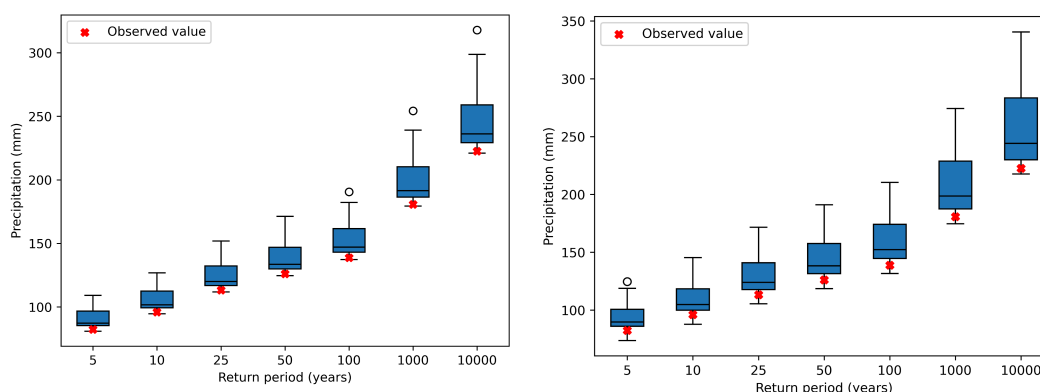
Adicionalmente, os valores obtidos pela fórmula foram classificados em faixas, a fim de facilitar a interpretação da magnitude da mudança no risco: **0–0,2**, **0,2–0,5**, **0,5–1,0**, **1,0–2,0**, **2,0–5,0**, **5,0–10,0**, **10,0–20,0**, **20,0–50,0**, **50,0–100,0** e **acima de 100,0**. Para visualizar a distribuição dessas mudanças, será construído um histograma, permitindo identificar as faixas mais recorrentes de aumento ou redução do risco.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise da Precipitação

Sabendo os valores de precipitação dos modelos e de cada TR e cenário de mudança climática, foi elaborado gráficos estatísticos para análise da situação atual e futura, como pode ser visto a seguir:

Figura 2 - Box plot dos valores de precipitação para os cenários SSP2 4.5 e SSP2 8.5 respectivamente.

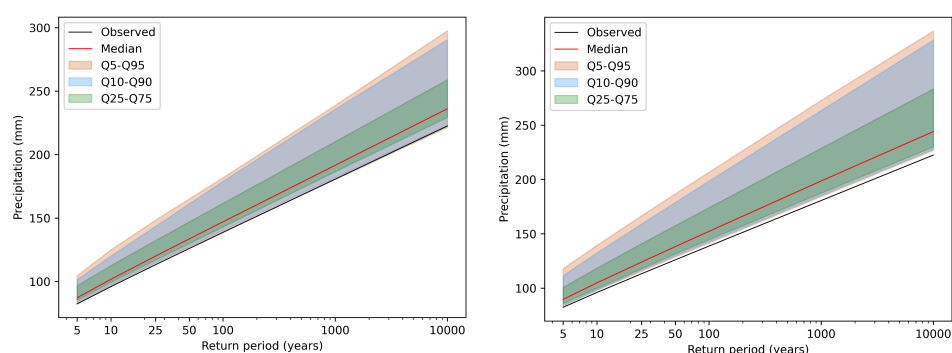


Observa-se que, com o aumento do tempo de retorno, a mediana e o intervalo interquartil (Q25–Q75) crescem, especialmente no cenário SSP5-8.5. Isso indica a intensificação esperada de

eventos extremos e maior dispersão entre as projeções dos modelos. Tais achados estão alinhados com Blanusa et al. (2022), que identificaram maior magnitude e variabilidade em eventos extremos de precipitação sob altas emissões.

A ampliação da faixa interquartil com o tempo de retorno também revela uma crescente incerteza nas estimativas futuras de precipitação. Golian et al. (2021) destacam que essa incerteza decorre de múltiplas fontes, incluindo a variabilidade entre modelos climáticos, o método de regionalização adotado e a forma de ajuste estatístico dos dados. Essa complexidade torna particularmente desafiadora a projeção de extremos hidrológicos em regiões semiáridas, onde eventos severos são menos comuns, mas impactantes.

Figura 3 - Gráficos da incerteza para os cenários SSP2 4.5 e SSP5 8.5 respectivamente



A figura 3 complementa essa análise ao apresentar as faixas de incerteza associadas às projeções de precipitação por meio de diferentes intervalos de confiança (Q05–Q95, Q10–Q90 e Q25–Q75), além da mediana e do valor observado. Nota-se que as faixas são mais amplas no cenário SSP5-8.5, especialmente para os maiores tempos de retorno, refletindo um aumento significativo da dispersão das estimativas em condições futuras mais críticas.

Wilby e Dessai (2010) indicam que a mediana é uma medida crucial para analisar projeções climáticas em cenários de alta incerteza. Com o aumento da incerteza, observa-se um crescimento notável nas precipitações projetadas, especialmente na mediana das simulações. No cenário SSP2-4.5, por exemplo, a mediana da precipitação aumenta de cerca de 80 mm para eventos com tempo de retorno entre 2 e 5 anos, ultrapassando 180 mm para tempos de retorno superiores a 100 anos. Essa tendência é ainda mais acentuada no cenário SSP5-8.5, onde a mediana supera os 200 mm para tempos de retorno acima de 300 anos. Esses resultados indicam um aumento tanto na variabilidade quanto na intensidade dos eventos extremos futuros.

Análise de risco

Com a obtenção de dados do modelo foi possível então elaborar gráficos mostrando a variação do risco associada ao tempo de retorno na área de estudo pelos cenários de mudança climática. A seguir é apresentado essa representação gráfica com todos os modelos mencionados anteriormente:

Figura 4 - Gráfico da Variação Percentual do Risco em Diferentes Modelos (SSP2-4.5)

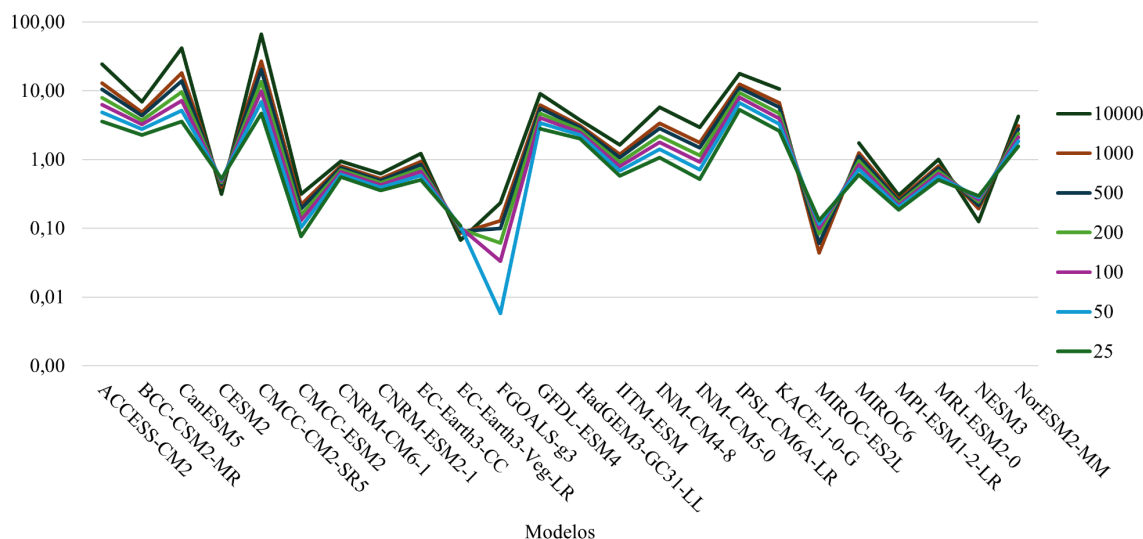
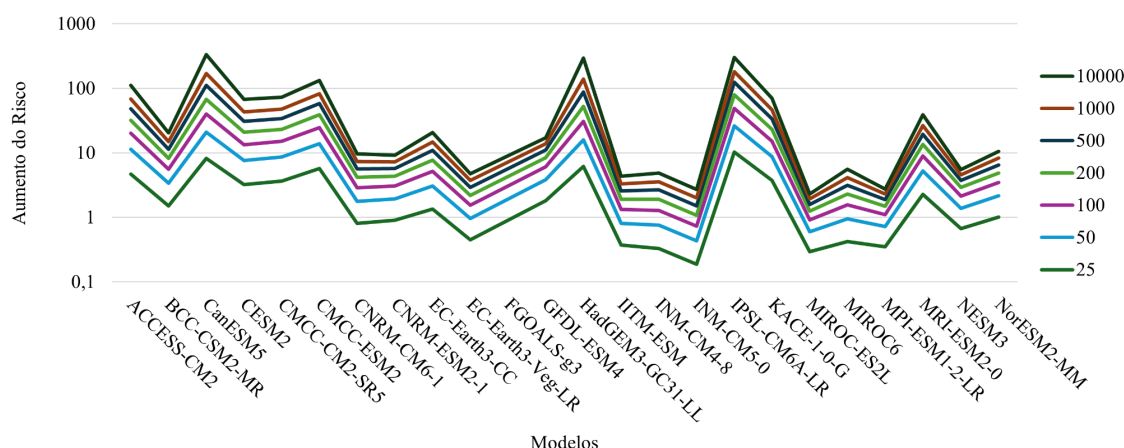


Figura 5 - Gráfico da Variação do Tempo de Retorno em Diferentes Modelos (SSP5-8.5)



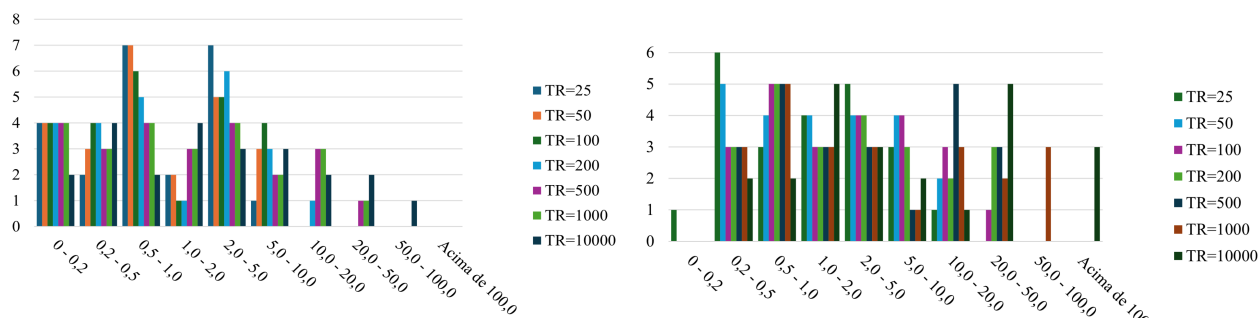
Nas projeções do cenário SSP2-4.5 é notório que o modelo CMCC-CM2-SR5 apresentou maiores aumentos na probabilidade de ocorrência de uma chuva extrema em todos os TR em análise, esse fato se torna mais alarmante considerando que segundo Luo *et al.* (2025) esse modelo apresentou grande desempenho em representar cenários futuros de mudanças climáticas e eficiência na captura do clima histórico. Em termos quantitativos para uma chuva de TR de 10.000 anos hoje, no modelo CMCC-CM2-SR5, essa chuva terá um TR aproximadamente 148 anos, um aumento de 67 vezes na probabilidade de ocorrência.

Agora no cenário SSP5-8.5 temos o modelo CanESM5 com os maiores aumentos percentuais (foi o segundo maior no cenário SSP2-4.5), logo em seguida HadGEM3-GC31-L que, segundo Zareian et al. (2023), apresentou o melhor desempenho na precipitação anual em sua pesquisa, e em terceiro com maiores valores o IPSL-CM6A-LR. O modelo CanESM5 também já foi estudado, como na pesquisa de Goodarzi, Abedi e Pour (2022), que numa análise entre modelos climáticos o CanESM5 com o cenário SSP5-8.5 teve resultados mais críticos, com um aumento na temperatura mínima e máxima. Nesse modelo, para um TR de 10000 anos, essa chuva terá, nesse cenário, um TR de aproximadamente 61 anos, ou seja, um aumento de 164 vezes da chance dessa

chuva ocorrer. Um ponto de atenção é que unicamente no modelo FGOALS-g3 as projeções têm saldo positivo, pois houve diminuição na probabilidade de ocorrência da chuva.

Com os valores de análise de risco foi elaborado histogramas em categorias estabelecidas para cada TR e para cada cenário de mudança climática, como pode ser visto a seguir:

Figura 6 - Histogramas de Análise de Risco SSP2-4.5 e SSP5-8.5 respectivamente.



Observando esses histogramas foi percebido que no cenário SSP2-4.5 as faixas de 0,5-1,0 e 2,0-5,0 houve as maiores frequências de projeções, mostrando que grande parte dos modelos houve aumento de no mínimo metade do risco de chuvas extremas, mesmo em um cenário intermediário. Agora no cenário SSP5-8.5 foi percebido que nos intervalos de 0,2-0,5; 0,5-1,0; 1,0-2,0; 2,0-5,0 houve as maiores concentrações de modelos, com o intervalo de 0,5-1,0 com 35 projeções nos TR's mostrados com aumentos de até o dobro da probabilidade de ocorrer uma chuva extrema, além de ter 3 projeções com aumento acima de 100 vezes na probabilidade (para o TR de 10000 anos). Esses dados mostram as grandes mudanças na ocorrência de chuvas extremas na área de estudo com as mudanças climáticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi notório com os resultados que o cenário SSP5-8.5 trouxe valores mais críticos, corroborando com seu aspecto pessimista. Além disso, foi bem visto a variabilidade e intensidade dos eventos de precipitação em detrimento dos valores atuais, algo já previsto no contexto de mudanças climáticas. Outro ponto relevante é a incerteza resultante da alta variabilidade dos modelos, variando, assim, de pequenos aumentos de risco (até 0,2) até valores muito elevados, acima de 50 vezes o aumento do risco.

Com o cálculo da variação do risco, percebeu-se também maiores variações no TR do cenário SSP5-8.5, mesmo assim, no cenário SSP2-4.5, ainda é notável alta porcentagem de aumento. O modelo CanESM5, por exemplo, apresentou no cenário mais crítico um aumento na probabilidade de ocorrência de 164 vezes, valor esse de extrema preocupação no contexto de adaptação às mudanças climáticas.

Além disso, para os TR's maiores (100, 1000 e 10000), todos os modelos apresentaram aumento de precipitação, mostrando que na área de estudo essas projeções do CMIP6 mostram um grande aumento na intensidade de eventos extremos, o que deve ser considerado, principalmente, em planos de adaptação das infraestruturas hídricas, como sistemas de drenagem, urbano e barragens.

REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH*. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br>. Acesso em: 1 jun. 2025.
- AZEVEDO, P. V; SILVA, B. B; RODRIGUES, M. F. (1988). Previsão Estatística das Chuvas de Outono no Estado do Ceará. *Rev. Bras. de Meteor.*, v. 13, no. 1, São Paulo, p. 19-30.

- BLANUSA, T. et al. Projected changes in global precipitation extremes and their uncertainty sources. *Journal of Hydrology*, v. 610, 2022.
- CARNEIRO, Brenda Lara Duarte Souza *et al.* Hydrological risk of dam failure under climate change. **RBRH**, v. 27, p. e19, 12 ago. 2022.
- CAVALCANTE, F. B. et al. Análise de chuvas máximas diárias e sua aplicação na elaboração de curvas IDF no semiárido cearense. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 13, n. 3, p. 1–14, 2018.
- CANNON, A. J. (2015). Bias correction of climate model outputs. In: *Climate Change and Variability: A Handbook for Hydrologists*. Wiley.
- CUNHA, S. F.; SILVA, F. E. O. e; MOTA, T. U.; PINHEIRO, M. C. (2015). Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 20, n.4, p. 837 – 848, out./dez.
- FERREIRA, L. C.; CIRILO, J. A. Comportamento hidrológico de pequenas bacias no semiárido com uso do modelo SWAT. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 18, n. 11, p. 1151–1157, 2014.
- FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. *Pluviometria no Estado do Ceará*. Fortaleza: FUNCEME, 2020. Disponível em: <http://www.funceme.br>. Acesso em: 1 jun. 2025.
- GIDDEN, M. J et al. (2018). “Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century”. *Geoscientific Model Development Discussions*, [S.l.], 9(1), pp. 1-42.
- GOLIAN, S. et al. Quantifying the uncertainty in climate impact assessments of future extreme precipitation. *Climatic Change*, v. 168, 2021
- GOODARZI, M. R.; ABEDI, M. J.; POUR, M. H. Chapter 32 - Climate change and trend analysis of precipitation and temperature: A case study of Gilan, Iran. In: ZAKWAN, Mohammad *et al.* (Orgs.). **Current Directions in Water Scarcity Research**. Water Resource Modeling and Computational Technologies. [S.l.]: Elsevier, 2022. v. 7 p. 561–587.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf. Acesso em: 01 jun. 2021.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change – The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment Report of the IPCC. Cambridge University. Press, Cambridge. 2007.
- LEE, S. H. et al. Climate model projections of precipitation extremes under SSP scenarios in South America. *Environmental Research Letters*, v. 19, n. 2, 2024
- LIMA, J. R. S.; SILVA, D. D.; MENDIONDO, E. M. Avaliação hidrológica da bacia hidrográfica do Rio Jaguaribe utilizando o modelo MGB-IPH. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 22, n. 1, p. 1–14, 2017.
- Li, H., *et al.* (2010). Statistical downscaling of climate model outputs for hydrological modeling: development and application of a new quantile mapping approach. *Journal of Hydrology*, v. 385, n. 1-4, p. 83-94.
- LUO, Yuning *et al.* An improved statistical bias correction method for Global Climate Model (GCM) precipitation projection: A case study on the CMCC-CM2-SR5 model projection in China’s Huaihe River Basin. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 57, p. 102146, 1 fev. 2025.
- MARQUES, G. F.; LIMA, K. C.; COSTA, A. M. Variabilidade interanual das chuvas no semiárido do Nordeste brasileiro associada aos fenômenos ENOS e Dipolo do Atlântico. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 2, p. 255–264, 2010
- MARAUN, D. (2013). Bias correction, downscaling, and the climate change signal. *Nature Climate Change*, v. 3, n. 4, p. 331-332.
- SANTOS, S. M. S.; ASSIS, J. M. O.; SOUZA, W. M. (2014). Tendências de mudanças climáticas na bacia do rio Una, Pernambuco-Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 7, n. 2, p. 243-257.
- SOUZA, W. M. 2011. Impactos socioeconômicos e ambientais dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 121 f., Campina Grande PB.
- TOMASELLA, J. et al. Modelagem de processos hidrológicos em grandes bacias brasileiras com o modelo MGB-IPH. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 14, n. 2, p. 73–92, 2009.
- TUCCI, C. E. M. (2005). Modelos Hidrológicos/Carlos E.M. Tucci; colaboração da Associação Brasileira de Recursos Hídricos/ABRH. – 2.ed. – Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- USGCRP. (2017). Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I. Wuebbles, D.J., et al. (eds.). U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA.
- WILBY, R. L.; DESSAI, S. Robust adaptation to climate change. *Weather*, v. 65, n. 7, p. 180–185, 2010.
- ZAREIAN, M.J.; DEHBAN, H.; GOHARI, A. Evaluation of the accuracy of CMIP6 models in estimating the temperature and precipitation of Iran based on a network analysis. *Water Irrig Manage* 12(4):783–797. 2023.