

LORMIDO ERNESTO ZITA

**EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS
DA ÁFRICA SUBSAARIANA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Flávio Barbosa Justino

Coorientadores: Manuel António D. Talacuece
Rafael de Ávila Rodrigues

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2023**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

Z82e
2023 Zita, Lormido Ernesto, 1998-
Eventos climáticos extremos nas bacias hidrográficas da África Subsaariana / Lormido Ernesto Zita. – Viçosa, MG, 2023. 1 dissertação eletrônica (57 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Flávio Barbosa Justino.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, 2023.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.492>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Mudanças climáticas - África, Subsaariana. 2. Extremos climáticos. 3. Precipitação (Meteorologia) - Variabilidade - Métodos estatísticos. I. Justino, Flávio Barbosa, 1971-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada. III. Título.

CDD 22. ed. 551.6968

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB-6/2552

LORMIDO ERNESTO ZITA

**EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS
DA ÁFRICA SUBSAARIANA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*

APROVADA: 02 de agosto de 2023.

Assentimento:



Lormido Ernesto Zita
Autor



Documento assinado digitalmente

FLAVIO BARBOSA JUSTINO
Data: 29/08/2023 09:32:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Flávio Barbosa Justino
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde, proteção, presença em todas as fases da minha vida e pela oportunidade de estudar a Pós-Graduação.

À Universidade Federal de Viçosa, em particular ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, oferecido no DEA pela oportunidade de concretização do curso.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – 88887.635419/2021-00.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos que me sustentou durante o curso.

Aos meus Pais, Ernesto José Zita e Alzira Antônio Macamo Zita, pelo suporte incondicional durante todo o período do curso. Aos meus irmãos, Hélio, Iracelma e Nelton pelo carinho, pelas Orações e pela força que me dedicaram.

Ao professor Flávio Barbosa Justino, primeiramente pela oportunidade cedida para realizar o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa no Departamento de Engenharia Agrícola, por me guiar, pelos seus ensinamentos, suas palavras de apoio e pela confiança depositada em mim.

À Rafael de Ávila e Manuel Talacuece, pela paciência, ensinamentos, conselhos e ajuda que me concederam durante o período de curso.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo apoio e ajuda concedida, em particular à Graça Freitas, pelo carinho, paciência e pelo suporte durante o período da realização do curso.

Aos colegas do Curso, em especial os companheiros do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, à Elaine, Leticia, Josielton, Gurjão, Pablo e Thais que sempre demonstraram prontidão para ajudar-me fora da instituição, e por não medirem esforços para a realização desse estudo.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização do curso.

RESUMO

ZITA, Lormido Ernesto, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2023, **Eventos climáticos extremos nas bacias hidrográficas da África subsaariana**. Orientador: Flávio Barbosa Justino. Coorientadores: Manuel Antônio Dina Talacuece e Rafael de Ávila Rodrigues.

A África Subsaariana é considerada a região mais vulnerável às mudanças climáticas globais e aos seus impactos devido aos baixos níveis de desenvolvimento econômico e tecnológico. Em decorrência das mudanças climáticas, os eventos extremos climáticos têm sido mais intensos e frequentes nos últimos anos impactando em 40% dos 360 milhões de habitantes na SSA. Tais impactos incluiu secas prolongadas, chuvas intensas, cheias e até mesmo inundações. Este estudo teve como objetivo avaliar comportamento dos eventos extremos climáticos na África Subsaariana e a sua relação com o *El Niño* Oscilação Sul. Com base nos dados diários de reanálise do ERA5 e dos modelos da NEX-GDDP-CMIP6 avaliou-se 9 índices climáticos extremos proposto pelo *Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices* (ETCCDMI), em seguida foram aplicados os testes não paramétricos de *Mann-Kendall* e o estimador de tendência linear Sem. Os resultados revelaram uma tendência estatisticamente significativa da precipitação total anual (PRCPTOT) diminuir, no Centro e Norte da SSA juntamente com dias úmidos consecutivos (CWD) e quantidade máxima da precipitação em cinco dias (Rx5days), ao passo que a duração do período de dias secos consecutivos (CDD) e a intensidade da quantidade da precipitação em um dia (Rx1day) aumentaram. Ainda foi possível identificar o aumento generalizado dos eventos temperatura do ar (TNn, TNx, TXx e TXn) no sentido Sul-Norte da SSA. Em geral, a variabilidade interanual dos índices mostrou uma correlação positiva com os anos de ocorrência de ENOS, identificando ocorrência de secas no Centro e Norte da África Subsaariana.

Palavras-chave: Modelagem. Variabilidade interanual. Mudanças climáticas.

ABSTRACT

ZITA, Lormido Ernesto, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August 2023, **Extreme events weather in sub-Saharan African river basins**. Advisor: Flávio Barbosa Justino. Co-advisors: Manuel Antônio Dina Talacuece and Rafael de Ávila Rodrigues.

Sub-Saharan Africa is considered the most vulnerable region to global climate change and its impacts due to low levels of economic and technological development. As a result of climate change, extreme weather events have been more intense and frequent in recent years impacting 40% of the 360 million people in SSA. Such impacts have included prolonged droughts, heavy rains, floods and even floods. This study aimed to assess behavior of extreme weather events in sub-Saharan Africa and their relationship with the El Niño Southern Oscillation. Based on daily reanalysis data from ERA5 and NEX-GDDP-CMIP6 models 9 extreme weather indices proposed by the Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI) were evaluated, then the nonparametric Mann-Kendall tests and the linear trend estimator Sem were applied. The results revealed a statistically significant trend of total annual precipitation (PRCPTOT) decreasing, in Central and Northern SSA along with consecutive wet days (CWD) and maximum amount of precipitation in five days (Rx5days), while the length of the period of consecutive dry days (CDD) and the intensity of the amount of precipitation in one day (Rx1day) increased. It was still possible to identify the generalized increase of air temperature events (TNn, TNx, TXx and TXn) in the south-north direction of SSA. In general, the interannual variability of the indices showed a positive correlation with the years of ENSO occurrence, identifying the occurrence of droughts in Central and Northern Sub-Saharan Africa.

Keywords: Modeling. Interannual variability. Climate change.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização da área de estudo.....	14
Figura 2 – Climatologia da precipitação mensal sobre as bacias hidrográficas da SSA durante o período de 1980-2022.....	16
Figura 3 – Sistemas atmosféricos que influenciam na viabilidade anual da precipitação na SSA durante o verão (esquerda) e inverno (direita).....	17
Figura 4 – Efeitos do ENOS em diferentes regiões da África por estações do ano.	18
Figura 5 – Classificação dos modelos da NASA-GDDP-CMIP6 com base na métrica KGE que indica desde o pior ao melhor desempenho dos modelos em relação a reanálise do ERA5 em diferentes bacias hidrográficas sobre a SSA.	23
Figura 6 – Classificação dos modelos da NASA-GDDP-CMIP6 com base na métrica KGE que indica desde o pior ao melhor desempenho dos modelos em relação a reanálise ERA5 em diferentes bacias hidrográficas sobre a SSA.	24
Figura 7 – Comportamento médio dos índices de precipitação e temperatura sobre a SSA durante o período de 1980-2022.....	26
Figura 8 – Distribuição espacial da tendência e significância estatística dos índices extremos de precipitação e temperatura do ar sobre a SSA durante o período de 1980-2022.....	27
Figura 9 – Variabilidade interanual do índice CDD nas bacias hidrográficas sobre a SSA durante o período de 1980-2014.....	30
Figura 10 – Variabilidade interanual do CWD nas bacias hidrográficas da SAA durante o período de 1980-2014.....	32
Figura 11 – Variabilidade interanual do índice PRCPTOT nas bacias hidrográficas da SSA durante o período de 1980 a 2014.	34
Figura 12 – Variabilidade interanual do Rx1day nas bacias hidrográficas da SSA durante o período de 1980 a 2014.	36
Figura 13 – Variabilidade interanual do índice Rx5day nas bacias hidrográficas da SSA, durante o período de 1980 a 2014.	38
Figura 14 – Variabilidade interanual do índice TNn nas bacias hidrográficas da SSA, durante o período de 1980 a 2014.	40
Figura 15 – Variabilidade interanual do índice TNx nas bacias hidrográficas da SSA durante o período de 1980 a 2014.	42

Figura 16 – Variabilidade interanual do índice TXx nas bacias hidrográficas da SSA durante o período de 1980 a 2014.44

Figura 17 - Variabilidade interanual do índice TXn nas bacias hidrográficas da SSA durante o período de 1980 a 201446

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelos climáticos globais avaliados no período (1980-2014).....	20
Tabela 2 – Definição dos 9 índices de precipitação e temperatura do ar selecionados.....	21
Tabela 3 – Anos de ocorrência dos eventos El Niño e La Niña.	28
Tabela 4 – Significância, tendência e magnitude do índice CDD (dia/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980-2014.....	29
Tabela 5 – Significância, tendência e magnitude do índice CWD (dia/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980-2014.....	31
Tabela 6 – Significância, tendência e magnitude do índice PRCPTOT (mm/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980-2014.....	33
Tabela 7 – Significância, tendência e magnitude do índice Rx1day (mm/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980 a 2014.	35
Tabela 8 – Significância, tendência e magnitude do índice Rx5day (mm/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980 a 2014.	37
Tabela 9 – Significância, tendência e magnitude do índice TNn (°C/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980 a 2014.	39
Tabela 10 – Significância, tendência e magnitude do índice TNx (°C/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980 a 2014.	41
Tabela 11 – Significância, tendência e magnitude do índice TXx (°C/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980 a 2014.	43
Tabela 12 – Significância, tendência e magnitude do índice TXn (°C/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980 a 2014	45

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
ASI	Alta Subtropical do Índico
CDD	Dias secos consecutivos
CWD	Dias úmidos consecutivos
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ETCCDMI	Especialistas em detecção e Monitoramento de índices de mudanças climáticas
EMCWF	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
NEX-GDDP	<i>Nasa Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections</i> CMIP6
PRCPTOT	Precipitação total anual em dias úmidos
R10mm	Número de dias de chuva forte
Rx1day	Quantidade máxima de precipitação em um dia
Rx5days	Quantidade máxima de precipitação em cinco dias
SSA	África Subsaariana
TNn	Mínimo valor da temperatura mínima diária
TNx	Máximo valor da temperatura mínima diária
TXx	Máximo valor da temperatura máxima diária
TXn	Mínimo valor da temperatura máxima diária
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZICS	Zona de convergência do Índico Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1 Área de estudo	14
2.1.1 Sistemas sinóticos predominantes na África Subsaariana	14
2.1.2 Características climáticas da África Subsaariana	15
2.2 Dados utilizados	18
2.2.1 Modelos climáticos	19
2.3 Índices extremos de precipitação e de temperatura do ar	21
2.4 Consistência das simulações de cada modelo de CMIP6	21
2.5 Consistência das simulações dos modelos nas bacias hidrográficas da região da SSA	23
3 RESULTADOS	23
3.1 Distribuição especial climatológica dos índices climáticos extremos na África Subsaariana	25
3.2 Tendência dos índices climáticos extremos sobre o SSA a partir de dados do ERA5	26
3.3 Variabilidade interanual dos índices extremos de precipitação e de temperatura do ar e sua relação com o fenômeno ENOS	28
3.3.1 Variabilidade interanual dos índices extremos obtidos a partir de dados de modelos nas bacias hidrográficas da SSA durante o período de 1980-2014.	28
3.3.1.1 Padrões do CDD nas bacias hidrográficas da SSA	28
3.3.1.2 Padrões do CDD nas bacias hidrográficas da SSA	31
3.3.1.3 Padrões de PRCPTOT nas bacias hidrográficas da SSA	33
3.3.1.4 Padrões de R1xday nas bacias hidrográficas da SSA	34
3.3.1.5 Padrões de Rx5day nas bacias hidrográficas da SSA	37
3.3.1.6 Padrões de TNn nas bacias hidrográficas da SSA	39
3.3.1.7 Padrões de TNx nas bacias hidrográficas da SSA.	41
3.3.1.8 Padrões de TXx nas bacias hidrográficas da SSA	43
3.3.1.9 Padrões de TXn nas bacias hidrográficas da SSA	45
4 DISCUSSÃO	47
5 CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1 INTRODUÇÃO

A África Subsaariana (SSA) está em desenvolvimento significativo e possui uma extensa diversidade cultural, ecológica e climática (SERDECZNY *et al.*, 2017). Foi identificada pelo IPCC como uma região mais vulnerável aos impactos das mudanças climáticas, devido ao baixo nível de desenvolvimento econômico e tecnológico (IPCC, 2021). Um dos principais impactos das mudanças climáticas é o aumento dos eventos extremos climáticos. Rother *et al.*, (2020) apontam que é esperado que os eventos causem impactos sociais, econômicos, ambientais e adversos na SSA.

Um evento extremo climático é definido como a ocorrência anômala de uma variável meteorológica ou climática, apontando valores acima (ou abaixo) de um determinado limite, próximo à extremidade superior (ou inferior) da faixa de valores observados desta variável (OGOLO; MATTHEW, 2022).

Os eventos extremos climáticos têm sido mais intensos e frequentes quando comparados aos últimos anos na SSA com as mudanças climáticas vigentes, afetando 40% dos 360 milhões de habitantes da região (AYANLADE *et al.*, 2022). Os impactos observados têm se intensificado, incluindo os períodos de secas prolongadas, padrões anormais de precipitação, que consequentemente provocam escassez de água e estresse térmico (CHIKOORE; JURY, 2021). Isso afeta não só as atividades humanas, mas também os meios de subsistência de mais de um terço dos habitantes na SSA (CUTHBERT *et al.*, 2019). Tendo em vista que quase 80% das terras agrícolas dependem da chuva para produção (CHIKOORE; JURY, 2021), a SSA é considerada a região mais vulnerável aos impactos das alterações climáticas no planeta.

De acordo com Ayanlade *et al.* (2022), Ekwezu e Ezeh, (2020) e Gebrechorkosa e Bernhoferd (2020), desde a década de 70 até os últimos anos, a população da África Oriental e Ocidental foi afetada em aproximadamente 14% e 22%, por eventos extremos climáticos, como vendavais, efeitos múltiplos da seca, incluindo temperaturas extremas.

A frequência e intensidade de seca, inundações e ciclones, tem se acentuado e os seus efeitos devem ultrapassar os registros de população afetada, dificultando a produção agrícola e a distribuição de alimentos. Desta forma conduzindo a uma maior insegurança alimentar no futuro próximo (MITRA *et al.*, 2022).

Watts *et al.* (2018) destaca que com o aumento da frequência e gravidade dos eventos extremos danos em zonas agroecológicas tais como: i) redução no rendimento e qualidade das culturas agrícolas (COHN *et al.*, 2016), aumento dos preços dos alimentos, diminuição da vazão de recursos hídricos superficiais (MPAKAIRI; MUVENGWI, 2019), aumento na temperatura

urbana e fluxo de calor (AYANLADE; HOWARD, 2019), perdas de pastagens (CHIKOORE *et al.*, 2020), danos na saúde mental de crianças e adolescentes (ROTHER *et al.*, 2020), perdas de vegetação e biodiversidade, destruição da fauna e flora de ecossistemas terrestres e aquáticos (MPAKAIRI *et al.*, 2020), aumento de dias de ondas de calor e dias de alto riscos de incêndios, precipitação intensa que pode causar inundações na África Oriental, aumento de ciclones nas áreas costeiras do Sudeste Africano e aumento de fortes tempestades e períodos de secas na África Austral (CHERSICH *et al.*, 2018; CHERSICH; WRIGHT, 2019), certamente aumentará a vulnerabilidade da população.

Mudanças climáticas são transformação a longo prazo nos padrões de temperatura e da precipitação (IPCC, 2021). Segundo Rother *et al.* (2020), existem variações regionais nos padrões das mudanças climáticas nas quatro sub-regiões da SSA: i) África Central, ii) Ocidental, iii) Oriental e iv) Austral. Essas sub-regiões apresentam impactos diferenciados de eventos extremos climáticos. As possíveis alterações indicam mudanças na temperatura, com maior aquecimento do ar especialmente para as regiões subtropicais do interior, eventos extremos de ondas de calor, ou seja, aumento da temperatura particularmente na África Ocidental Tropical e alterações nos padrões de precipitação, como é o caso de aumento na África Oriental (mais úmida) e diminuição na África Austral (condições mais secas).

Atualmente, a seca é um dos eventos climáticos que ameaça significativamente a segurança alimentar na SSA. A África Oriental (incluindo Etiópia e o Quênia), por exemplo, tem passado por uma das secas mais severas da história recente, enquanto Angola atravessava o seu quinto ano consecutivo de seca. A média de produção agrícola desses países é menos da metade da média regional.

A agricultura de sequeiro domina a produção agrícola na SSA, cobrindo cerca de 97% do total de terras cultivadas, por conseguinte, a produção agrícola fica exposta a alta vulnerabilidade de eventos climáticos extremos (SERDECZNY *et al.*, 2017; ADENUGA *et al.*, 2021; CAIRNS *et al.*, 2013). Os impactos dos eventos climáticos extremos na produção agrícola tendem a ser mais severos nas regiões tropicais e subtropicais na SSA, em decorrência à baixa capacidade de adaptação dessas regiões aos eventos.

De acordo com Serdeczny *et al.* (2017), prevê-se que a população na SSA atinja 2 bilhões de pessoas em meados do século XXI, um número que pode subir para quase 4 bilhões até no final do século. As altas taxas de crescimento populacional especialmente em áreas rurais aumentam a pressão sobre a produção agrícola, a segurança alimentar e o desafio da redução da pobreza na região.

Existem vários estudos de mudanças climáticas simulados por Modelos Climáticos Globais (MCG) para várias sub-regiões da África, como é caso de Gebrechorkos e Bernhoferd (2020), Sonkoué *et al.* (2019). O uso de modelos regionais ainda está em sua fase pioneira, todavia, os estudos de Talacuece (2018) e Odoulami *et al.* (2019) simularam as mudanças climáticas na África Subsaariana usando os modelos climáticos regionais. Neste estudo, foram aplicados modelos climáticos globais da NASA-GDDP-CMIP6, que contam com viés corrigido, como é mostrado por Thrasher *et al.* (2022). Essa base de dados foi e é usada nas recentes pesquisas sobre as mudanças climáticas no planeta.

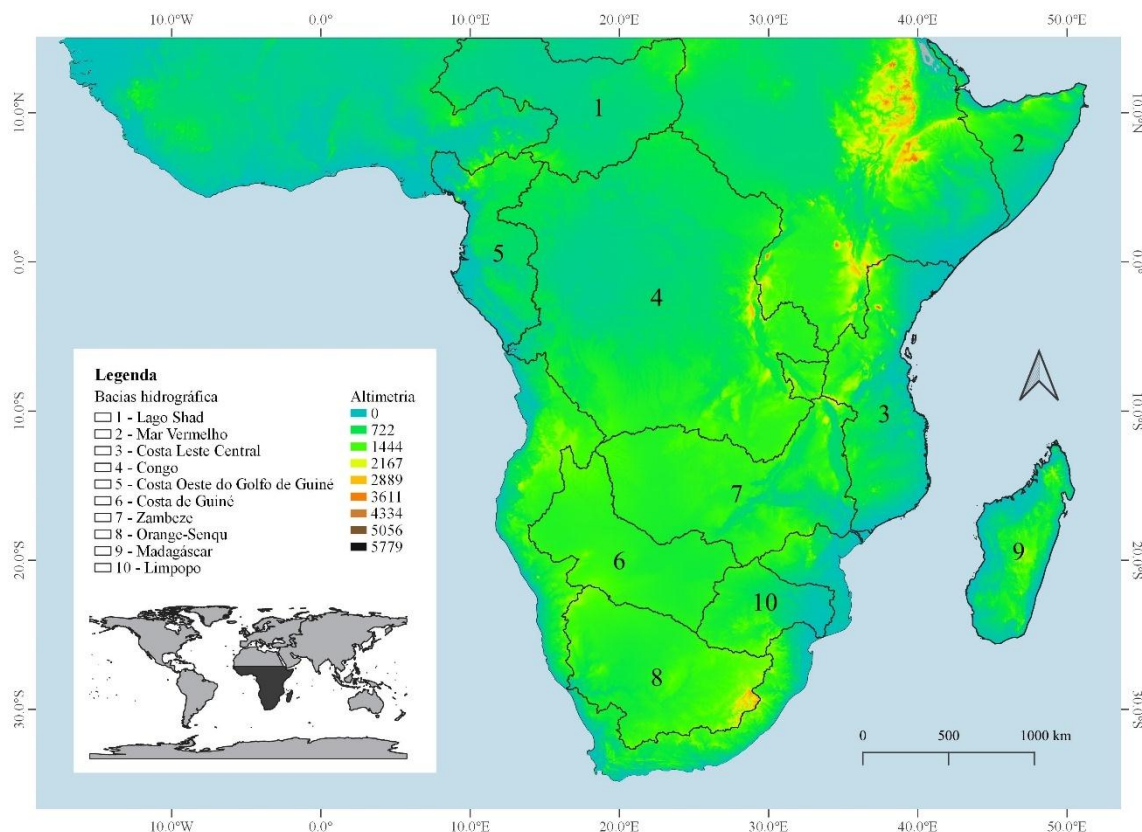
Os estudos mencionados, destacam as mudanças e a frequência dos eventos extremos climáticos na região da África Subsaariana. No presente, estudos apresentaram o aumento da temperatura e queda da precipitação que conseqüentemente impactam a população, a comunidade das sub-regiões, bem como a economia e o desenvolvimento. Importante mencionar que estudos a longo prazo sobre as mudanças climáticas e tendências nas bacias hidrográficas da SSA são poucos. Visando consolidar e aprofundar o conhecimento da intensidade e duração dos eventos extremos, pretende-se aqui avaliar comportamento dos eventos extremos climáticos nas bacias hidrográficas da África Subsaariana e a sua relação com o El Niño Oscilação Sul.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área estudo é a África Subsaariana, localizada entre os paralelos 15° N e 40° S e os meridianos de 20°W e 60° E, e as suas respectivas bacias oceânicas.

Figura 1 – Localização da área de estudo.



Fonte: o autor.

2.1.1 Sistemas sinópticos predominantes na África Subsaariana

Os sistemas sinópticos predominantes na África Subsaariana desempenham um papel muito importante na definição e caracterização do clima na África, São eles: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Altas Subtropicais do Atlântico Sul (ASAS) e Altas Subtropicais do Índico (ASI), Zona de Convergência do Índico Sul (ZCIS), o Sistema de Baixa (Alta) pressão sobre o continente, Ciclones Tropicais, Sistemas Frontais entre outros.

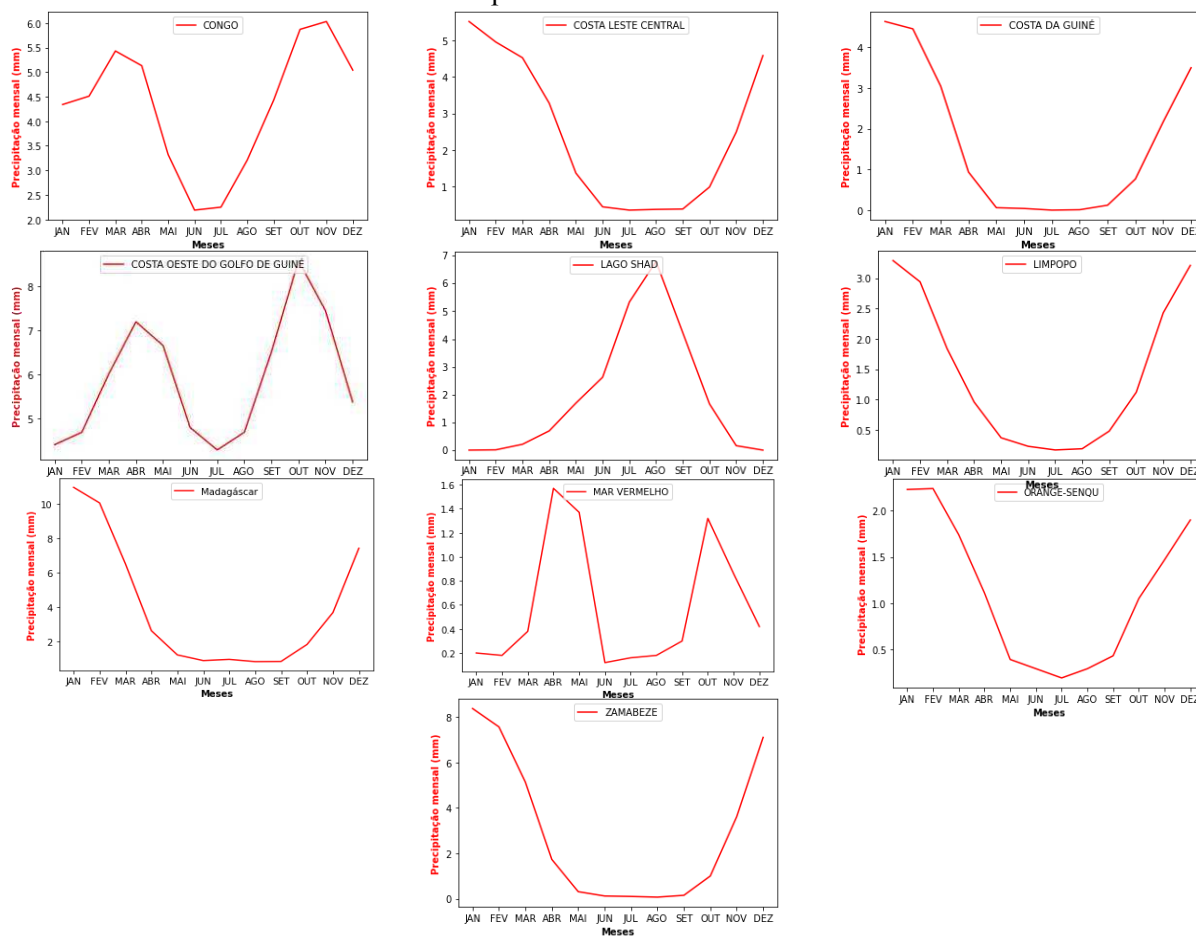
2.1.2 Características climáticas da África Subsaariana

A ZCIT é uma zona de ocorrência de baixas pressões, convergência de ventos alísios, de depressão equatorial, de máximas temperaturas da superfície que resultam em uma banda de máxima cobertura de nuvens convectivas, provocando a ocorrência de elevadas precipitações. Essa zona está localizada na região onde ocorrem acentuadas interações oceano-atmosfera.

A ZCIT é considerada o sistema sinóptico mais influente na ocorrência de precipitação e na definição da época chuvosa, por ser caracterizada por fortes movimentos convectivos da umidade oriundo dos oceanos adjacentes. Na Figura 2, é possível notar a influência da ZCIT durante o seu movimento do Norte-Sul e vice-versa. Em maioria das bacias hidrográficas é possível notar a atuação da ZCIT durante o verão Austral (nas bacias de Costa Leste Central, Costa de Guiné, Limpopo, Madagáscar, Orange-Senqu e Zambeze), nas estações de transição (primavera e Outono) como é caso da bacia hidrográfica do Congo, da Costa Oeste do Golfo de Guiné e do Mar Vermelho e na estação de Inverno como é caso da bacia hidrográfica do Lago Chade.

A ZCIT é um sistema migratório que se desloca sobre o continente Africano no sentido Norte-Sul e vice-versa, sua posição varia com as estações do ano, atingindo o seu extremo no mês de julho, a cerca de 4° N e em janeiro se estende até as proximidades do Trópico de Capricórnio em torno de 23° S (UELE, 2013).

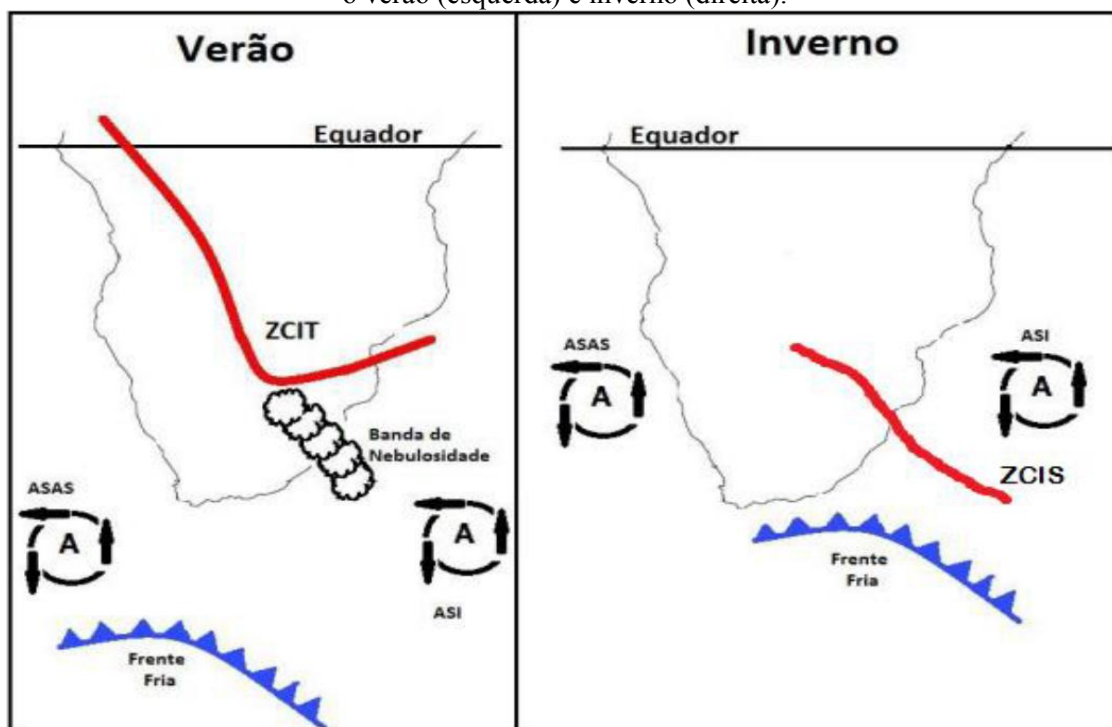
Figura 2 – Climatologia da precipitação mensal sobre as bacias hidrográficas da SSA durante o período de 1980-2022.



Fonte: o autor.

Os sistemas atmosféricos atuantes na SSA, que impulsionam a queda de precipitação, sobre o Sul são a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e a Alta Subtropical do Índico (ASI), que fazem parte do cinturão das altas subtropicais. Esses sistemas são muito importantes no controle do tempo e clima no Sul da África, tal como a ZCIT, estes sistemas também têm um pequeno deslocamento meridional anual e acompanham o movimento aparente do sol. Durante os seus movimentos sazonais emigram até próximo do subcontinente no inverno, onde predomina a subsidência na região e a convecção é inibida (Figura 3) (UELE, 2013). O deslocamento em direção ao equador facilita a entrada da frente fria na parte sudeste da SSA, sendo responsáveis pela ocorrência de precipitação durante a estação do inverno (MACIE, 2016).

Figura 3 – Sistemas atmosféricos que influenciam na viabilidade anual da precipitação na SSA durante o verão (esquerda) e inverno (direita).



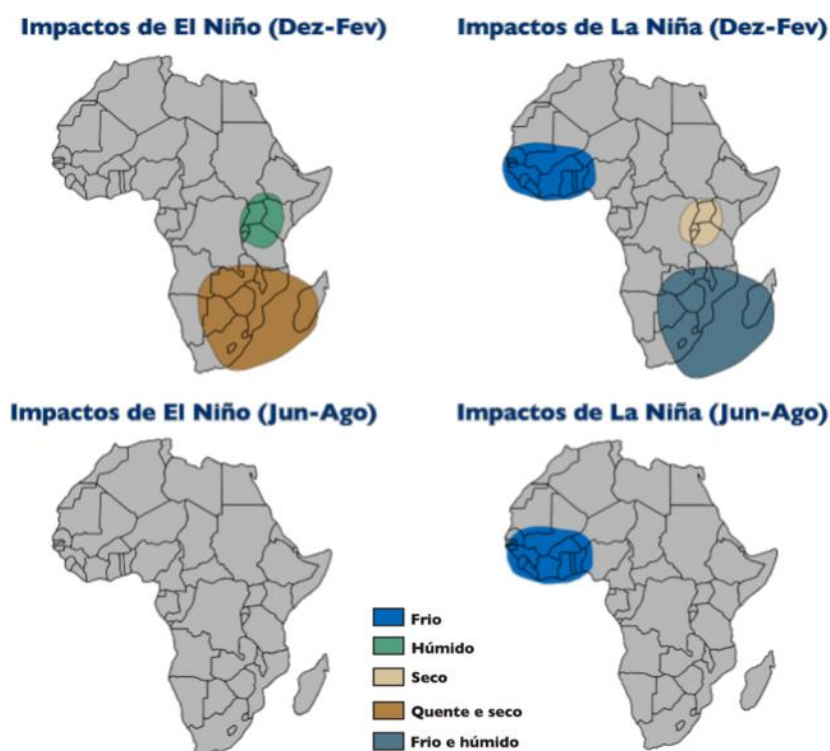
Fonte: adaptado por Wyk *et al.* (2012).

Ainda no verão, com o movimento aparente do sol, uma zona térmica de baixas pressões desenvolve-se na África Austral desintensificando o cinturão das altas subtropicais e os regimes dos ventos. Segundo Macie (2016) durante o verão a Monção Indiana exerce um papel importante na definição do clima, transportando o ar úmido do oceano Índico para o continente por meio dos ventos do Nordeste, convergindo sobre a ZCIT e favorecendo a ocorrência da precipitação na África.

Outro fenômeno importante que contribui no clima da África é o ENOS, conhecido como El Niño ou La Niña-Oscilação Sul. Durante a fase quente favorece a ocorrência de secas e na fase fria o excesso de precipitação ou cheias em algumas regiões da SSA.

Na Figura 4, são mostrados os efeitos do ENOS por estações do ano em diferentes regiões da África. Verifica-se que durante o verão na fase quente do ENOS a região da África Austral é seca e quente, e a África Oriental é úmida. Durante o La Niña a Região da África Austral é fria e úmida, a África oriental é seca e a África ocidental fria. De acordo Fer *et al.* (2017) com o efeito do ENOS na África Oriental é diversificado, o El Niño leva a intensificação e deslocamento da ZCIT trazendo mais precipitação.

Figura 4 – Efeitos do ENOS em diferentes regiões da África por estações do ano.



Fonte: adaptado de NOAA (2023).

2.2 Dados utilizados

Para análise da distribuição espaço-temporal dos índices climáticos extremos sobre a África Subsaariana (SSA), foram utilizados dados diários de reanálise do ERA5 para período de 1980-2022 disponíveis no Climate Change Service, que podem ser acessados a partir do seguinte endereço <https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis>. As variáveis utilizadas foram precipitação (mm) e temperaturas mínima e máxima do ar (°C). O conjunto de dados de reanálise do ERA5 representa a 5ª geração do modelo EMCWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast), com resolução horizontal de 0,25° de latitude e longitude (COPERNICUS, 2023).

Além da análise da distribuição espaço-temporal dos índices climáticos extremos, o dado de reanálise foi usado como referência na avaliação do desempenho dos modelos da NASA-GDDP-CMIP6 na representação do clima da SSA, por este ter sido avaliado e validado em vários estudos como dado alternativo na ausência de dados observados.

Gbode *et al.* (2023) examinaram o desempenho dos produtos ERA5 e ERA-Interim na representação do clima médio e extremos na África Ocidental usando como referência CRU e CHIRPS e constataram que o ERA5 registrou uma diminuição dos desvios de precipitação e da

temperatura, bem como, uma melhor representação da variabilidade interanual em grande parte da África Ocidental. Por outro lado, Gleixner et al. (2020) avaliaram o desempenho da reanálise ERA5 em comparação a ERA-Interim para os campos de temperatura próximo da superfície e precipitação sobre África, onde notaram que no ERA5, os desvios climatológicos de temperatura e precipitação são claramente reduzidos e a representação da variabilidade interanual é melhorada na maior parte da África. No entanto, ambas reanálises tiveram um pior desempenho quanto a representação das tendências a longo prazo, apesar de um desempenho ligeiramente melhor do ERA5 em relação ao ERA-Interim. Por essas razões o ERA5 é usado como referência para avaliar o desempenho dos modelos globais da NASA.

Diante dos dados de reanálise do ERA 5, que serviram como referência para comparação com os modelos, foram utilizados dados diários da NEX-GDDP-CMIP6 (NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections), as variáveis usadas foram precipitação e temperatura mínima e máxima do ar, no período de 1980-2014, com a finalidade de avaliar os índices climáticos extremos. Este conjunto de dados apresenta resolução horizontal de 0,25° de longitude e latitude disponíveis: <https://nex-gddp-cmip6,s3,us-west-2,amazonaws.com/index.html#NEX-GDDP-CMIP6/>. Como o conjunto de dados diários da NEX-GDDP-NASA, no período histórico compreende uma série temporal que vai até 2014, o presente estudo compreende o período de 1980 a 2014, para o que chamamos de clima de referência.

2.2.1 Modelos climáticos

Para avaliação e projeção das mudanças climáticas e seus impactos, foram utilizados 20 (vinte) modelos globais climáticos da NEX-GDDP-CMIP6 com base em cenários de trajetórias sócio-econômicas compartilhadas (shared socioeconomic Pathways – SSP), que combinam projeções de crescimento populacional, previsões de crescimento e urbanização no planeta (Tabela 1) (THRASHER *et al.*, 2022).

Tabela 1 – Modelos climáticos globais avaliados no período (1980-2014)

Modelo	Centro	País	Referência
ACCESS-CM2	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSRO)	Austrália	(DIX <i>et al.</i> , 2019)
ACCESS-ESM1-5	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)	Austrália	(ZIEHN <i>et al.</i> , 2019)
BCC-CM2-MR	Beijing Climate Center	China	(WU <i>et al.</i> , 2018)
CanESM5	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Environment and climate Change Canada	Canada	(SWART <i>et al.</i> , 2019)
CMCC-CM2-SR5	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC)	ITALY	(PEANO, LOVATO; MATERIA, 2020)
CMCC-ESM2	Fondazione Centro Euro-Meditarraneo sui Cambiamenti Climatici(CMCC)	Italy	(PEANO <i>et al.</i> , 2020)
CNRM-CM6-1	Center National Reserches Meteorologiques (CNRM) and Centre Europeen de Recherche et Formation Avancee em Calcul Scientifique	France	(VOLDOIRE, 2018)
Ec-Earth3-Veg-LR	EC-Earth consortium, Rossby Center, Swedish Meteorological na Hidrological Institute/SMHI, Norrkoping, Sweden	Sweden	((EC-EARTH), 2020)
FGOALS-g3	Chinese Academy of sciences, Beijing, China	China	(LI, 2019)
GFDL-CM4	National Oceanic and Atmospheric Administration, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Prenceon	USA	(ZHAO <i>et al.</i> , 2018)
GFDL-ESM4	Nation Oceanic and Atmospheric Administration, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA	(KRASTING <i>et al.</i> , 2018)
GISS-ES	Goddard Institute for Space Studies (GISS) New York, NY, USA	USA	(BAUER, <i>et al.</i> , 2020)
HadGEM3-ES	Met Office Hadley Centre, Exeter, Devon,UK	United Kingdom	(NORDHAUS <i>et al.</i> , 2020)
KACE-1-0	National Institute for environmental Stuiies, The University of Tokyo	Tokyo-Japan	(BYUN <i>et al.</i> , 2019)
MIROC6	Japan Agency for Marine-Earth and Technology (JAMSTEC), Kanagawa, Japan, Atmosphere and Ocean Research Insstitute (AORI), The Universitybof Tokyo, Chiba, Japan, National Institute for Environmental Studies (NIES), Ibaraki, Japan, and RIKEN centre for Computational Science, Hyogo, Japan	Japan	(HIDEO <i>et al.</i> , 2019)
MRI-ESM2-0	Meteorological Research Institute Earth System Model	Japan	(YUKIMOTO <i>et al.</i> , 2019)
NESM3	Nanjing University of information Science and Tecnology (Nuist)	China	(CAO; WANG, 2019)
NorESM2-LM	NorESM Climate modeling Consortium,Olso, Norway	Norway	(SELAND <i>et al.</i> , 2019)
TaiESM1	Research Center for Environmental Changes, Academia Sinica,Nankang, Taipei,Taiwan	Taiwan	(LEE; LIANG, 2020)
JKESM1-0-LL	Met Office Hadley Centre, Exeter	United Kingdom	(SELLAR <i>et al.</i> , 2019)

Fonte: adaptado de Faria (2023).

2.3 Índices extremos de precipitação e de temperatura do ar

Os índices climáticos extremos calculados, são baseados em séries temporais diárias de precipitação e temperaturas máxima e mínima do ar, que definem a frequência duração e intensidade dos extremos climáticos.

Entre os 27 índices climáticos extremos, criados pela equipe de Especialistas em Detecção e Monitoramento de Índices de Mudanças Climáticas (ETCCDMI), 16 deles se referem a temperatura do ar e 11 a precipitação. Para o presente estudo, foram selecionados nove índices representativos, dos quais quatro são índices de temperatura e cinco de precipitação (Tabela 2). Esses índices foram escolhidos por serem básicos para estudar o clima da África, por terem sido usados em várias literaturas na região, também devido ao clima e a localização da África Subsaariana. Para a análise das tendências dos índices climáticos extremos, foi calculado o teste de Mann Kendall combinado com o estimador de tendência linear Sen para determinar a tendência, magnitude e significância estatística de $p \leq 0,05$, a partir do pacote `pymannkendall` do software Python.

Tabela 2 – Definição dos 9 índices de precipitação e temperatura do ar selecionados.

Indicativos	Índices	Definição	Unidade
	PRCPTOT	Precipitação total anual em dias úmidos	mm
Intensidade	Rx1day	Quantidade máxima de precipitação em 1 dia	mm
	Rx5day	Quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos	mm
Duração	CWD	Números máximo de dias úmidos consecutivos em que a precipitação $\geq 1mm$	dias
	CDD	Números máximo de dias consecutivos com precipitação $< 1mm$	dias
	TNn	Valor mínimo da temperatura mínima diária	°C
	TNx	Valor máximo da temperatura mínima diária	°C
	TXx	Valor máximo da temperatura máxima diário	°C
	TXn	Valor mínimo da temperatura máxima diária	°C

Fonte: <https://www.climdex.org/learn/indices/>.

2.4 Consistência das simulações de cada modelo de CMIP6

A avaliação da consistência da simulação dos modelos baseou-se nas bacias hidrográficas da SSA. Para tal, foram selecionadas dez (10) bacias representativas para o efeito, sendo elas: Congo, Madagáscar, Mar Vermelho, Costa Leste Central, Costa Oeste de Golfo de Guiné, Costa de Guiné, Orange-Senqu, Limpopo, Lago Chade e Zambeze.

A habilidade do modelo da NASA-GDDP-CMIP6 em fornecer dados de saída semelhantes a reanálise ERA5, foi determinada usando a métrica eficiente de Kling-Gupta

(KGE) Equação (1), que consiste em combinação de três equações, o coeficiente de correlação (r) Equação (2), a razão de viés (β) Equação (3), a razão de variabilidade (γ) Equação (4) (ZULUAGA *et al.*, 2022).

$$KGE = 1 - \sqrt{(1 - r)^2 + (1 - \beta)^2 + (1 - \gamma)^2} \quad (1)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\mu_P}{\mu_O} \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{CV_P}{CBV_O} \quad (4)$$

Onde, P é o valor de saída dos modelos, O é valor de saída da reanálise ERA5, N é o número de pares de dados, μ é o valor médio e CV é o coeficiente de variação, A métrica de Kling-Gupta (KGE) varia entre zero e um, onde próximo de um (1) indica maior concordância entre os modelos de CMIP6 e a reanálise ERA5.

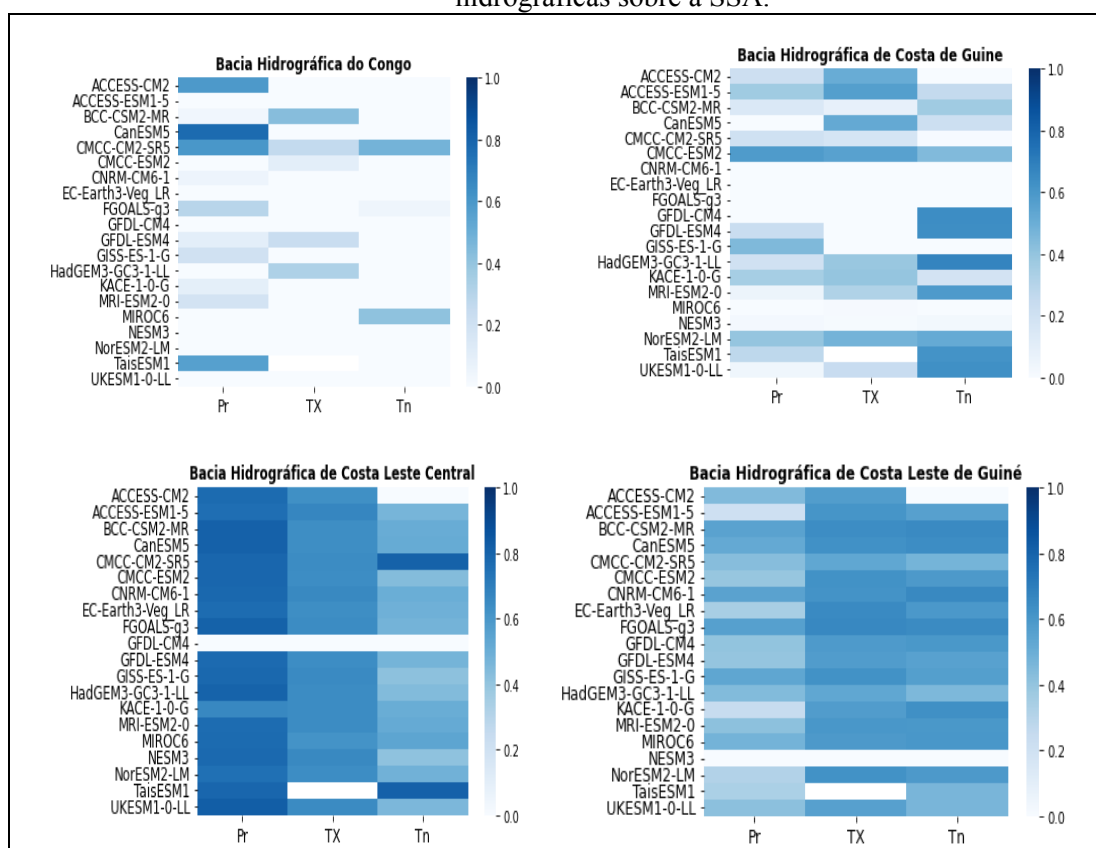
3 RESULTADOS

3.1 Consistência das simulações dos modelos nas bacias hidrográficas da região da SSA

A consistência dos Modelos da NASA-GDDP-CMP6 em representar o clima na SSA, avaliado a partir dos valores médios mensais de precipitação e temperaturas mínima e máxima do ar, em relação aos resultados da reanálise ERA5 para o período de 1980 a 2014, é resumida pela métrica estatística de Kling-Gupta, mostrada nas Figura 5 e 6.

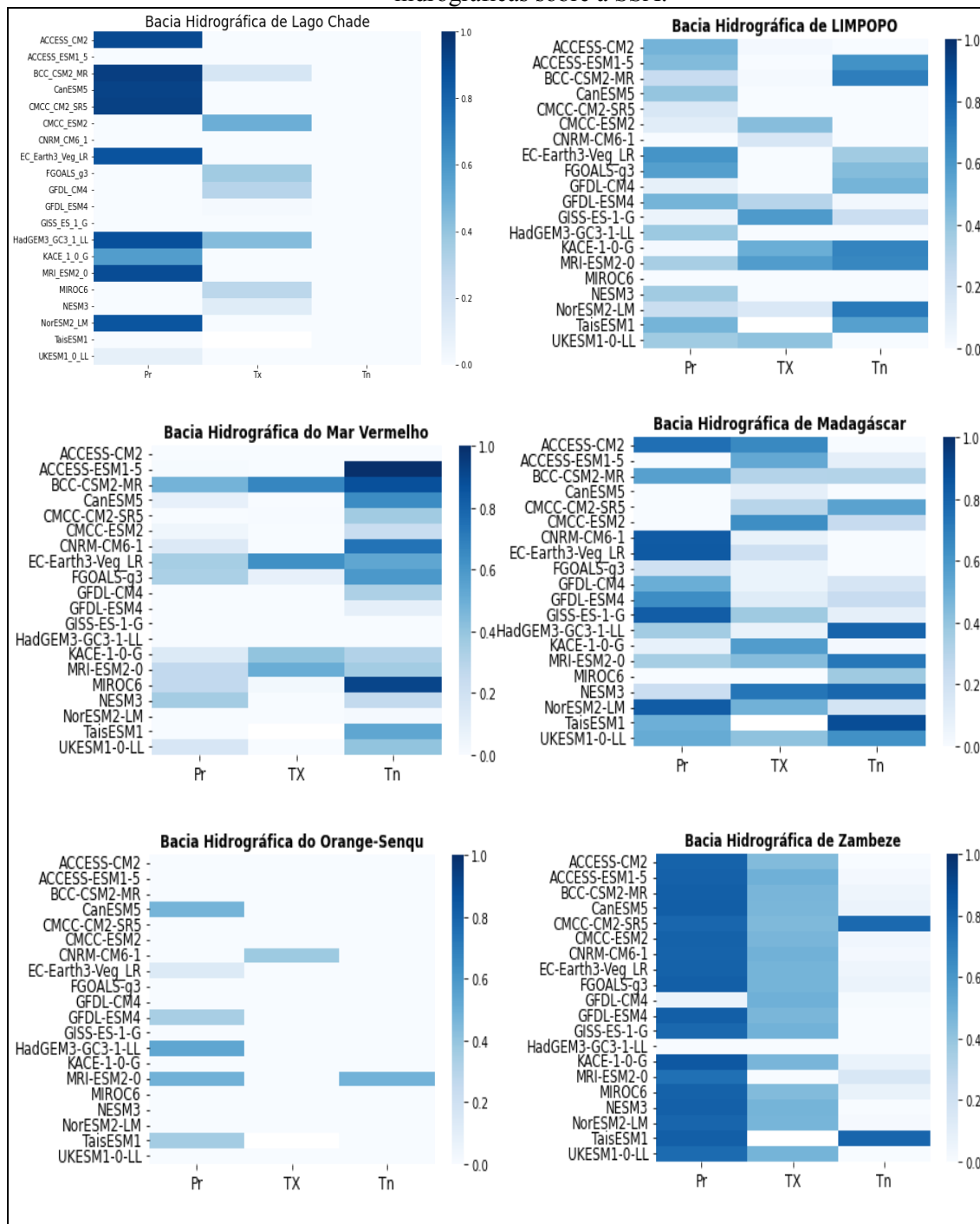
A classificação dos modelos baseou-se no valor de KGE, que varia entre 0 e 1 para cada variável, sendo que nessa classificação levou-se em consideração a precipitação e a temperatura máxima, tendo-se escolhido os modelos que mostram o melhor desempenho, ou seja, os que apresentaram KGE das variáveis entre 0,5 e 1. Dentre os modelos destacam-se: ACCESS-CM2, ACCESS-ESM1-5, CanESM5, CMCC-CM2-SR5, TaiESM1 e UKESM1-0-LL, esses foram definidos como bem satisfatórios para as bacias hidrográficas avaliadas.

Figura 5 – Classificação dos modelos da NASA-GDDP-CMP6 com base na métrica KGE que indica desde o pior ao melhor desempenho dos modelos em relação a reanálise do ERA5 em diferentes bacias hidrográficas sobre a SSA.



Fonte: autor

Figura 6 – Classificação dos modelos da NASA-GDDP-CMIP6 com base na métrica KGE que indica desde o pior ao melhor desempenho dos modelos em relação a reanálise ERA5 em diferentes bacias hidrográficas sobre a SSA.



Fonte: autor

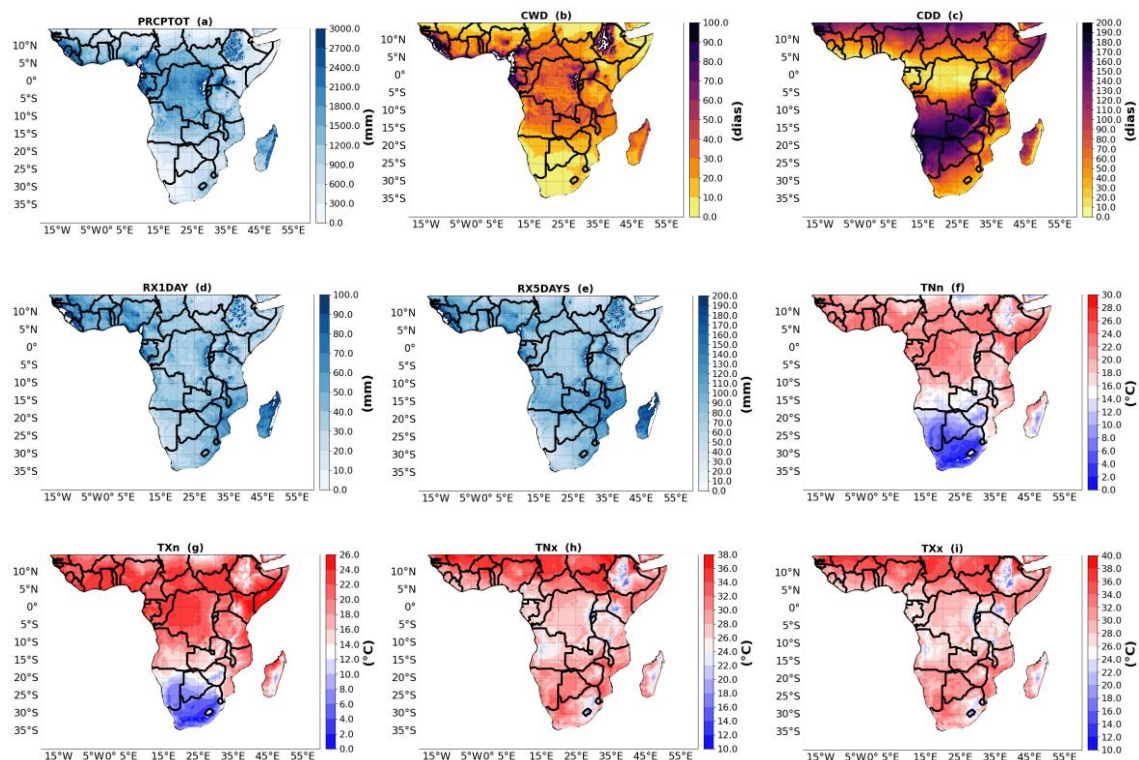
3.2 Distribuição especial climatológica dos índices climáticos extremos na África Subsaariana

Na distribuição espacial dos índices de precipitação e de temperatura do ar, obtida da reanálise durante o período de 1980-2022 (Figura 7), em geral, os valores de precipitação total anual (PRCPTOT) (Figura 7 (a)) variaram de 300 a 3000 mm. Os valores diminuem do centro para sul, do centro para norte e do centro para Leste da África, sendo que os valores mais altos foram registrados no centro da África e na costa leste de Madagascar. Quanto aos dias úmidos consecutivos (CWD) (Figura 7 (b)), a sua duração aumenta do Leste para Oeste, de forma bem acentuada na região centro da África, os altos valores acima de 100 dias, foram registrados no Gabão e leste da República de Congo, no Noroeste (Costa de Marfim) e Nordeste na Etiópia.

Por outro lado, a duração de dias secos consecutivos (CDD) (Figura 7 (c)) diminui de oeste para leste no sul da África, os altos valores estão acentuados no Sul, Norte e Leste da África, onde atingiram cerca de 200 dias, enquanto os índices de quantidade máxima de precipitação em um dia (Rx1day) (Figura 7 (d)) e em cinco dias (Rx5days) (Figura 7 (e)) apresentaram comportamento semelhante, onde os altos valores foram registrados na região Sudeste, Centro e Noroeste da África que chegaram a ultrapassar 100 e 200 mm, respectivamente.

Os eventos de mínimos valores de temperatura máxima (TNn) (Figura 7 (f)) e mínima (TXn) (Figura 7 (g)) diária comportaram-se também de maneira semelhante ao longo de 42 anos de análise, apresentando baixos valores na região Sul da África, enquanto os altos valores foram observados no sentido centro-norte da África, que chegaram a atingir 30 e 26 °C, Em contrapartida, os eventos de máximos valores temperatura mínima (TNx) (Figura 7 (h)) e máxima (TXx) (Figura 7 (i)) diária, indicaram altos valores em quase toda a África, com a exceção de algumas porções da região Sul, Centro e Nordeste que mostraram baixos valores menores que 26°C em ambos os índices.

Figura7 – Comportamento médio dos índices de precipitação e temperatura sobre a SSA durante o período de 1980-2022.



Fonte: o autor.

3.3 Tendência dos índices climáticos extremos sobre o SSA a partir de dados do ERA5

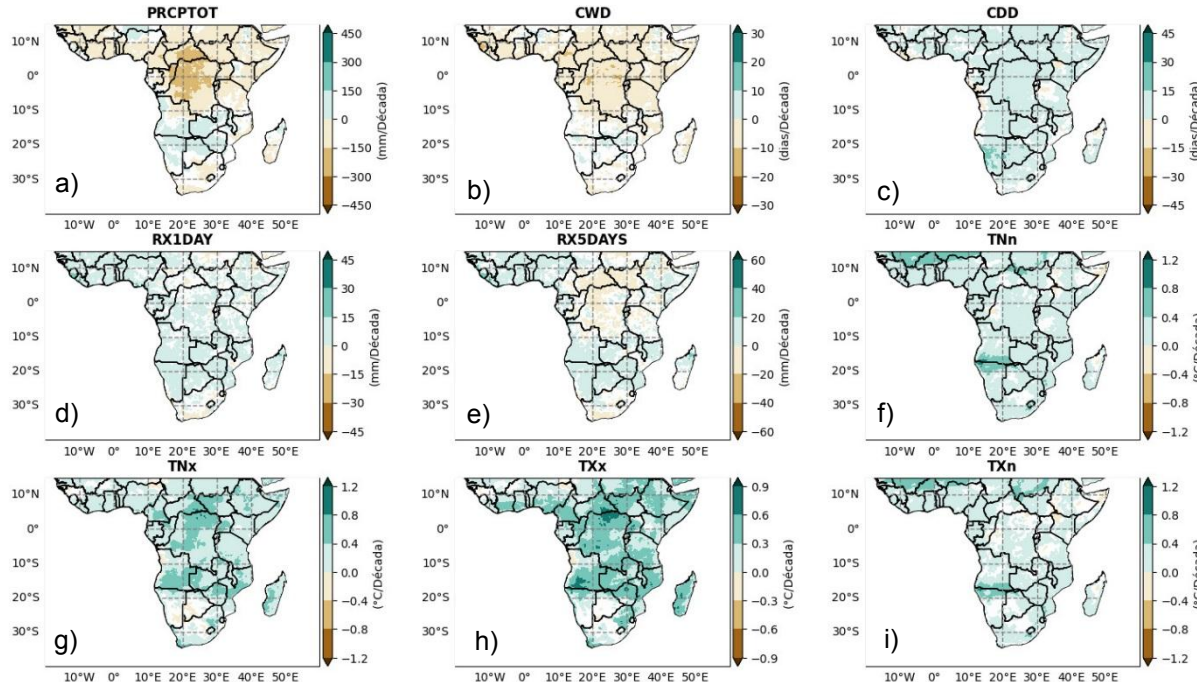
Na Figura 8 demonstra-se a distribuição das tendências dos índices de precipitação e de temperatura do ar na SSA, de 1980 a 2022. Destaca-se uma diminuição da precipitação máxima acompanhado pela intensificação de eventos de Rx1day e Rx5day. É visível uma tendência decrescente da precipitação de total anual (PRCPTOT Fig.8 (a)), com significância estatística no Centro e Norte da África, aproximadamente entre 150 e 350 mm/década, acompanhado pela diminuição da duração de período de dias úmidos consecutivos (CWD Fig.8 (b)) em aproximadamente 10 dias/década. Nota-se ainda um o aumento de PRCPTOT em 150 mm/década e de CWD em 10 dias/década no Sul da África. Exceção feita pela região central da África do Sul e no sentido centro e norte de Moçambique.

Os índices de precipitação máxima em 1 e 5 dias (Rx1day e Rx5day) Fig.8 (d) e (e) mostram aumentos significativos na maior parte do Sul e Norte da África, aproximadamente entre 15 e 30 mm/década, e 20 e 40 mm/década respectivamente. O índice de Rx5day indica uma diminuição significativa em 20 mm/década na região centro da África e em algumas regiões do Sudeste da África, próximo a Leste da África do Sul e Centro de Moçambique. A

duração do período de dias secos consecutivos (CDD Fig.8 (c)) aumentou entre 15 e 30 dias/década, em quase toda a África, com a exceção de algumas regiões costeiras que reduziram em 15 dias/década.

Os índices de mínimos valores da temperatura mínima (TNn Fig.8 (f)) e máxima (TXn Fig.8 (i)) mostraram padrões semelhantes. Observa-se tendência de aumento em quase toda a região da ASS em aproximadamente 0,4 e 0,8 °C/década para TNn, e 0,4 e 0,8 °C/década para TXn, em algumas regiões tendência de reduzir entre -0,4 °C/década em ambos os índices. Por outro lado, os índices de máximos valores de temperatura mínima (TNx Fig.8 (g)) e máxima (TXx Fig.8(h)) diária mostraram tendência de aumento no sentido Centro-Norte, entre aproximadamente 0,4 e 0,8 °C/década para TNx e 0,3 e 0,6 °C/década Para TXx. Em contrapartida, pode-se notar a tendência negativa no Centro da região do sul da África e uma porção do Noroeste, em torno de 0,4 e 0,3 °C/década para TNx e TXx.

Figura 8 – Distribuição espacial da tendência e significância estatística dos índices extremos de precipitação e temperatura do ar sobre a SSA durante o período de 1980-2022.



Fonte: o autor.

Após entender o comportamento dos índices extremos espacialmente, no próximo subcapítulo são mostradas as variabilidades interanuais dos índices nas bacias hidrográficas da SSA e sua possível relação com o ENOS tanto na fase quente e quanto na fase fria.

3.4 Variabilidade interanual dos índices extremos de precipitação e de temperatura do ar e sua relação com o fenômeno ENOS

Segundo Ferreira (2019), o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), é um dos fatores que influenciam no padrão dos extremos climáticos, na variabilidade interanual da precipitação durante a temporada de monções de verão, sendo a região do El Niño 3,4, a que mais se relaciona com as anomalias de precipitação extremas. Deste modo, a fim de encontrar possíveis respostas da variabilidade interanual dos índices extremos nas bacias hidrográficas da SSA foi feita inferência visual entre a variabilidade interanual dos índices extremos nas bacias hidrográficas da SSA com os anos de ocorrência do ENOS nas duas fases durante o período de 1980 a 2014 Tabela 3.

Tabela 3 – Anos de ocorrência dos eventos El Niño e La Niña.

<i>El Niño</i>				<i>La Niña</i>		
Fraco	Moderado	Forte	Muito forte	Fraco	Moderado	Forte
1979-80	1986-87	1987-88	1982-83	1983-84	1995-96	1988-89
2004-05	1994-95	1991-92	1997-98	1984-85	2011-12	1998-99
2006-07	2002-03		2015-16	2000-01	2020-21	1999-00
2014-15	2009-10			2005-06	2021-22	2007-08
2018-19				2008-09		2010-11
				2016-17		
				2017-18		
				2022-23		

Fonte: <https://ggweather.com/enso/oni.htm>.

3.4.1 Variabilidade interanual dos índices extremos obtidos a partir de dados de modelos nas bacias hidrográficas da SSA durante o período de 1980-2014.

Abaixo são mostrados resultados da variabilidade interanual e a magnitude estatisticamente significativa dos índices extremos de precipitação e temperatura do ar, representados pelos modelos em cada bacia hidrográfica selecionada, sua relação com ENOS na sua fase quente e fria.

3.4.1.1 Padrões do CDD nas bacias hidrográficas da SSA

Na Figura 9, apresenta-se a variabilidade do índice CDD, obtida a partir dos modelos nas bacias hidrográficas da SSA, na qual nota-se que o índice atingiu máximos valores (>230

dias) de dias secos consecutivos na bacia da Costa de Guiné, representado pelo modelo CMCC-CSM2-SR5 no ano 1991, no qual o El Niño caracterizou-se como forte. Enquanto isso, a bacia de Madagascar atingiu mínimos valores de CDD, comparados as demais bacias, sendo que estes valores são representados pelos modelos CansESM5 e ACCESS-ESM1-5 (< 40 dias) nos anos de 1980/81 e 2006/07, anos esses, que o El Niño se caracterizou como fraco (Tabela 3).

Durante o El Niño de 1991, percebe-se que o modelo CMCC-CSM2-SR5 mostrou a variação do CDD em uma taxa de 1,75 dias/década, em relação à média na bacia hidrográfica da Costa de Guiné. Porém, o índice não indicou significância em todas as bacias. Por outro lado, o modelo CanESM5 sobre a bacia de Madagascar variou com uma taxa de 0,65 dias/década, enquanto o modelo ACCESS-ESM1-5 demonstrou que o índice foi significativo com tendência de redução a uma taxa de 1,88 dias/década na bacia de Lago Chade. O dado de reanálise mostrou significância com tendência de aumento a uma taxa de 3,40; 8,99; 3,49; 5,74; 5,80 dias/década em relação à média nas bacias de Congo, Costa da Guiné, Lago Chade, Mar vermelho e Zambeze, respectivamente.

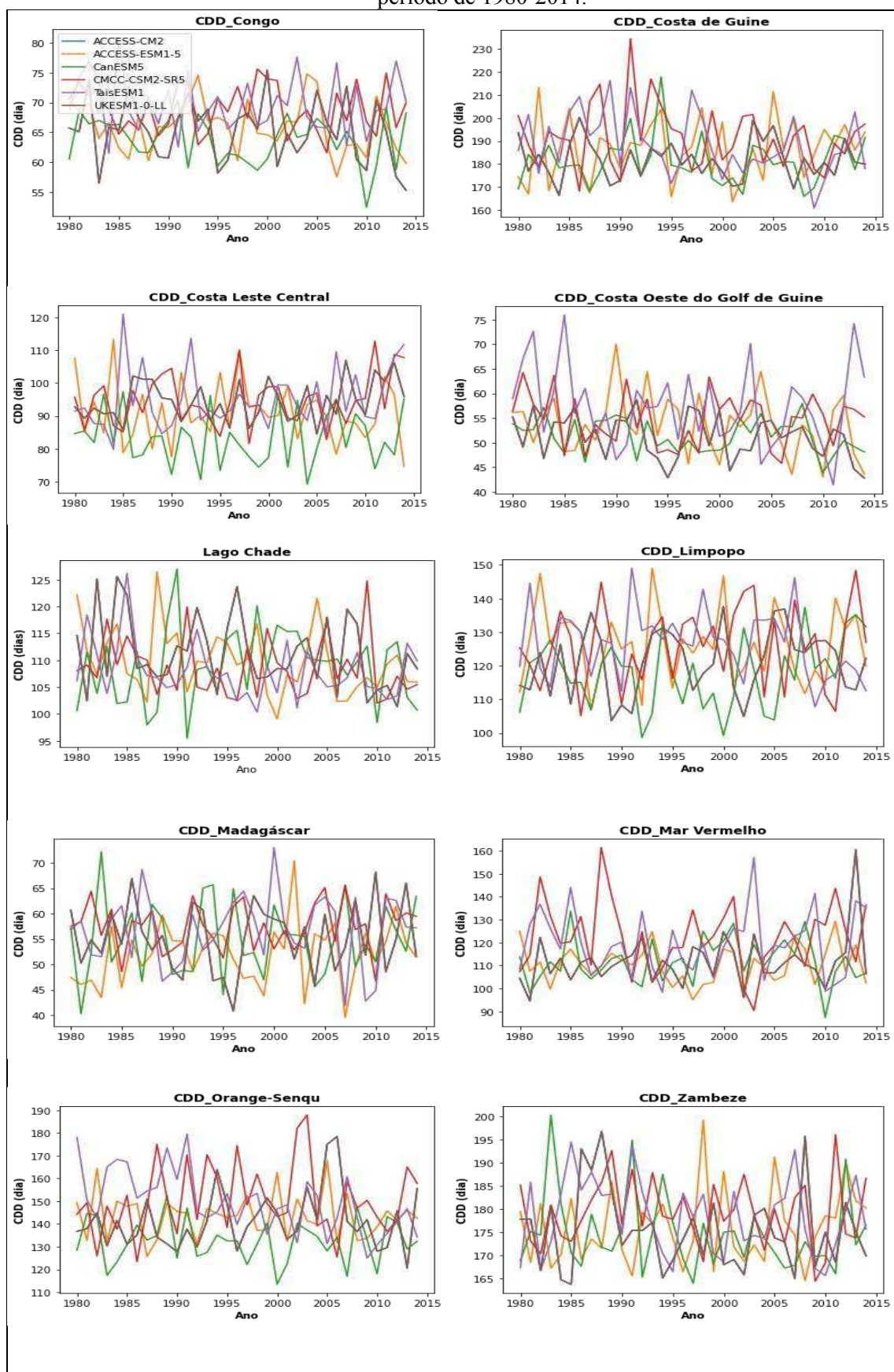
Tabela 4 – Significância, tendência e magnitude do índice CDD (dia/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980-2014.

Modelos	Bacias Hidrográficas									
	Congo	Costa da Guiné	Costa Leste Central	Costa Oeste Golfo da Guiné	Lago Chade	Limpopo	Madagascar	Mar Vermelho	Orange-Senqu	Zambeze
ACCESS-CM2	-1,05	-0,77	1,41	-1,41	-1,76	1,70	-0,84	1,36	1,78	-1,08
ACCESS-ESM1-5	-1,35	3,00	-0,95	-1,43	-1,88 * (-)	-0,84	1,41	-0,07	-0,98	1,84
CanESM5	-0,77	0,59	-0,47	-0,86	0,93	-1,85	0,65	1,18	-0,15	-1,28
CMCC-CSM2-SR5	-0,333	-1,75	1,51	-0,31	-1,03	2,31	0,51	1,16	1,12	-0,14
TaiESM1	-0,37	-4,35	2,75	-1,27	-1,19	2,31	0,86	-0,36	-8,40 * (-)	-1,35
UKESM1-0-LL	-1,04	-0,77	1,41	-1,41	1,76	-1,70	-0,06	1,36	1,78	-1,08
ERA5	3,40*(+)	8,99* (+)	2,280	0,57	3,49* (+)	6,550	1,280	5,740* (+)	4,810	5,800* (+)

Nota: significativo (*), tendência de aumento (+) e tendência de diminuição (-).

Fonte: o autor.

Figura 9 – Variabilidade interanual do índice CDD nas bacias hidrográficas sobre a SSA durante o período de 1980-2014.



Fonte: o autor.

3.4.1.2 Padrões do CDD nas bacias hidrográficas da SSA

Na figura 10, observa-se o comportamento do índice CWD nas bacias hidrográficas sobre a SSA. O maior valor (> 60 dias) do índice foi registrado na bacia de Madagascar, obtido por meio do modelo CanESM5 nos anos 1986/87, anos em que o El Niño atingiu a categoria moderado. Enquanto as bacias de Orange-Senqu e Mar Vermelho registraram menores valores em relação as demais bacias (<4 dias) nos anos de 1985, 1986/87 representados pelos modelos UKESM1-0-LL e CMCC-CSM2-SR5 respectivamente. Nestes anos, observou-se o La Niña fraco e El Niño moderado. O modelo CanESM5 mostrou que o índice foi significativo com tendência de aumento na bacia de Lago Chade a uma taxa de 1,51 dias/década. Na bacia de Madagascar o índice variou a uma taxa de 0,34 dias/década, todavia, o modelo CMCC-CSM2-SR5 demonstrou significância do índice com tendência de aumento a uma taxa de 0,66 dias/década no Lago Chade, e sobre a bacia do Mar Vermelho o índice não variou ao longo da média. Por outro lado, o modelo UKESM1-0-LL indica que o índice foi significativo nas bacias da Costa Oeste do Golfo de Guiné e do Lago Chade em uma taxa de 2,26 dias/década e 1,33 dias/década, respectivamente. Já na bacia de Orange-Senqu o índice variou a taxa de 0,27 dias/década em relação à média (Tabela 5). Por outro lado, pode se notar que o ERA5 mostra uma tendência significativa de reduzir nas bacias do Congo, Costa Leste Central, Costa Oeste do golfo da Guiné, Lago Chade e Mar Vermelho a uma taxa de 6,48; 1,58; 4,56; 2,17 e 0,54 dias/décadas em relação à média.

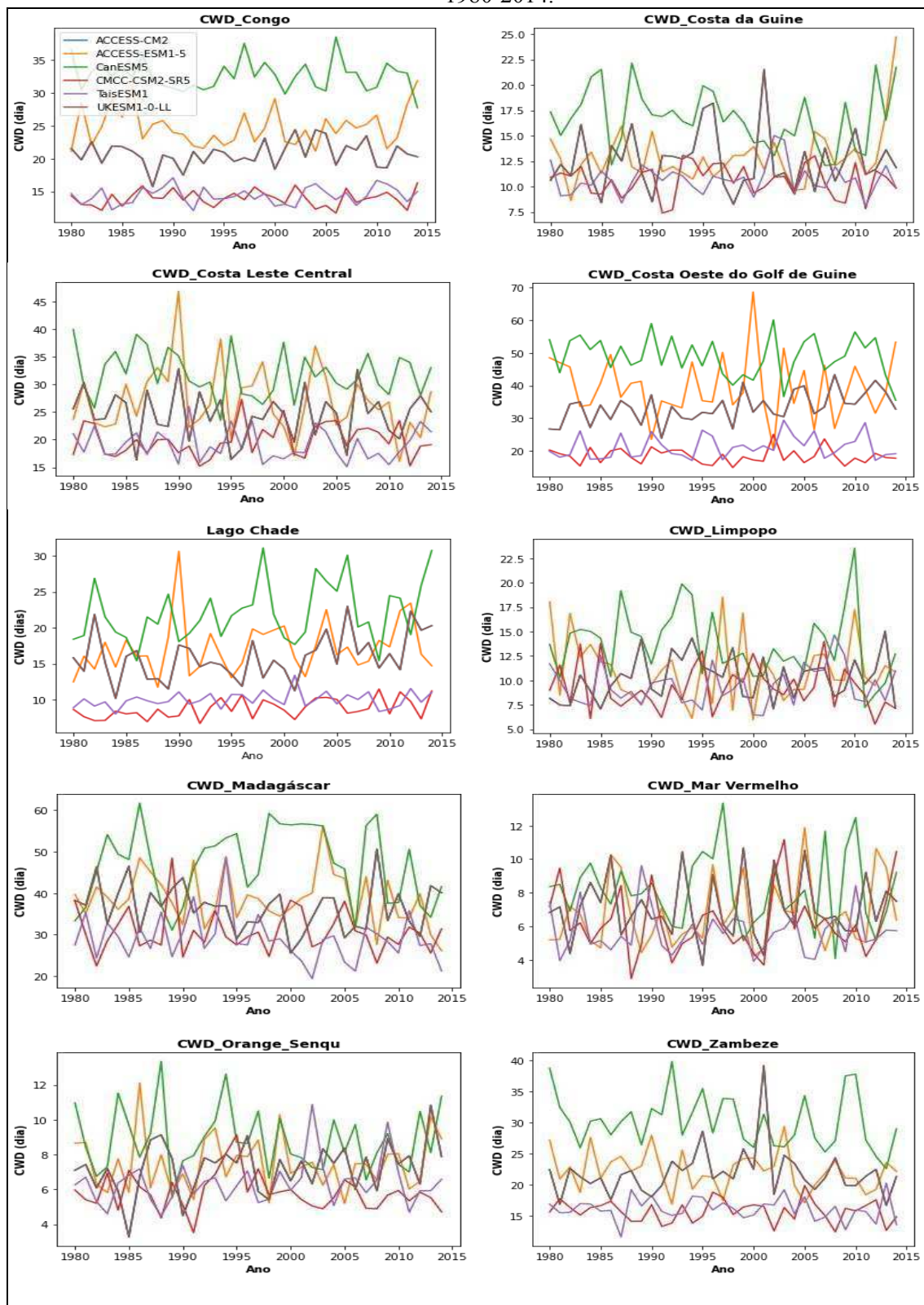
Tabela 5 – Significância, tendência e magnitude do índice CWD (dia/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980-2014.

Modelos	Bacias Hidrográficas									
	Congo	Costa da Guiné	Costa Leste Central	Costa Oeste do Golfo de Guiné	Lago Chade	Limpopo	Madagascar	Mar Vermelho	Orange-Senqu	Zambeze
ACCESS-CM2	1,29	0,20	-0,09	2,66* (+)	1,13*(+)	0,35	-1,27	0	0,23	0,10
ACCESS-ESM1-5	0,21	-0,36	-0,63	0,96	0,95	-0,30	-1,7	0,25	0,07	-0,65
CanESM5	-0,21	-0,99	-0,84	-1,10	1,51* (+)	0,80	0,34	-0,29	-0,12	-1,26
CMCC-CSM2-SR5	0,06	-0,05	0,55	-0,44	0,66* (+)	-0,16	-0,03	0	-0,18	-0,17
TaiESM1	0,23	0,04	-0,07	0,59	0,21	0,32	-1,15	0,05	0,15	-0,39
UKESM1-0-LL	0,13	0,20	-0,09	2,26*(+)	1,13*(+)	0,35	-1,27	0	0,27	0,09
ERA5	-6,48* (-)	0,13	-1,58* (-)	-4,56*(-)	-2,17*(-)	0,06	-0,70	-0,54* (-)	0,05	-0,13

Nota: significativo (*), tendência de aumento (+) e tendência de diminuição (-).

Fonte: o autor.

Figura 10 – Variabilidade interanual do CWD nas bacias hidrográficas da SAA durante o período de 1980-2014.



Fonte: o autor.

3.4.1.3 Padrões de PRCPTOT nas bacias hidrográficas da SSA

Na Figura 11, demonstra-se a variabilidade interanual do índice PRCPTOT nas bacias hidrográficas sobre a SSA, na qual notou-se que o índice atingiu o seu máximo no ano 2000 na bacia hidrográfica da Costa Oeste do Golfo de Guiné (> 2000 mm) representado pelo modelo ACCESS-ESM1-5. No ano 2000, o La Niña atingiu a categoria forte. Por outro lado, a bacia do Mar Vermelho registrou valores mínimos em relação as outras bacias (em torno <50 mm) caracterizado pelo modelo de CanESM5 nos anos de 2008 caracterizado pelo La Niña fraco.

Na Tabela 6, é apresentada a significância do índice PRCPTOT obtido pelos modelos nas bacias hidrográficas da SSA. Para o modelo ACCESS-ESM1-5, o índice não foi significativo em todas as bacias, todavia, a bacia da Costa Oeste do Golfo da Guiné que apresentou valor máximo em relação as demais bacias, o índice variou a uma taxa de 0,96 mm/década. Por outro lado, o modelo CanESM5 mostrou que o índice foi significativo com a tendência de aumento a uma taxa de 28,41 mm/década sobre a bacia do Congo, enquanto sobre a bacia do Mar Vermelho o índice variou a uma taxa de 8,24 mm/década, porém não significativo. Os dados do ERA5 mostraram significância com tendência de reduzir nas bacias de Congo, Costa Oeste do Golfo da Guiné e Lago Chade a uma taxa de 123,37; 43,79 e 47,14 mm/década, enquanto a bacia de Costa da Guiné mostrou tendência de aumento a uma taxa de 26,05 mm/década.

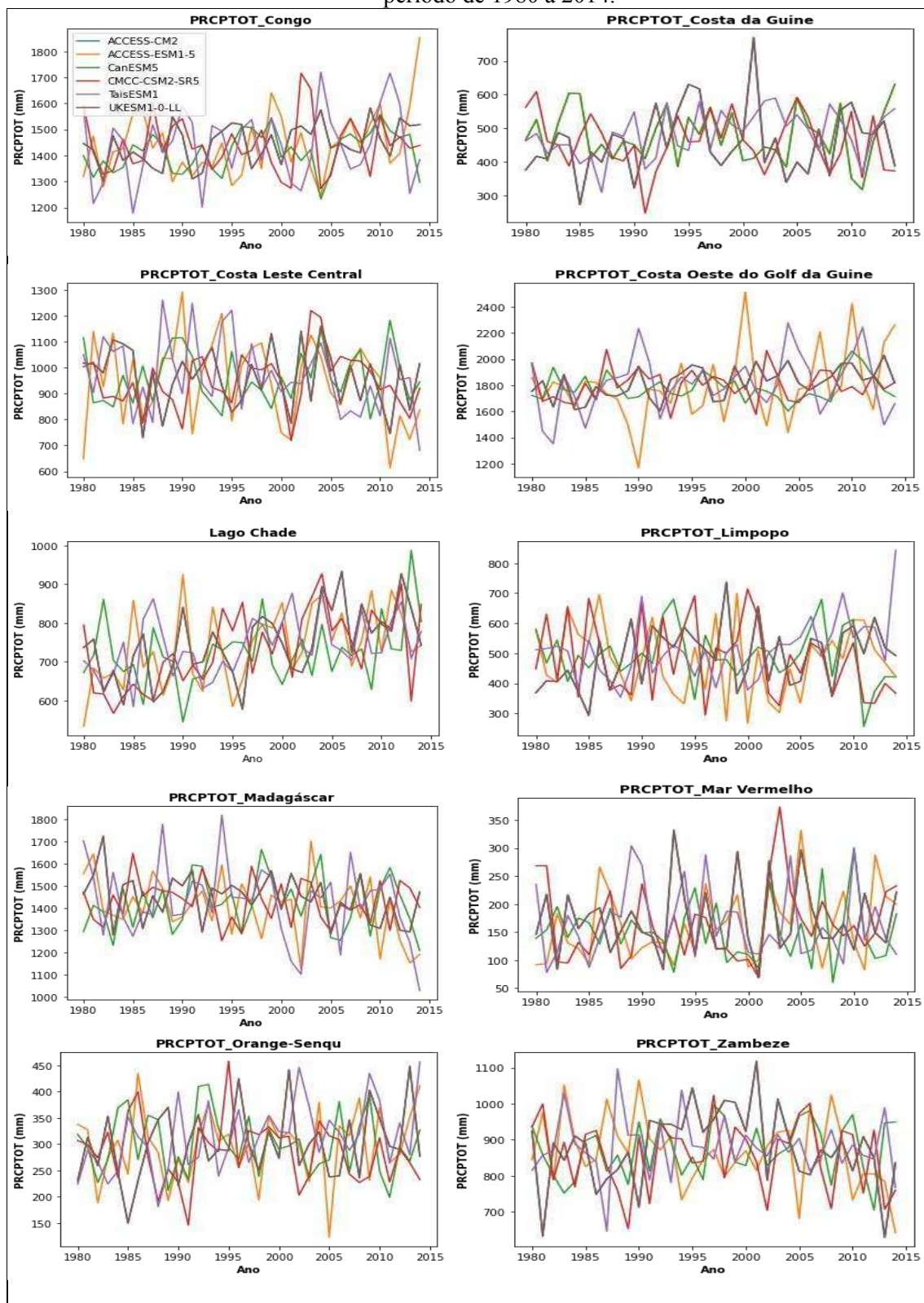
Tabela 6 – Significância, tendência e magnitude do índice PRCPTOT (mm/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980-2014.

Modelos	Bacias Hidrográficas									
	Congo	Costa da Guiné	Costa Leste Central	Costa Oeste do Golfo de Guiné	Lago Chade	Limpopo	Madagáscar	Mar Vermelho	Orange-Senqu	Zambeze
ACCESS-CM2	31,95* (+)	15,22	-26,24	57,66* (+)	42,56* (+)	33,35	-38,98* (-)	0,16	13,92	-2,32
ACCESS-ESM1-5	0,21	-0,36	0,63	0,96	0,95	-0,30	1,70	0,25	0,07	-0,65
CanESM5	28,41* (+)	-5,19	13,85	0,33	19,70	-12,25	5,42	-8,24	-7,55	18,14
CMCC-CSM2-SR5	6,09	-13,17	5,85	5,44	65,19* (+)	-32,82	-11,80	11,34	-11,76	-8,76
TaiESM1	21,04	26,58* (+)	-43	41,69	65,19* (+)	41,92* (+)	-28,66	-2,17	31,63* (+)	-5,14
UKESM1-0-LL	31,95* (+)	15,22	-26,24	57,66* (+)	46,30* (+)	33,35	-38,98* (-)	1,62	13,92	-2,32
ERA5	-123,37* (-)	26,05* (+)	-15,51	-43,79* (-)	-47,14* (-)	10,61	1,17	-9,09	-4,85	20,37

Nota: significativo (*), tendência de aumento (+) e tendência de diminuição (-).

Fonte: o autor.

Figura 11 – Variabilidade interanual do índice PRCPTOT nas bacias hidrográficas da SSA durante o período de 1980 a 2014.



Fonte: o autor.

3.4.1.4 Padrões de R1xday nas bacias hidrográficas da SSA

Na Figura 12, tem-se a variabilidade interanual do índice Rx1day sobre as bacias hidrográficas da SSA, na qual observa-se que o maior valor foi registrado nas bacias hidrográficas de Lago Chade e Madagascar, acima de 60 mm, representado pelo modelo CMCC-CSM2-SR5 em ambas as bacias, nos anos de 2002/03 e 1999/2000, respectivamente. Os anos 1999/2000 estavam sobre os efeitos de *La Niña* caracterizada como forte, enquanto nos anos de 2002/03 observou-se os efeitos de *El Niño* moderado. Em contrapartida, os valores mínimos foram observados na bacia hidrográfica de Orange-Senqu abaixo de 10 mm representado pelo modelo ACCESS-ESM1-5 no ano 2005, caracterizado por *El Niño* fraco.

Analisando a Tabela 7, é possível notar a significância do índice Rx1day sobre as bacias da SSA. O modelo CMCC-CSM2-SR5 indica que o índice foi significativo nas bacias de Congo e Lago Chade com tendência de aumento em ambas as bacias, numa taxa de 0,36 e 2,80 mm/década. Nas demais bacias, foram observados valores máximos do índice, variando a uma taxa de 2,80 mm/década (no Lago Chade, sendo significativo com tendência de aumento) e 0,60 mm/década na bacia de Madagascar.

Por outro lado, o modelo ACCESS-ESM1-5 indica que o índice foi significativo nas bacias de Congo, Costa Oeste do Golfo de Guiné, Lago *Chade* e *Orange-Senqu* com tendência de aumento a uma taxa de 0,35; 0,84; 1,58 e 1,61 mm/década respectivamente. Na bacia *Orange-Senqu* registrou-se os mínimos valores do índice, verificou-se que este foi significativo com tendência de aumento a uma taxa de 1,61 mm/década em relação à média. Entretanto, na bacia de Madagascar, houve tendência significativa de redução a uma taxa de -1,54 mm/década.

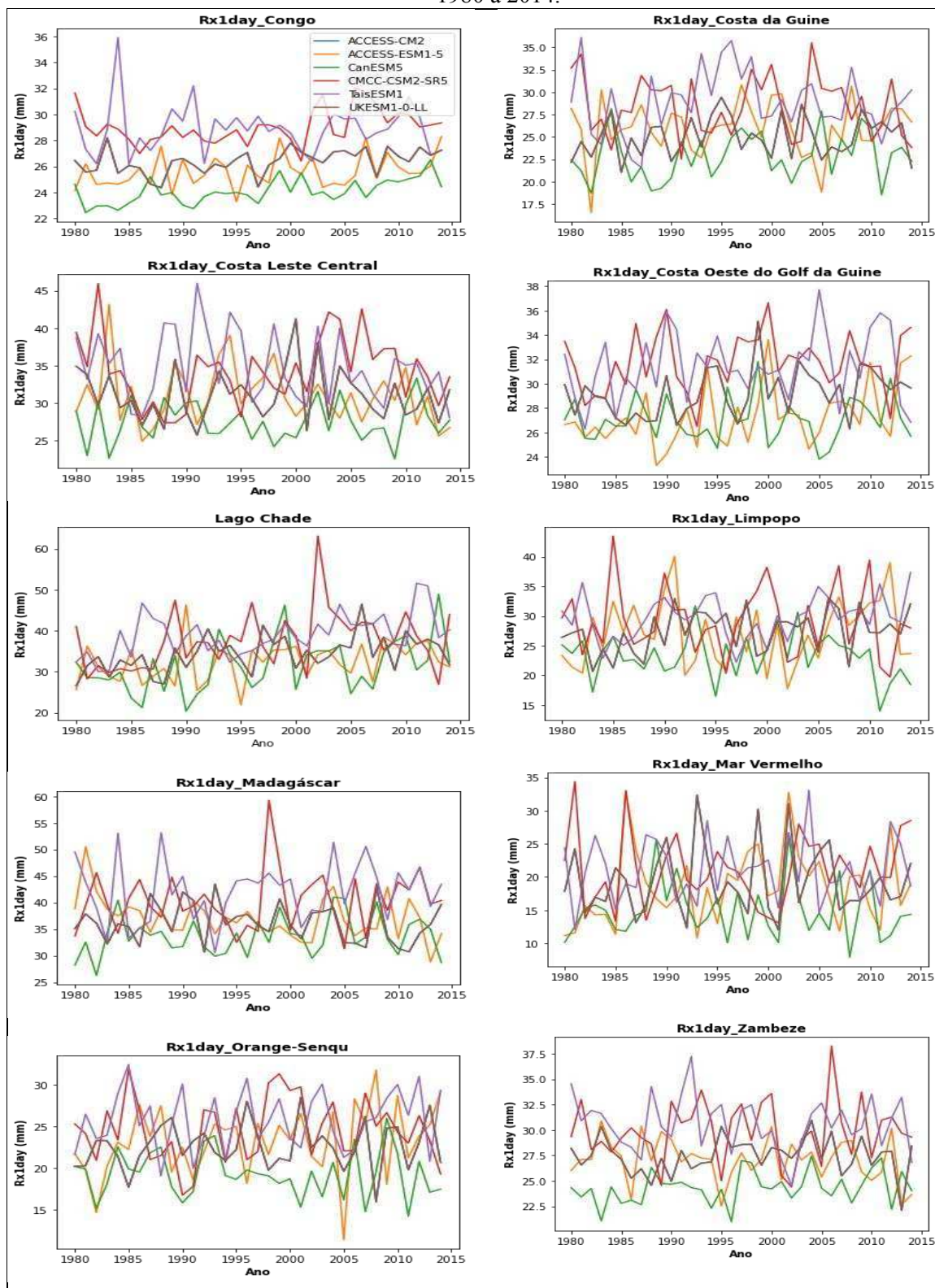
Tabela 7 – Significância, tendência e magnitude do índice Rx1day (mm/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980 a 2014.

Modelos	Bacias Hidrográficas									
	Congo	Costa da Guiné	Costa Leste Central	Costa Oeste do Golfo de Guiné	Lago Chade	Limpopo	Madagascar	Mar Vermelho	Orange-Senqu	Zambeze
ACCESS-CM2	0,45*(+)	0,47	-0,39	0,68	1,80*(+)	1,18	-0,54	0,24	0,4	0,20
ACCESS-ESM1-5	0,35*(+)	0,12	-0,52	0,84*(+)	1,58*(+)	1,01	-1,54*	1,47	1,61*	-0,46
CanESM5	0,6*(+)	7,14	0,04	0,08	2,54*(+)	-0,56	0,60	-0,07	-0,47	0,35
CMCC-CSM2-SR5	0,36*(+)	-0,59	0,64	0,47	2,80*(+)	-0,20	0,60	0,90	0,19	0,25
TaiESM1	0,09	0,20	-1,21	0,62	0,25*(+)	0,94	1,07	0,09	0,65	-0,33
UKESM1-0-LL	0,45*(+)	0,43	-0,39	0,68	1,80*(+)	1,18	-0,54	0,24	0,40	0,21
ERA5	1,98*(+)	3,21*(+)	3,21*(+)	2,32*(+)	4,16*(+)	2,66	4,51*(+)	0,67	1,05	2,81*(+)

Nota: significativo (*), tendência de aumento (+) e tendência de diminuição (-).

Fonte: o autor.

Figura 12 – Variabilidade interanual do Rx1day nas bacias hidrográficas da SSA durante o período de 1980 a 2014.



Fonte: o autor.

3.4.1.5 Padrões do Rx5day nas bacias hidrográficas da SSA

A variabilidade interanual do índice Rx5day sobre as bacias hidrográficas da SSA, é apresentada na Figura 13. É possível notar que o máximo valor do índice de todas as bacias é observado na bacia hidrográfica de Madagascar acima de 160 mm nos anos 2005/06 representado pelo modelo TaiESM1. Nos anos 2005/06 registrou-se La Niña na categoria fraca. Por outro lado, nos anos 2004/05 caracterizado por El Niño fraco, Tabela 3. O índice indicou que o mínimo valor registrado nas bacias analisadas, foi abaixo de 20 mm na bacia de Orange-Senqu, representado pelo modelo de ACCESS-ESM1-5, registrado no ano de 2005.

A significância e magnitude do índice nas bacias hidrográficas é mostrado na Tabela 8. Verifica-se que o modelo TaiESM1 mostrou que o índice foi significativo com tendência de aumento a uma taxa de 3,43 mm/década na bacia hidrográfica do Lago Chade. A bacia onde foi observado o valor máximo do índice, apresentou uma taxa de variação de 1,10 mm/década. Por outro lado, ainda pode se notar que o modelo ACCESS-ESM1-5 mostra que o índice foi significativo com a tendência de aumento na bacia de Congo a uma taxa de 1,49 mm/década e de redução na bacia de Madagascar a uma taxa de 4,60 mm/década, sendo que sobre a bacia Orange-Senqu a taxa foi 3,32 mm/década em relação à média, porém não significativo.

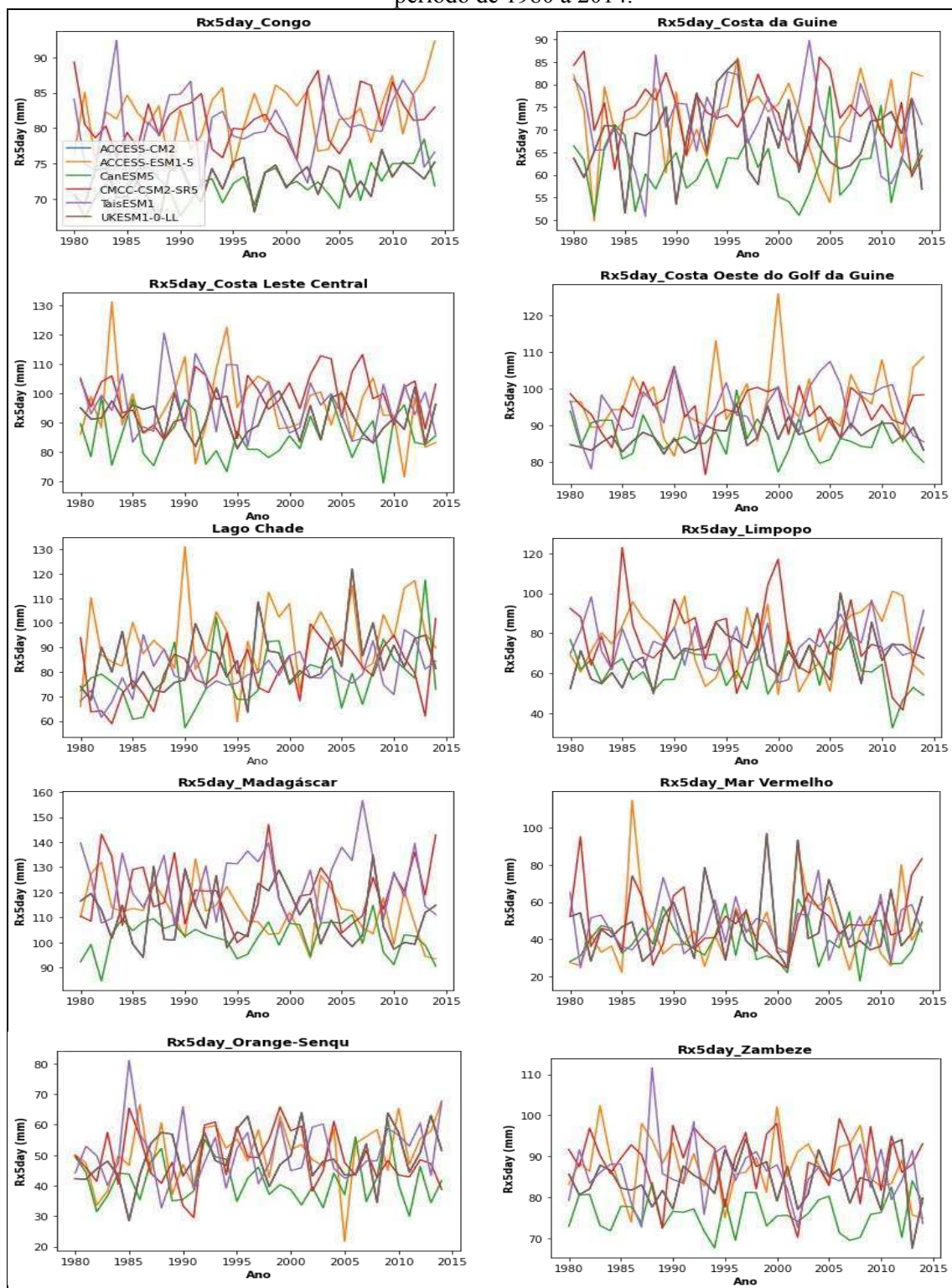
Tabela 8 – Significância, tendência e magnitude do índice Rx5day (mm/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980 a 2014.

Modelos	Bacias Hidrográficas									
	Congo	Costa da Guiné	Costa Leste Central	Costa Oeste do Golfo de Guiné	Lago Chade	Limpopo	Madagascar	Mar Vermelho	Orange-Senqu	Zambeze
ACCESS-CM2	0,83* (+)	0,94	-0,82	1,5*(+)	3,91*(+)	3,31	-1,53	1,07	2,37	-0,10
ACCESS-ESM1-5	1,49* (+)	0,75	-1,38	1,77	3,94	2,11	-4,6* (-)	3,95	3,32	-1,02
CanESM5	1,05*(+)	-0,16	0,80	-1,40	3,33*(+)	-1,81	-4,66	-1,33	-0,80	-0,03
CMCC-CSM2-SR5	0,73	-2,22* (-)	1,95	0,03	5,86*(+)	-4,66	1,69	1,78	-0,82	-0,45
TaiESM1	0,29	-0,57	-2,10	1,45	3,43*(+)	-1,73	1,10	0,86	1,94	-0,40
UKESM1-0-LL	0,83*(+)	0,94	-0,82	1,5*(+)	3,91*(+)	3,31	-1,53	1,07	2,37	-0,10
ERA5	-0,29	2,68	0,03	1,33	0	6,14*(+)	6,14	0	0,18*(+)	0,28

Nota: significativo (*), tendência de aumento (+) e tendência de diminuição (-).

Fonte: o autor.

Figura 13 – Variabilidade interanual do índice Rx5day nas bacias hidrográficas da SSA, durante o período de 1980 a 2014.



Fonte: o autor.

3.4.1.6 Padrões de TNn nas bacias hidrográficas da SSA

Na figura 14 apresenta-se a variabilidade interanual do índice TNn sobre as bacias hidrográficas da SSA. É possível notar que sobre a bacia hidrográfica de Lago Chade registrou-se os maiores valores do índice TNn, acima de 22,5 °C. Esses valores são representados pelo modelo TaiESM1 no ano de 2011 caracterizado por La Niña moderado. Ainda pode-se notar que os valores mínimos são observados na bacia hidrográfica de Orange-senqu abaixo de -5 °C representado pelo modelo CanESM5 nos anos de 1986/87 caracterizado por El Niño moderado.

A significância e magnitude do índice nas bacias hidrográficas da SSA são mostrados na Tabela 9. Pode-se notar que o modelo CanESM5 indica que o índice foi significativo com tendência de aumento em maior parte de todas as bacias, com exceção das bacias da Costa Oeste do Golfo da Guiné com uma taxa de 0,43 °C/década e da bacia do Mar Vermelho com uma taxa de 0,39 °C/década em relação à média. Por outro lado, o modelo TaiESM1 mostrou que o índice foi significativo com tendência de aumento nas bacias de Costa Leste Central, Costa Oeste do Golfo da Guiné, Lago Chade e Zambeze, a uma taxa de 0,41, 0,33, 0,60 e 0,47 °C/década, respectivamente (Tabela 9).

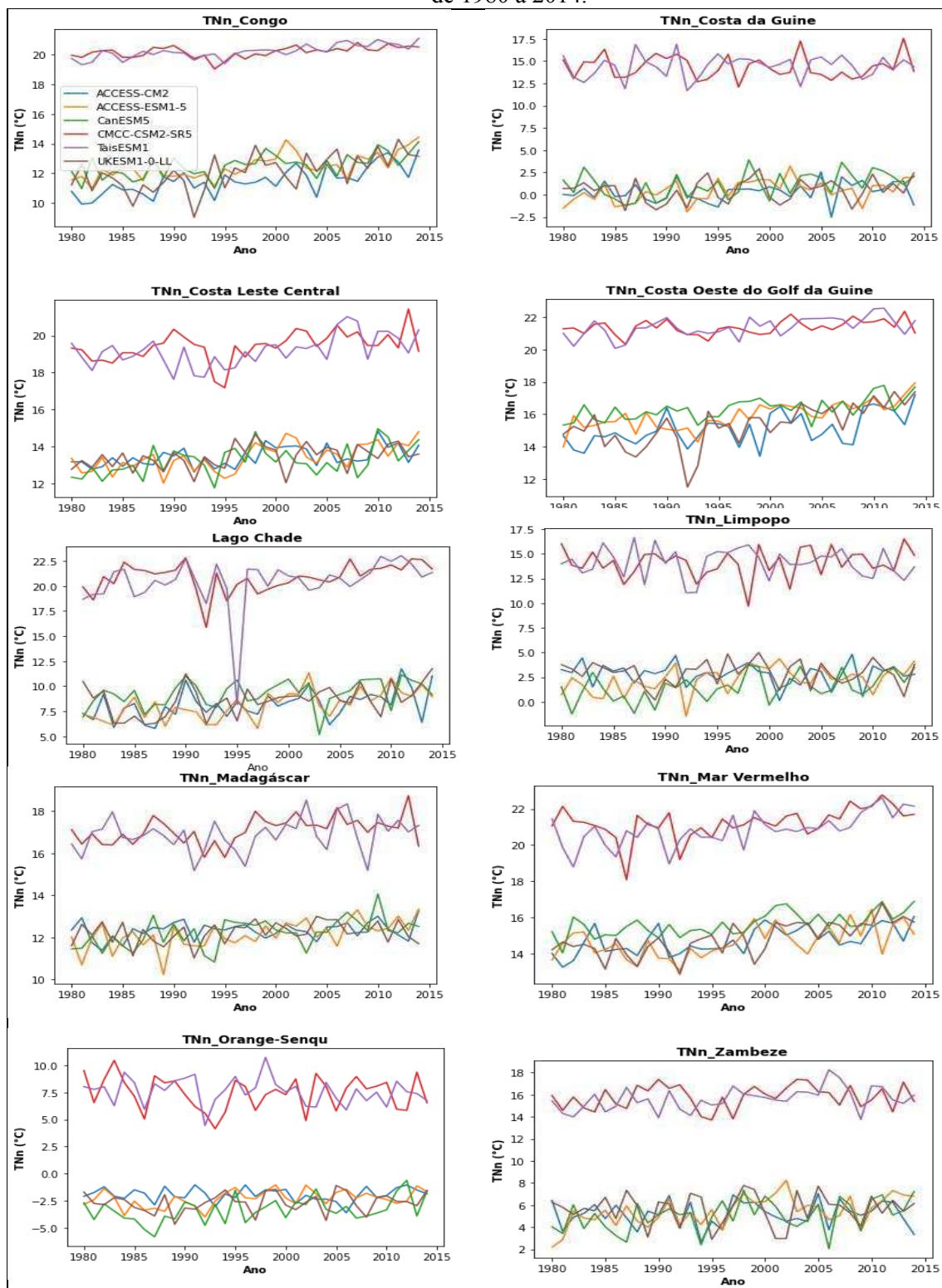
Tabela 9 – Significância, tendência e magnitude do índice TNn (°C/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980 a 2014.

Modelos	Bacias Hidrográficas									
	Congo	Costa da Guiné	Costa Leste Central	Costa Oeste do Golfo de Guiné	Lago Chade	Limpopo	Madagáscar	Mar Vermelho	Orange-Senqu	Zambeze
ACCESS-CM2	0,699* (+)	0,32	0,25* (+)	0,59* (+)	0,66* (+)	-0,11	0,10	0,47*(+)	0	0,04
ACCESS-ESM1-5	0,554* (+)	0,57*(+)	0,44*(+)	0,60* (+)	0,822* (+)	0,55*(+)	0,39*(+)	0,46*(+)	0,29* (+)	0,56* (+)
CanESM5	0,47*(+)	0,57*(+)	0,36*(+)	0,43* (+)	0,5*(+)	0,54*(+)	0,30*(+)	0,39* (+)	0,4*	0,56* (+)
CMCC-CSM2-SR5	0,18*(+)	-0,15	0,33*(+)	0,17*(+)	0,52*(+)	0,09	0,25*(+)	0,31*(+)	0,14	0,19
TaiESM1	0,33* (+)	0,09	0,41*(+)	0,33*(+)	0,6* (+)	-0,23	0,18	0,53* (+)	-0,30	0,47* (+)
UKESM1-0-LL	0,70*(+)	0,27	0,27	0,83*(+)	0,69*(+)	-0,05	0,09	0,54* (+)	0,09	0,03
ERA5	0,08*(+)	0,31	0,12*(+)	0,20*(+)	0,18	0,23	0,11	0,02	0,16	0,16

Nota: significativo (*), tendência de aumento (+) e tendência de diminuição (-).

Fonte: o autor.

Figura 14 – Variabilidade interanual do índice T_{Nn} nas bacias hidrográficas da SSA, durante o período de 1980 a 2014.



Fonte: o autor.

3.4.1.7 Padrões de TNx nas bacias hidrográficas da SSA.

Quanto a variabilidade interanual do índice de máximos valores da temperatura mínima diária sobre as bacias hidrográficas da SSA (Figura 15), verifica-se que os valores máximos do índice foram registrados na bacia de Lago Chade acima de 43 °C evidenciado pelo modelo TaiESM1, nos anos 1984/85 caracterizado pelo La Niña Fraco (Tabela 3), representado pelo modelo TaiESM1. Enquanto os valores mínimos de todas as bacias foram registrados na bacia de Madagascar abaixo de 20 °C representados pelo modelo CanESM5, nos anos 1984/85 caracterizado também pelo La Niña Fraco.

A magnitude e a significância do índice TNx nas bacias hidrográficas da SSA são mostrados na Tabela 10. O modelo TaiESM1 mostra que o índice TNx foi significativo com tendência de aumento em 60% das bacias, com a exceção de Congo e Costa Oeste do Golfo da Guiné aumentando a uma taxa de 0,74 e 0,70 °C/década e Limpopo e Orange-senqu reduzindo a uma taxa de -0,01 e 0,10 °C/década mutuamente. O modelo de CanESM5 mostrou que o índice foi significativo com tendência de aumento nas bacias da Costa do Guiné, Limpopo, e Mar Vermelho com taxas de 0,39; 0,29 e 0,29 °C/década mutuamente, sendo que na bacia de Madagascar o índice de máximos valores da temperatura mínima diária aumentou a uma taxa de 0,32 °C/década, porém não significativo (Tabela 10).

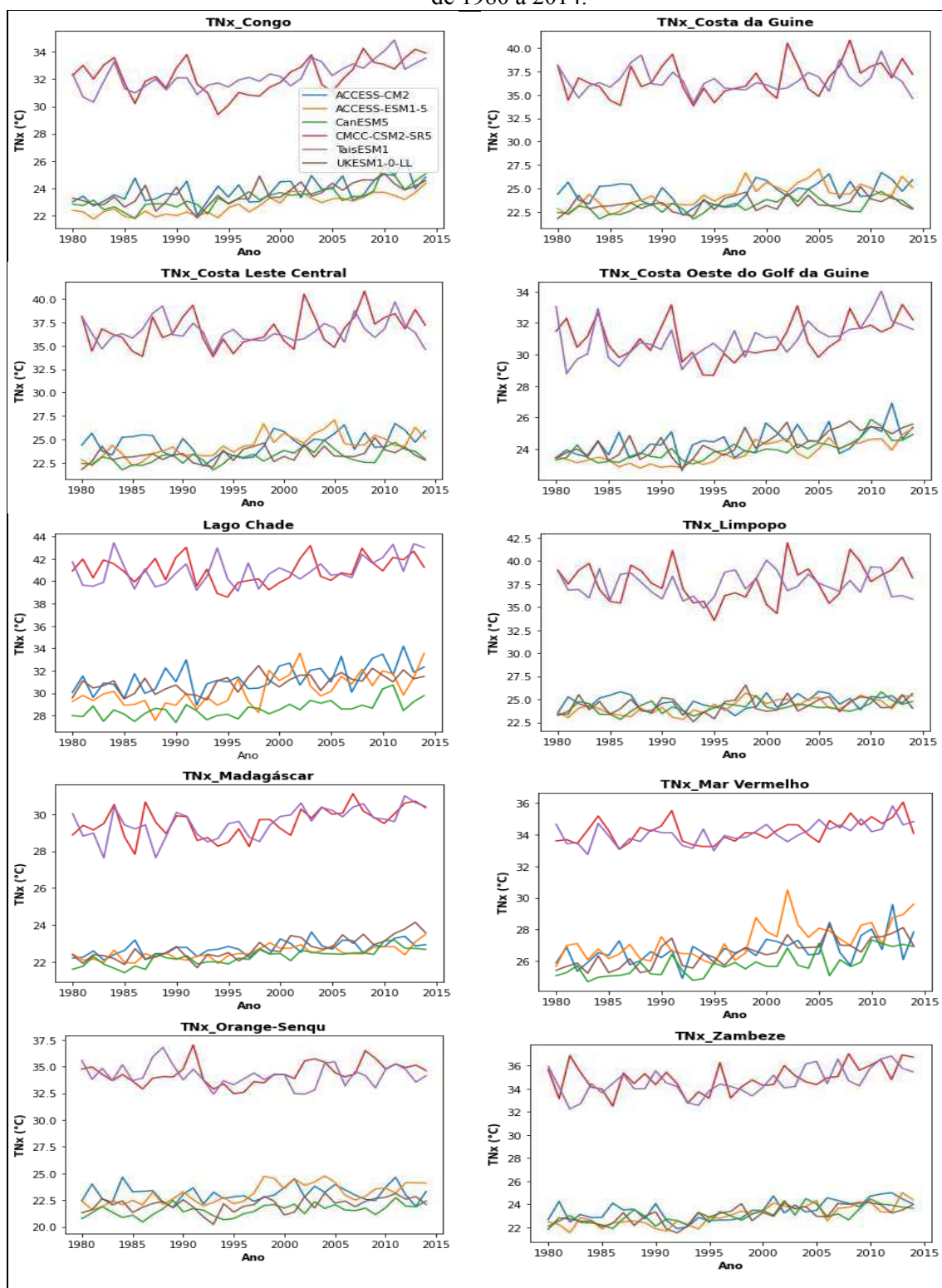
Tabela 10 – Significância, tendência e magnitude do índice TNx (°C/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980 a 2014.

Modelos	Bacias Hidrográficas									
	Congo	Costa da Guiné	Costa Leste Central	Costa Oeste do Golfo de Guiné	Lago Chade	Limpopo	Madagascar	Mar Vermelho	Orange-Senqu	Zambeze
ACCESS-CM2	0,52* (+)	0,36	0,31* (+)	0,45* (+)	0,71* (+)	0,23	0,23* (+)	0,44* (+)	0,10	0,54* (+)
ACCESS-ESM1-5	0,60* (+)	0,83* (+)	0,52* (+)	0,55* (+)	0,83* (+)	0,53* (+)	0,24* (+)	0,74* (+)	0,59* (+)	0,71* (+)
CanESM5	0,59* (+)	0,39* (+)	0,35* (+)	0,46* (+)	0,45* (+)	0,29* (+)	0,32* (+)	0,48 (+)	0,29* (+)	0,47* (+)
CMCC-CSM2-SR5	0,44	0,66	0,50* (+)	0,34	0,26	0,24	0,40* (+)	0,37* (+)	0,36* (+)	0,55* (+)
TaiESM1	0,74* (+)	0,06	0,51* (+)	0,70* (+)	0,56* (+)	-0,01	0,49* (+)	0,37* (+)	-0,10	0,60* (+)
UKESM1-0-LL	0,54* (+)	0,29* (+)	0,44* (+)	0,62* (+)	0,44* (+)	0,21	0,43* (+)	0,65* (+)	0,26* (+)	0,50* (+)
ERA5	0,36* (+)	0,20* (+)	0,29* (+)	0,24* (+)	0,15* (+)	0,10	0,29* (+)	0,28* (+)	0,04	0,35* (+)

Nota: significativo (*), tendência de aumento (+) e tendência de diminuição (-).

Fonte: o autor.

Figura 15 – Variabilidade interanual do índice TNx nas bacias hidrográficas da SSA durante o período de 1980 a 2014.



Fonte: o autor.

3.4.1.8 Padrões de TXx nas bacias hidrográficas da SSA

A variabilidade interanual do índice de máximos valores de temperatura máxima diária nas bacias hidrográficas da SSA é demonstrada na Figura 16. É possível notar que na bacia de Lago de Chade foi registrado os máximos valores do índice TXx acima de 50 °C, demonstrado pelo modelo ACCESS-CM2, nos anos de 2011/12 caracterizado por La Niña moderado. Por outro lado, na bacia de Costa Oeste do Golfo de Guiné foram registrados os mínimos valores do índice em relação à todas as bacias, cujas temperaturas estiveram abaixo de 33 °C, representados pelo modelo CMCC-CSM2-SR5, nos anos 1994/95 caracterizado por El Niño moderado (Tabela 3).

Na Tabela 11, nota-se a significância e magnitude do índice TXx nas bacias hidrográficas da SSA, onde pode-se notar que o modelo ACCESS-CM2 indica que o índice foi significativo com tendência de aumento nas bacias do Congo, Costa Leste Central, Lago Chade, Madagascar e Mar Vermelho com uma taxa de 0,43; 0,53; 0,66, 0,25 e 0,36 °C/década, respectivamente. Enquanto o modelo CMCC-CSM2-SR5 mostrou que o índice foi significativo com a tendência de aumento nas bacias de Costa Oeste do Golfo da Guiné, Lago Chade, Limpopo e Orange-Senqu com as seguintes taxas: 0,29; 0,24; 0,28 e 0,29 °C/década, sendo que sobre a bacia (Costa Oeste do Golfo da Guiné) foram observados valores mínimos do índice a taxa foi de 0,29 °C/década, porém não significativo.

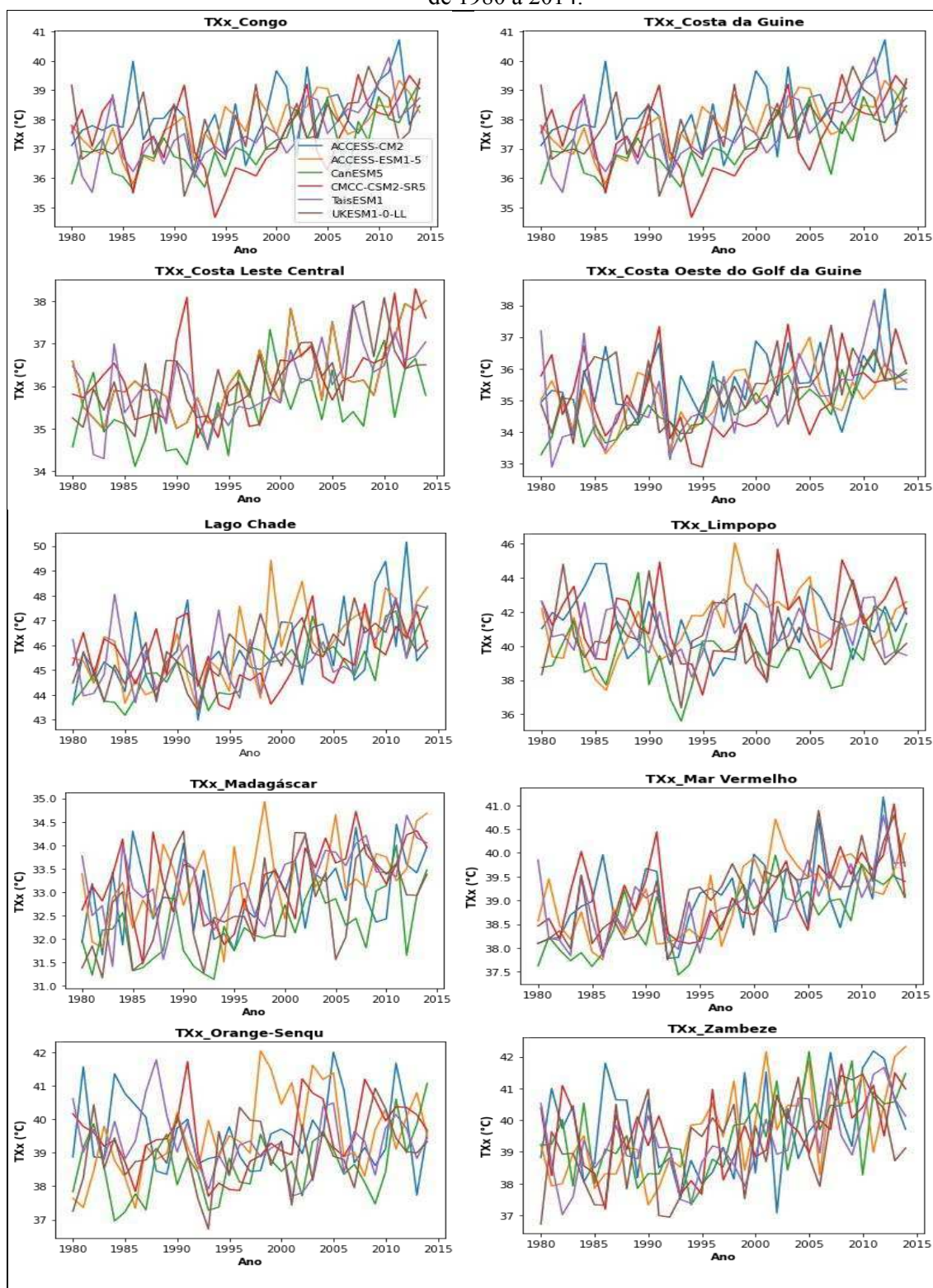
Tabela 11 – Significância, tendência e magnitude do índice TXx (°C/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980 a 2014.

Modelos	Bacias Hidrográficas									
	Congo	Costa da Guiné	Costa Leste Central	Costa Oeste do Golfo de Guiné	Lago Chade	Limpopo	Madagascar	Mar Vermelho	Orange-Senqu	Zambeze
ACCESS-CM2	0,43* (+)	0,24	0,53* (+)	0,22	0,66* (+)	-0,14	0,25* (+)	0,36* (+)	0,04	0,41
ACCESS-ESM1-5	0,54* (+)	1,19* (+)	0,53* (+)	0,37* (+)	0,94* (+)	0,57* (+)	0,39* (+)	0,49* (+)	0,59* (+)	0,97* (+)
CanESM5	0,66* (+)	0,45	0,4* (+)	0,66* (+)	0,84* (+)	0,15	0,46* (+)	0,48* (+)	0,38* (+)	0,68 (+)
CMCC-CSM2-SR5	0,44	0,59* (+)	0,46* (+)	0,29	0,24	0,28	0,39* (+)	0,38* (+)	0,29	0,50* (+)
TaiESM1	0,74* (+)	0,10	0,55* (+)	0,65* (+)	0,56* (+)	-0,05	0,45* (+)	0,41* (+)	-0,10	0,60* (+)
UKESM1-0-LL	0,44* (+)	0,15	0,51* (+)	0,45* (+)	0,68* (+)	-0,21	0,50* (+)	0,59* (+)	0,25	0,65* (+)
ERA5	0,36* (+)	0,22* (+)	0,30* (+)	0,25* (+)	0,17* (+)	0,21	0,32* (+)	0,27* (+)	0,07	0,35* (+)

Nota: significativo (*), tendência de aumento (+) e tendência de diminuição (-).

Fonte: o autor.

Figura 16 – Variabilidade interanual do índice TXx nas bacias hidrográficas da SSA durante o período de 1980 a 2014.



Fonte: o autor.

3.4.1.9 Padrões de TXn nas bacias hidrográficas da SSA

Na Figura 17 é possível notar a variabilidade interanual do índice de mínimos valores da temperatura máxima diária nas bacias hidrográficas da SSA, sendo que na bacia hidrográfica de Orange-Senqu o índice atingiu mínimos valores abaixo de 9 °C, representado pelo modelo ACCESS-ESM1-5, em relação as outras bacias. Esses valores foram registrados nos anos 1991/92 caracterizado por El Niño moderado. Por outro lado, os máximos valores do índice foram observados na bacia do Mar Vermelho acima de 28 °C, evidenciado pelo modelo ACCESS-ESM1-5, no ano de 2010 caracterizado por El Niño moderado.

Na Tabela 12 analisa-se a significância e a magnitude do índice dos valores mínimos da temperatura máxima diária nas bacias hidrográficas da SSA. O modelo ACCESS-ESM1-5 demonstra que o índice foi significativo com aumento em boa parte das bacias, com exceção das bacias da Costa de Guiné, Limpopo e Orange-Senqu com a taxas de 0,25; 0,3 e 0,37 °C/década, respectivamente, sendo que sobre a bacia Orange-Senqu foi registrado o mínimo valor, que variou a uma taxa de 0,37 °C/década, não significativo. O mesmo modelo representou maiores valores do índice de TXn sobre a bacia do Mar Vermelho, sendo significativo com tendência de aumento de 0,14 °C/década em relação à média.

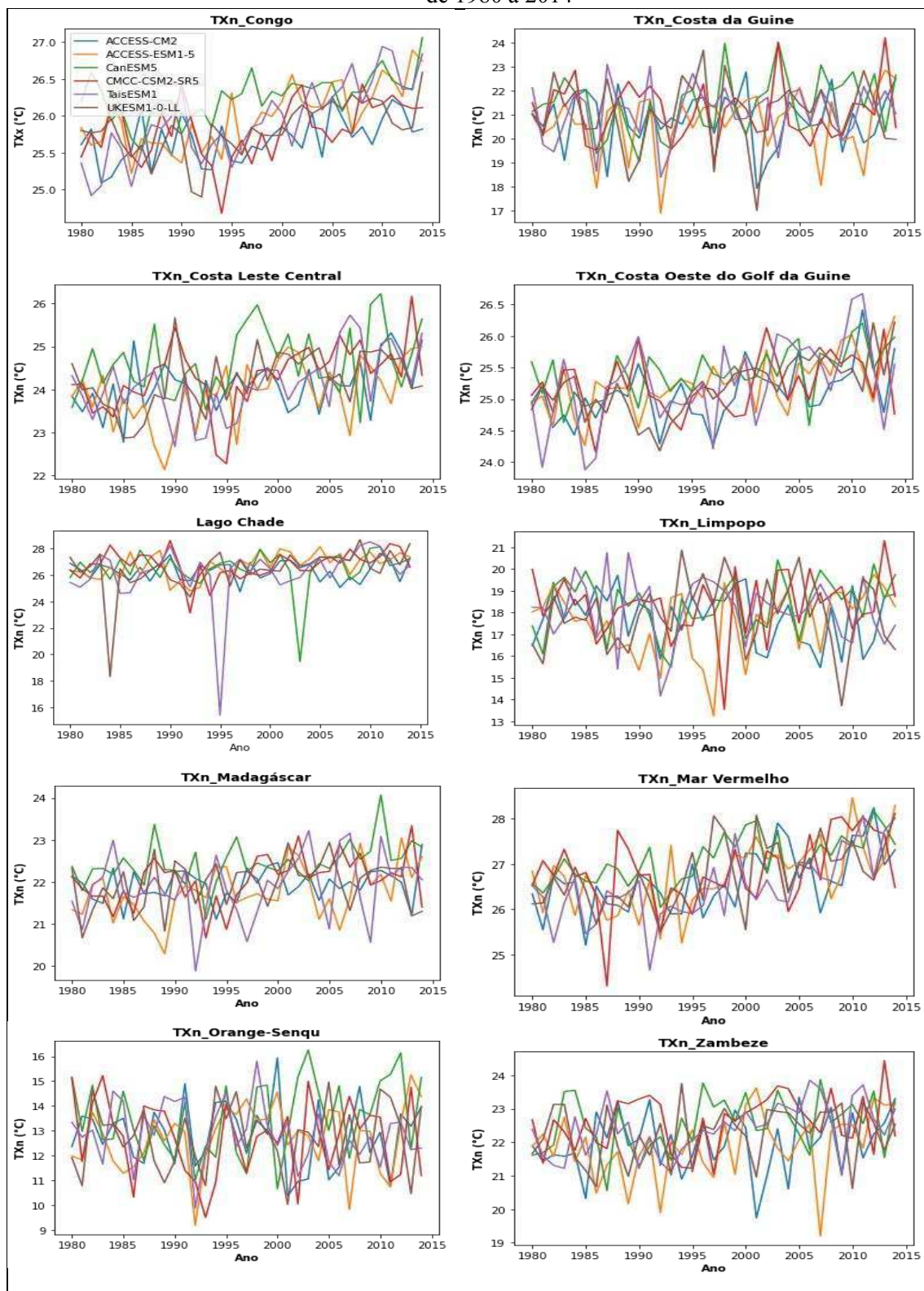
Tabela 12 – Significância, tendência e magnitude do índice TXn (°C/década) nas bacias hidrográficas na SSA durante o período de 1980 a 2014.

Modelos	Bacias Hidrográficas									
	Congo	Costa da Guiné	Costa Leste Central	Costa Oeste do Golfo de Guiné	Lago Chade	Limpopo	Madagáscar	Mar Vermelho	Orange-Senqu	Zambeze
ACCESS-CM2	0,16* (+)	0	0,28* (+)	0,18* (+)	0,05	-0,27	0,09	0,40* (+)	-0,08	0,20
ACCESS-ESM1-5	0,30* (+)	0,25	0,34* (+)	0,81* (+)	0,45* (+)	0,3	0,24* (+)	0,14* (+)	0,37	0,34* (+)
CanESM5	0,15* (+)	0,36* (+)	0,23	0,24* (+)	0,22	0,24	0,17* (+)	0,32* (+)	0,37	0,29*
CMCC-CSM2-SR5	0,17* (+)	-0,15	0,32* (+)	0,13	0,22	0,14	0,21* (+)	0,23	-0,18	0,18
TaiESM1	0,45* (+)	0,10	0,41* (+)	0,32* (+)	0,46* (+)	-0,27	0,19	0,46* (+)	-0,35	0,45* (+)
UKESM1-0-LL	0,18* (+)	0,02	0,31* (+)	0,30* (+)	0,45* (+)	0,20	0,10	0,65* (+)	0,14	0,22
ERA5	0,07* (+)	0,26	0,12* (+)	0,19* (+)	0,17	0,25	0,10	0,01	0,12	0,14

Nota: significativo (*), tendência de aumento (+) e tendência de diminuição (-).

Fonte: o autor.

Figura 17 - Variabilidade interanual do índice TXn nas bacias hidrográficas da SSA durante o período de 1980 a 2014



Fonte: o autor.

4 DISCUSSÃO

De acordo com os resultados apresentados, a África Subsaariana enfrentará aumento de temperatura, alterações na intensidade de precipitação, aumento na incidência de eventos extremos, como secas e inundações. O volume de precipitação na África Subsaariana varia conforme a localização e influência da ZCIT, tendo em vista que a precipitação aumenta, podendo favorecer a ocorrência de eventos extremos. Macie (2016) aponta que no Sudeste da África Subsaariana os regimes de precipitação são influenciados pelos ciclones tropicais formados na bacia do Sudeste do Oceano Índico, Monções Indianas, Anticiclones do Atlântico e do Índico e Sistemas Frontais.

Na sub-região da África Oriental como um todo, a precipitação é impulsionada pela ZCIT. As atividades e movimentos da ZCIT são sensíveis às alterações nas temperaturas superficiais do Oceano Índico, que influencia a precipitação e contribui para a incerteza no clima (APRAKUA *et al.*, 2021).

A análise de tendência da distribuição espacial climatológica dos eventos extremos de precipitação (PRCPTOT, Rx1day, Rx5day, CDD e CWD) mostrou que, em média, na área de estudo os eventos extremos de períodos secos consecutivos (CDD) reduziram significativamente a duração na maior parte das zonas costeiras da África Subsaariana. A redução da duração nas áreas costeiras deve-se as chuvas oriundas de brisas marítimas. Em contrapartida, os eventos extremos de precipitação total anual em dias úmidos (PRCPTOT) e períodos de dias úmidos consecutivos (CWD) aumentaram de intensidade e duração mutuamente nas regiões da África Austral (com a exceção de uma porção do Leste da África do Sul e no sentido Centro-Norte de Moçambique) e diminuíram de intensidade e duração do Centro para o Norte, mas acompanhada pelo aumento fragmentado da intensidade da precipitação, visível em outros índices como o Rx1day e Rx5day, corroborando com Sonkoué *et al.* (2019) que observaram um aumento significativo na quantidade total de precipitação em dias úmidos (PRCPTOT) no sul da África Central de Dezembro a Novembro, resultante do aumento na quantidade máxima de chuva em 5 dias (Rx5day). Sobre a África Ocidental Quenum *et al.* (2021) verificaram umas tendências ascendentes de CDD e uma tendências descendente de CWD, que influenciaram a precipitação total anual em dias úmidos (PRCPTOT).

A quantidade máxima de precipitação em um dia (Rx1day) reduziu a intensidade em alguns lugares dos países da África Austral (leste da África do Sul, centro de Moçambique), Central (oeste e norte da República Democrática do Congo e na República Centro Africana) e

oriental (centro do Quênia, leste da Etiópia e no sentido centro-leste do Sudão). Por outro lado, a quantidade máxima da precipitação em cinco dias (Rx5day), aumentou a sua intensidade na maior parte da SSA e diminuiu no centro da África do Sul e de Moçambique, na República Democrática do Congo, Sudão do Sul, República Centro Africana e algumas partes do Quênia, Tanzânia e Etiópia.

Se a duração dos dias secos consecutivos aumenta e os eventos de máxima precipitação (Rx1day, CWD e Rx5day) diminuiu na África Central, Oriental e Ocidental, os volumes de precipitação total anual (PRCPTOT), poderão diminuir, identificando a possibilidade de ocorrência de secas. Esses resultados corroboram com Ongoma *et al.* (2018) que mostraram, uma diminuição significativa na precipitação total anual (PRCPTOT), bem como em dias de chuva forte (R10mm) e na precipitação máxima em um dia (Rx1day) na África Oriental (Quênia e Uganda). Odoulami *et al.* (2019) observaram também que na África Ocidental a distribuição horizontal de PRCPTOT diminuiu de sul (ao longo da área costeira) para norte com máximos locais sobre as terras altas da Guiné e as montanhas os Camarões. Na África Oriental Cattani *et al.* (2018) notaram que a precipitação diminuiu sazonalmente em grande parte da África Oriental, como mostrado pelas tendências negativas de PRCPTOT, R1, CWD e R20, com a exceção da Quênia.

A análise de tendência da distribuição espacial climatológica dos eventos extremos de temperatura do ar (TNn, TNx, TXx e TXn), em média, indica que os eventos de máximos valores da temperatura máxima (TXx) e a mínima (TNx) diária, coincidiram ao demonstrar redução da temperatura no Sul da África Austral (precisamente na África do Sul e Centro de Moçambique) e em algumas porções do Noroeste da SSA. Aumento de temperatura na região da África Central, Ocidental e Oriental, enquanto os eventos de mínimos valores da temperatura máxima (TXn) e mínima (TNn) diárias foram congruentes quanto a redução de temperatura na África Austral, precisamente na África do Sul e no sul de Moçambique e Noroeste da SSA, enquanto nas demais regiões mostraram aumento de temperatura. O que corrobora com os resultados dos Ongoma *et al.* (2018) e dos Gebrechorkos *et al.* (2020) que também apontaram tendências de aumento de valores mais baixos e altos da temperatura máxima e mínima diária na maior parte da África Oriental. Na África Ocidental Quenum *et al.* (2021) também observaram tendências ascendentes para os máximos e mínimo da temperatura mínima diária do ar (TNx e TNn), bem como os máximos e mínimos da temperatura máxima diária do ar (TXx e TXn).

A sensibilidade dos eventos extremos de precipitação e da temperatura do ar a ocorrência das fases quente e fria do ENOS também foi mostrada pelos modelos nas bacias

hidrográfica da SSA (Figura 9 - Figura 17), especialmente ao El Niño forte de 1991, condizendo com o ano em que o período de dias secos consecutivos (CDD) no oeste da África Austral (Costa do Guiné) atingiu o seu máximo.

Por outro lado, no leste da África Austral (na bacia da Madagascar) o CDD atingiu a sua mínima duração nos anos de 1980/1981 e 2006/2007, coincidindo com o El Niño fraco. Resultado semelhante foi observado por Frank (2020) na África Austral onde a precipitação é muito variável em toda a sub-região, com um gradiente claro de oeste para leste, variando das condições mais secas na costa ocidental da Namíbia, a chuvas mais abundantes na costa de Moçambique.

Em 1999/00 ocorreu o La Niña Forte e o ciclone Dineo no sudeste da África, coincidentemente no leste da África Austral precisamente em Madagascar, o evento de precipitação máxima (Rx1day) atingiu alto valor de quantidade máxima de precipitação em um dia na África Austral, enquanto o baixo valor do evento foi registrado na África Central (Lago Chade) nos anos 2002/03 caracterizado por El Niño moderado. Já o evento de precipitação máxima (PRCPTOT) atingiu baixos valores de precipitação total anual no ano de 2008, caracterizado pela ocorrência de Lã nina fraca na África oriental (Mar Vermelho), enquanto o alto valor do evento foi registrado na África central (Costa Oeste do Golfo de Guiné) no ano 2000, coincidindo com a ocorrência de La Niña forte.

O evento de dias secos consecutivos (CWD) atingiu altos valores do período de dias úmidos consecutivos na África Austral (na bacia de Madagascar) nos anos 1986/1987 correspondendo a ocorrência de El Niño, enquanto o baixo valor observou-se na África Austral (Orange-Senqu) e oriental (Mar Vermelho), nos anos de 1985 e 1986/1987 coincidindo com a ocorrência de La Niña fraco e El Niño moderado.

E o evento (Rx5day) atingiu altos valores de quantidade máxima da precipitação em cinco dias na África Austral (Madagascar) nos anos 2005/2006, caracterizado por La Niña forte, enquanto os baixos valores foram registrados na mesma sub-região na bacia de Orange-Senqu nos anos 2004/2005 correspondente a ocorrência de El Niño fraco. De modo geral, os máximos valores dos eventos de máxima precipitação (CWD, PRPTOT, Rx1day e Rx5day) foram registrados na África Austral coincidindo com a ocorrência de La Niña e os valores mínimos registrados nesta sub-região corresponderam aos anos de El Niño. Já na África central e oriental em anos de El Niño os eventos aumentaram significativamente e o oposto foi observado nos anos correspondentes a La Niña. Fer *et al.* (2017) também observaram que a África Oriental recebe precipitação acima da média em anos de El Niño e abaixo da média em anos de La Niña.

O período de dias secos consecutivos (CDD) aumentou significativamente no oeste da África Austral, em anos de ocorrência de El Niño. Em contrapartida, na região leste apresentou redução significativa.

Os eventos de mínima temperatura (TNn e TXn) nos anos de El Niño moderados 1986/1987 e 1991/1992 atingiram baixos valores na África Austral (Orange-Senqu). Enquanto o alto valor do evento TNn foi registrado na África Central (Lago Chade) no ano de 2001, coincidindo com a ocorrência de La Niña moderado. Já o evento TXn atingiu o máximo na África Oriental (Mar Vermelho) no ano 2010 correspondendo a ocorrência de El Niño moderado.

Os maiores valores dos eventos de máxima temperatura (TNx e TXx) foram registrados na África central (Lago Chade) no ano 1984/1985 (TNx) e 2011/2012 (TXx) coincidindo com a ocorrência de La Niña fraco e moderado, respectivamente. Por outro lado, o baixo valor do máximo da temperatura mínima diária (TNx) foi registrado na África Austral (Madagascar) no ano de 1984/1985 caracterizada por ocorrência de La Niña fraco, enquanto na África Oriental (Costa Oeste do Golfo de Guiné) o evento de máximo valor da temperatura máxima diária (TXx) atingiu o seu menor valor da SSA nos anos 1994/95 caracterizado por El Niño moderado.

Geralmente, em anos de El Niño há redução de eventos de mínimas temperaturas (TNn e TXn) na África Austral, enquanto na África Central e Oriental há aumento desses eventos coincidindo com a ocorrência de La Niña. Por outro lado, os eventos de máxima temperatura (TNx e TXx) aumentam na África Central (TNx) em anos correspondentes a La Niña, sendo que na África Austral o evento atingiu menores valores. No ano do El Niño o evento (TXx) atingiu menores valores na África Central.

Dos resultados da tendência e magnitude dos índices sobre as bacias hidrográficas pode-se notar que tendências ascendentes estatisticamente significativas de precipitação (resultante de aumento de PRCPTOT, CWD, Rx1day e Rx5day) e de temperatura do ar. Resultante de aumento de mínimos e máximos da temperatura mínima e máxima diária do ar (TNn, TNx, TXx e TXn) nas bacias de Lago Chade e do Congo.

Nas bacias de Mar Vermelho e de Costa Leste central observou-se tendências ascendentes de máximos e mínimos da temperatura mínima e máxima diária do ar (TNn, TNx, TXx e TXn), o que implica ocorrência de secas na bacia. Os mesmos resultados foram apontados por Gebrechorkos *et al.* (2020) sobre a África Oriental (Etiópia, Quênia e Tanzânia). Brhane *et al.* (2022) e Mekasha e Duncan (2014) também apontaram tendências positivas para o valor máximo da temperatura máxima e mínima (TXx e TNx), dias quentes (TX90p), noites quentes (TN90p) sobre a África Oriental (Etiópia).

Nas bacias de Costa Oeste do golfo da Guiné, Zambeze, Orange-Senqu, Madagáscar e do Limpopo observou-se ocorrências de secas resultante das tendências de ascendentes de mínimos e máximos da temperatura mínima e máxima diária do ar (TNn, TNx, TXx e TXn).

5 CONCLUSÕES

A partir dos dados de reanálise foi possível avaliar espacialmente como os índices climáticos extremos são representados sobre a SSA. Além do uso dos dados da reanálise para a análise da variabilidade interanual dos índices climáticos extremos das bacias hidrográficas da SSA foram usados também um conjunto de dados de seis modelos climáticos globais da NASA-GDDP-CMIP6. Dos 20 modelos avaliados, os melhores modelos de precipitação e temperatura do ar foram ACCESS-CM2, ACCESS-ESM1-5, CanESM5, CMCC-CSM2-SR5, TaiESM1 e UKESM1-0-LL, os resultados encontrados na pesquisa indicam que os mesmos podem ser usados em estudos de impactos e mudanças climáticas. No entanto, ao longo deste estudo identificou-se tendências predominantes de diminuição da precipitação média anual total (PRCPTOT) no sentido centro-norte da SSA, resultante da diminuição de períodos de dias úmidos consecutivos (CWD) e da intensidade de quantidade de máxima precipitação em cinco dias (Rx5day), mas acompanhada do aumento da intensidade da quantidade máxima precipitação em um dia (Rx1day) e de duração do período de dias secos consecutivos (CDD), Ainda foi possível identificar um aumento generalizado dos eventos de temperatura no sentido sul-norte, evidenciando ocorrência de secas.

De modo geral, as bacias hidrográficas da África Subsaariana evidenciaram ocorrência de seca demonstrada pelo aumento significativo de mínimos e máximos da temperatura mínima e máxima diária do ar. Verificou-se ainda uma influência diferenciada do ENOS sobre as bacias hidrográficas da SSA, alguns índices apresentaram aumento (diminuição) de magnitude em anos de ocorrência da fase quente (fria) do ENOS, todavia, o padrão da variabilidade dos eventos extremos climáticos não foi suficientemente explicado pela ocorrência do ENOS.

Com as tendências dos extremos climáticos mostradas aqui, é de se esperar que a agricultura de sequeiro fique comprometida, impacto sobre as zonas agroclimáticas entre outros setores. Para proporcionar uma visão maior dos eventos extremos climáticos aos tomadores de decisão recomenda-se a implementação de tecnologia no sector agrícola para reduzir a queda de rendimento. Para estudos futuros recomenda-se uma avaliação mais ampla sobre a influência dos sistemas sinóticos, modos de variabilidade de anomalias das águas superficiais dos oceanos e questões ambientais e fisiológicas da SSA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENUGA, K. I.; MAHMOUD, A. S.; DODO, Y. A.; ALBERT, M.; KORI, S. A.; DANLAMI, N. J. **Climate Change Adaptation and Mitigation in Sub-Saharan African Countries**. [s.l.] Springer International Publishing, 2021.
- APRAKUA, A.; MORTONB, J. F.; GYAMPOHC, B. A. Africano Científico Mudanças climáticas e agricultura de pequena escala na África : o conhecimento indígena é importante ? Insights do Quênia e da África do Sul. v. 12, 2021.
- AYANLADE, A.; HOWARD, M. T. Land surface temperature and heat fluxes over three cities in Niger Delta. **Journal of African Earth Sciences**, v. 151, n. November 2018, p. 54–66, 2019.
- AYANLADE, A.; OLUWARANTI, A.; AYANLADE, O. S.; BORDERON, M.; STERLY, H.; SAKDAPOLRAK, P.; JEGEDE, M. O.; WELDEMARIAM, L. F.; AYINDE, A. F. O. Extreme climate events in sub-Saharan Africa: A call for improving agricultural technology transfer to enhance adaptive capacity. **Climate Services**, v. 27, n. December 2021, p. 100311, 2022.
- BAPTISTA, D.; FARID, M. **D E P A R T M E N T A L P A P E R Climate Change and Chronic Food Insecurity in Sub-Saharan Africa**. 2022.
- BRHANE, H.; AMENTE, G.; TURE, K. Changes in daily rainfall and temperature extremes of Upper Awash Basin , Changes in daily rainfall and temperature extremes of upper Awash Basin , Ethiopia. **Scientific African**, v. 16, n. June 2023, p. e01173, 2022.
- BYUN, Y.-H.; LIM, Y.-J.; SUNG, H. M.; KIM, J.; SUN, M.; KIM, B.-H. **NIMS-KMA KACE1.0-G model output prepared for CMIP6 CMIP historical** Earth System Grid Federation, , 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.8378>>
- CAIRNS, J. E.; HELLIN, J.; SONDER, K.; ARAUS, J. L.; MACROBERT, J. F.; THIERFELDER, C.; PRASANNA, B. M. Adapting maize production to climate change in sub-Saharan Africa. **Food Security**, v. 5, n. 3, p. 345–360, 2013.
- CAO, J.; WANG, B. **NUIST NESMv3 model output prepared for CMIP6 CMIP historical** Earth System Grid Federation, , 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.8769>>
- CATTANI, E.; MERINO, A.; GUIJARRO, J. A.; LEVIZZANI, V. East Africa Rainfall trends and variability 1983-2015 using three long-term satellite products. **Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 1–26, 2018.
- CHERSICH, M. F.; WRIGHT, C. Y. Climate change adaptation in South Africa: a case study on the role of the health sector. **Globalization and Health**, v. 15, n. 1, 2019.
- CHERSICH, M. F.; WRIGHT, C. Y.; VENTER, F.; REES, H.; SCORGIE, F.; ERASMUS, B. Impacts of climate change on health and wellbeing in South Africa. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 9, p. 1–14, 2018.
- CHIKOORE, H. *et al.* Climate change impacts on cattle production: analysis of cattle herders'

climate variability/change adaptation strategies in Nigeria. **Weather and Climate Extremes**, v. 15, n. 1, p. 54–66, 2020.

CHIKOORE, H.; JURY, M. R. South African drought , deconstructed. **Weather and Climate Extremes**, v. 33, n. June, p. 100334, 2021.

COHN, A. S.; VANWEY, L. K.; SPERA, S. A.; MUSTARD, J. F. Cropping frequency and area response to climate variability can exceed yield response. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 6, p. 601–604, 2016.

CUTHBERT, M. O. *et al.* Observed controls on resilience of groundwater to climate variability in sub-Saharan Africa. **Nature**, v. 572, n. 7768, p. 230–234, 2019.

DIX, M. *et al.* **CSIRO-ARCCSS ACCESS-CM2 model output prepared for CMIP6 CMIP historical** Earth System Grid Federation, , 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.4271>>

(EC-EARTH), E.-E. C. **EC-Earth-Consortium EC-Earth3-AerChem model output prepared for CMIP6 CMIP historical** Earth System Grid Federation, , 2020.

EKWEZUO, C. S.; EZEH, C. U. Regional characterisation of meteorological drought and floods over west Africa. **Sustainable Water Resources Management**, v. 6, n. 5, p. 1–11, 2020.

FARIA, L. F. DE. Performance of CMIP6 climate models in simulating precipitation in subdomains of South America in the historical period. v. 01, p. 116–133, 2023.

FER, I.; TIETJEN, B.; JELTSCH, F.; WOLFF, C. Influence of El Nino-Southern Oscillation regimes on East African vegetation and its future implications under RCP8 . 5 warming scenario. p. 1–46, 2017.

FERREIRA, G. R. Eventos extremos de precipitação nas bacias hídricas dos rios doce e paraíba do sul. 2019.

FRANK, R. H. The Climate Crisis. **Under the Influence**, p. 155–174, 2020.

GBODE, I. E.; BABALOLA, T. E.; DIRO, G. T.; INTSIFUL, J. D. Assessment of ERA5 and ERA-Interim in Reproducing Mean and Extreme Climates over West Africa. v. 40, n. April, p. 570–586, 2023.

GEBRECHORKOS, S. H.; HÜLSMANN, S.; BERNHOFER, C. Analysis of climate variability and droughts in East Africa using high-resolution climate data products. **Global and Planetary Change**, v. 186, n. September 2019, p. 103130, 2020.

GEBRECHORKOSA, S. H.; BERNHOFER, C. Machine Translated by Google Mudança Global e Planetária Análise da variabilidade climática e secas na África Oriental usando produtos de dados climáticos de alta resolução Machine Translated by Google. v. 186, 2020.
GLEIXNER, S.; DEMISSIE, T.; DIRO, G. T. Did ERA5 Improve Temperature and Precipitation Reanalysis over East Africa ? p. 1–19, 2020.

IPCC. **Mudança do Clima 2021: Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Sexto**

Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. [s.l: s.n.].

KRASTING, J. P. *et al.* **NOAA-GFDL GFDL-ESM4 model output prepared for CMIP6 CMIP historical** Earth System Grid Federation, , 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.8597>>

LEE, W.-L.; LIANG, H.-C. **AS-RCEC TaiESM1.0 model output prepared for CMIP6 CMIP historical** Earth System Grid Federation, , 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.9755>>

LI, L. **CAS FGOALS-g3 model output prepared for CMIP6 CMIP historical** Earth System Grid Federation, , 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.3356>>

M. ZHAO, J.-C. GOLAZ, I. M. HELD, H. GUO, BALAJI, R. BENSON, J.-H. CHEN, X. CHEN, L.J. DONNER, J.P. DUNNE, K. DUNNE, J. DURACHTA, S.-M. FAN, . . AN B. XIANG. The GFDL Global Atmosphere and LAnd Model AM4.0/LM40 Simulation Characterists with Prescribed SSTs. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, 2018.

MACIE, O. A. DE A. Características da estação chuvosa em Moçambique : Probabilidade de ocorrência de períodos secos e padrões atmosféricos associados. p. 111, 2016.

MEKASHA, A.; DUNCAN, A. J. Trends in daily observed temperature and precipitation extremes over three Ethiopian eco-environments. v. 1999, n. September 2013, p. 1990–1999, 2014.

MITRA, P.; UNSAL, F.; FARID, M.; KEMOE, L.; FAYAD, D.; SPRAY, J.; OKOU, C.; SALGADO BAPTISTA, D. M.; LANCI, L.; MUEHLSCHLEGEL, T.; TUITOEK, K. Climate Change and Chronic Food Insecurity in Sub-Saharan Africa. **Departmental Papers**, v. 2022, n. 016, p. 1, 2022.

MPAKAIRI, K. S.; MUVENGWI, J. Night-time lights and their influence on summer night land surface temperature in two urban cities of Zimbabwe: A geospatial perspective. **Urban Climate**, v. 29, n. November 2018, p. 100468, 2019.

MPAKAIRI, K. S.; NDAIMANI, H.; TAGWIREYI, P.; ZVIDZAI, M.; MADIRI, T. H. Futuristic climate change scenario predicts a shrinking habitat for the African elephant (*Loxodonta africana*): evidence from Hwange National Park, Zimbabwe. **European Journal of Wildlife Research**, v. 66, n. 1, p. 10344, 2020.

NORDHAUS, W.; ECONOMIST, T.; PERSPECTIVES, E.; ESTUFA, E. UM EXERCÍCIO DE META ANÁLISE DE ESTUDOS ECONÔMICOS SOBRE OS IMPACTOS DA MUDANÇA CLIMÁTICA NO BRASIL 1 2 A contribuição de economistas às ciências da mudança climática e a quantificação dos danos econômicos relacionados à mudança. p. 1–16, 2020.

ODOULAMI, R. C.; ABIODUN, B. J.; AJAYI, A. E. Modelling the potential impacts of afforestation on extreme precipitation over West Africa. **Climate Dynamics**, v. 52, n. 3–4, p. 2185–2198, 2019.

OGOLO, E. O.; MATTHEW, O. J. Spatial and temporal analysis of observed trends in extreme precipitation events in different climatic zones of Nigeria. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 148, n. 3–4, p. 1335–1351, 2022.

ONGOMA, V.; CHEN, H.; OMONY, G. W. Variability of extreme weather events over the equatorial East Africa, a case study of rainfall in Kenya and Uganda. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 131, n. 1–2, p. 295–308, 2018.

PEANO, D.; LOVATO, T.; MATERIA, S. **CMCC CMCC-ESM2 model output prepared for CMIP6 LS3MIP land-hist** Earth System Grid Federation, , 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.13204>>

QUENUM, G. M. L. D.; NKURUMAH, F.; KLUTSE, N. A. B.; SYLLA, M. B. Spatiotemporal changes in temperature and precipitation in West Africa. Part i: Analysis with the CMIP6 historical dataset. **Water (Switzerland)**, v. 13, n. 24, 2021.

ROTHER, H. A.; ETZEL, R. A.; SHELTON, M.; PAULSON, J. A.; HAYWARD, R. A.; THERON, L. C. Impact of extreme weather events on Sub-Saharan African child and adolescent mental health: A protocol for a systematic review. **Atmosphere**, v. 11, n. 5, p. 1–12, 2020.

SELAND, YVIND *et al.* **NCC NorESM2-LM model output prepared for CMIP6 CMIP historical** Earth System Grid Federation, , 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.8036>>

SELLAR, ALISTAIR A. , GOLIN G. JONES, JANE P. MUCLCAHY, YONGMING TANG, ANDREW YOOL, ANDY WILTSHIRE, F. M. O.; MARC STRINGER, RICHARD HILL, J. P. UKESM!: Description and Evaluation of the U.K Earth System Model. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, 2019.

SERDECZNY, O.; ADAMS, S.; BAARSCH, F.; COUMOU, D.; ROBINSON, A.; HARE, W.; SCHAEFFER, M.; PERRETTE, M.; REINHARDT, J. Climate change impacts in Sub-Saharan Africa: from physical changes to their social repercussions. **Regional Environmental Change**, v. 17, n. 6, p. 1585–1600, 2017.

SONKOUÉ, D.; MONKAM, D.; FOTSO-NGUEMO, T. C.; YEPDO, Z. D.; VONDOU, D. A. Evaluation and projected changes in daily rainfall characteristics over Central Africa based on a multi-model ensemble mean of CMIP5 simulations. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 137, n. 3–4, p. 2167–2186, 2019.

SOUSANNE E. BAUER, KOSTAS TSIGARIDIS, GREG FALUVEGI, MAXWELL KELLEY, KEN K. LO, RON L. MILLER, LARISSA NAZARENKO, G. S. AND J. W. Historical (1850-2014) Aerosol Evolution and Role on Climate Forcing Using the GISS ModelE21 Contribution to CMIP6. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, p. 1–22, 2020.

SWART, N. C. *et al.* **CCCma CanESM5 model output prepared for CMIP6 CMIP historical** Earth System Grid Federation, , 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.3610>>

TALACUECE, M. A. D. **EXTREMOS CLIMÁTICOS NA ÁFRICA SUB-SAHARIANA: 1976-2005 E 2020-2050** Paper Knowledge . *Toward a Media History of Documents*. Viçosa: 2018

THRASHER, B.; WANG, W.; MICHAELIS, A.; MELTON, F.; LEE, T.; NEMANI, R. NASA Global Daily Downscaled Projections, CMIP6. *Scientific Data*, v. 9, n. 1, p. 1–6, 2022.

UELE, D. I. Impactos dos Modos de Variabilidade Climática no Cultivo do Milho em Regime de Sequeiro: Uma. p. 169, 2013.

VOLDOIRE, A. **CMIP6 simulations of the CNRM-CERFACS based on CNRM-CM6-1 model for CMIP experiment historical** Earth System Grid Federation, , 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.4066>>

WATTS, N. *et al.* The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come. *The Lancet*, v. 392, n. 10163, p. 2479–2514, 2018.

WU, T. *et al.* **BCC BCC-CSM2MR model output prepared for CMIP6 CMIP historical** Earth System Grid Federation, , 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.2948>>

YUKIMOTO, S. *et al.* **MRI MRI-ESM2.0 model output prepared for CMIP6 CMIP historical** Earth System Grid Federation, , 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.6842>>

ZIEHN, T. *et al.* **CSIRO ACCESS-ESM1.5 model output prepared for CMIP6 CMIP historical** Earth System Grid Federation, , 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.4272>>

ZULUAGA, CRISTIAN FELIPE; MARTINS, F. R.; AVILA-DIAZ, A.; JUSTINO, FLÁVIO B; CERON, W. L.; ZULUAGA, C F; JUSTINO, F B. Energia renovável Brasil d. v. 193, 2022.