INSTITUTO TECNOLÓGICO VALE

PROD. TEC. ITV DS - N030/2019
DOI: 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2019.30.Costa

PRODUÇÃO TÉCNICA ITV DS

CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS ÁREAS OPERACIONAIS INTERNACIONAIS DA VALE TENDO EM VISTA A ANÁLISE DOS RISCOS: PROJEÇÕES PARA MOÇAMBIQUE NO HORIZONTE DE 2020 A 2050

Cláudia Wanzeler da Costa
Douglas da Silva Ferreira
Renata Gonçalves Tedeschi

Belém / PA
Dezembro/2019

Título: Cenários de mudanças climáticas nas áreas operacionais internacionais da Vale tendo em vista a análise dos riscos: projeções para Moçambique no horizonte de 2020 a 2050	
PROD. TEC. ITV DS - N030/2019	Revisão
Classificação: ( ) Confidencial ( ) Restrita ( ) Uso Interno (X) Pública	00

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C337 Costa, Cláudia Wanzeler

Cenários de mudanças climáticas nas áreas operacionais internacionais da Vale tendo em vista a análise dos riscos: projeções para Moçambique no horizonte de 2020 a 2050 / Cláudia Wanzeler Costa, Douglas da Silva Ferreira, Renata Gonçalves Tedeschi. - Belém, ITV, 2019.
28 p. il.

1. Mudanças climáticas, Moçambique (África). 2. Clima – precipitação. 3. Clima – temperatura. I. Ferreira, Douglas da Silva. II. Tedeschi, Renata Gonçalves. III. Título.

CDD 23. ed. 551.60679

Bibliotecário(a) responsável: Nisa Gonçalves / CRB 2 – 525

RESUMO EXECUTIVO

Este relatório contém cenários de mudanças climáticas para Moçambique para até 2050, com enfoque para áreas da VALE no país. A avaliação foi feita utilizando a modelagem climática regional para as variáveis meteorológicas precipitação (mm) e temperatura do ar (ºC) nos trimestres de DJF (dezembro a fevereiro), MAM (março a maio), JJA (junho a agosto) e SON (setembro a novembro). Estas informações podem auxiliar no planejamento de longo prazo e gerenciamento de risco da VALE em Moçambique, mitigando impactos econômicos e ambientais, como na aquisição de insumos, conhecimento de mercado, disponibilidade hídrica, aumento na demanda tecnológica entre outros.

RESUMO

As atividades a céu aberto da VALE são expostas frequentemente às condições meteorológicas adversas, que afetam direta ou indiretamente alguns dos processos da cadeia mineral como o transporte e embarque do produto, ocasionando em perdas materiais e até colocando em risco vidas humanas. Este trabalho fornece cenários de mudanças climáticas para o horizonte de 2020 a 2050, com relação à média de 1981 a 2005, sobre Moçambique, destacando seus impactos sobre as áreas de operação da VALE. Foram obtidas as médias mensais de precipitação (mm/mês) e temperatura (°C/mês) do modelo regional RCA4 aninhado ao modelo global HadGEM2-ES, para o cenário historical (1981 a 2005) e para os cenários de emissão do IPCC: RCP4.5 e RCP8.5, dos quais se obteve as médias trimestrais: DJF (dezembro a fevereiro), MAM (março a maio), JJA (junho a agosto) e SON (setembro a novembro). Avaliou-se, também, a acurácia do modelo regional, comparando-o com as observações provenientes do Climate Prediction Centre (precipitação) e do Climate Research Unit (temperatura) no período de 1981 a 2005. Os resultados mostraram que o RCA4 apresentou bom desempenho em simular a precipitação trimestral no Corredor de Nacala, exceto em SON sobre Nampula e Nacala, onde o modelo superestima entre 50 e 100mm a precipitação do trimestre. Porém, não mostrou bom desempenho em simular a temperatura, subestimando-a em 2ºC ao longo do Corredor de Nacala, principalmente sobre a mina em Moatize. As projeções do RCA4, com relação à média de 1980 a 2005, são de aumento da precipitação em DJF, trimestre chuvoso, em ambos os cenários climáticos (RCP4.5 e RCP8.5), principalmente na região central de Moçambique, podendo estar associado ao aumento na frequência de eventos extremos causados por sistemas meteorológicos de grande escala como a Zona de Convergência Intertropical ou mesmo pelo aumento da frequência e/ou intensidade de Ciclones Tropicais que atingem esta região. Este cenário pode impactar negativamente no embarque do produto, uma vez que é perigoso o descontrole da água no navio, além de reduzir a qualidade do mesmo. Quanto à temperatura, de acordo com os cenários de emissão (RCPs), haverá elevação da temperatura sobre o Corredor de Nacala, e isto pode implicar no aumento da evapotranspiração e desencadear estresse hídrico na região.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Moçambique. Precipitação. Temperatura. RCA4.

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Mina de carvão de Moatize, em Moçambique. (a) Carro fora da estrada, (b) Esteira transportadora de carvão, (c) Empregado Vale na operação e; (d) Pátio de estocagem 7

Figura 2 - Imagem no canal visível do MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), instrumento a bordo do satélite TERRA da NASA, no dia 15 de março de 2019, que mostra Ciclone IDAI que atingiu principalmente, a região central de Moçambique..... 9

Figura 3 - Mapa topográfico de Moçambique em metros (m). A altimetria é crescente na escala de cores que vai do verde ao cinza/branco. A linha vermelha contorna Moçambique e países vizinhos 11

Figura 4 - Domínio de integração dos Modelos climáticos Regionais do CORDEX abrangendo o continente africano 13

Tabela 1 - Exemplificação de como foram obtidos os cenários de mudança do clima para Moçambique para o futuro próximo (2020 a 2050). ***OBS*** refere-se ao valor observado da variável. ***RCA4*** refere-se ao valor simulado pelo modelo regional .. 14

Figura 5 - Área de estudo. A linha vermelha contorna o país Moçambique, enquanto a linha em lilás representa a estrada de ferro do Corredor de Nacala que liga a mina de carvão em Moatize ao porto marítimo de Nacala 15

Figura 6 - Média (1981 a 2005) da Precipitação observada (painéis à esquerda, PREC Obs) pelo CPC (Climate Predction Center) e simulada (painéis no meio, PREC Sim) pelo modelo climático regional RCA4 nos trimestres de (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA e (d) SON, onde a escala de cores indica a intensidade da precipitação em milímetros (mm). Apresenta-se, também, para cada trimestre, o viés (simulado menos observado) do modelo (painéis à direita) em relação ao CPC, onde os valores negativos na escala de cores indicam subestimativa da precipitação pelo RCA4 em relação ao CPC, enquanto os valores positivos, superestimativa 17-18

Figura 7 - Média (1981 a 2005) da temperatura observada (painéis à esquerda, TEMP Obs) pelo CRU (Climatic Research Unit) e simulada (painéis no meio, TEMP Sim) pelo modelo climático regional RCA4 nos trimestres de (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA e (d) SON, onde a escala de cores indica a intensidade da temperatura do ar (°C). Apresenta-se, também, para cada trimestre, o viés (simulado menos observado) do modelo (painéis à direita) em relação ao CRU, onde os valores

negativos na escala de cores indicam subestimativa da temperatura pelo RCA4 em relação ao CRU, enquanto os valores positivos, superestimativa 19-20

Figura 8 - Cenários de mudança na precipitação em Moçambique –África, para o horizonte de 2020 a 2050, considerando dois cenários de emissão do IPCC: RCP4.5 (painéis superiores) e RCP8.5 (painéis inferiores). Os cenários de mudança foram obtidos pela diferença entre o clima futuro (média de 2020 a 2050) e o clima atual (média de 1981 a 2005) para os trimestres DJF (Dez a Fev), MAM (Mar a Mai), JJA (Jun a Ago) e SON (Set a Nov). Unidade: mm/3 meses 22

Figura 9 - Cenários de mudança de temperatura em Moçambique –África, para o horizonte de 2020 a 2050, considerando dois cenários de emissão do IPCC: RCP4.5 (painéis superiores) e RCP8.5 (painéis inferiores). Os cenários de mudança foram obtidos pela diferença entre o clima futuro (média de 2020 a 2050) e o clima atual (média de 1981 a 2005) para os trimestres DJF (Dezembro a Fevereiro), MAM (Março a Maio), JJA (Junho a Agosto) e SON (Setembro a Novembro). Unidade: °C/3 meses 23

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 7

2 OBJETIVO 10

2.1 Objetivos específicos 10

3 ÁREA DE ESTUDO 10

4 MATERIAIS E MÉTODOS 12

4.1 Dados Observacionais 12

4.2 Modelo climático regional e configuração do experimento 12

4.3. Métodos e procedimentos de análise 13

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 16

6 CONCLUSÕES 24

7 RECOMENDAÇÕES 24

REFERÊNCIAS 25

1 INTRODUÇÃO

A Vale é uma empresa de logística e mineração que atua no mundo todo. Em setembro de 2011, inaugurou um empreendimento na província de Tete, a noroeste de Moçambique: a mina de carvão de Moatize (Fig. 1). Em 2017, ela já registrava uma produção de cerca de 11 milhões de toneladas por ano de carvão de dois tipos: o térmico e o metalúrgico (Revista Mineração e Sustentabilidade, 2017). Inicialmente, a produção de carvão embarcava no porto marítimo em Beira, na porção central de Moçambique, porém a empresa construiu um corredor de escoamento de produção, seguindo uma melhor infraestrutura, a produção, então, passou, a embarcar do porto marítimo em Nacala, província de Nampula, que está localizada na porção norte de Moçambique. O Corredor de Nacala liga a mina de carvão em Moatize ao terminal marítimo de Nacala através de uma linha férrea 912 quilômetros, cruzando, também, o Malawi, país ao norte de Moçambique.

Figura 1 - Mina de carvão de Moatize, em Moçambique. (a) Carro fora da estrada, (b) Esteira transportadora de carvão, (c) Empregado Vale na operação e (d) Pátio de estocagem.

Fonte: VALE, (2019).

Grande parte das atividades ligadas à produção e logística do carvão pela VALE (Fig 1) ocorrem a céu aberto e frequentemente são impactadas, direta ou indiretamente, pelas intempéries do tempo e do clima, que podem interferir nas rotinas operacionais, causando perdas na produção e acidentes com equipamento e pessoas.

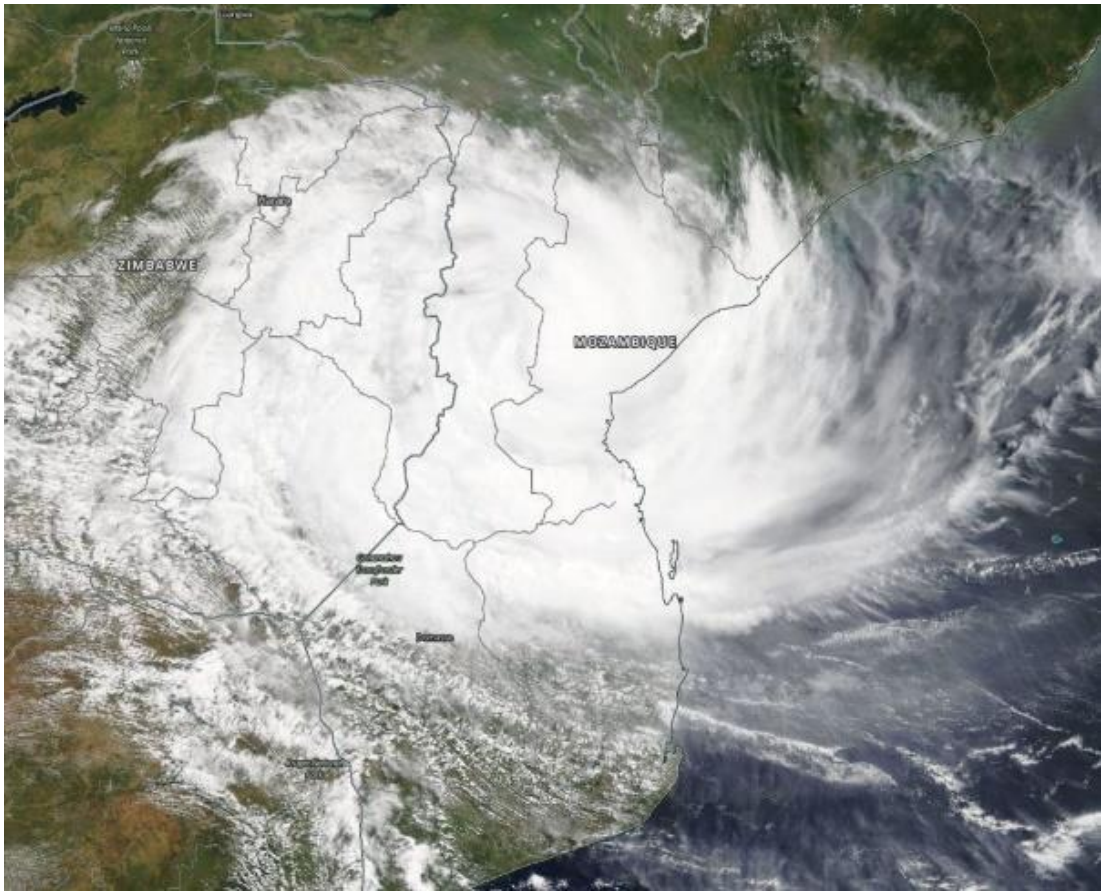
De acordo com o Report 2017 do Irish Aid, Moçambique é um dos países mais vulneráveis da África à variabilidade do clima e mudanças climáticas, pois está exposto aos eventos climáticos extremos, incluindo secas, inundações e ciclones tropicais.

Queface e Tadross (2009) analisaram o histórico de desastres naturais registrados nas zonas em Moçambique (norte, sul e central) no período de 1956 a 2008. Estes autores observaram que houve aumento do número de desastres naturais, principalmente na zona central de Moçambique associados a eventos de cheia e de ciclones tropicais que atingiram a região, notaram ainda, que a zona sul de Moçambique é a mais impactada por eventos de seca, quando comparadas às demais zonas.

Em janeiro de 2013, as zonas central e sul de Moçambique foram atingidas por grandes volumes de chuva que conduziram a inundações graves e que causaram destruição e perdas de vida humana. Segundo o estudo de Manhique et al (2013), este evento foi causado por padrões atmosféricos e oceânicos que propiciaram a formação de uma Zona de Convergência do Sul da Índia (ZCSI).

Devido a sua posição geográfica, Moçambique é frequentemente afetada por ciclones tropicais que se formam, durante a estação quente e úmida, no oceano Índico, em particular no canal de Moçambique, entre o país e a ilha de Madagascar, carregando consigo impactos negativos severos sobre a população, infraestrutura e economia do país. O ciclone tropical Idai (Fig. 2) atingiu o sudeste da África em março de 2019 causando inundações catastróficas, deslizamentos de terra e perdas de vida humanas em Moçambique, Malawi e Zimbábue, sendo a província de Beira a mais afetada. De acordo com o secretário geral da Organização Meteorológica Mundial - Petteri Taalas (2019): “embora as projeções sejam de redução do número de Ciclones Tropicais no mundo, é esperado que eventos mais intensos (categoria 4 e 5) desta natureza, associados a mais chuvas, aumentarão em um clima mais quente”.

Figura 2 - Imagem no canal visível do MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), instrumento a bordo do satélite TERRA da NASA, no dia 15 de março de 2019, que mostra Ciclone IDAI que atingiu principalmente, a região central de Moçambique.



Fonte: NASA, (2019).

Como pode-se constatar a partir dos comentários anteriores, a variabilidade do clima é um fator agravante as condições atuais das populações e economias dos países Africanos, principalmente sobre àquelas atividades vulneráveis a estas alterações do clima (Reason, 2007; Matyas e Silva, 2013; Uele et al., 2017). Eventos climáticos extremos causados pelas mudanças climáticas, como secas e cheias recorrentes, podem representar uma série de desafios para a cadeia de mineração, haja visto que sua infraestrutura, como instalações, fontes de energia, sistemas de coleta e rejeitos, transporte pode afetada por condições extremas causadas pelas mudanças no clima. O conhecimento prévio sobre a variabilidade do clima e mudanças climáticas pode auxiliar no planejamento e gestão de risco da empresa, a fim de reduzir os efeitos dos impactos negativos e/ou otimizar na produção e consequentemente na economia da Empresa. Uma forma de mitigar os impactos das mudanças climáticas nas atividades da cadeia de mineração é a de incorporar nos projetos da empresa informações sobre as projeções e cenários de mudanças climáticas para região de interesse, a partir de modelos climáticos, os quais contém equações matemáticas e parâmetros integrados no tempo, que representam o sistema climático da terra e suas interações. Os modelos climáticos regionais (MCRs) são capazes de simular ou representar processos de pequena escala espacial, que não podem ser resolvidos por modelos

globais, que tem resolução espacial grosseira, da ordem de ~100km. Assim, o uso de MCRs, aninhados aos modelos globais ou reanálises como condições de contorno, podem fornecer informações climáticas valiosas para avaliações de impacto climático (Prein et al (2019), Ambrizzi et al., 2019).

2 OBJETIVO

O trabalho teve como objetivo principal fornecer cenários de mudanças climáticas no futuro próximo (2020 a 2050) sobre Moçambique, destacando seus impactos sobre as áreas de operação da VALE.

2.1 Objetivos específicos

a) Determinar o viés do modelo regional em relação ao observado com referência ao período de 1981 a 2005;

b) Gerar os mapas de mudança sazonal (trimestral) da temperatura e da precipitação para até 2050, considerando dois cenários de emissão do IPCC: RCP 4.5 e RCP 8.5.

3 ÁREA DE ESTUDO

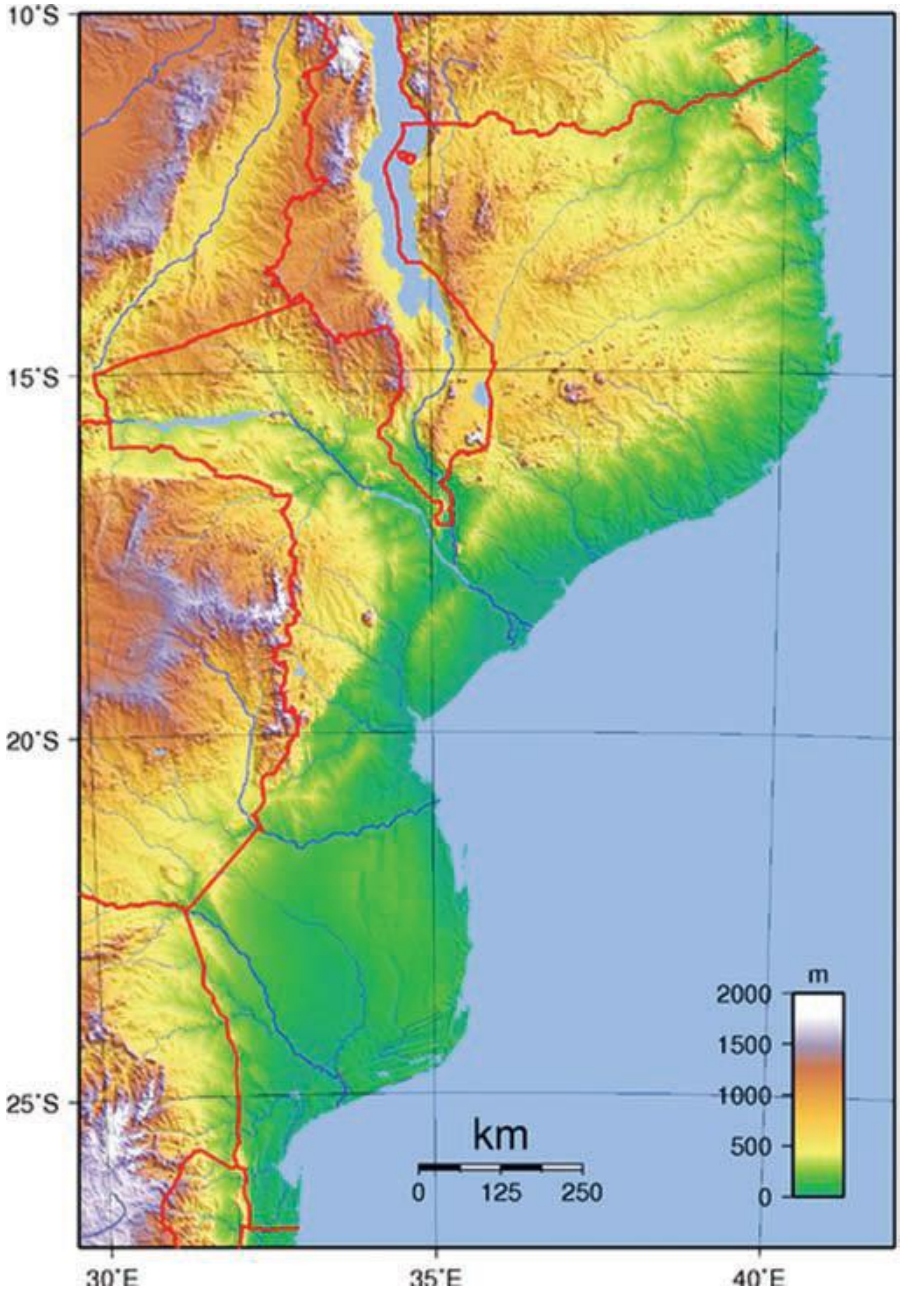
Moçambique localiza-se na costa sudeste do continente Africano, correspondendo à faixa latitudinal de 10º 27'S e 26º 52'S e longitudinal 30º 12'E e 42º 51'E (Fig. 2). Cobre uma área territorial de quase 800 000 km^2, apresentando uma extensa região costeira com cerca de 2700 km. De acordo com *The World Bank, até 2018,* Moçambique registrava uma população de pouco mais de 29 milhões de habitantes, onde mais de 60% deste total vive em áreas costeiras, dependentes em grande parte da agricultura e da pesca, porém a infraestrutura é fraca ou inexistente. Por conta disso, tornam-se altamente vulneráveis a passagens de ciclones tropicais e ao aumento do nível do mar (Mavume, 2009).

A topografia da área de estudo (Fig. 3) revela que a região de mais baixa altitude (abaixo de 500m) é a planície costeira, cobrindo grande parte do País em suas porções sul e central. À medida que se afasta da costa do País, observam-se as maiores altitudes que podem atingir até 1500 m em sua porção norte.

Quanto ao clima, de acordo com O'Brien e Vogel (2003), Moçambique apresenta um clima tropical úmido com uma estação fria e seca entre os meses de abril a setembro com temperaturas médias entre 20 e 25ºC, e outra estação quente e úmida nos meses de outubro a março, com temperaturas médias entre 25 e 27ºC. Por regiões do país, Uele (2008) classifica o clima em Moçambique, como tropical úmido, com uma estação seca no centro/norte que varia de quatro a seis meses, e uma na porção sul do país, com clima tropical seco que se estende de seis a nove meses. Ademais, apresenta regiões semiáridas em sua porção sudoeste. Com relação à pluviometria, os autores ainda descrevem que esta varia entre 800 a 1200 mm durante o ano, nas regiões centro/norte, enquanto sua porção ao sul são

registrados os menores valores, entre 300 e 800 mm no ano. Como principais determinantes dos padrões de precipitação em Moçambique, destacam-se os sistemas meteorológico: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Sistemas frontais, Ciclones Tropicais, as Baixas térmicas, que se formam longo da costa do país como resultado do aprofundamento do Cavado semipermanente do Canal de Moçambique, e as Ondas de Leste (Rojas e Amade, 1996; Uele, 2008; Uele et al., 2017).

Figura 3 - Mapa topográfico de Moçambique em metros (m). A altimetria é crescente na escala de cores que vai do verde ao cinza/branco. A linha vermelha contorna Moçambique e países vizinhos.



Fonte: Climate Change Report/INGC, (2009).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Dados observacionais

Neste trabalho, utilizou-se dados de:

a) Precipitação proveniente do CPC (Climate Prediction Center, Chen et al, 2008) em 0,1 mm dia^{-1}. Este conjunto é baseado principalmente em dados diários de precipitação observada, e que são interpolados pelo método de Interpolação Ótima (Gandim, 1965). Este método é aplicado a partir de informações de 30000 pluviômetros na versão retrospecti0va (1979-2005) e 17000 na versão em tempo real (2006 até o presente), obtendo-se uma cobertura global de dados sobre a superfície, com resolução espacial de 0,5° x 0,5° em latitude e longitude. Estes dados estão disponíveis em: ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/CPC_UNI_PRCP/GAUGE_GLB/

A partir destes dados, calculou-se a precipitação acumulada mensal, e que posteriormente foi agrupada em trimestres (média de 3 meses).

b) Temperatura do ar (K) mensal proveniente do CRU TS4.00 (Climate Research Unit Time-series versão 4.00) da University of East Anglia. Os dados são baseados em análises de mais de 4000 registros em estações meteorológicas que abrangem toda a área continental (Harris et al., 2014). Para esta versão, os dados são disponibilizados no período de 1901 a 2015 na resolução espacial de 0,5° x 0,5° em latitude/longitude, e difere-se da versão anterior apenas na metodologia utilizada para interpolar os dados das estações. Maiores informações sobre estes dados bem como seu acesso podem ser obtidos no link abaixo, sendo necessário registrar-se: http://data.ceda.ac.uk/badc/cru/data/cru_ts/cru_ts_4.00/.

Os dados mensais de temperatura foram agrupados em médias trimestrais.

4.2 Modelo climático regional e configuração do experimento

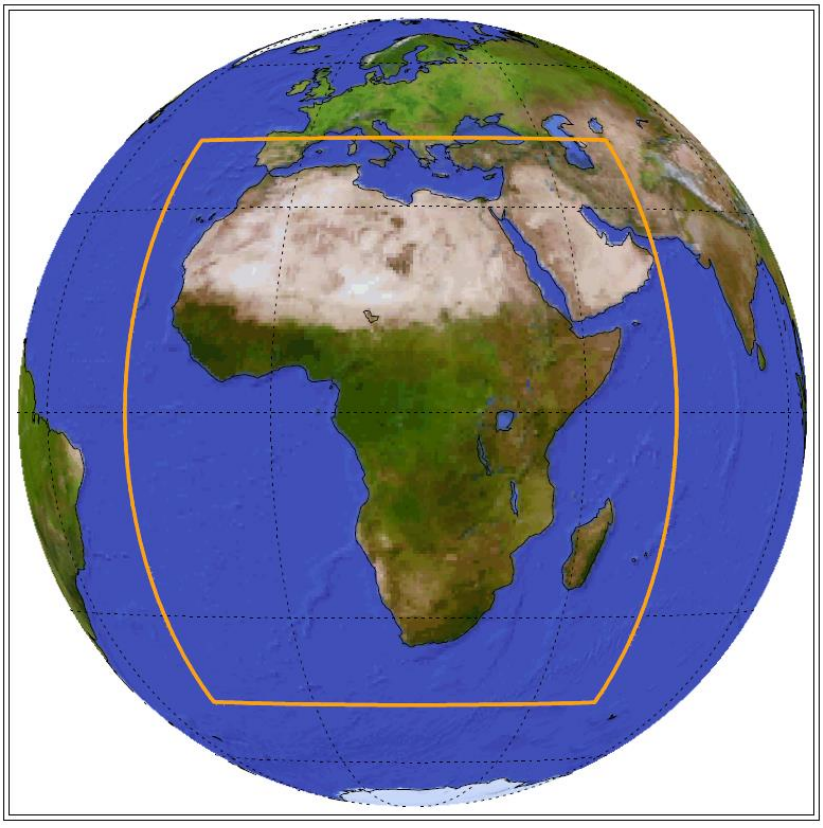
Fez-se o uso de dados mensais de precipitação e temperatura do ar próximo a superfície (entre 1,5m e 10m) do Rossby Centre Regional Atmospheric model version 4 (RCA4, Samuelsson et al, 2011) na regionalização do clima atual (*Historical*) e futuro (*RCPs*) em Moçambique, estando disponíveis em: https://esg-dn1.nsc.liu.se/search/esgf-liu/. O downscaling com o RCA4 teve como condições de contorno as saídas do modelo de global HadGEM2-ES, que é o estado-da-arte do sistema terrestre que inclui vegetação dinâmica, biologia do oceano e química atmosférica (Caesar et al., 2013) e faz parte da lista de modelos globais do CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). A resolução da grade atmosférica do HadGEM2-ES é de 1,25º em latitude e 1,875º em longitude.

As projeções de 2020 a 2050 com o RCA4/HadGEM2-ES foram obtidos para determinar os cenários de mudanças climáticas em Moçambique, os quais baseiam-se em dois cenários de emissão do

IPCC: o *RCP*4.5 (acordo de *Paris*) e o *RCP*8.5 (pessimista). Os Representative Concentration Pathways (RCP) prescrevem futuras concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa e aerossóis possíveis de acontecerem até 2100 (Van Vuuren et al., 2011; IPCC, 2014).

O RCA4 foi desenvolvido pelo Instituto Meteorológico e Hidrológico Sueco (SMHI, sigla em inglês) e está na lista de MCRs do CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment - http://www.cordex.org/). O CORDEX é um programa patrocinado pelo WCRP (World Climate Research Programme) e tem como objetivo organizar uma estrutura internacional para produzir e disponibilizar projeções regionais de mudanças climáticas em todo o mundo, divididos em 13 domínios. Como a região de interesse para este trabalho é Moçambique, o domínio do CORDEX a ser utilizado é aquele que engloba a África (Fig. 4), com resolução espacial de grade de 0,44º em latitude e 0,44º em longitude, em coordenadas polares, onde o número de pontos em x (Nx) é 194 e em y (Ny) é 201 pontos.

Figura 4 - Domínio de integração dos Modelos climáticos Regionais do CORDEX abrangendo o continente africano.



Fonte: CORDEX, (2019).

4.3. Métodos e procedimentos de análise

O viés tem sido comumente utilizado na literatura científica como um meio de avaliar a acurácia ou desempenho de um modelo numérico (Hausfather et al.,2019). Neste trabalho, foi o viés determinado pela diferença entre o valor simulado pelo modelo e o valor observado, onde o resultado negativo indica que o modelo subestima o observado, ao passo que o resultado sendo positivo, significa dizer que o

modelo superestima o valor observado (Equação 1). Neste trabalho, é mostrado o desempenho do modelo regional RCA4 em simular o clima atual, aqui considerado o período médio dentre 1981 e 2005. Para tal, foi necessário interpolar os dados originais do modelo (0,44° x 0,44° de latitude e longitude) para a mesma resolução horizontal dos dados observados (0,50° x 0,50° de latitude e longitude), utilizando a interpolação bilinear do software livre CDO (Climate Data Operators - https://code.mpimet.mpg.de/projects/cdo/).

$$Viés = S_x - O_x \qquad 1$$

Onde *S* refere-se ao valor simulado pelo modelo, *O* valor observado e *x* a variável em questão (temperatura do ar ou precipitação).

Foram determinados os vieses do modelo para as variáveis meteorológicas precipitação e temperatura do ar sobre Moçambique em cada trimestre do ano: DJF, MAM, JJA e SON.

Os cenários de mudança do clima para Moçambique no futuro próximo (2020 a 2050), com referência ao período de 1981 a 2005, foram obtidos segundo a metodologia empregada nos estudos de De Souza et al. (2014), aplicada a correção do viés (bias corrections) nas simulações com o RCA4, conforme mostrado na tabela 1.

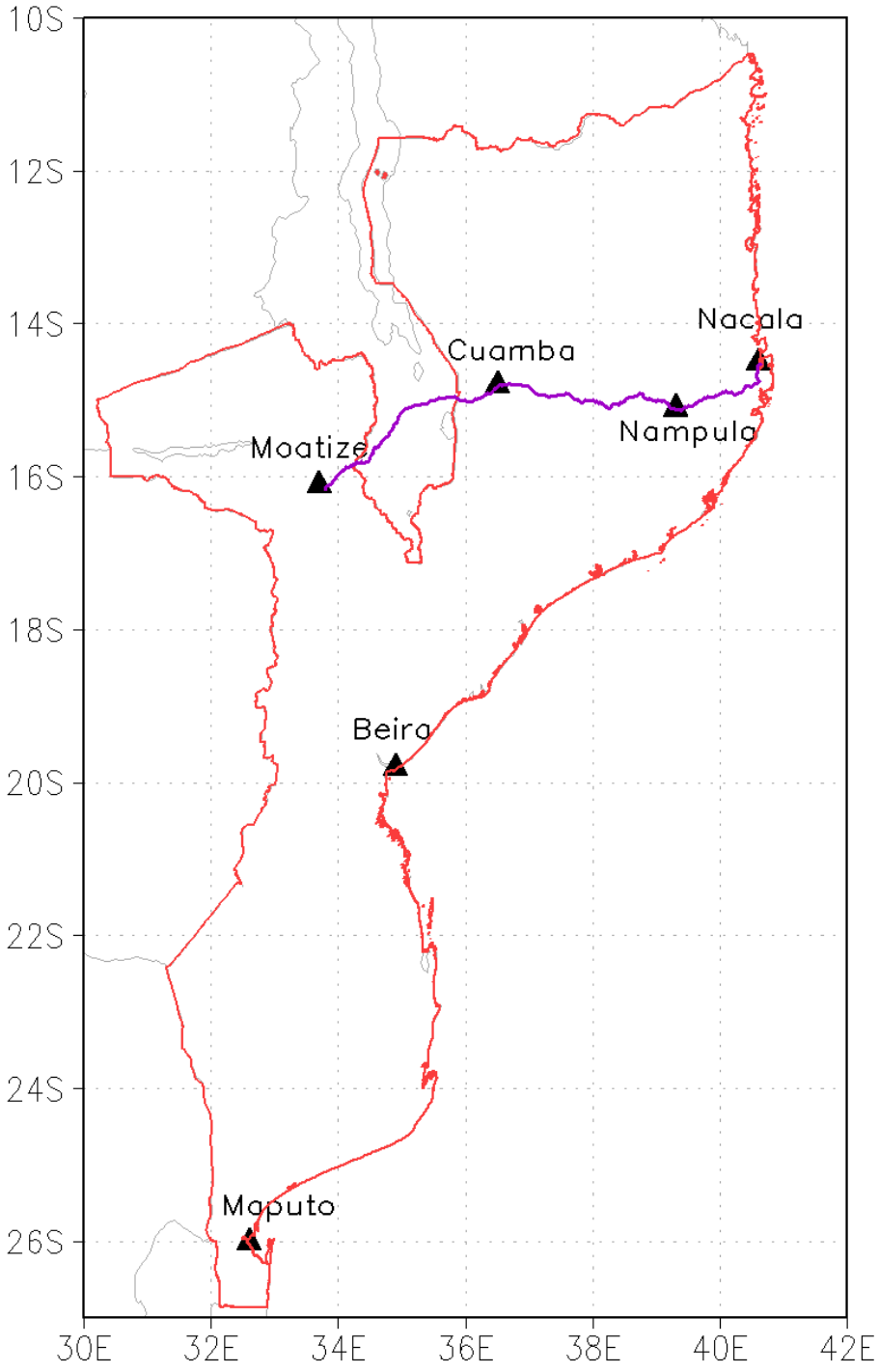
As análises dos resultados foram conduzidas no formato trimestral (DJF, MAM, JJA e SON) e são apresentados em forma de mapas sobre a regiões de estudo (Figura 5).

Tabela 1 - Exemplificação de como foram obtidos os cenários de mudança do clima para Moçambique para o futuro próximo (2020 a 2050). ***OBS*** refere-se ao valor observado da variável. ***RCA4*** refere-se ao valor simulado pelo modelo regional.

ANÁLISES	CLIMA ATUAL	CLIMA FUTURO
	Média de 1981 a 2005	Média de 2020 a 2050
Precipitação Observada: OBS	10	
Precipitação Simulada: RCA4	7	9
Viés (Simulado – Observado) do clima atual = RCA4 – OBS	- 3	
Precipitação simulada corrigida (RCA4c) = RCA4 clima futuro – Viés		12

Fonte: elaborado pelo autor, (2019).

Figura 5 - Área de estudo. A linha vermelha contorna o país Moçambique, enquanto a linha em lilás representa a estrada de ferro do Corredor de Nacala que liga a mina de carvão em Moatize ao porto marítimo de Nacala.



Fonte: elaborado pelo autor, (2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

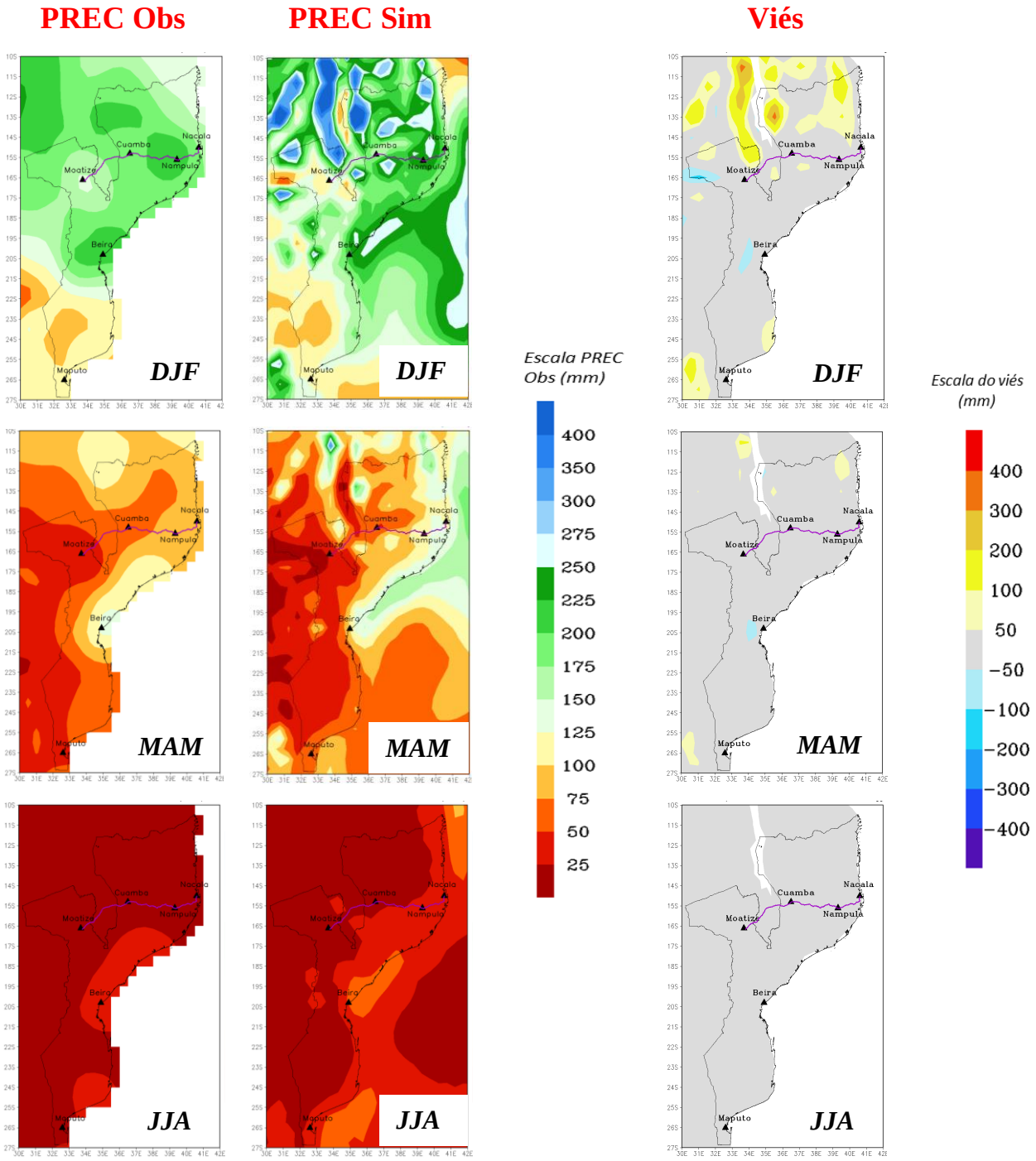
5.1 Avaliação do modelo climático regional

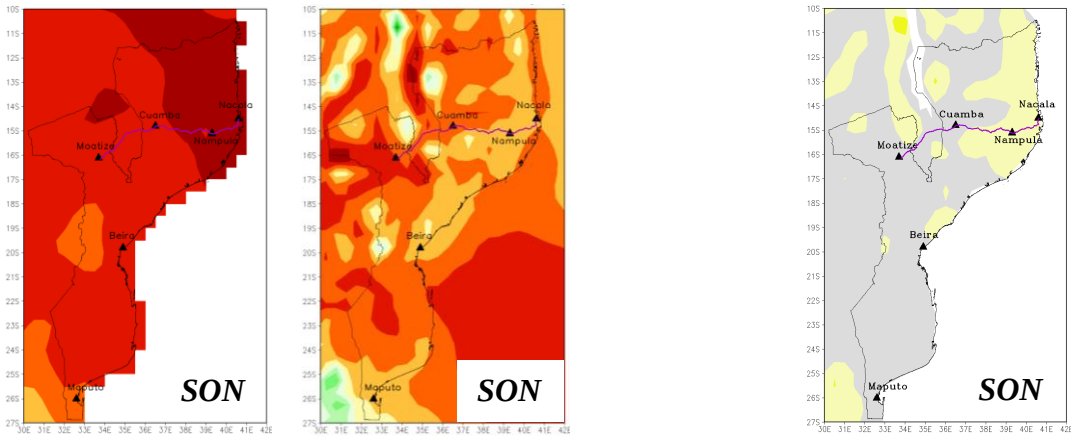
A partir das figuras 6 e 7, foi possível avaliar o desempenho do modelo regional RCA4, aninhado ao modelo global HadGEM2-ES, em simular a precipitação e a temperatura trimestral no período de 1981 a 2005, respectivamente.

As observações (Fig 6, PREC Obs) indicam que o trimestre DJF (verão austral) é o mais chuvoso do ano em Moçambique, principalmente em sua porção central-norte onde a média pluviométrica fica acima de 150mm (média do trimestre) e que está associada à passagem de Ciclones Tropicais no Canal de Moçambique. As condições climáticas neste trimestre definem a disponibilidade hídrica para o país ao longo do ano, haja visto ser o período onde ocorre a recarga dos reservatórios de água. Atrasos no início na estação chuvosa ou encurtamento desta pode comprometer as atividades agrícolas e geração de energia por hidrelétricas no País, por exemplo. O período de chuvas em Moçambique ainda se estende até o trimestre de MAM na faixa norte-nordeste com médias entre 75 e 125mm. Os trimestres subsequentes caracterizam o período seco do país, principalmente JJA, onde o volume pluviométrico médio é inferior a 50mm.

Os mapas de viés com relação às observações (PREC Obs) indicam que em geral, o modelo regional RCA4 apresenta bom desempenho em simular a precipitação trimestral em Moçambique. Em DJF, ao norte do Corredor de Nacala, o RCA4 superestima a precipitação e coincide com áreas de maior topografia. Estes erros sistemáticos podem ter sido "herdados" do modelo climático global (HadGEM2-ES), cujas saídas foram utilizadas como condições iniciais de contorno para o modelo regional. Nota-se, também, que em SON, ao longo do Corredor de Nacala (linha cheia em lilás), o modelo regional superestima a precipitação em Nampula e sobre o porto marítimo em Nacala entre 50 e 100mm/3meses. Significa dizer, que em SON, o modelo RCA4 simula entre 50 e 100 mm a precipitação média do trimestre. Os erros sistemáticos do modelo não são significativos (áreas em cinza no mapa) sobre o corredor de Nacala nos trimestres de MAM e JJA.

Figura 6 - Média (1981 a 2005) da Precipitação observada (painéis à esquerda, PREC Obs) pelo CPC (Climate Predction Center) e simulada (painéis no meio, PREC Sim) pelo modelo climático regional RCA4 nos trimestres de (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA e (d) SON, onde a escala de cores indica a intensidade da precipitação em milímetros (mm). Apresenta-se, também, para cada trimestre, o viés (simulado menos observado) do modelo (painéis à direita) em relação ao CPC, onde os valores negativos na escala de cores indicam subestimativa da precipitação pelo RCA4 em relação ao CPC, enquanto os valores positivos, superestimativa.





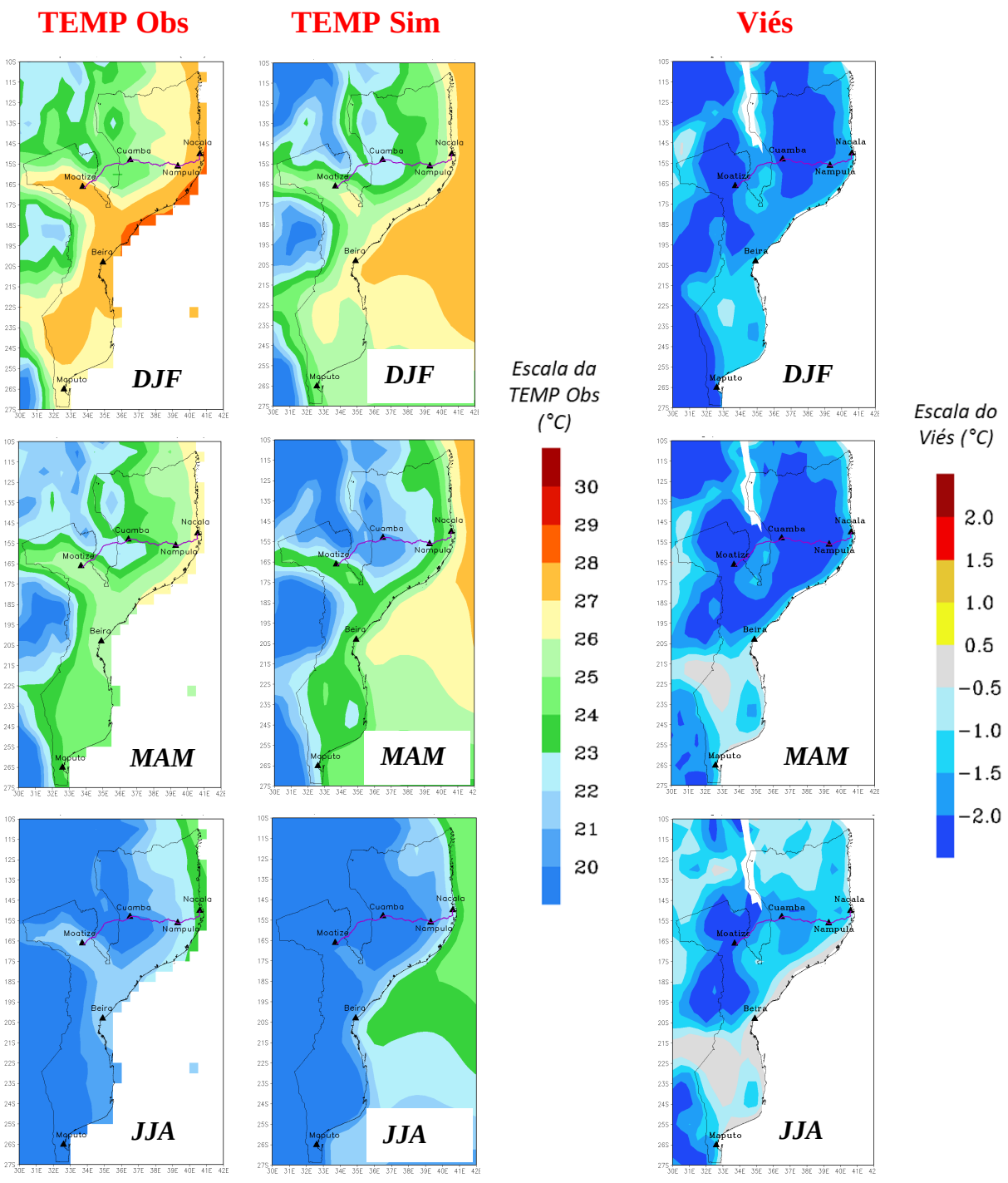
Fonte: elaborado pelo autor, (2019).

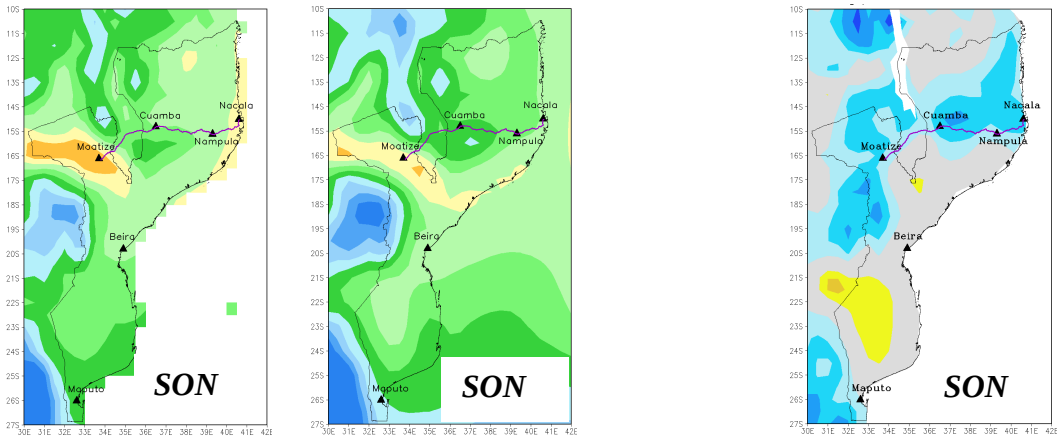
Com relação à média da temperatura observada (Figura 7, TEMP Obs), nota-se que as variações são em torno de 5°C entre o trimestre mais frio (JJA) e o mais quente (DJF), principalmente próximo à costa de Moçambique. Nos trimestres de transição entre estações (SON e MAM) a temperatura do ar observada é mais amena, ficando entre 23 e 26°C, exceto em Nacala, entre 26 e 27°C, e Moatize, entre 27 e 28°C em SON.

Diferente do descrito anteriormente sobre as simulações da precipitação (Figura 6), quando comparado com as observações da temperatura (Fig. 7) proveniente dos dados do CRU-T4 sobre Moçambique, o modelo regional não apresenta um bom desempenho e subestima a temperatura em quase todo o país e em todos os trimestres do ano. As diferenças são maiores sobre o Corredor de Nacala, onde o modelo regional simula a temperatura trimestral em cerca de 2°C a menos que o observado pelo CRU-v4, principalmente em DJF e MAM. Neste contexto, destaca-se a região de Moçambique onde está inserida a mina de carvão em Moatize, onde o viés frio do modelo é maior que 2°C e que se mantem de dezembro a agosto.

Os dados de temperatura medidos em pontos ao longo de Moçambique e que posteriormente são interpolados dão origem ao conjunto de dados do CRU-T4. As diferenças espaciais entre os conjuntos de dados, simulado pelo RCA4 e pelo CRU-T4, podem ser explicadas pela irregular ou não existente amostragem observacional, podendo assim, refletir de altos valores de viés nestas regiões.

Figura 7 - Média (1981 a 2005) da temperatura observada (painéis à esquerda, TEMP Obs) pelo CRU (Climatic Research Unit) e simulada (painéis no meio, TEMP Sim) pelo modelo climático regional RCA4 nos trimestres de (a) DJF, (b) MAM, (c) JJA e (d) SON, onde a escala de cores indica a intensidade da temperatura do ar (°C). Apresenta-se, também, para cada trimestre, o viés (simulado menos observado) do modelo (painéis à direita) em relação ao CRU, onde os valores negativos na escala de cores indicam subestimativa da temperatura pelo RCA4 em relação ao CRU, enquanto os valores positivos, superestimativa.





Fonte: elaborado pelo autor, (2019).

5.2 Cenários de mudança do clima

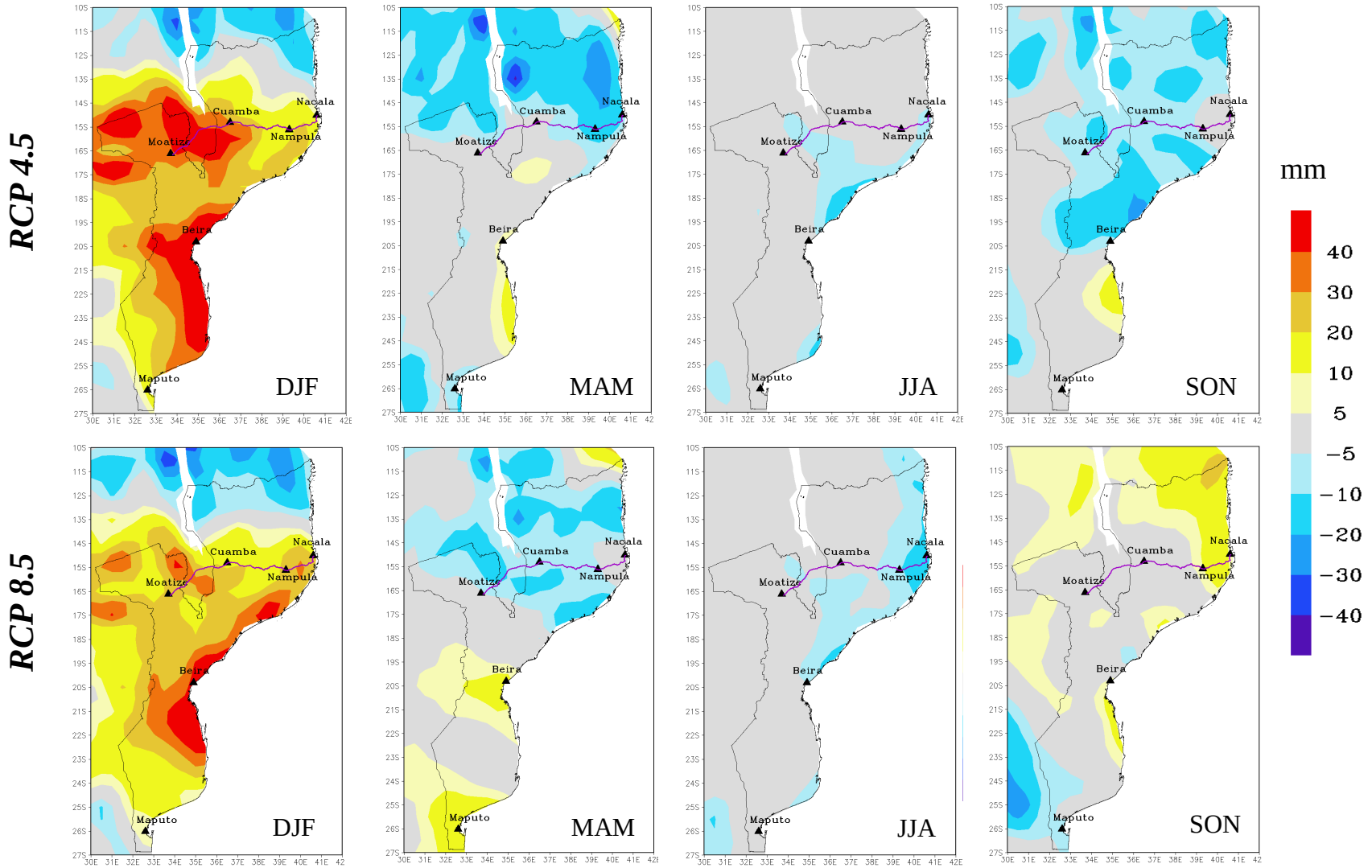
Nas figuras 8 e 9, respectivamente, são apresentadas, em valor absoluto, as projeções trimestrais ou sazonais de mudança na precipitação (mm) e na temperatura do ar (°C) sobre Moçambique no futuro próximo (média de 2020 a 2050). As análises foram conduzidas tendo como referência as médias observadas no período de 1981 a 2005 e dois cenários de emissão de GEE do IPCC: o RCP4.5 e o RCP8.5. Onde os valores negativos (positivos) indicam previsão de redução (aumento) de chuva para o futuro com relação ao presente (1981-2005).

Dentre as projeções para 2020-2050 do modelo regional RCA4 (Fig. 8), nota-se que em DJF são esperadas as mais marcantes mudanças na precipitação trimestral ou sazonal, principalmente em sua porção central. Para um cenário climático como o do RCP4.5, são esperados, sobre o Corredor de Nacala, aumento na precipitação em DJF, principalmente sobre as áreas de minas em Moatize, onde poderão ser adicionados à média observada (1981-2005) entre 30 e 40 mm neste trimestre, enquanto num cenário de RCP8.5, este aumento na precipitação apenas será de 20 a 30 mm. Sobre a porção norte de Moçambique as projeções do modelo indicam redução da precipitação no trimestre de MAM em ambos cenários climáticos, onde sobre o Corredor em Nacala, o impacto será próximo ao porto marítimo, com redução entre 10 a 20 mm no trimestre quando considerado o RCP4.5, e sobre a parte mais central da estrada de ferro quando considerado o RCP8.5. redução em torno de 5 a 10mm em relação à média trimestral observada (1981 a 2005). Ainda que, no trimestre JJA, o volume pluviométrico observado sobre a região do porto marítimo em Nacala seja inferior a 25mm (Fig. 6), as reduções futuras na precipitação podem ficar entre 5 e 10mm. Para o trimestre de SON, as projeções considerando o cenário RCP4.5 são de redução da precipitação entre 5 e 10mm sobre o Corredor de Nacala, exceto sobre a província d Nacala. Enquanto no cenário climático de RCP8.5, o modelo prevê aumento na precipitação entre 10 e 20mm em relação à média observada (1981-2005), porém como o RCA4 já apresenta um viés úmido (superestima) sobre a região do porto marítimo, no trimestre de SON (Fig. 6), pode-se inferir que o mesmo superestimará a precipitação para o futuro. A mudança dos padrões

de precipitação poderá acarretar numa redução da recarga de água no solo, afetando os recursos hídricos subterrâneos e o lençol freático.

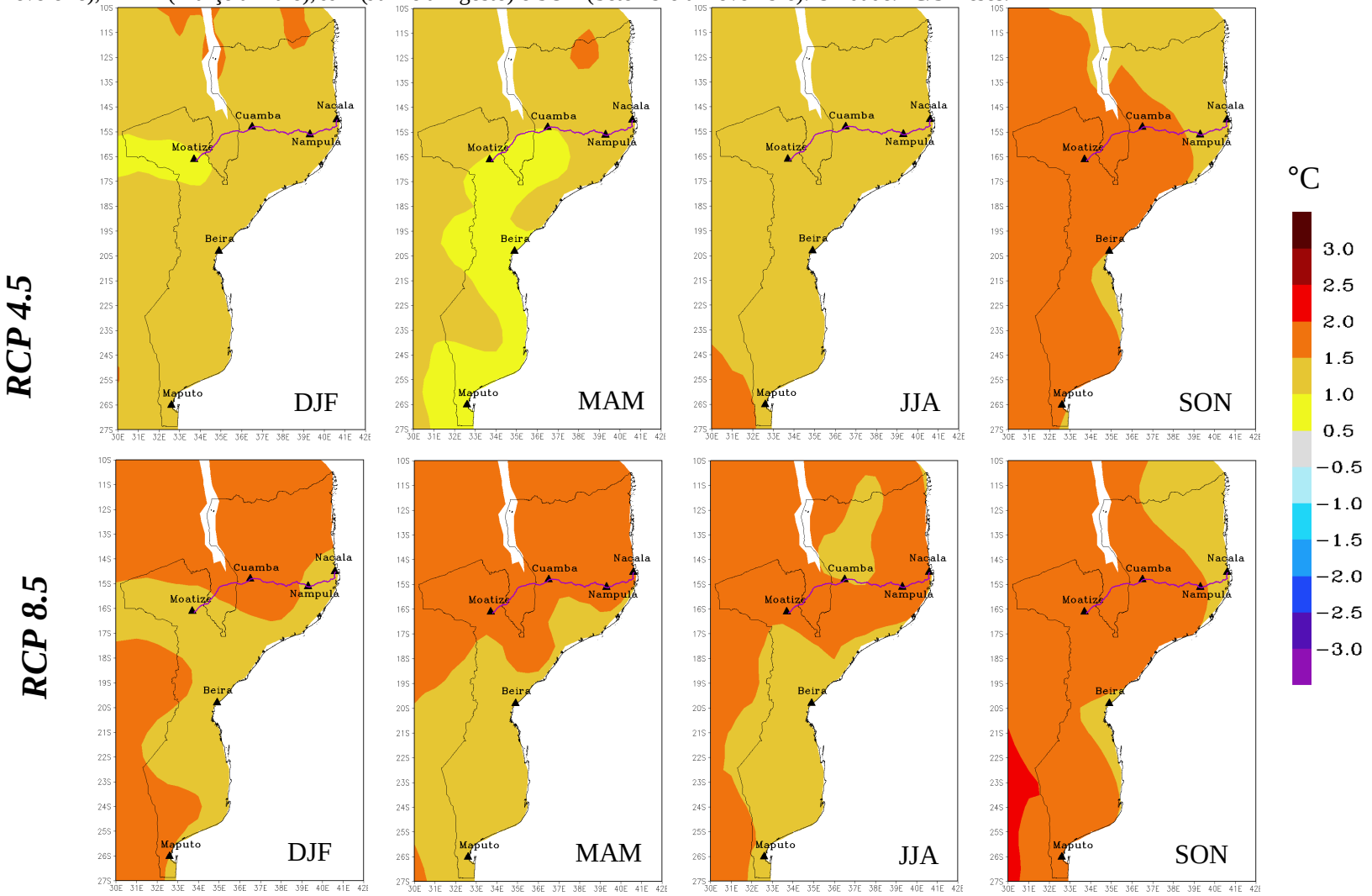
Para a temperatura, as projeções futuras do modelo climático (Fig. 9), com relação ao observado no período de 1981 a 2005 sobre Moçambique, são de aquecimento para todos os trimestres do ano, em ambos os cenários de emissão (RCPs). Davis-Reddy e Vicent (2017) utilizaram dados do CRU-T4 para avaliar mudanças na temperatura sobre a África, e descobriram forte evidência de aumento na média da temperatura próximo a superfície do continente, sendo que este aquecimento teve início na década de 70, com a década de 2000 considerada a mais quente. No cenário de RCP4.5, o aumento na temperatura em Moatize poderá ser entre 0,5 e 1,5°C nos trimestres de DJF, MAM e JJA, e de 1,5 a 2°C em SON. Já no cenário de RCP8.5, onde as elevações na temperatura serão maiores que aquelas projetadas pelo RCP4.5, o aumento poderá ser entre 1,5 a 2°C sobre a metade oeste do Corredor de Nacala, em todos trimestres, exceto em DJF. Entretanto, para a temperatura, o modelo climático apresenta viés negativo (Fig. 7), indicando que ele subestima esta variável climática, sendo assim, as projeções de aumento da temperatura média sobre o Corredor de Nacala poderão ser ainda maiores até 2050. Pode haver diversas implicações para estas projeções de aumento da temperatura sobre o Corredor de Nacala, como no aumento da evapotranspiração acarretando, assim, estresse hídrico na região.

Figura 8 - Cenários de mudança na precipitação em Moçambique –África, para o horizonte de 2020 a 2050, considerando dois cenários de emissão do IPCC: RCP4.5 (painéis superiores) e RCP8.5 (painéis inferiores). Os cenários de mudança foram obtidos pela diferença entre o clima futuro (média de 2020 a 2050) e o clima atual (média de 1981 a 2005) para os trimestres DJF (Dez a Fev), MAM (Mar a Mai), JJA (Jun a Ago) e SON (Set a Nov). Unidade: mm/3 meses.



Fonte: elaborado pelo autor, (2019).

Figura 9 - Cenários de mudança de temperatura em Moçambique –África, para o horizonte de 2020 a 2050, considerando dois cenários de emissão do IPCC: RCP4.5 (painéis superiores) e RCP8.5 (painéis inferiores). Os cenários de mudança foram obtidos pela diferença entre o clima futuro (média de 2020 a 2050) e o clima atual (média de 1981 a 2005) para os trimestres DJF (Dezembro a Fevereiro), MAM (Março a Maio), JJA (Junho a Agosto) e SON (Setembro a Novembro). Unidade: °C/3 meses.



Fonte: elaborado pelo autor, (2019).

6 CONCLUSÕES

Foram produzidos cenários de mudanças climáticas para Moçambique num futuro próximo (2020 a 2050). Para tanto, utilizou-se o modelo regional RCA4, participante do projeto internacional CORDEX, aninhado ao modelo global HadGEM2-ES, considerando dois cenários de emissão do IPCC: o *RCP4.5* e *RCP8.5*. Os dados foram agrupados em médias trimestrais e os resultados apresentados em forma de mapas. Inicialmente, as análises foram conduzidas avaliando a acurácia do modelo regional pelo método do viés com relação aos dados observados de precipitação proveniente do Climate Prediction Center (CPC) e de temperatura do Climatic Research Unit (CRU). Estas cujas características foram levadas em consideração para analisar os cenários futuros para Moçambique. Dentro deste contexto, destacam-se os seguintes pontos relevantes deste trabalho:

- O modelo climático regional RCA4 apresentou bom desempenho em simular a média da precipitação trimestral sobre Moçambique, mas subestimou em regiões esparsas na porção norte do País (entre 50 e 100mm). Sobre as grandes discrepâncias entre a simulação e a observação apontadas nos mapas de viés da temperatura, denominados erros sistemáticos do modelo, deve-se, também, levar em conta a escassez ou má distribuição dos pontos de observação dos dados climáticos sobre a África e que posteriormente são interpoladas. Esta situação pode limitar a confiabilidade das estimativas de erro (Chou et al., 2014) utilizadas para avaliar a acurácia de um modelo numérico.
- O cenário climático de redução na precipitação nos trimestres secos e aumento de temperatura sobre o Corredor de Nacala, em Moçambique, poderá impactar na disponibilidade hídrica e consequente aumento de consumo de água, propiciar um ambiente para focos de incêndio, além de dificultar a dispersão de poluentes nas áreas operacionais entre outros. Entretanto, as projeções são de aumento de precipitação no DJF sobre as porções norte e central-costeira em Moçambique, associadas a chuvas mais intensas da Zona de Convergência Intertropical e a maior frequência de eventos de Ciclones Tropicais, como os ocorridos em janeiro de 2013 (Manhique et al., 2015) ou em março de 2019 com o Ciclone Tropical Idai, e/ou com maior intensidade.

7 RECOMENDAÇÕES

As projeções de aumento/redução de precipitação, por exemplo, podem não estar associada ao aumento/redução no volume das chuvas regulares, mas sim associado a um aumento dos eventos climáticos extremos. No entanto, esta afirmação só poderá ser ratificada empregando-se métodos estatísticos que estudam extremos climáticos, como os índices de extremos climáticos sugerido pelo Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Índices - ETCCDMI.

REFERÊNCIAS

AMBRIZZI, T., REBOITA, M. S., DA ROCHA, R. P.; LLOPART, M. The state of the art and fundamental aspects of regional climate modeling in South America. **Ann. N.Y. Acad. Sci**., v. 1436, p. 98-120. 2019. DOI 10.1111/nyas.13932.

CAESAR J., *et al.* Response of the HadGEM2 earth system model to future greenhouse gas emissions pathways to the year 2300. **J. Clim**., v. 26, p. 3275–3284. 2013. DOI 10.1175/JCLI-D-12-00577.1.

CHEN, M. *et al*.: Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. **J. Geophys. Res**., v. 113. 2008. DOI 10.1029/2007JD009132.

CHOU, S. *et al.* Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 438-454, 2014.

DAVIS-REDDY, C. L.; VINCENT, K. **Climate Risk and Vulnerability**: A Handbook for Southern Africa. 2. ed. Pretoria, South Africa: CSIR. 2017.

GANDIM, L. S. **Objective Analysis of Meteorological Fields**. Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem. 1965. 242 p.

HARRIS, I.; JONES, P.; OSBORN, T.; LISTER, D. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. **Int. J. Climatol**., v. 34, p. 623-642. 2014. DOI 10.1002/joc.3711.

HAUSFATHER, Z.; DRAKE, H. F.; ABBOTT, T.; SCHMIDT, G. A. Evaluating the performance of past climate model projections. **Geophysical Research Letters**, n. 46. 2019. DOI 10.1029/2019GL085378

INGC. Synthesis report. **INGC Climate Change Report**: Study on the impact of climate change on disaster risk in Mozambique. [van Logchem B and Brito R (ed.)]. INGC, Mozambique. 2009.

IPCC (2014) Climate Change Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

MANHIQUE, A.J. et al. (2015) Extreme rainfall and floods in southern Africa in January 2013 and associated circulation patterns. Natural Hazards 77: 679. Doi: https://doi.org/10.1007/s11069-015-1616-y

MATYAS, C. J., SILVA, J. A. Extreme weather and economic well-being in rural Mozambique. **Natural Hazards**, v. 66, p. 31-49. 2013.

MAVUME, A.; BRUNDRIT, G. Main Report: INGC Climate Change Report. In: ASANTE, K. *et al.* (Eds.). **INGC:** Mozambique. [*S.l.*: *s.n.*], 2009.

O'BRIEN, K.; VOGEL, C. **Coping with Climate Variability-The Use of Seasonal Climate Forecast in Southern Africa**. Grower House Tucson, AZ, USA: Ashgate, 2003. p. 135–150.

PREIN A. F. *et al*. Simulating North American Weather Types With Regional Climate Models. 2019. DOI 10.3389/fenvs.2019.00036.

REASON, C. J. C. Tropical cyclone Dera, the unusual 2000/01 tropical cyclone season in the southwest Indian Ocean and associated rainfall anomalies over Southern Africa. **Meteorol. Atmos. Phys.**, v. 97, p. 181-188. 2007.

Report 2017 – **Irish Aid**: Mozambique Climate Action Report for 2016. Reselience and Economic Inclusion Team. Dispnível em: https://www.irishaid.ie/media/irishaid/allwebsitemedia/30whatwedo/climatechange/Mozambique-Country-Climate-Action-Report-for-2016.pdf Acesso em: 12 nov. 2019.

REVISTA MINERAÇÃO E SUSTENTABILIDADE. 2017. Disponível em: http://revistamineracao.com.br/2017/05/19/vale-inaugura-corredor-logistico-de-nacala. Acesso em: 11 nov. 2019.

ROJAS, O.; AMADE, J. **Estudo Agroclimático da Precipitação e sua Aplicação na Segurança Alimentar**. Maputo, 1996. 27 p.

SAMUELSSON, P. *et al.* The Rossby Centre Regional Climate model RCA3: model description and performance. Tellus 63A, 4e23, 2011. DOI 10.1111/j.1600 0870.2010.00478.x.

SOUZA, E. de; MORAES, B. de, FERREIRA, D.; MEIRA FILHO, L. Dynamical Donwscaling for Railroad Areas in Eastern Amazon and Southeastern Brazil: Current Climate and Near-Future Projections. **Atmospheric and Climate Sciences**, v. 4, p. 155-163. 2014. DOI 10.4236/acs.2014.42018.

TAALAS, P.; WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Mozambique cyclones are "Wake-up call", says WMO.** Disponível em: https://public.wmo.int/en/media/press-release/mozambique-cyclones-are-%E2%80%9Cwake-call%E2%80%9D-says-wmo. Acesso em: 12 out. 2019.

QUEFACE, A.; TADROSS, M. Main report: INGC Climate Change Report: Study on the impact of climate change on disaster risk in Mozambique. [Asante, K., Brito,R., Brundrit, G., Epstein, P., Fernandes, A., Marques, M.R., Mavume, A, Metzger, M., Patt, A., Queface, A., Sanchez del Valle, R., Tadross, M., Brito, R. (eds.)]. INGC, Mozambique, 2009.

UELE, D. I.; LYRA, G. B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. Variabilidade Espacial e Intranual das Chuvas na Região Sul de Moçambique, África Austral. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 473-484. 2017. DOI 10.1590/0102-77863230013.

UELE, D. I. **Variação Temporal e Espacial da Precipitação, sua Relação com o Calendário Agrícola na Região Sul de Moçambique**. 2008. Monografia (Licenciatura em Meteorologia) - Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, 2008.

UELE, D. I.; LYRA, G. B.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. Variabilidade Espacial e Intranual das Chuvas na Região Sul de Moçambique, África Austral. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 473-484. 2017. DOI 10.1590/0102-77863230013.

VAN VUUREN, D. P. *et al.* The representative concentration pathways: An overview. **Climate Change,** v. 109, p. 5-31, 2011. DOI 10.1007/s10584-011-0148-z.