

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS A. C. SIMÕES
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
CURSO DE METEOROLOGIA

MAYARA CHRISTINE CORREIA LINS

**AVALIAÇÃO DOS TIPOS DE ZCIT SOBRE O OCEANO PACÍFICO TROPICAL EM
UM MODELO DE CANAL TROPICAL**

Maceió
2022

MAYARA CHRISTINE CORREIA LINS

**AVALIAÇÃO DOS TIPOS DE ZCIT SOBRE O OCEANO PACÍFICO TROPICAL EM
UM MODELO DE CANAL TROPICAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Atmosféricas - ICAT da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Cristina Lemos da Silva.

Maceió

2022

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

L759a Lins, Mayara Christine Correia.
Avaliação dos tipos de ZCIT sobre o oceano Pacífico Tropical em um modelo de canal tropical / Mayara Christine Correia Lins. – 2022.
40 f. : il.

Orientadora: Maria Cristina Lemos da Silva.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 36-40.

1. Zona de convergência intertropical. 2. *Tropical Channel Model*. 3. *Atmospheric Model Intercomparison Project*. I. Título.

CDU: 551.5

Folha de Aprovação

MAYARA CHRISTINE CORREIA LINS

AVALIAÇÃO DOS TIPOS DE ZCIT SOBRE O OCEANO PACÍFICO TROPICAL EM UM MODELO DE CANAL TROPICAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT da Universidade Federal de Alagoas como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia, aprovada em 27 de dezembro de 2022.

Documento assinado digitalmente
 MARIA CRISTINA LEMOS DA SILVA
Data: 30/12/2022 10:30:30-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

(Orientadora – Dra. Maria Cristina Lemos da Silva
Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT/UFAL)

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 HELBER BARROS GOMES
Data: 30/12/2022 10:26:45-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

(Examinador Interno – Dr. Helber Barros Gomes
Instituto de Ciências Atmosféricas – ICAT/UFAL)

Documento assinado digitalmente
 DIRCEU LUIS HERDIES
Data: 30/12/2022 12:20:41-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

(Examinador Externo – Dr. Dirceu Luis Herdies
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC/INPE)

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente agradeço a Deus por me dar forças nos momentos mais difíceis desta trajetória acadêmica.
- A Profa. Dra. Maria Cristina Lemos da Silva pela orientação, ensinamentos e principalmente por acreditar no meu potencial e sempre estimular a minha evolução.
- Ao Prof. Dr. Helber Barros Gomes, que apesar de não aparecer oficialmente como coorientador, sempre colaborou com diversas sugestões de pesquisa e buscou sempre me incluir nas atividades do laboratório.
- Ao Instituto de Tecnologia da Flórida e ao Dr. Pallav Ray por conceder os dados.
- Aos meus pais, Martha Lúcia e Carlos Alberto, por todo o cuidado durante toda a minha vida.
- Ao meu irmão e minha sobrinha por todo amor e carinho.
- Ao meu namorado, João Vitor, pelo amor, incentivo e paciência.
- Aos professores do ICAT por todos os ensinamos.
- Aos meus amigos da universidade Mário Guilherme, Glenda Cristine, Brenda Neves e Katyelle Ferreira pelo apoio, amizade e colaboração.
- Aos meus amigos de longa data, Marcos Henrique, Inara Querino, Gabriela Farias, Hellysa Peixoto, Layanne Samara e Edson Junior, que permaneceram comigo antes, durante e depois desta caminhada, sempre me ouvindo, aconselhando e apoiando.
- As agências de fomento à pesquisa FAPCAL e CNPq pelo financiamento durante a minha trajetória na iniciação científica.
- Aos funcionários do ICAT por toda a gentileza e paciência.

RESUMO

Simulações da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) usando um *Tropical Channel Model* (TCM) foram avaliadas sob uma perspectiva climatológica. O foco principal da análise é na capacidade do modelo de reproduzir a posição e os distintos padrões espaciais da ZCIT sobre o oceano Pacífico Tropical. O TCM tem como base o modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF), combinando as principais vantagens dos modelos globais e regionais. Esses TCMs são globais na direção zonal, mas com condições de contorno na direção meridional (0°-360°, 34°S-34°N). Desta forma, as simulações TCM podem ter resolução maior do que normalmente em um modelo climático global (MCG). Assim, investigou-se como o modelo TCM-WRF representa os padrões de variabilidade climática da região tropical, em particular a ZCIT sobre o Pacífico tropical, e discutiu-se sua frequência média de ocorrência para cada tipo (por exemplo, Dupla, Equador, Norte, Sul, Fraco e Total). Além disso, foi realizada a mesma avaliação com 16 modelos de circulação geral atmosféricos (MCGAs) da 6ª fase do *Climate Model Intercomparison Project* (CMIP6), que geralmente apresentam baixo desempenho nos trópicos. A resolução horizontal do TCM é de ~100 km, com 41 níveis verticais e topo do modelo a 50 hPa. O TCM foi integrado de 1º de dezembro de 2009 a 31 de dezembro de 2014. A avaliação da simulação TCM-WRF e dos modelos AMIP-ensemble foi realizada contra os dados de precipitação do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP). O modelo TCM apresentou um BIAS positivo, indicando uma superestimação do modelo. Nas análises dos padrões, os três predominantes foram do Norte, Sul e Fraco para o GPCP, apenas os modelos AMIP-ensemble representaram estes padrões de acordo com observado. Enquanto o TCM mostrou a predominância dos padrões do Equador e Total, ao passo que quase não teve casos da Fraca. Além disso, os padrões Norte, Sul e Dupla no modelo TCM mostraram uma representação espacial igual, diferente do GPCP padrão tem sua representação espacial bem definida. Os modelos AMIP-ensemble representaram melhor os padrões e frequência dos padrões da ZCIT. O alto volume de precipitação diária simulado pelo modelo TCM foi crucial na diferença dos casos em comparação ao observado.

Palavras-chave: ZCIT, TCM, AMIP, análise de composição.

ABSTRACT

Simulations of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) using a Tropical Channel Model (TCM) were evaluated from a climatological perspective. The main focus of the analysis is on the model's ability to reproduce the position and the distinct spatial patterns of the ITCZ over the Tropical Pacific Ocean. TCM is based on the Weather Research and Forecasting (WRF) model, combining the main advantages of global and regional models. These TCMs are global in the zonal direction, but with boundary conditions in the meridional Direction (0° - 360° , 34° S- 34° N). In this way, TCM simulations can have higher resolution than normally in a global climate model (GCM). Thus, we investigated how the TCM-WRF model represents the climate variability patterns of the tropical region, in particular the ITCZ over the tropical Pacific, and discussed its average frequency of occurrence for each type (e.g., Dual, Equator, North, South, Weak, and Full). In addition, the same evaluation was performed with 16 atmospheric general circulation models (AGCMs) from the 6th phase of the Climate Model Intercomparison Project (CMIP6), which generally perform poorly in the tropics. The horizontal resolution of the TCM is ~ 100 km, with 41 vertical levels and the top of the model at 50 hPa. The TCM was integrated from December 1, 2009 to December 31, 2014. The evaluation of the TCM-WRF simulation and AMIP-ensemble models was performed against precipitation data from the Global Precipitation Climatology Project (GPCP). The TCM model showed a positive BIAS, indicating an overestimation of the model. In the pattern analyses, the three predominant ones were North, South and Weak for the GPCP, only the AMIP-ensemble models represented these patterns as observed. While the TCM showed the predominance of the Equator and Full patterns, while there were almost no cases of Weak. In addition, the North, South and Double patterns in the TCM model showed an equal spatial representation, different from the standard GPCP, which has a well-defined spatial representation. The AMIP-ensemble models better represented the patterns and frequency of the ITCZ patterns. The high volume of daily precipitation simulated by the TCM model was crucial in the difference between the cases compared to what was observed.

Keywords: ITCZ, TCM, AMIP, composite analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Domínio do TCM.....	17
Figura 2 – Correlação espacial dos modelos AMIP (a) e TCM (b) com o GPCP.....	23
Figura 3 – BIAS da precipitação dos modelos AMIP (a) e TCM (b) com o GPCP.....	24
Figura 4 – Composição da precipitação com a porcentagem média de cada evento e média zonal para a ZCIT Norte do (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.....	25
Figura 5 – Composição da precipitação com a porcentagem média de cada evento e média zonal para a ZCIT Sul do (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.....	26
Figura 6 – Composição da precipitação com a porcentagem média de cada evento e média zonal para a ZCIT Equador do (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.	27
Figura 7 – Composição da precipitação com a porcentagem média de cada evento e média zonal para a ZCIT Dupla do (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.	28
Figura 8 – Composição da precipitação com a porcentagem média de cada evento e média zonal para a ZCIT Total do (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.....	29
Figura 9 – Composição da precipitação com a porcentagem média de cada evento e média zonal para a ZCIT Fraca do (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Média da frequência mensal da ocorrência de ZCIT Norte, Sul e Equador para o (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.	31
Gráfico 2 – Frequência mensal da ocorrência de ZCIT Total, Fraca e Dupla para o (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelos e resolução espacial dos modelos CMIP6 experimento AMIP.	19
Tabela 2 – Parametrizações utilizadas na integração do modelo TCM-WRF.	20
Tabela 3 – Definições dos padrões espaciais da ZCIT.	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMIP	<i>Atmospheric Model Intercomparison Project</i>
BIAS	Erro Médio
CC	Coefficiente de Correlação
CLP	Camada Limite Planetária
CMIP	Coupled Model Intercomparison Project
ERA-interim	<i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis Interim</i>
FIT	<i>Florida Institute of Technology</i>
GPCP	<i>Global Precipitation Climatology Project</i>
MCGA	Modelos de Circulação Geral da Atmosfera
OMJ	Oscilação Madden-Julian
RMSE	Raiz do Erro Quadrático Médio
WCRP	<i>World Climate Research Program</i>
WRF	<i>Weather Research and Forecasting</i>
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3 METODOLOGIA	19
3.1 Dados	19
3.1.1 <i>GPCP</i>	19
3.1.2 <i>AMIP</i>	19
3.2 Metodologia	20
3.2.1 Modelo TCM-WRF	20
3.2.2 Identificação da ZCIT	20
3.2.3 Técnica de composição	21
3.2.4 Validação estatística	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
4.1 Avaliação estatística	23
4.2 Análise dos padrões da ZCIT	24
4.3 Frequência	31
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
5.1 Sugestões de trabalhos futuros	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1 INTRODUÇÃO

A variação e a posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) exercem uma influência significativa nas atividades humanas e econômicas. A depender da sua posição, uma determinada região pode sofrer com secas ou chuvas excessivas, sendo assim muito importante para a economia e, particularmente, para a agricultura, abastecimento, segurança e etc. Os sistemas convectivos organizados dentro da ZCIT fornecem um mecanismo principal de aquecimento para a atmosfera, principalmente através da liberação de calor latente e da interação aprimorada entre radiação e nebulosidade, e fornecem a energia para as circulações atmosféricas tropicais (SCHNEIDER et al., 2014).

Entender o padrão diário espacial da ZCIT possibilita uma determinação aproximada de médias mensais, sazonais e anuais do sistema. Nesse intuito, Chen et al. (2008) avaliaram a ocorrência de 6 padrões diários da ZCIT no pacífico tropical, especificamente no Oeste-central, em um período de 10 anos usando o *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP). O estudo mostrou um maior percentual de ocorrência diária dos padrões Norte, Sul e Fraco, indicando que tal fator pode ser correlacionado com a mudança meridional sazonal da Temperatura da Superfície do Mar em sua fase quente.

Uma ferramenta fundamental para a pesquisa dos sistemas meteorológicos são os Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs). Esses modelos são capazes de representar as características observadas da circulação atmosférica e seus principais processos físicos e dinâmicos. Vários MCGAs evoluíram ao longo dos anos, visando uma melhor representação da atmosfera. Bem como, muitos centros de pesquisa desenvolvem e aprimoram a representação da atmosfera. Projetos, tais como os projetos de intercomparação de modelos, foram desenvolvidos para padronizar as rodados dos diversos modelos, assim possibilitando uma melhor análise do clima ao proporcionar simulações de modelos climáticos numéricos sob as mesmas condições e permitindo a comparação de seus resultados (TOUZÉ-PEIFFER, 2020).

O Atmospheric Model Intercomparison Project (AMIP), iniciado em 1990, foi a primeira tentativa de coordenar a padronização das simulações em diversos centros de pesquisa. Posteriormente diferentes projetos com propostas semelhantes surgiram, entre eles o Coupled Model Intercomparison Project (CMIP), atualmente em sua 6ª fase. Zhou et al. (2020), estudaram as mudanças da recentes e futuras da ZCIT usando os modelos do AMIP e concluíram há uma diferença na ZCIT das simulações futuras e atribuíram este fato aos distintos padrões de aquecimento tropical.

Uma recente alternativa são os *Tropical Channel Models (TCMs)* que são modelos que têm condições de fronteira apenas meridionais (0° - 360° , 34° S- 34° N), assim resolvendo completamente a propagação de ondas tropicais e permitindo a quantificação controlada dos efeitos de distúrbios extratropicais nos trópicos (RAY et al., 2012). A área limitada destes modelos possibilita ter uma maior resolução, assim podendo representar melhor os padrões de variabilidade climática.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é analisar a habilidade do *Tropical Channel Model (TCM)* em simular e representar os tipos de ZCIT sobre a região do Pacífico em comparação com AMIP-ensemble durante o período de 2010 a 2014.

Os objetivos específicos são os seguintes:

- Validar a precipitação espacial simulada do modelo *TCM* através de técnicas de índices estatísticos;
- Comparar a acurácia na representação da estrutura e posição da ZCIT no modelo TCM com o AMIP-ensemble.
- Analisar a frequência dos padrões da ZCIT simulados pelos modelos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A região tropical apresenta diversos sistemas meteorológicos, um dos principais é a ZCIT, que está associado à região de máxima confluência do escoamento das Altas Subtropicais, estando localizada no ramo ascendente da célula de Hadley e exerce um papel importante da circulação geral da atmosfera (REBOITA et al., 2016). Diversas formas de identificação são descritas na literatura, tais como: Temperatura de brilho, análise do vento meridional em baixos níveis, teor de umidade na camada entre 700/850 hPa e água precipitável, omega no nível de 500 hPa e radiação de ondas longas (KRISHNAMURTI et al., 2013).

Nas escalas de tempo sazonais e mensais, a ZCIT é geralmente posicionada mais ao norte do equador. Embora esta persistência ao longo do ano, a ZCIT apresenta um padrão sazonal de migração norte-sul sobre o leste do Pacífico e o Oceano Atlântico, associado ao ciclo solar anual ao longo do ano sobre o Oceano Índico e o Oceano Pacífico centro-oeste. Durante o verão do Hemisfério Norte, a posição da ZCIT se localiza mais ao norte e a sua posição mais ao sul durante o mês de abril (HASTENRATH E HELLER, 1977.; XIE et al. 1996).

Diversos estudos analisaram a ZCIT utilizando as simulações do modelo AMIP (CHAN e EVANS, 2002; LI e XIE, 2014; HWANG e FRIERSON, 2013; STANFIELD et al., 2016). Por exemplo, Hwang e Frierson (2013) justificaram que o problema da ZCIT nos modelos AMIP é devido o viés das nuvens fora dos trópicos. Já Lin e Xie (2014) afirmam que os AMIP simulam um regime de ventos alísios de leste mais fraco o que gera uma ZCIT mais ampla devido ao deslocamento da alta do Pacífico. Em Stanfield et al. (2016), os autores mostraram que a maioria dos modelos AMIP e CMIP tende a simular uma ZCIT mais forte e mais ampla ligeiramente deslocada para o norte em comparação as observações do GPCP e do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), além de superestimar a precipitação.

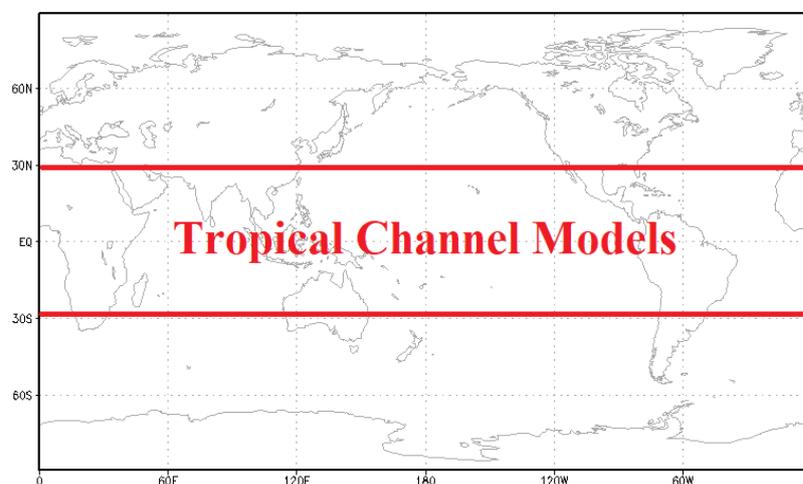
Ray et al. (2012) destaca algumas vantagens do modelo TCM em comparação com modelos regionais e globais. Dentre elas, destaca-se as condições dos modelos regionais, que precisam de condições de contorno em ambas as direções, zonais e meridionais, enquanto o TCM é contínuo na direção zonal (Figura 1), portanto, isola as influências extratropicais e permite a livre navegação dos modos de variabilidade tropicais na direção zonal. Os TCMs que têm núcleos dinâmicos não-hidrostáticos podem ter maior resolução e física mais sofisticada em comparação com GCMs, capturando a organização da convecção tropical em várias escalas e sua influência na circulação geral.

Apesar de todos os benefícios dos TCMs, Ulate et al. (2015) mostrou que o TCM falhou em simular um evento observado de Oscilação Madden-Julian (OMJ). O TCM usado no estudo

teve como base o modelo WRF, seus limites meridionais foram de 25°S-25°N e o período da simulação foi de 20 de outubro até 31 de dezembro de 2009. Dentre seus resultados, eles enfatizaram a dificuldade da previsão da precipitação nas simulações e mesmo com diferentes esquemas de parametrização convectiva. Com isso, os autores usaram técnicas de inserção de vapor d'água para entender se existe grande influência desse método, o resultado foi que o efeito do vapor d'água foi tão considerável que simulou um evento OMJ “fantasma” em um período sem nenhum sinal de OMJ observado. Assim, desenvolveram uma técnica de inserção de vapor d'água que mostrou demonstraram que há um papel crítico das perturbações de vapor d'água em escala planetária na melhora das simulações da OMJ.

Em um estudo mais recente, Hu et al. (2022) analisaram 8 (oito) experimentos com diferentes combinações de esquemas de parametrização cumulus e camada limite planetária (CLP), em simular eventos de OMJ. A conclusão foi que a parametrização convectiva desempenha um papel crucial na simulação OMJ sobre o Oceano Índico, não importa qual CLP seja usado, mas sua combinação com o esquema de CLP é importante para previsão bem sucedida da OMJ no modelo TCM.

Figura 1 – Domínio do TCM.



Fonte: elaborado pela autora (2022)

Alguns estudos avaliaram os padrões diários, mensais e sazonais da ZCIT (CHEN et al., 2008; CARVALHO et al., 2013; TOMAZIELLO et al., 2016). No entanto, uma lacuna muito importante que falta ser avaliada é como os modelos estão representando estes padrões. Uma boa caracterização destes padrões indica uma destreza do modelo na representação da precipitação e conseqüentemente de outras variáveis. No entanto, atualmente, apenas Ray et al.

(2012) avaliou a ZCIT em um TCM, em específico, a ZCIT dupla. Eles mostram que há BIAS na representação da ZCIT, indicando divergência sobre o Equador ao contrário das observações que mostram convergência fraca.

Mitchell e Wallace (1992) e Waliser e Gautier (1993), realizaram estudos importante com base em observações de satélite sobre chuva e nuvens, mostraram que a migração meridional média mensal da ZCIT e a intensidade da ZCIT ao norte e ao sul do equador têm uma forte correlação positiva com o ciclo de aquecimento solar da superfície sobre o centro-oeste do Pacífico. Chen et al. (2008) destaca que as climatologias da ZCIT podem ser aproximadamente determinadas pela frequência e intensidade dos padrões diários da ZCIT dentro de um período especificado. Neste sentido, este estudo avaliou a destreza do modelo TCM na região do Pacífico Tropical, durante o período de 2010 a 2014, na representação dos padrões da ZCIT diária.

3 METODOLOGIA

3.1 Dados

3.1.1 GPCP

Os dados de precipitação do GPCP foram utilizados para validar os resultados dos modelos. O GPCP é desenvolvido pelo *World Climate Research Program* (WCRP) e está disponível desde 1979 até o presente (atualizado regularmente), em escala de tempo diária e mensal com resolução de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ graus. Ele fornece uma análise consistente da precipitação global a partir de uma integração de vários conjuntos de dados de satélite sobre terra e oceano e uma análise de medição sobre terra (XIE et al., 2003; ADLER et., 2012). Essa combinação fornece uma análise da precipitação disponível nos oceanos globais e análises detalhadas da precipitação sobre a terra com incertezas estimadas associadas do produto GPCP. Os dados do GPCP também serão referidos como observado.

3.1.2 AMIP

Para comparar a habilidade do modelo TCM em relação a outros modelos, foram utilizados os produtos diários de precipitação de 16 modelos AMIP (Tabela 1), com resolução espacial variando entre $0.70^\circ \times 0.70^\circ$ e $2.00^\circ \times 1.50^\circ$. Foi construído um ensemble (média das medidas) destes modelos para otimizar as análises. Esta análise é importante, pois em teoria, como o TCM é forçado pelas condições de contorno da reanálise em seus limites meridionais, ele pode capturar as condições atmosféricas observadas melhor do que os modelos AMIP.

Tabela 1 – Modelos e resolução espacial dos modelos CMIP6 experimento AMIP.

Modelo	Resolução	Referência
CESM2	$1.25^\circ \times 0.94^\circ$	Danabasoglu (2019a)
CESM2-WACCM	$1.25^\circ \times 0.94^\circ$	Danabasoglu (2019b)
CESM2-WACCM-FV2	$2.50^\circ \times 1.90^\circ$	Danabasoglu (2019c)
CMCC-CM2-SR5	$1.25^\circ \times 0.94^\circ$	Lovato and Peano (2020)
CAMS-CSM1-0	$1.25^\circ \times 1.21^\circ$	Rong (2019)
EC-Earth3	$0.70^\circ \times 0.70^\circ$	EC-Earth Consortium (2019a)
EC-Earth3-CC	$0.70^\circ \times 0.70^\circ$	EC-Earth Consortium (2019b)
EC-Earth3-Veg	$0.70^\circ \times 0.70^\circ$	EC-Earth Consortium (2019c)
FGOALS-f3-L	$1.25^\circ \times 1.00^\circ$	Yu (2019)
GFDL-CM4	$1.25^\circ \times 1.00^\circ$	Guo, John e Blanton et al. (2020)
GFDL-ESM4	$1.25^\circ \times 1.00^\circ$	Krasting et al. (2018)
INM-CM4-8	$2.00^\circ \times 1.50^\circ$	Volodin et al. (2019a)
INM-CM5-0	$2.00^\circ \times 1.50^\circ$	Volodin et al. (2019b)
MPI-ESM1-2-HR	$0.94^\circ \times 0.94^\circ$	Jungclaus, Bittner e Wieners (2019)
MRI-ESM2-0	$1.125^\circ \times 1.125^\circ$	Yukimoto et al. (2019)
TaiESM1	$1.25^\circ \times 0.94^\circ$	Lee and Liang (2020)

Fonte: elaborado pela autora (2022)

3.2 Metodologia

3.2.1 Modelo TCM-WRF

O modelo TCM utilizado nesse estudo tem como base o modelo regional *Weather Research and Forecasting* - WRF (SKAMAROCK et al., 2008). As simulações do TCM-WRF foram realizadas no *Florida Institute of Technology* (FIT) e compartilhadas com o ICAT/UFAL. Foram usados os dados da reanálise do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts Reanalysis Interim* – ERA-Interim (DEE et al., 2011) como condições iniciais e de contorno. Os dados do TCM são dispostos em uma grade com resolução horizontal de ~100 km, com 41 níveis verticais e topo do modelo a 50 hPa. O modelo foi integrado de 01 de dezembro de 2009 a 31 de dezembro de 2014, no entanto o primeiro mês foi considerado como spin-up. Assim este estudo avaliará o período de 2010 a 2014. As parametrizações físicas configuradas para o processamento do modelo WRF estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Parametrizações utilizadas na integração do modelo TCM-WRF.

Parametrizações	Esquema
Microfísica	WDM 6-class
Convecção	Novo Tiedtke
Radiação de Onda Longa	rrtmg
Radiação de Onda Curta	rrtmg
Superfície	Monin-Obukhov
Solo	Unified Noah land-surface model
Camada Limite Planetária	YSU

Fonte: elaborado pela autora (2022)

3.2.2 Identificação da ZCIT

Para a identificação dos casos diários da ZCIT, foi utilizada a metodologia de Chen et al. (2008). Na metodologia é calculado um “índice de intensidade de precipitação” H com o arquivo binário. Para isso, é fixada a área de 130°L e 150°O e dividido em outras três regiões: uma Norte (4°–10°N), uma Equatorial (4°S–4°N) e uma Sul (4°–10°S), então é calculado e computado a porcentagem de pontos de grade com mais de 25% com precipitação maior ou igual a 10 mm/dia (que é a taxa média de chuva na ZCIT), definimos $H_x = 1$, caso contrário, $H_x = 0$, para cada dia. Onde x são as regiões determinadas anteriormente, podendo ser N, S ou E. A Tabela 3 mostra as definições dos padrões espaciais da ZCIT com diferentes combinações de H_x .

As ZCIT Norte e Sul, ambas computam o $H_E = 1$ ou 0 ao mesmo tempo, sendo diferenciadas em seus H_N e H_S que não opostos, alternando-se seguindo o ciclo solar anual; eles têm um ciclo sazonal bem definido. O Equador representa episódios em que a convecção profunda da ZCIT aparece apenas no equador, em oposição a Dupla que aparece apenas ao norte e ao sul. A Total é o período em que a ZCIT aparece simultaneamente em todas as regiões. Finalmente, a ZCIT fraca é definida como um período em que nenhuma convecção significativa aparece dentro dessas bandas latitudinais sobre o Pacífico tropical.

Tabela 3 – Definições dos padrões espaciais da ZCIT.

Divisão	Norte	Sul	Equador	Dupla	Total	Fraca
H_N	1	0	0	1	1	0
H_E	0 ou 1	0 ou 1	1	0	1	0
H_S	0	1	0	1	1	0

Fonte: adaptado de Chen et al. (2008).

3.2.3 Técnica de composição

Neste trabalho a técnica de composição foi utilizada para investigar os padrões da ZCIT. Esta técnica é muito eficiente para a identificação dos padrões médios e principais características associadas a um determinado fenômeno climático. Sua eficiência depende dos critérios de seleção do fenômeno a ser analisado, os quais devem necessariamente ser bem fundamentados. As composições foram geradas, a partir do acumulado diário, de todas as datas de ocorrência de ZCIT obtidas por meio da metodologia de identificação dos padrões da ZCIT descrita na seção 3.2.2.

3.2.4 Validação estatística

A validação do modelo TCM foi conduzida através de um índice de destreza determinístico a partir da comparação direta de valores observados e simulado. Para uma comparação coerente, todos os dados foram interpolados para a grade do GPCP.

1) Erro Médio (BIAS)

O Erro Médio é o erro sistemático ou tendencioso entre o modelo e o observado. O cálculo espacial do BIAS forneceu mapas com as diferenças entre os valores de precipitação média dos modelos TCM e AMIP-ensemble (X_s) e o observador GPCP (X_o), onde i representa o índice do ponto de grade e n o número total de pontos avaliados

(Eq. 1). Valores de BIAS positivos indicam que a previsão do modelo foi maior que do observado e o oposto acontece com resultados negativos (WILKS, 2011).

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{Si} - x_{Oi})}{n} \quad (1)$$

2) Coeficiente de Correlação (CC)

O coeficiente de correlação espacial mede o grau de relação entre as variáveis do modelo e observada. Seu cálculo é feito a parte correlação em cada ponto de grade para todos os tempos das duas variáveis (Eq. 2). O CC varia entre -1 e 1, sendo uma correlação direta quando positivo e inversa quando negativo (WILKS, 2011).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{Si} - \bar{x}_S)(x_{Oi} - \bar{x}_O)}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_{Si} - \bar{x}_S)^2) \sum_{i=1}^n (x_{Oi} - \bar{x}_O)^2}} \quad (2)$$

Onde \bar{x} é a média na área, calculado como:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

3) Raiz do Quadrado do Erro Quadrático Médio (RMSE)

O RMSE é usado para a verificação da acurácia de um determinado parâmetro, ou seja, neste trabalho verificou o grau de exatidão dos modelos. Onde que zero é a indicação de uma “simulação perfeita”, sendo assim, valores próximos ao zero é uma indicação de menor erro. Para o cálculo do RMSE, primeiro calculou-se o RMSE para cada tempo de análise e, em seguida, realizou-se uma média em toda o período de análise (WILKS, 2011).

O RMSE foi calculado através da equação 4:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_S - x_O)}{n}} \quad (4)$$

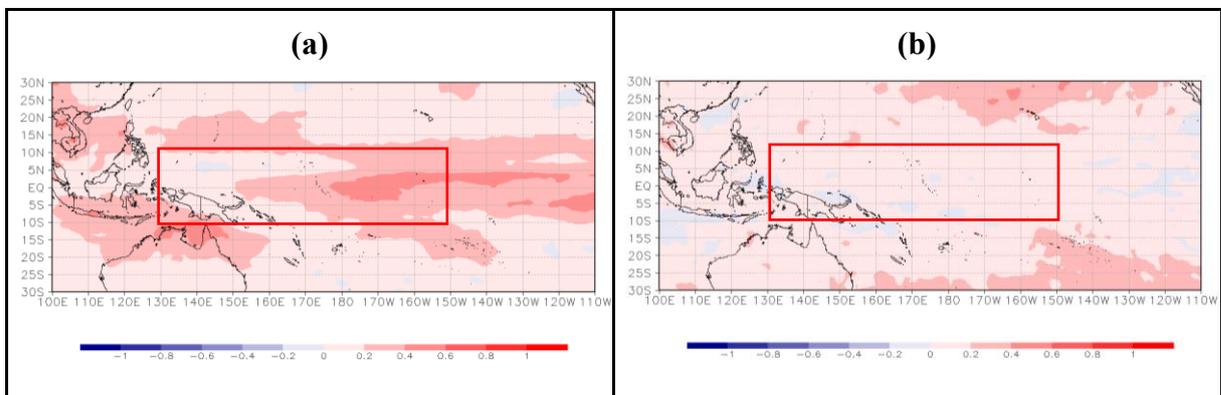
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos neste estudo referentes a avaliação dos modelos, composição espacial da precipitação para todos os padrões de ZCIT e frequência dos casos.

4.1 Avaliação estatística

A Figura 2 mostra a correlação espacial dos modelos AMIP (Fig. 2a) e TCM (Fig. 2b). Apesar do cálculo abranger todos os pontos de grade, será analisado apenas o domínio proposto no trabalho, representado em vermelho. Observa-se que o modelo AMIP apresenta correlações positivas com o observado entre 0.2 e 0.6, por outro lado, o TCM teve suas correlações entre 0 e 0.2, indicando um menor grau de associação entre a precipitação prevista do TCM e do observado. No entanto, só o CC espacial não é suficiente para avaliar a destreza do modelo.

Figura 2 – Correlação espacial dos modelos AMIP (a) e TCM (b) com o GPCP.

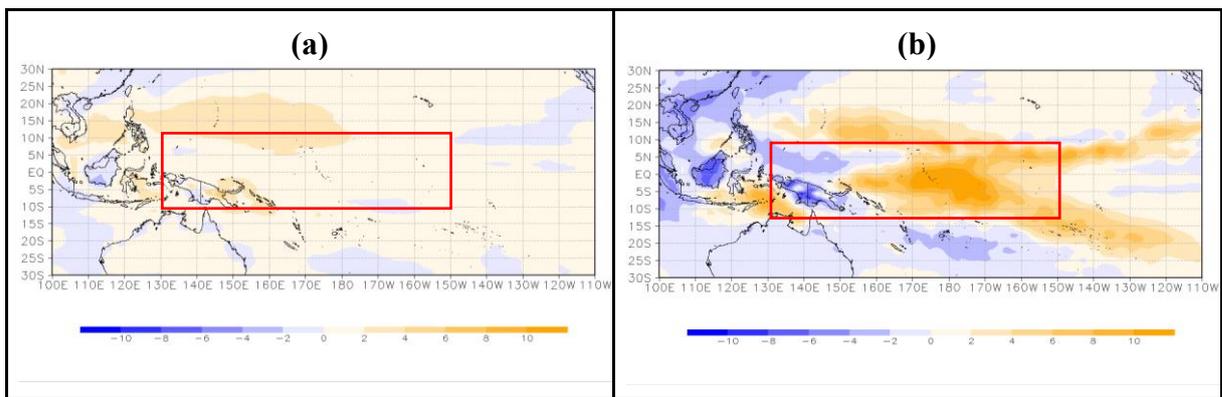


Fonte: elaborado pela autora (2022)

O RMSE foi calculado para todo o domínio do trabalho (130°L - 150°O , 10°N - 10°S). O modelo TCM obteve um RMSE de 8.6 mm/dia, enquanto que o AMIP-ensemble é de 5.9 mm/dia. O valor do RMSE do AMIP-ensemble foi mais próximo de zero, o que indica que para este parâmetro a magnitude do erro é menor do que no TCM. Esta diferença nos valores RMSE dos dois modelos causa uma maior divergência na representação dos padrões da ZCIT. A Figura 3 ilustra o BIAS da precipitação para os modelos AMIP (Fig. 3a) e TCM (Fig. 3b). Apesar do cálculo abranger todos os pontos de grade, será analisado apenas o domínio proposto no trabalho. Dessa forma, percebe-se que valores do BIAS para o TCM entre 130°L e 160°O é

muito superior ao do AMIP-ensemble, indicando que o TCM tende a simular maiores quantidades de precipitação nessa faixa. Assim, o modelo TCM superestima os valores de precipitação na região do pacífico oeste-central, enquanto que subestima a região do pacífico leste-central. Resultado similar foi encontrado em Ray et al. (2012), onde o modelo superestimou a precipitação no oeste do Pacífico. Observa-se que o padrão espacial do AMIP-ensemble é melhor, assim como o RMSE e as correlações.

Figura 3 – BIAS da precipitação dos modelos AMIP (a) e TCM (b) com o GPCP.

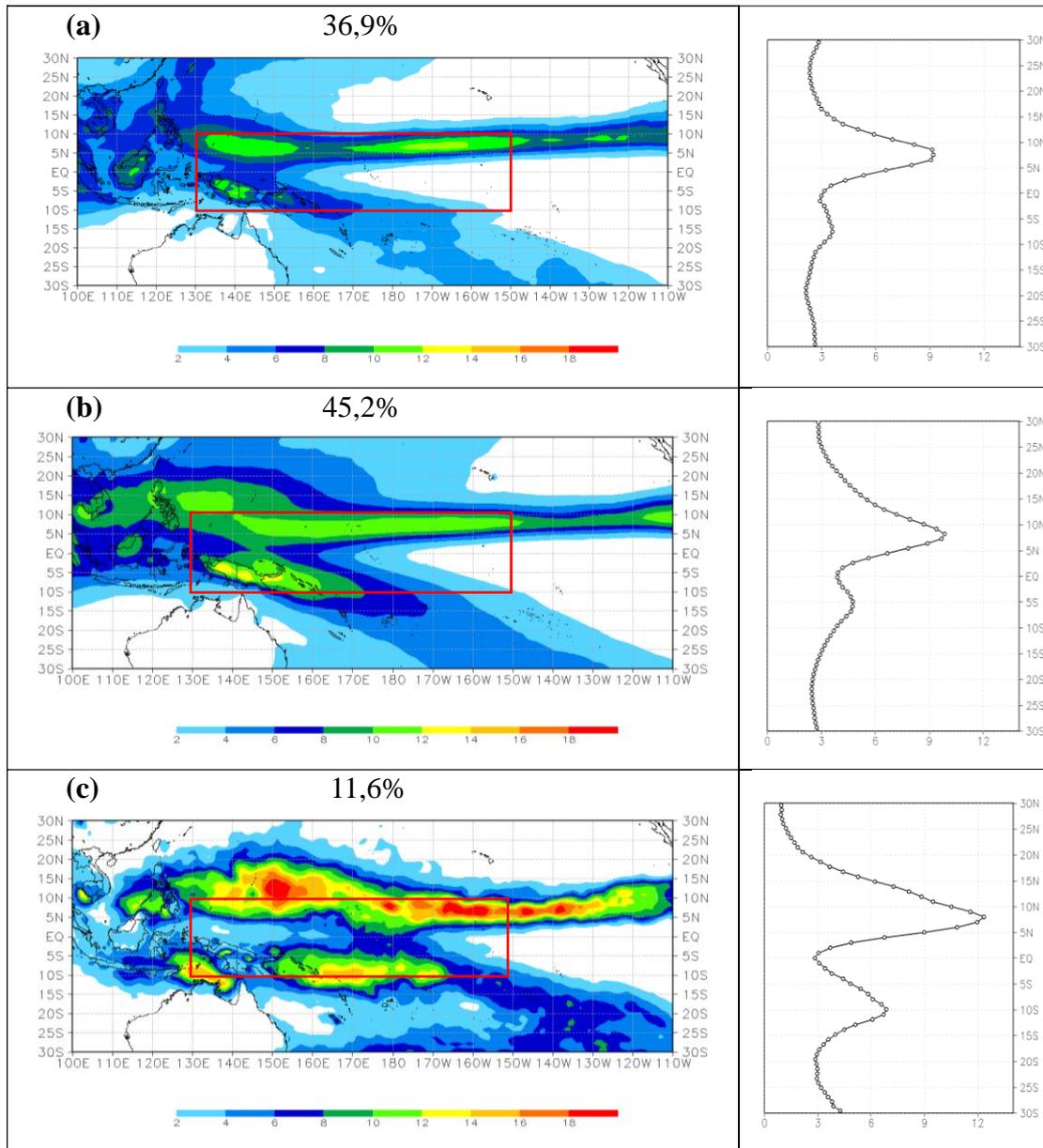


Fonte: elaborado pela autora (2022)

4.2 Análise dos padrões da ZCIT

A Figura 4 apresenta a composição da precipitação e média zonal para o padrão Norte da ZCIT para os dados observados e modelos. Observa-se que AMIP-ensemble representou melhor a característica espacial da ZCIT Norte, no entanto teve um núcleo mais acentuado entre o Equador geográfico e 10°S. O modelo TCM mostra uma ZCIT descolada mais ao Norte e mais intensa do que o observado. Além disso, um destaque é que modelo TCM simula uma pequena faixa mais ao sul, sendo confundida com uma ZCIT dupla. Com a média zonal observa-se com maior clareza a diferença da simulação do TCM com GPCP, obtendo máximos de entre 9 e 10 mm/dia no GPCP e AMIP-ensemble, enquanto que o TCM simulado um pouco mais de 12 mm/dia em aproximadamente 7°N.

Figura 4 – Composição da precipitação com a porcentagem média de cada evento e média zonal para a ZCIT Norte do (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.

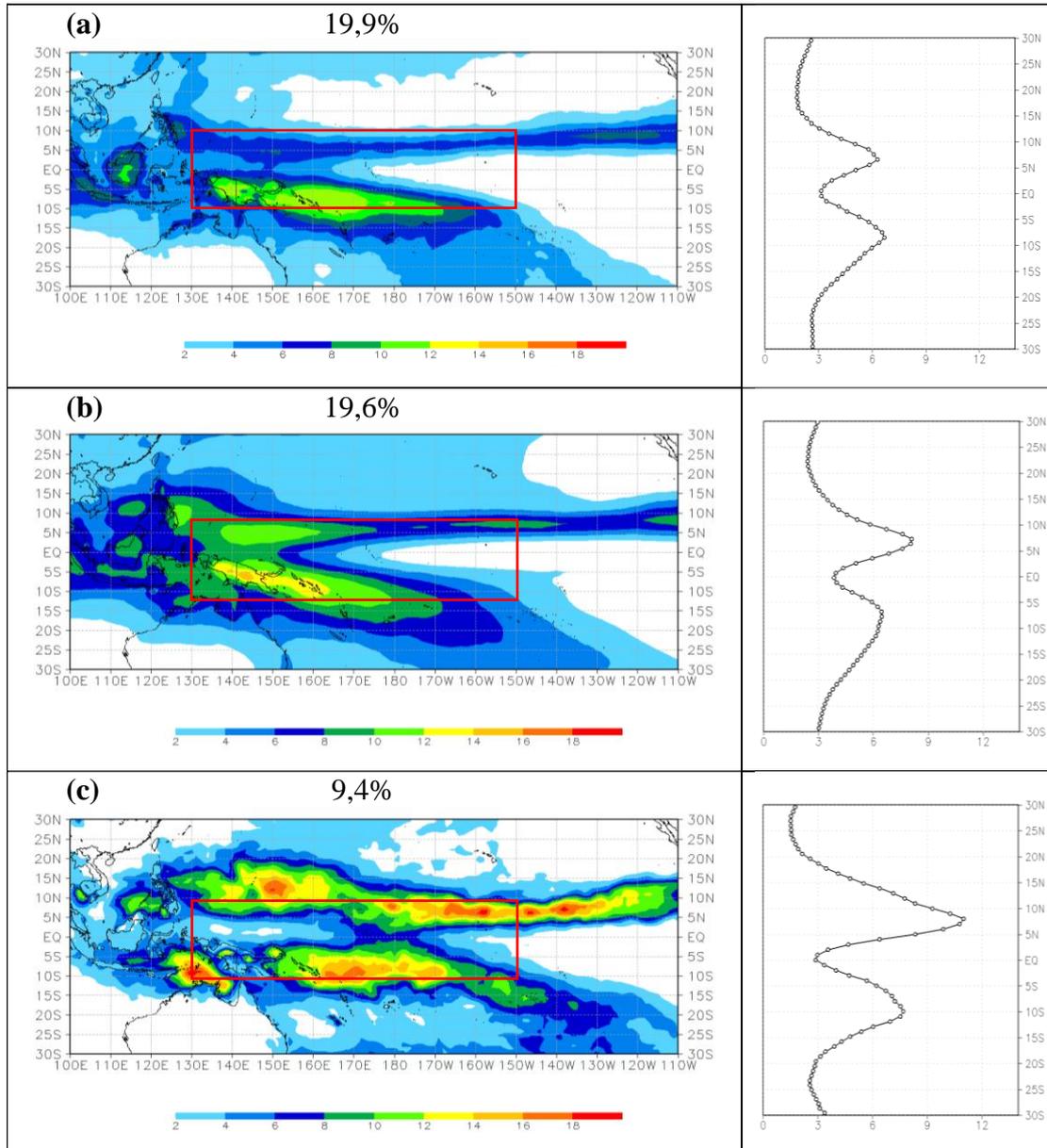


Fonte: elaborado pela autora (2022)

A Figura 5 apresenta a composição da precipitação e média zonal para o padrão Sul da ZCIT para os dados observados e modelos. Para a composição da ZCIT Sul, nota-se que o TCM simulou um padrão similar a ZCIT Norte, diferindo apenas na intensidade na faixa mais ao sul (5°S-10°S). Desta forma, divergindo a posição e a intensidade em comparação com o observado, visto que no observado (Figura 5a) mostra uma intensidade muito menor na precipitação (5°N-10°N). Para o modelo AMIP-ensemble (Figura 5b), nota-se que também foi simulado um núcleo mais ao norte. A média zonal, que se encontra no lado direito da Figura 5, indica uma precipitação máxima de pouco mais de 6 mm/dia no observado e no AMIP-ensemble, enquanto

que no TCM 8 mm/dia nas latitudes 5°S-10°S. Enquanto que entre 5°N-10°N apresenta máximos de 6 mm/dia, 8,5 mm/dia e 10,5 mm/dia para o observado, AMIP-ensemble e TCM, respectivamente.

Figura 5 – Composição da precipitação com a porcentagem média de cada evento e média zonal para a ZCIT Sul do (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.

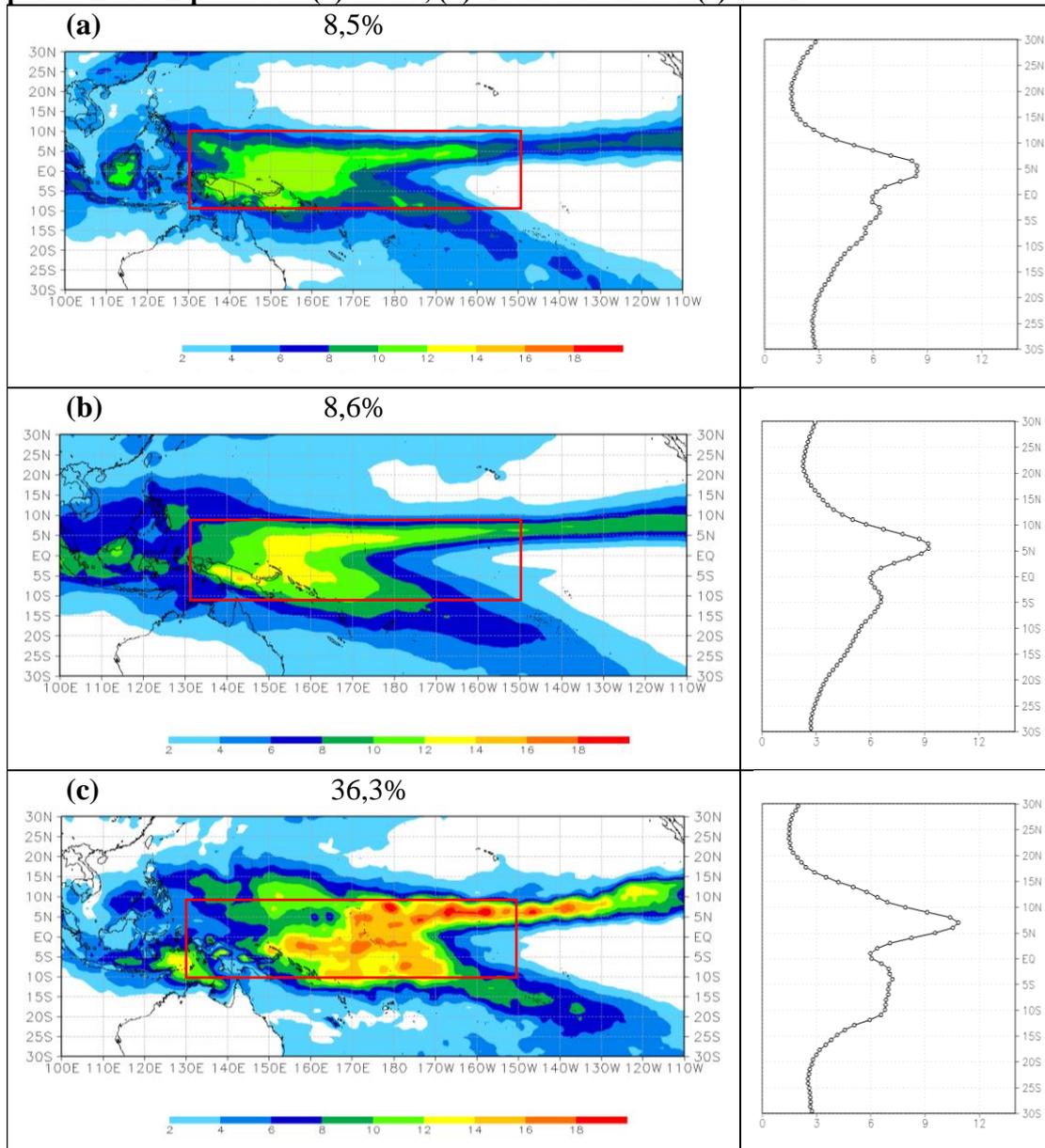


Fonte: elaborado pela autora (2022)

A ZCIT Equador é bem menos frequente do que as tipo Norte e Sul, obtendo 8,5% do total de número de dias. No entanto, observa-se que no modelo TCM houve uma inversão do padrão, com 36,3% dos casos do padrão do Equador, mostrando uma frequência diferente da encontra em Chen et al. (2008). Apesar disto, tanto o TCM quanto o AMIP-ensemble

representam o padrão espacial, diferenciando-se no volume diário que é maior nos modelos e do TCM deslocar mais para 150° oeste. O pico máximo de precipitação no ultrapassa os 9 mm diários entre 10°N e 5°N no TCM. Enquanto que no observador do GPCP esse pico é menor que 9 mm/dia e se localiza entre 6°N e 4°N. (Figura 6a-c).

Figura 6 – Composição da precipitação com a porcentagem média de cada evento e média zonal para a ZCIT Equador do (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.

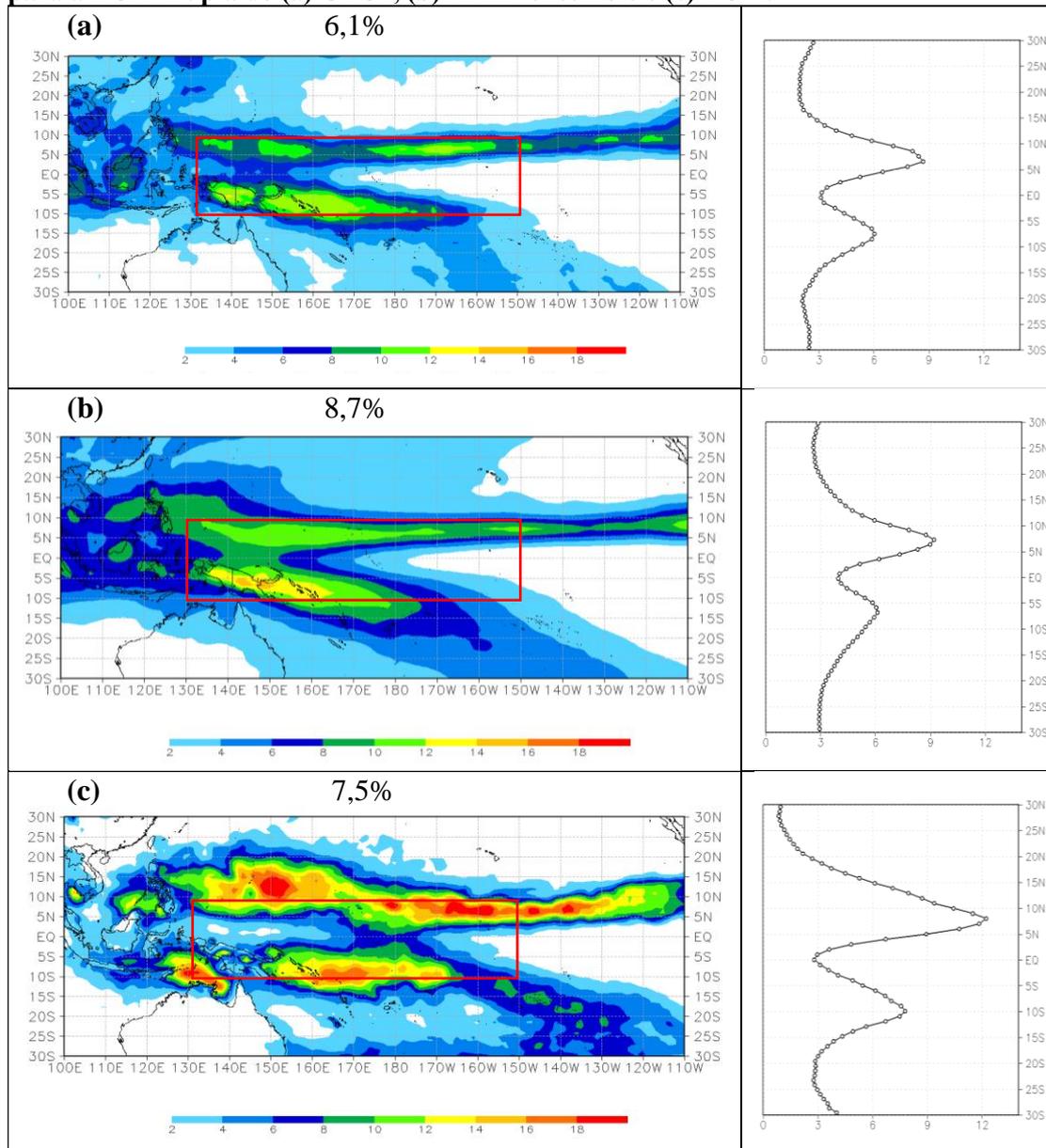


Fonte: elaborado pela autora (2022)

Lin (2007) investigou o problema da ZCIT dupla em 22 MCGAs acoplados e 12 modelos AMIP e descobriu que a maioria das simulações de modelos apresentava precipitação excessiva fora do equador, mas precipitação insuficiente no equador. Nos resultados

encontrados do padrão da ZCIT dupla nos modelos AMIP não é claro está diferença indicada por Lin 2007. Ao contrário, o padrão foi representado satisfatoriamente, mas com uma precipitação mais expressiva na faixa do equador. Além disso, como já discutido anteriormente, o maior volume de precipitação no modelo TCM ilustrou uma ZCIT dupla bem mais evidenciado e intenso, com precipitações diárias de até 12 mm/dia (Figura 7a-c).

Figura 7 – Composição da precipitação com a porcentagem média de cada evento e média zonal para a ZCIT Dupla do (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.

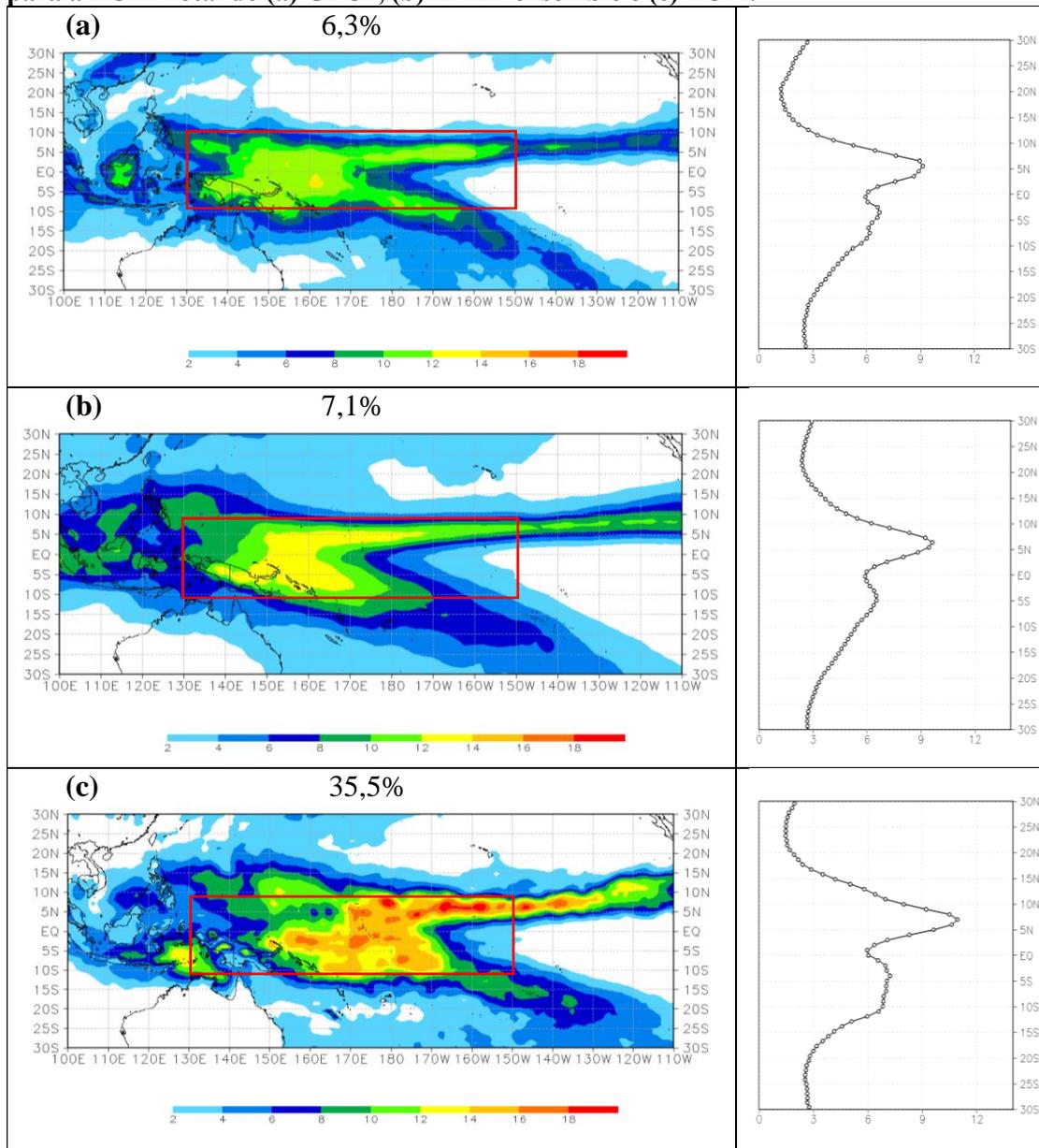


Fonte: elaborado pela autora (2022)

Para a ZCIT Total, a uma intensa precipitação cobre uma ampla faixa equatorial entre 8°S e 8°N no Pacífico ocidental. Observa-se também que no leste do Pacífico ocidental, a precipitação diminui gradualmente e se divide em dois ramos, norte e sul, de chuva fora do

equador. No TCM, os ramos norte e sul chegam a alcançar, respectivamente, aproximadamente 13 mm/dia e 8 mm/dia. Este padrão de ramificação depois de 170°L também mostrado nos resultados de Chen et al. (2008). Apesar do padrão espacial ter sido bem reproduzido pelos modelos, a média zonal do TCM registrou uma precipitação diária de 11 mm/dia, em contraponto com os 9 mm/dia registrado no observado e no AMIP-ensemble. Além de que seu ponto de ramificação começa próximo de 170°O, diferente do observado que é na faixa de 170°L.

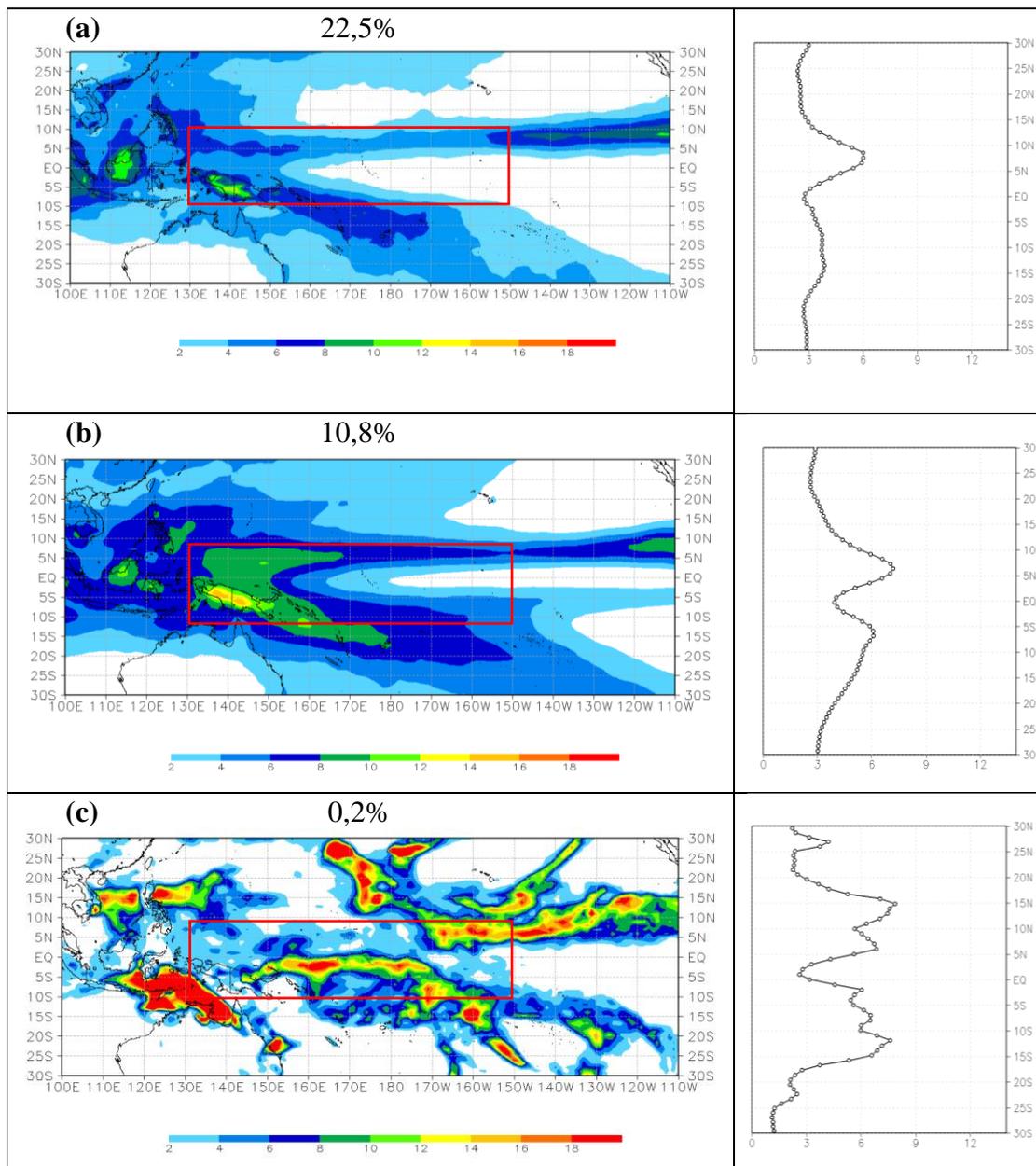
Figura 8 – Composição da precipitação com a porcentagem média de cada evento e média zonal para a ZCIT Total do (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.



Fonte: elaborado pela autora (2022)

Os resultados do AMIP-ensemble corroboram com citado por Chen et al. (2008), em que os padrões norte, sul e fracas representam os três principais padrões diários de ZCIT no Pacífico centro-oeste. Apesar de uma diferença de quase 12% na frequência ZCIT fraca entre o GPCP e o AMIP-ensemble, o modelo representa o padrão espacial, ao contrário do TCM que quase não teve casos de ZCIT fraca e apresentou uma composição espacial completamente diferente do observado (Figura 9).

Figura 9 – Composição da precipitação com a porcentagem média de cada evento e média zonal para a ZCIT Fraca do (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.



Fonte: elaborado pela autora (2022)

4.3 Frequência

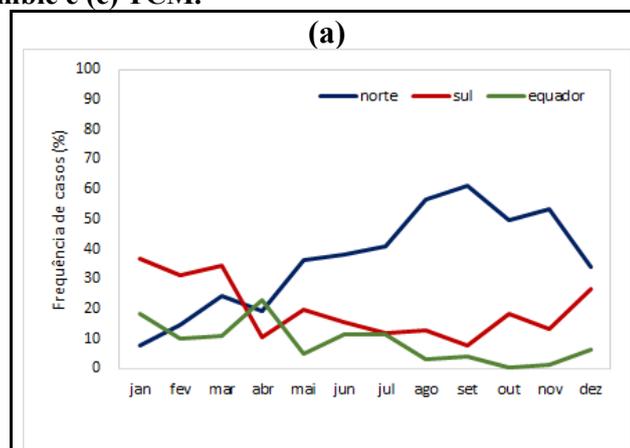
Os gráficos 1 e 2 mostram as médias das frequências mensais das ocorrências dos padrões de ZCIT. No Gráfico 1, que mostra os padrões norte, sul e equador, é possível ver uma forte variabilidade sazonal no observado. Como esperado, os padrões predominantes norte e sul da ZCIT ocorrem em seus próprios verões, com um intervalo de tempo de 1 ou 2 meses após a marcha anual do sol, assim como os resultados de Chen et al. (2008).

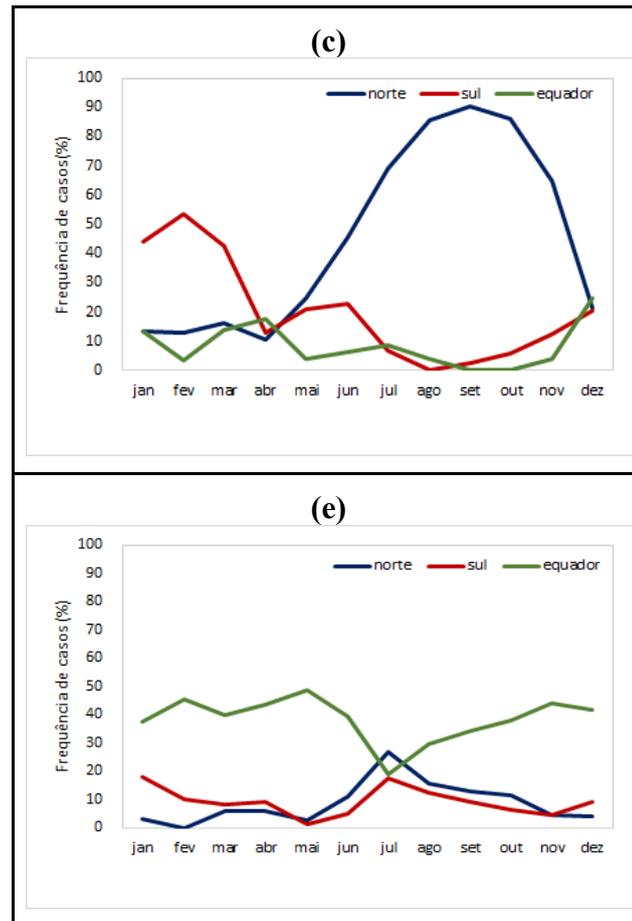
A ZCIT Norte tem a maior frequência de ocorrência em setembro (61%) e tem sua menor frequência em janeiro com menos de 10%. Começando em março, o ZCIT Norte começa a diminuir sua frequência de ocorrência mês a mês, e eventualmente encerra um ciclo sazonal e diminuindo. O oposto acontece com a ZCIT Sul que em janeiro tem quase 40% de ocorrência e menos de 10% em setembro. Esse padrão nas chuvas corrobora com o descrito em outros estudos como Mitchell e Wallace (1992), Xie (2004) e Chen et al. (2008).

A variabilidade sazonal entre os tipos de ZCIT Norte e Sul foi representada no AMIP-ensemble, contudo com uma intensidade muito maior. Por exemplo, a ZCIT Norte em setembro foi quase 90% e praticamente não foram identificados casos na ZCIT Norte para o mesmo mês. Houve também uma diferença no mês com maiores casos de ZCIT Sul simulados pelo AMIP-ensemble, onde o mês de fevereiro correspondeu mais de 50% dos casos.

Como visto nas análises da composição espacial, o modelo TCM obteve um maior número de eventos do padrão Equador, ao contrário do GPCP. Com o Gráfico 1 é possível observar melhor a diferença da frequência entre o GPCP e o TCM, bem como o percentual de casos para cada mês simulado da ZCIT Equador. É interessante notar que a frequência do padrão o Equador é alto durante janeiro e maio, até que diminui até o seu menor em julho (19%) e volta a aumentar logo no próximo mês.

Gráfico 1 – Média da frequência mensal da ocorrência de ZCIT Norte, Sul e Equador para o (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.



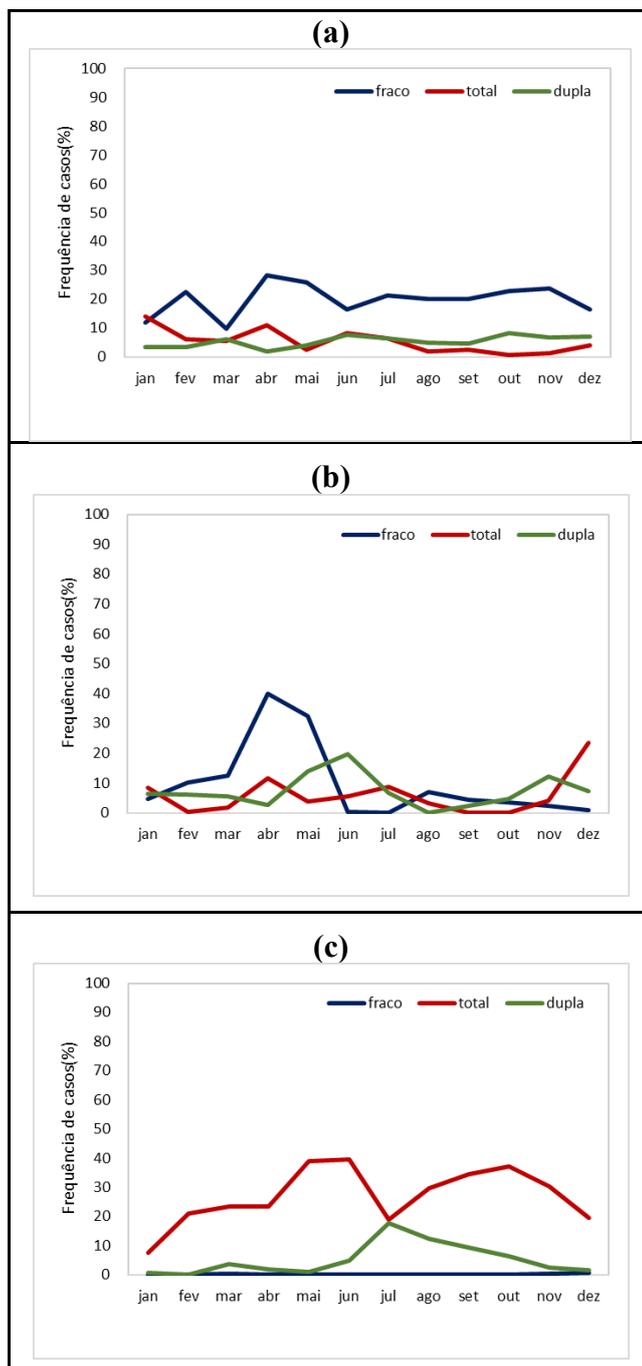


Fonte: elaborado pela autora (2022)

No Gráfico 2c mostra que o modelo TCM teve maiores frequências para o padrão da ZCIT Total. Tendo em vista que o modelo simulou grandes volumes de precipitação diários, entende-se o destaque da ZCIT Total, pois para ser caracterizada como Total foi necessário ter precipitação maiores ou iguais a 10 mm/dia em mais de 25% dos pontos de grade. Nota-se que há uma similaridade entre o padrão simulado pelo TCM da ZCIT Equador e o da ZCIT Total, onde acontece uma diminuição significativa no mês de julho e logo volta a crescer em agosto.

O AMIP-ensemble mostra uma maior frequência (43%) em comparação com o GPCP (32%) em abril para o padrão fraco. Outros picos de frequência são destacados no AMIP-ensemble, são eles: maio e junho no padrão de dupla ZCIT, dezembro na ZCIT Total e o pico de diminuição na ZCIT fraca entre junho e julho. O padrão que se destacou por diferenciar do observado e previsto pelos modelos AMIP, foi a ZCIT fraca que o modelo TCM basicamente não registrou a ocorrência.

Gráfico 2 – Frequência mensal da ocorrência de ZCIT Total, Fraca e Dupla para o (a) GPCP, (b) AMIP-ensemble e (c) TCM.



Fonte: elaborado pela autora (2022)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ZCIT é um sistema de grande escala com um alto índice de precipitação nas proximidades da faixa equatorial de fundamental importância. Como proposto inicialmente, o presente estudo teve como objetivo avaliar a destreza de um modelo tropical de canal (TCM), que é descrito como um modelo com um domínio global na direção zonal, mas com limites na direção meridional, em representar os padrões de ZCIT. Bem como, analisar este modelo também com o conjunto de dados (ensemble) dos modelos. Os dados de precipitação do GPCP foram usados como observado neste estudo. Para esta investigação foram adotados 6 padrões da ZCIT: Norte, Sul, Equador, Fraco, Total e Dupla, proposto por Chen et al. (2008).

Os resultados das frequências totais para cada padrão foi:

- GPCP - Norte (36,9%), Sul (19,9%), Equador (8,5%), Fraco (22,5%), Total (6,3%) e dupla (6,1%)
- TCM - Norte (11,6%), Sul (9,4%), Equador (36,3%), Fraco (0,2%), Total (35,5%) e dupla (7,5%)
- AMIP - Norte (45,2%), Sul (19,6%), Equador (8,6%), Fraco (10,8%), Total (7,1%) e dupla (8,73%)

Assim, os padrões Norte, Sul e Fraco da ZCIT mostram ser os principais padrões tanto no observador quanto para o modelo AMIP-ensemble, combinados, representam quase 76% do número total de dias. No entanto, o modelo TCM obteve apenas 0,2% de frequência para o padrão fraco, sendo totalmente oposto ao GPCP que mais de 22% dos dias são deste padrão. O alto volume de precipitação no modelo é diretamente ligado a este resultado.

Os outros três padrões Fraco, Total e Dupla não ocorrem com na mesma proporção como mostrado pelo GPCP. A hipótese é que o grande volume de precipitação nas simulações do TCM ocasionou uma diferença desse padrão e mostrou uma maior ocorrência da ZCIT Total com 35% de casos simulados. A correlação espacial para o domínio do estudo foi de 0.2 a 0.6 e 0 a 0.2, o BIAS foi entre 0 a 3 mm/dia e 5 a 10 mm/dia, e o RMSE foi de 5.9 mm/dia e 8.6 mm/dia, respectivamente para o AMIP-ensemble e TCM. As combinações das análises estatísticas mostram que de acordo com estes parâmetros a precipitação do AMIP-ensemble se assemelha mais com o observado.

A superestimação da precipitação no modelo TCM resultou em uma divergência nos padrões da ZCIT do Equador e Fraca em comparação ao observado. O maior valor de precipitação do TCM afetou diretamente na metodologia aplicada para identificação dos padrões. No entanto, isto não significa que o modelo TCM tenha uma péssima destreza. Outras

simulações, com diferentes esquemas de parametrização, podem mostrar um resultado diferente na representação da ZCIT pelo TCM no pacífico.

5.1 Sugestões de trabalhos futuros

Sugere-se alguns trabalhos futuros para complementar e entender melhor o funcionamento da ZCIT:

- Avaliar a associação da anomalia da TSM e convergência do vento de superfície nos modelos TCM e AMIP.
- Teste com os oceanos Atlântico e Índico para verificar se há melhoras na representação dos padrões da ZCIT em diferentes regiões.
- Simulações do modelo TCM com diferentes parametrizações para estimar se há possíveis melhoras na superestimação da precipitação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, Robert F.; GU, Guojun; HUFFMAN, George J. Estimating climatological bias errors for the Global Precipitation Climatology Project (GPCP). **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 51, n. 1, p. 84-99, 2012.

CARVALHO, Miguel Ângelo Vargas de; OYAMA, Marcos Daisuke. Variabilidade da largura e intensidade da Zona de Convergência Intertropical atlântica: Aspectos observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, p. 305-316, 2013.

CHAN, S. C.; EVANS, Jenni L. Comparison of the structure of the ITCZ in the west Pacific during the boreal summers of 1989–93 using AMIP simulations and ECMWF reanalysis. **Journal of climate**, v. 15, n. 24, p. 3549-3568, 2002.

CHEN, Baode; LIN, Xin; BACMEISTER, Julio T. Frequency distribution of daily ITCZ patterns over the western–central Pacific. **Journal of Climate**, v. 21, n. 17, p. 4207-4222, 2008.

DANABASOGLU, G. NCAR CESM2-WACCM-FV2 model output prepared for CMIP6 amip. **Earth System Grid Federation**, v. 11298, 2019.

DANABASOGLU, Gokhan et al. NCAR CESM2 model output prepared for CMIP6 amip. **Earth System Grid Federation, Version**, v. 20190912, p. 485, 2019a.

DANABASOGLU, Gokhan et al. NCAR CESM2 model output prepared for CMIP6 amip. **Earth System Grid Federation, Version**, v. 20190912, p. 485, 2019b.

DEE, Dick P. et al. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. **Quarterly Journal of the royal meteorological society**, v. 137, n. 656, p. 553-597, 2011.

EARTH, E. C. EC-Earth-Consortium EC-Earth3 model output prepared for CMIP6 amip. **Earth System Grid Federation**, 2019a.

EARTH, E. C. EC-Earth-Consortium EC-Earth3-CC model output prepared for CMIP6

amip. **Earth System Grid Federation**, 2019b.

EARTH, E. C. EC-Earth-Consortium EC-Earth3-Veg model output prepared for CMIP6 amip. **Earth System Grid Federation**, 2019c.

GUO, Huan et al. Noaa-gfdl gfdl-cm4 model output prepared for CMIP6 amip. **Earth System Grid Federation**, 2018.

HASTENRATH, Stefan; HELLER, Leon. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, n. 435, p. 77-92, 1977.

HU, Yun et al. Forecasts of MJO during DYNAMO in a coupled tropical channel model, Part I: Impact of parameterization schemes. **International Journal of Climatology**, 2022.

HWANG, Yen-Ting; FRIERSON, Dargan MW. Link between the double-Intertropical Convergence Zone problem and cloud biases over the Southern Ocean. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 13, p. 4935-4940, 2013.

JUNGCLAUS, J. et al. MPI-M MPI-ESM1. 2-HR model output prepared for CMIP6 CMIP amip. **Earth System Grid Federation**, doi, v. 10, 2019.

KRASTING, J. P. et al. NOAA-GFDL GFDL-ESM4 model output prepared for CMIP6 amip, **Earth System Grid Federation**. 2018.

KRISHNAMURTI, Tiruvalam Natarajan; STEFANOVA, Lydia; MISRA, Vasubandhu. **Tropical meteorology**. Secretariat of the World Meteorological Organization, 1979.

LEE, W. L.; LIANG, H. C. AS-RCEC TaiESM1. 0 model output prepared for CMIP6 amip, **Earth System Grid Federation**. 2020.

LI, Gen; XIE, Shang-Ping. Tropical biases in CMIP5 multimodel ensemble: The excessive equatorial Pacific cold tongue and double ITCZ problems. **Journal of Climate**, v. 27, n. 4, p. 1765-1780, 2014.

LIN, Jia-Lin. The double-ITCZ problem in IPCC AR4 coupled GCMs: Ocean–atmosphere feedback analysis. **Journal of Climate**, v. 20, n. 18, p. 4497-4525, 2007.

LOVATO, T.; PEANO, D. CMCC CMCC-CM2-SR5 model output prepared for CMIP6 amip. **Earth System Grid Federation**, 2020.

MITCHELL, Todd P.; WALLACE, John M. The annual cycle in equatorial convection and sea surface temperature. **Journal of Climate**, v. 5, n. 10, p. 1140-1156, 1992.

RAY, Pallav et al. Role of the atmospheric mean state on the initiation of the Madden-Julian oscillation in a tropical channel model. **Climate dynamics**, v. 36, n. 1, p. 161-184, 2011.

RAY, Pallav et al. Tropical channel model. **Climate models**, v. 3, p. 18, 2012.

REBOITA, Michelle Simões et al. Causas da semi-aridez do Sertão nordestino. **Revista brasileira de Climatologia**, v. 19, 2016.

RONG, X. CAMS CAMS_CSM1.0 model output prepared for CMIP6 amip. **Earth System Grid Federation, version**, v. 20190729, p. 645, 2019.

SCHNEIDER, Tapio; BISCHOFF, Tobias; HAUG, Gerald H. Migrations and dynamics of the intertropical convergence zone. **nature**, v. 513, n. 7516, p. 45-53, 2014.

SKAMAROCK, William C.; KLEMP, Joseph B. A time-split nonhydrostatic atmospheric model for weather research and forecasting applications. **Journal of computational physics**, v. 227, n. 7, p. 3465-3485, 2008.

STANFIELD, Ryan E. et al. A quantitative assessment of precipitation associated with the ITCZ in the CMIP5 GCM simulations. **Climate Dynamics**, v. 47, n. 5, p. 1863-1880, 2016.

TOMAZIELLO, Ana Carolina Nóbile; CARVALHO, Leila; GANDU, Adilson W. Intraseasonal variability of the Atlantic Intertropical Convergence Zone during austral summer and winter. **Climate Dynamics**, v. 47, n. 5, p. 1717-1733, 2016.

TOUZÉ-PEIFFER, Ludovic; BARBEROUSSE, Anouk; LE TREUT, Hervé. The Coupled Model Intercomparison Project: History, uses, and structural effects on climate research. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 11, n. 4, p. e648, 2020.

ULATE, Marcela; ZHANG, Chidong; DUDHIA, Jimy. Role of water vapor and convection-circulation decoupling in MJO simulations by a tropical channel model. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 7, n. 2, p. 692-711, 2015.

VOLODIN, E. et al. INM INM-CM4-8 model output prepared for CMIP6 amip. **Earth System Grid Federation**. 2019.

VOLODIN, E. et al. INM INM-CM5-0 model output prepared for CMIP6 amip. **Earth System Grid Federation**. 2019b.

WALISER, Duane E.; GAUTIER, Catherine. A satellite-derived climatology of the ITCZ. **Journal of climate**, v. 6, n. 11, p. 2162-2174, 1993.

WILKS, Daniel S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. Academic press, 2011.

WODZICKI, K. R.; RAPP, A. D. Long-term characterization of the Pacific ITCZ using TRMM, GPCP, and ERA-Interim. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 121, n. 7, p. 3153-3170, 2016.

XIE, Pingping et al. GPCP pentad precipitation analyses: An experimental dataset based on gauge observations and satellite estimates. **Journal of Climate**, v. 16, n. 13, p. 2197-2214, 2003.

XIE, Shang-Ping. Effects of seasonal solar forcing on latitudinal asymmetry of the ITCZ. **Journal of climate**, v. 9, n. 11, p. 2945-2950, 1996.

XIE, Shang-Ping. The shape of continents, air-sea interaction, and the rising branch of the Hadley circulation. In: **The Hadley Circulation: Present, Past and Future**. Springer, Dordrecht, 2004. p. 121-152.

YU, Y. CAS. FGOALS-f3-L model output prepared for CMIP6 amip. **Earth System Grid**

Federation, 2019.

YUKIMOTO, Seiji et al. MRI MRI-ESM2. 0 model output prepared for CMIP6 amip **Earth System Grid Federation**, v. 10, 2019.

ZHOU, Wenyu et al. Contrasting recent and future ITCZ changes from distinct tropical warming patterns. **Geophysical Research Letters**, v. 47, n. 22, p. e2020GL089846, 2020.