



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA



ISMAEL GUIDSON FARIAS DE FREITAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Análise das previsões mensais de precipitação sobre a América do Sul
utilizando o modelo climático regional- RegCM4.6.2**

Maceió – AL

2019

ISMAEL GUIDSON FARIAS DE FREITAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Análise das previsões mensais de precipitação sobre a América do Sul
utilizando o modelo climático regional- RegCM4.6.2

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para o grau de mestre em meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Helber Barros Gomes

Coorientador: Prof. Dr. Glauber Lopes Mariano

Maceió – AL

2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho

F866a Freitas, Ismael Guidson Farias de.

Análise das previsões mensais de precipitação sobre a América do Sul utilizando o modelo climático regional-RegCM4.6.2 / Ismael Guidson Farias de Freitas. – 2019. 88 f. : il.

Orientador: Helber Barros Gomes.

Co-orientador: Glauber Lopes Mariano.

Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2019.

Bibliografia: f. 81-88.

1. Modelo climático regional (RegCM4). 2. Precipitação (Meteorologia) - Previsão. 3. Tempo (Meteorologia) - América do Sul. 4. Climate Forecast System Version 2. 5. I. Título.

CDU: 551.508 (8)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
 INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
 COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-159.

**“ANÁLISE DAS PREVISÕES MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO SOBRE A
 AMÉRICA DO SUL UTILIZANDO O MODELO CLIMÁTICO REGIONAL-
 REGCM4.6.2”**

Ismael Guidson Farias de Freitas

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Prof. Dr. Helber Barros Gomes
 (Orientador)

Prof. Dr. Glauber Lopes Mariano
 (Coorientador)

Profa. Dra. Maria Cristina lemos da Silva
 (Membro Interno)

Prof. Dr. Fabricio Daniel dos Santos Silva
 (Membro Interno)

Prof. Dr. Cristiano Prestrelo de Oliveira
 (Membro Externo/UFRN)

Prof. Cristiano Prestrelo de Oliveira
 Instituto de Ciências Atmosféricas e
 Climáticas - UFRN
 Tel.: 1280761

Fevereiro/2019

Agradecimentos

- Aos meus pais, Nilton Salvador e Lucineide Farias, onde desde o início de minha vida me deram todo suporte e apoio, além de me incentivar, mostrando o mundo que eu poderia conhecer através dos estudos. A eles sou eternamente grato por todo ensinamento de vida, MEUS MAIORES MESTRES, ainda aprenderei muito com vocês. Pai e Mãe, vocês foram essenciais para minha formação, sem vocês não teria conseguido.
- Aos meus irmãos: SD Iddarlan Franthcoly, onde em diversos momentos, desde o ensino médio e até nas disciplinas do curso de meteorologia me ajudou tirando diversas dúvidas que foram essenciais para o meu desempenho acadêmico até o fim do mestrado; e Ingrid Beatriz que durante todo curso apoiou, incentivou e assumiu alguns trabalhos para que eu pudesse me dedicar cada vez mais à universidade.
- A minha namorada, Thayna Vila Nova, que durante o progresso deste trabalho acompanhou de perto e sempre me incentivou para que pudesse obter êxito em todas as etapas, esperando e tendo paciência.
- Aos meus avós, Cicera Salvador, Iracy Pereira e Gerônimo Farias, pelo incentivo e conselhos sobre a importância da educação.
- A minha prima Isaline Farias, onde através dela conheci a meteorologia e tive interesse na área, após ler um livro que especificava o campo da fantástica ciência atmosférica. Se hoje sou um meteorologista, sou graças a você.
- A minha tia, Neyde Salvador, que além de me apoiar, incentivou e ensinou, contribuindo com minha formação desde o ensino fundamental até o ensino superior, acompanhando todos os momentos de minha vida. Obrigado minha grande mestra da Língua Portuguesa.
- A Claudineide Salvador, também pelo apoio e incentivo ao meu bem-estar no curso.
- Ao grande professor e orientador, Helber Barros Gomes, que durante a orientação foi essencial para o meu desenvolvimento e além de professor se tornou um grande amigo. Ao senhor agradeço imensamente.
- Aos professores e funcionários, Heliofábio Barros, Glauber Mariano (Co-orientador), Maria Cristina, Djane Fonsceca, Fabrício Daniel, Rafael Araújo e todos que de certa forma passaram grandes ensinamentos e contribuíram para a formação.
- Ao grande amigo Jeová Ramos que ajudou e compartilhou bastante conhecimento durante a vida acadêmica, além de ter ótimos momentos de descontração nos diversos shows e festas, apesar dos quilômetros de distância, amigos como você, levamos para vida toda.
- Ao amigo de infância Márcio Alberto, pelos ótimos momentos de descontração, conversas e vinhos até altas horas da noite, ainda vamos nos descontrair muito.
- Aos amigos da turma do mestrado: Tatiana Vanessa, Marcelo Lopes, Edson Matias, Gomes Muanza, Clovis Isaac, Lívia Pilar, Hugo Cainã, e todos aqueles que passaram grandes momentos nas aulas.
- Aos amigos de laboratório, Ivens Peixoto, Felipe Souza, Maurilio Neemias, e Laurízio Ribeiro pelos ensinamentos passados referentes os trabalhos exercidos pelo laboratório.
- E ao coordenador do laboratório SENSORGEO, por ter disponibilizado espaço físico para o desenvolvimento do trabalho.
- Ao amigo Alaerte Germano (*In Memoriam*), que foi um grande exemplo de força e determinação para todos.

Epígrafe

Nada na terra dura para sempre, mas nenhum de seus feitos foram em vão...

Glory to the Brave- Hammerfall

Resumo

Este trabalho busca avaliar as previsões mensais de precipitação sobre a América do Sul (AS) utilizando o modelo climático regional (RegCM4) com diferentes esquemas de parametrização cumulus, a saber: TID (Tiedtke), GFC (Grell-fechamento Fritsch Chappell), EMU (Emanuel) e um esquema de convecção mista, EMU sobre o oceano e GFC sobre o continente. Cinco inicializações foram realizadas para cada uma das configurações do modelo RegCM4, entre os meses de fevereiro e junho, com período de previsão de 6 meses a frente. Para condição inicial e de fronteira do modelo, foram utilizados os dados operacionais do *Climate Forecast System model Version 2* (CFSv2). As avaliações, tanto do RegCM4 como do CFSv2, foram realizadas sobre a região da AS e oito subdomínios: AMZn (Amazônia Norte), AMZs (Amazônia Sul), NEBn (Nordeste Brasileiro Norte), NEBs (Nordeste Brasileiro Sul), SUR (Sul do Brasil e Uruguai), SULDESTE (Suldeste do Brasil), ENWPe (Noroeste do Equador e Peru) e CHACHO (Chaco). Todas as previsões foram comparadas com dados do *Climate Prediction Center*, onde realizaram-se análises subjetivas dos acumulados mensais, e objetivas das médias regionais nos subdomínios, cálculo de bias espacial e regional, e índice de Willmott em cada subdomínio. A primeira avaliação da previsão iniciada no mês fevereiro os resultados apresentaram um melhor desempenho do esquema EMU-GFC nos primeiros três meses de previsão, enquanto nos três últimos meses o esquema EMU. Ao analisar os índices de Willmott, bias e médias regionais, verificou-se que o esquema EMU-GFC apresentou melhor concordância nos subdomínios AMZn e AMZs, GFC no NEBn, TID no ENWPe, SUR, SUDESTE e CHACO, e o modelo global CFSv2 no NEBn. Na segunda inicialização os esquemas EMU-GFC, EMU e TID representaram os padrões de precipitação, onde EMU-GFC representou os subdomínios AMZn e CHACO, TID o NEBn e NEBs, EMU a AMZs e ENWPe, e GFC o SUR. Na terceira inicialização o esquema TID representou bem o padrão espacial de precipitação, enquanto os acumulados foram bem previstos pelo esquema EMU e EMU-GFC, nas análises objetivas EMU-GFC representou os subdomínios AMZn, NEBs e CHACO, EMU a AMZs, SUR e ENWPe, e TID o NEBn e SULDESTE. Na quarta inicialização a avaliação mostrou que o esquema TID previu melhor os padrões de precipitação de até 100 mm/mês nos meses mais secos (junho a setembro), porém nos demais meses EMU e EMU-GFC apresentaram melhores previsões dos acumulados de aproximadamente 200 mm/mês. Nas análises objetivas o esquema EMU-GFC representou os subdomínios AMZn, NEBn e NEBs, EMU a AMZs e SULDESTE, GFC o SUR e CHACO, e TID o ENWPe. Na quinta inicialização no mês de maio, os resultados mostram que o esquema EMU possuiu melhor representatividade dos dados do CPC, principalmente nos meses julho, agosto, setembro e outubro, prevendo melhor as precipitações de até 200 mm/mês, enquanto nos demais meses a precipitação não foi bem prevista pelos modelos regional e global. Ao verificar as análises objetivas foram observados bias predominate entre -20 – 20 mm/mês, porém com subestimação/superestimação em locais específicos. Nas análises das médias regionais e índices de Willmott o esquema EMU-GFC representou bem a precipitação nos subdomínios AMZn e NEBs, EMU na AMZs e SULDESTE, GFC no SUR, CHACO e NEBn, e TID no ENWPe. Portanto, com as análises realizadas observou-se que o modelo RegCM4 melhorou significativamente as previsões utilizando dados do CFSv2, porém o modelo global ainda apresenta bons resultados em áreas específicas.

Palavras Chaves: Modelo RegCM4, previsão climática, América do Sul, CFSv2, Precipitação.

Abstract

This work aims to evaluate the monthly rainfall forecasts of South America (AS) using the regional climate model (RegCM4) with different cumulus parameterization schemes, namely: TID (Tiedtke), GFC (Grell-Fritsch Lock), EMU (Emanuel) and a mixed convection scheme, EMU on the ocean and GFC on the continent. Five initializations were made for each of the configurations of the RegCM4 model, between the months of February and June, with a forecast period of 6 months forward. For the initial and frontier condition of the model, the operational data of the Climate Forecast System model Version 2 (CFSv2) were used. The evaluations of both RegCM4 and CFSv2 were carried out over the AS region and eight sub-domains: AMZn (North Amazonia), AMZs (Southern Amazonia), NEBn (Northeast Brazilian North), NEBs (Brazil and Uruguay), SULDESTE (Southeastern Brazil), ENWPe (Northwest Ecuador and Peru) and CHACHO (Chaco). All predictions were compared with data from the Climate Prediction Center, where we performed subjective analyzes of the monthly and objective accumulations of regional averages in subdomains, spatial and regional bias calculations, and Willmott index in each subdomain. The first evaluation of the forecast started in February (rainy season) the results presented a better performance of the EMU-GFC scheme in the first three months of forecast, while in the last three months the EMU scheme. When analyzing the Willmott, bias and regional averages indices, the EMU-GFC scheme showed better agreement in the sub-domains AMZn and AMZs, GFC in NEBn, TID in ENWPe, SUR, SULDESTE and CHACO, and the global CFSv2 model in the NEBn. In the second initialization the EMU-GFC, EMU and TID schemes represented the precipitation patterns, with EMU-GFC representing the sub domains AMZn and CHACO, TID the NEBn and NEBs, EMU the AMZs and ENWPe, and GFC the SUR. In the third initialization the TID scheme represented better the spatial pattern of precipitation, while the accumulated ones were well predicted by the scheme EMU and EMU-GFC, in the objective analyzes EMU-GFC represented the subdomains AMZn, NEBs and CHACO, EMU to AMZs, SUR and ENWPe, and TID the NEBn and SOUTHWEST. In the fourth initiation the subjective evaluation showed that the TID scheme predicted better the precipitation patterns of up to 100 mm / month in the driest months (June to September), but in the other months EMU and EMU-GFC had better predictions of accumulations of 200 mm /month. In the objective analyzes the EMU-GFC scheme represented the subdomains AMZn, NEBn and NEBs, EMU the AMZs and SOUTHWEST, GFC the SUR and CHACO, and TID the ENWPe. In the fifth and last initialization in May, the results show in the subjective analyzes that the EMU scheme had a better representation of CPC data, especially in July, August, September and October, with a better prediction of rainfall up to 200 mm / month, presenting bias, while in other months precipitation was not well predicted by regional and global models. When checking the objective analyzes were observed bias predominate between -20 - 20 mm / month, but with underestimation / overestimation at specific sites. In the Willmott regional and index averages analyzes, the EMU-GFC scheme presented well the precipitation in the sub-domains AMZn and NEBs, EMU in the AMZs and SULDESTE, GFC in the SUR, CHACO and NEBn, and TID in the EWNpw. Therefore, with the analyzes carried out, it has been reached that the RegCM4 model significantly improved the predictions using CFSv2 data, but the overall model still shows good results in specific areas.

Key-words: RegCM4 model, weather forecast, South America, CFSv2, Precipitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Domínio e subdomínios da área de estudo utilizado pelo RegCM4. As cores representam a topografia (m) da região.....	25
Figura 2 - Precipitação acumulada mensal (mm/mês) prevista pelo modelo RegCM4 para os meses de março a agosto de 2018 com os esquemas de TID (a), GFC (b), EMU (c) e EMU-GFC (d), prevista pelo modelo global CFSv2/CFS (e) e observada pelo CPC (f). Previsões inicializadas no mês de fevereiro de 2018.....	32
Figura 3 - Médias regionais dos acumulados mensais de precipitação (mm/mês), para os subdomínios em avaliação para a previsão iniciada em fevereiro de 2018. a) AMZn, b)AMZs, c)NEBn, d)NEBs, e)SUR, f)ENWPe, g)SULDESTE e h)CHACO. No qual, a linha verde corresponde o CPC, azul o TID, laranja o EMU, cinza o GFC, amarelo o EMU-GFC e preto o CFS/CFSv2.....	36
Figura 4 - Biais da precipitação acumulada mensal (mm/mês) do modelo RegCM4 para o meses de março a agosto de 2018 com os esquemas de TID (a), GFC (b), EMU (c) e EMU-GFC (d) e prevista pelo modelo global CFSv2/CFS (e), calculada utilizando os dados do CPC.	39
Figura 5 - Médias regionais dos bias mensais de precipitação (mm/mês), para os subdomínios em avaliação para a previsão iniciada em fevereiro de 2018. a) AMZn, b)AMZs, c)NEBn, d)NEBs, e)SUR, f)ENWPe, g)SULDESTE e h)CHACO. No qual, a linha azul corresponde o TID, laranja o EMU, cinza o GFC, amarelo o EMU-GFC e preto o CFS/CFSv2.	40
Figura 6 - Similar a Figura 2, porém para os meses entre abril a setembro com previsões inicializadas no mês de março de 2018.	42
Figura 7 - Similar a Figura 3, porém para as previsões inicializadas em março de 2018.....	44
Figura 8 - Similar a Figura 4, mas para as previsões inicializadas em março de 2018 para os meses de abril a setembro 2018.....	47
Figura 9 - Similar a Figura 5, porém para as previsões inicializadas em março de 2018.....	48
Figura 10 - Similar a Figura 2, porém para os meses entre maio e outubro com previsões inicializadas no mês de abril de 2018.....	50
Figura 11 - Similar a Figura 3, porém para as previsões inicializadas em abril de 2018.....	52
Figura 12 - Similar a Figura 4, mas para as previsões inicializadas em abril de 2018 para os meses de maio a outubro 2018.	56
Figura 13 - Similar a Figura 5, porém para as previsões inicializadas em abril de 2018.....	57
Figura 14 - Similar a Figura 2, porém para os meses entre junho a novembro com previsões inicializadas no mês de maio de 2018.	60
Figura 15 - Similar a Figura 3, porém para as previsões inicializadas em maio de 2018.....	63
Figura 16 - Similar a Figura 4, mas para as previsões inicializadas em maio de 2018 para os meses de junho a novembro 2018.....	67
Figura 17 - Similar a Figura 5, porém para as previsões inicializadas em maio de 2018.....	68
Figura 18 - Similar a Figura 2, porém para os meses entre julho a dezembro com previsões inicializadas no mês de junho de 2018.....	71
Figura 19 - Similar a Figura 3, porém para as previsões inicializadas em junho de 2018.....	74
Figura 20 - Similar a Figura 4, mas para as previsões inicializadas em junho de 2018 para os meses de julho a novembro 2018. *dezembro impossibilitado de fazer a análise devido ao problema nos sites federais do EUA.....	78
Figura 21 - Similar a Figura 5, porém para as previsões inicializadas em junho de 2018.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Design dos experimentos numéricos com o modelo RegCM4.	24
Tabela 2 - Latitudes e Longitudes dos subdomínios avaliados nesta pesquisa.	26
Tabela 3 - Classificação dos índices de concordância de Willmott.....	27
Tabela 4 - Índice de Concordância de Willmott calculado para todos os subdomínios das previsões de precipitação iniciadas em fevereiro de 2018.	37
Tabela 5 - Similar a Tabela 4, porém para as previsões iniciadas em março de 2018.	45
Tabela 6 - Similar a Tabela 4, porém para as previsões iniciadas em abril de 2018.....	53
Tabela 7 - Similar a Tabela 4, porém para as previsões iniciadas em maio de 2018.	64
Tabela 8 - Similar a Tabela 4, porém para as previsões iniciadas em junho de 2018.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS- América do Sul

AS74- Parametrização de Arakawa e Schubert

BATS1e- *Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme*

BIAS- Erro Médio

CCM3- *Community Climate Model Version 3*

CFCs- Clorofluorcarbonos

CFS_Ope- previsões operacionais do CFS

CFS_Rfc- CFS Hindcast

CFS/CFSv2- *Climate Forecast System Version 2*

CH₄- Metano

CLM4.5- Community Land Model versão 4.5

CO₂ - dióxido de carbono

CORDEX- *COordinated Regional climate Downscaling EXperiment*

CORINE- *Coordination of Information on the Environment Land Cover*

CPTe/INPE- Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Ciências Espaciais

CRU- Climate Research Unit

EMU- Esquema de Emanuel

ENOS- Oscilação Sul

GFDLMv4- *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Modular version 4.0*

GPCP- Global Precipitation Climatology Project

GrADS- *Grid Analysis and Display System*

GFC- Grell com fechamento de Fritsch e Chappell

H₂O- Vapor de água

MCGs- Modelos Climáticos Globais

MCRs- Modelos Climáticos Regionais

MM4- *Mesoscale Model version 4*

NASA- *National Aeronautics and Space Administration*

NASDA- *National Space Development Agency of Japan*

NCAR- *National Center for Atmospheric Research*

NCEP- *National Centers for Environmental Prediction*

NCL- *Nível de Condensação por Levantamento*

NO₂- *Óxido Nitroso*

O₂- *Oxigênio*

O₃ – *Ozônio*

PCs- *Personal Computer*

PR- *Radar de precipitação*

RegCFSV2- *Inicialização do do RegCM4.5 com dados iniciais do CFSv2.*

RegCM- *Regional Climate Model*

RegCM_CFS- *Downscaling dinâmico do RegCM*

RegCM3- *Modelo Climático Regional versão 3*

RegCM4- *Modelo Climático Regional versão 4*

RegCM4.2- *Modelo Climático Regional versão 4.2*

RegCM4.3- *Modelo Climático Regional versão 4.3*

RegCM4.5- *Modelo Climático Regional versão 4.5*

RegCPTECEman- *Modelo RegCM4.5 com dados iniciais do modelo global CPTEC com parametrização Emanuel*

RegCPTECKF- *Modelo RegCM4.5 com dados iniciais do modelo global CPTEC com parametrização Kain-Fritsch.*

TID- *Esquema Tiedke*

TMI- *TRMM Microwave Imager*

TRMM- *Tropical Measuring Mission*

UDF- *User Defined Function*

UW-PBL- *Planetary Boundary Layer*

VIRS- *Sistema Radiométrico Visível e Infravermelho*

WCRP- *World Climate Research Program*

ZCIT- *Zona de Convergência Intertropical*

SUMÁRIO

1. Introdução.....	13
1.1. Objetivos.....	14
2. Revisão Bibliográfica.....	15
3. Dados e Metodologia.....	20
3.1. Dados.....	20
3.1.1. <i>Climate Forecast System Version 2 (CFSv2)</i>	20
3.1.2. Dados de Validação.....	20
3.2. Modelo RegCM4.....	21
3.3. Parametrizações Cumulus.....	22
3.3.1. Esquema de Grell.....	22
3.3.2. Esquema de Emanuel.....	23
3.3.3. Esquema de Tiedke.....	23
3.4. Previsões Climáticas.....	24
3.5. Validação Estatística.....	26
4. Resultados e Discussões.....	28
5. Considerações Finais.....	80
6. Referências.....	82

1. Introdução

A América do Sul (AS) localiza-se entre as latitudes de 12° N e 55° S, abrangendo baixas e altas latitudes, possuindo grande extensão territorial. Assim, diversos fenômenos atmosféricos atuam sob esta região, influenciando diretamente a variabilidade da precipitação que resulta na não homogeneidade climática (REBOITA, 2010). Desta forma, é importante conhecer e prever os padrões pluviométricos climáticos em todo continente. Estas previsões são de suma importância para o planejamento e tomadas de decisões futuras para as atividades humanas, particularmente aquelas ligadas à agricultura, geração de energia hidroelétrica e transportes (GIORGI e MEARNS, 1999; ALVES et al., 2009).

Vários esforços estão sendo realizados para melhorar as previsões climáticas regionais ao redor do mundo através do *COordinated Regional climate Downscaling EXperiment* (CORDEX), que foi iniciado em 2008 como resultado da força tarefa no *downscaling* climático regional, formado pelo *World Climate Research Program* (WCRP) (OZTURK et al., 2018; JESUS, 2014; FANTINI et al., 2018). Na AS diversos estudos analisaram o desempenho das previsões climáticas utilizando diferentes modelos climáticos regionais (ÁVILA, SOUZA e PINHEIRO, 2013; SOUZA, 2016 e LLOPART et al. 2017). Os MCRs são ferramentas fundamentais para estudar questões científicas relacionadas à variabilidade, mudanças e impactos do clima em escalas regionais (OZTURK et al., 2018; OH e SUH, 2018). Neste sentido, existem algumas vantagens na utilização dos MCRs, como sua relativa economia computacional em relação aos modelos globais, pois seu uso pode ser realizado a partir de computadores com configurações simples, além da representação de forma mais detalhada das características regionais de topografia e superfície (ALVES et al., 2007).

Os MCRs apesar das vantagens nas previsões climáticas mensais possuem algumas limitações em reproduzir alguns processos físicos na atmosfera, por exemplo, a convecção profunda. Assim, como a AS apresenta uma grande extensão territorial com uma diversificada presença de vegetação e relevo (VANZOLINI, 1992; PRADO, 2003; MENDONÇA, et al., 2014), além de características físicas distintas sobre cada sub-região, faz-se necessário uma avaliação de qual esquema de convecção que melhor se adequa na representação da convecção local.

O *Regional Climate Model* (RegCM) além de ser um dos MCRs que compõem o experimento CORDEX, é bastante utilizado para estudos de previsões sazonais sob diferentes regiões do globo (OZTURK et al., 2018; OH e SUH, 2018; AMADOR et al., 2018; CHUNG et al., 2018), com resoluções horizontais de dezenas de quilômetros e capacidade de reproduzir processos com diferentes tipos de cobertura da superfície e delimitações entre oceano e

continente. Avaliar as previsões climáticas realizadas pelo modelo RegCM com diferentes tipos de parametrizações, torna-se importante, uma vez que podem auxiliar como ferramenta para prever anomalias extremas de precipitação, sejam elas abaixo ou acima da normal climatológica (GONÇALVES, 2015).

1.1.Objetivos

Diante do contexto apresentado, este trabalho tem como objetivo analisar as previsões climáticas mensais de precipitação sobre a América do Sul utilizando o modelo climático regional versão 4 (RegCM4) com diferentes esquemas de parametrizações cumulus.

Especificamente este estudo abordará os seguintes pontos:

- Avaliar se o modelo RegCM4 é hábil em prever a distribuição de precipitação entre os meses de março e dezembro de 2018 e intercomparar com os dados do CFSv2;
- Analisar os resultados do modelo através da técnica de análise objetiva, no intuito de validá-lo com o cálculo do índice de Wilmott;
- Avaliar qual os esquemas de convecção representam melhor subdomínios selecionados

2. Revisão Bibliográfica

Para realização de previsões climáticas são utilizados modelos globais (MCGs) e regionais (MCRs). Apesar dos MCGs apresentarem uma boa capacidade de prever e representar os fenômenos de larga escala, sendo usados inclusive em estudos de mudanças climáticas, a baixa resolução horizontal utilizada nestes modelos é uma limitação na representação de processos de mesoescala (MISRA et al., 2004). São utilizados MCR's com alta resolução para melhoria da qualidade das previsões dos MCG's, (GIORGI e MEARNNS, 1999). A melhor qualidade obtida com os MCRs se deve em parte à melhor representação da orografia, linhas costeiras, vegetação, resolução horizontal e parametrização de processos físicos de meso e microescalas. Com isso, as previsões climáticas regionais podem reter mais influência de fatores locais sobre o clima de uma determinada região (ALVES e MARENGO, 2010).

Os MCRs têm desempenhado um papel importante em aplicações que exigem uma melhor resolução, tais como, na agricultura e hidrologia que necessitam de uma boa representatividade da precipitação e temperatura para as previsões sazonais geradas (MACHADO, 2011).

Ao redor do globo foram realizadas diversas pesquisas com o objetivo de validar as previsões climáticas regionais, bem como ajustar a melhor configuração do modelo para a sua região de interesse. Martínez-Castro et al. (2017) realizaram um estudo sobre a região da América Central e do Caribe utilizando o modelo RegCM4 em um período de 5 anos (1998–2003) com resolução horizontal de 25 km e usando três parametrizações convectivas, a saber: Emanuel (EMANUEL, 1991), Tiedtke (TIEDTKE, 1989) e Grell (GRELL, 1993) sobre o continente e Emanuel sobre o oceano. Os padrões de precipitação e temperatura foram simulados de forma coerente quando comparado ao observado. Os resultados mostraram que todos os esquemas simularam os padrões gerais de temperatura e precipitação sobre o continente razoavelmente bem, com correlações relativamente altas (Temperatura 0,95 e precipitação 0,65) em comparação com os conjuntos de dados observados pelo CRU, TRMM e GPCP. De acordo com os autores nenhuma configuração de modelo avaliada obteve melhor desempenho para todos os critérios de análise selecionados, mas a parametrização de Tiedtke, que incluem a capacidade de ajustar as trocas entre a nuvem e o ar do ambiente, fornecem a faixa mais equilibrada de desvios entre as variáveis, sem vieses.

. Wang et al. (2018) realizaram simulações climáticas para o clima presente (1990 a 2009) através do modelo RegCM4.3 para a região Platô de Loess, situada ao norte da China com topografia variada. Os resultados mostraram que o modelo foi hábil em representar as

características espaciais e temporais do clima regional na região do Platô de Loess, porém com viés na precipitação e temperatura a 2m, onde o modelo apresentou um viés frio durante a estação de inverno, e subestimou a precipitação durante a estação de verão. Os autores documentaram que o viés frio no inverno pode ser devido a deficiência do modelo em representar os processos de superfície e turbulentos. A precipitação simulada pelo modelo foi subestimada durante o verão e associada a uma fraca monção do sul. Uma análise da estimativa de umidade revela que o viés seco nessa região pode ser atribuído principalmente à deficiência do modelo de simular a advecção e convergência de umidade e, em menor escala, à evaporação da superfície.

Yang et al. (2018) utilizando o modelo RegCM4.5, também sobre a região da China, investigaram a capacidade do modelo em prever as variáveis físicas de superfície (precipitação e temperatura) durante o período de 1964 a 2003, usando o esquema de superfície CLM4.5 (*Community Land Model*) que faz uma representação detalhada dos processos do ciclo biogeoquímico (RACZKA et al., 2016). Os resultados mostraram que as características sazonais de temperatura em superfície simuladas pelo RegCM foram representadas de forma coerente quando comparado ao observado, tanto no inverno quanto no verão, enquanto que para a precipitação o modelo mostrou-se hábil na realização das previsões.

Velikou e Tolika (2017) com objetivo de estudar a sensibilidade do RegCM4.5.1, aos diferentes esquemas de parametrizações físicas (Grell, Mixed, UW-PBL, CORINE e esquema de transferência biosfera-atmosfera-BATS1e) na região do Mediterrâneo, realizaram simulações sazonais durante o período de 1981 a 1990 para avaliar a precipitação e temperatura. As simulações utilizando os esquemas Grell, Mixed, UW-PBL e CORINE apresentaram um viés frio de temperatura, no entanto, o esquema BATS1e foi mais frio. Com relação a precipitação, as simulações utilizando os esquemas Grell, Mixed e UW-PBL subestimaram precipitação, exceto para estação de inverno, onde nas simulações com Grell superestimou o observado.

Phan-Van et al. (2018) investigaram os *hindcasts* (valores observados e previstos) do Sistema de Previsões Climáticas (CFS) do Centro Nacional de Previsão Ambiental (NCEP) para o *downscaling* do modelo RegCM4.2 no Vietnã. Primeiro, foram usados os CFS Hindcast (CFS_Rfc) de 1982 a 2009 para avaliar a habilidade do modelo RegCM em prever os padrões de circulações atmosféricas e precipitação para até 6 meses. Em seguida, as previsões operacionais do CFS (CFS_Ope) foram utilizados para o *downscaling* dinâmico (RegCM_CFS) durante o período de 2012 a 2014. Os resultados mostraram que o CFS_Rfc representou de forma coerente a variabilidade sazonal da circulação de monção asiática e a distribuição de

precipitação comparado ao observado. O RegCM_CFS (resolução de 1°) apresentou uma menor destreza em relação ao CFSv2 em sub-regiões climáticas específicas durante as estações de transição, seca e chuvosa, particularmente na parte norte (Terras Altas Centrais do Vietnã) em janeiro (julho).

Na AS diversos autores utilizaram diferentes MCR's para previsão sazonal e mensal da precipitação (SOLMAN et al., 2008; VERA e SILVESTRI, 2009; ALVES e MARENGO, 2010, GONÇALVES, 2015, DIAS, 2017, entre outros). Alves et al., (2009), avaliaram previsões sazonais de precipitação no ano de 2003 realizadas pelo modelo climático regional ETA do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Ciências Espaciais (CPTEC/INPE) e compararam com observações de precipitação. O modelo ETA subestimou os totais pluviométricos durante o verão, enquanto que no inverno ocorreu uma superestimava sobre o norte do Pará e Estado do Amapá. Apesar de algumas limitações do modelo ETA em superestimar ou subestimar a precipitação em locais como no norte da Amazônia, sul de Roraima, Maranhão e Piauí, as previsões do mesmo sobre outras regiões, apresentam melhores resultados quando comparados com ao modelo global do CPTEC, como na parte sudeste e central do Brasil e nas chuvas da região Sudeste e Nordeste, no qual o ETA conseguiu prever a distribuição temporal e espacial da chuva.

Ainda na AS outras pesquisas objetivaram avaliar a destreza dos MCRs em sub-regiões sul-americana. Por exemplo, Mota et al. (2009) aplicaram o modelo RegCM3 com resolução de 30 km com período de 26 anos (1982/83 a 2007/08), com os esquemas de convecção Grell e Emanuel, onde estudaram a variação da precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental e realizaram uma validação das previsões através de uma grande rede observacional de estações pluviométrica de superfície. Os esquemas de Grell e Emanuel apresentaram um viés seco no Amapá e norte/nordeste do Pará, mostrando uma dificuldade do modelo em reproduzir a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). As análises dos padrões espaciais anômalos de precipitação durante eventos de El Niño-Oscilação Sul (ENOS), mostraram que o modelo RegCM3 reproduziu de forma coerente o padrão espacial das anomalias de precipitação sobre a região estudada, com precipitação acima(abaixo) do normal em grande parte da Amazônia oriental, durante La Niña (El Niño).

Machado et al. (2011) utilizaram o modelo RegCM3 com resolução horizontal de 60 km aninhado ao modelo global CPTEC/COLA para avaliar o desempenho das previsões sazonais de temperatura e precipitação sobre três regiões do Brasil: Nordeste, Sudeste e Sul, entre maio de 2005 e julho de 2007. Nas regiões estudadas a previsão do RegCM3 para precipitação sazonal foi mais próxima do observado comparado ao modelo global. Com relação

a temperatura, o RegCM3 previu valores superiores ao modelo global sobre as regiões nordeste e sul, enquanto que este último foi superior no Sudeste. Os autores concluíram que as previsões sazonais do RegCM3 são mais próximas das observações e que deveria ser mais explorado neste tipo de previsão.

Neves et al. (2011) realizaram previsões climáticas para o estado do Amapá durante o período de 2006 e 2007 caracterizados como anos de ocorrência de precipitação extrema. Os autores mostraram que o modelo previu bem a variabilidade da precipitação na escala regional, porém nas precipitações com maiores intensidades o modelo apresentou erros com forte viés úmido em toda faixa litorânea e o viés seco nas áreas sul-sudeste, oeste e centro do Estado, com destaque para região sudeste (Macapá e Santana), que mostrou a predominância de viés seco em todo o período estudado.

Gonçalves (2015) realizou previsões climáticas sazonais sobre o Rio Grande do Sul (RS) com o uso do modelo RegCM4 e avaliou nove previsões com distintos esquemas de parametrização de convecção, a saber: Grell com fechamentos Arakawa e Schubert (Grell AS) e Fritsch e Chappell (GFC), Emanuel e convecção mista, que usa diferentes esquemas de convecção sobre o continente e o oceano. Os melhores resultados foram obtidos na parte norte e oeste do Estado com os esquemas Grell FC, Grell AS e a combinação Emanuel sobre o oceano e Grell AS sobre o continente, porém algumas regiões não foram previstas pelo modelo. Além disto, o modelo representou de forma coerente a previsão, reduzindo a superestimação precipitação quando comparadas ao *Climate Forecast System Version 2* (CFSv2).

Dias (2017) avaliou os resultados das previsões sazonais de precipitação e temperatura a 2m de duas versões do modelo RegCM (RegCM4.3 e RegCM4.5) entre os anos de 2013 e 2014, onde o RegCM4.3 foi inicializado com condições iniciais do CFSv2 (denominado RegCFSV2) e RegCM4.5 pelas análises do modelo global CPTEC, porém utilizando duas parametrizações cumulus diferentes, Kain-Fritsch e Emanuel, denominadas como RegCPTECKF e RegCPTECEman, respectivamente. Tanto a temperatura quanto a precipitação foram melhores representadas pelas previsões do RegCPTECKF e RegCPTECEman. O RegCPTECEman mostrou uma melhor previsão quando comparado a precipitação observada sobre as regiões Nordeste e Sudeste. Por outro lado, o RegCPTECEman previu de forma mais realista a temperatura na região nordeste, enquanto que sobre a região sudeste foi melhor representada pelo RegCPTECKF.

Araújo (2017) avaliou a performance do modelo RegCM4 sobre a região do nordeste brasileiro durante a estação de outono compreendido entre os anos de 1998 e 2008 para a temperatura e precipitação utilizando as parametrizações de Grell e Emanuel. As análises

mostraram que a parametrização de Emanuel superestimou a precipitação em relação aos dados do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), principalmente para as regiões que possuem maiores acumulados pluviométricos. A parametrização de Grell foi a que obteve os menores erros de previsão, porém para a temperatura, nas duas parametrizações, os resultados foram mais consistentes.

Nas últimas décadas foram realizadas diversas avaliações com o intuito de entender as variabilidades e/ou tendências dos índices extremos de precipitação, e sua relação com fenômenos atmosféricos que atuam na AS. Este tipo de estudo é motivado devido ao aumento da frequência de eventos de precipitação intensa, onde a maioria destes casos são controlados por fatores interanuais, como os fenômenos El Niño e La Niña (ALVES, 2007; ÁVILA et al., 2013).

Com relação a previsão de eventos extremos utilizando o modelo RegCM, alguns autores avaliaram o desempenho do modelo em áreas específicas da AS. De maneira geral, a previsão da precipitação sazonal foi bem representada na escala regional, porém ainda existem erros na quantidade e na posição de alguns máximos observados (NECES et al., 2011; ÁVILA et al., 2011; LLOPART et al., 2013).

3. Dados e Metodologia

3.1. Dados

3.1.1. *Climate Forecast System Version 2 (CFSv2)*

As previsões mensais do modelo regional RegCM4 foram iniciadas e os contornos atualizados com os dados do modelo *Global Climate Forecast System Version 2 (CFSv2, SAHA et al., 2014)* do *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)*. O CFSv2 é um modelo acoplado que representa a interação global entre atmosfera-oceano-superfície-gelo marinho, integrado diariamente em uma grade de $0,9^\circ \times 0,9^\circ$ de latitude e longitude com 64 níveis na vertical, disponíveis a cada 5 dias, a partir do primeiro dia do mês, ou seja, 1º, 6º, 11º, 16º, 21º e 26º dia, com resolução temporal de 6 horas (0000, 0600, 1200 e 1800UTC) e para 9 meses a frente. Uma descrição mais detalhada pode ser obtida em Saha et al. (2014).

O CFSv2 é constituído pelos modelos atmosférico *Global Forecast System (GFS)* com resolução de aproximadamente $0,937^\circ$ e oceânico *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Modular version 4.0 (GFDLMv4)* com espaçamento de $0,25^\circ$ de latitude por $0,5^\circ$ de longitude, além de um modelo interativo de três camadas de gelo marinho, modelo de superfície terrestre Noah de quatro camadas, e concentrações de dióxido de carbono (CO_2) prescritas historicamente (EK et al., 2003).

3.1.2. Dados de Validação

Para avaliar a destreza das previsões dos modelos RegCM4 e CFSv2, tanto qualitativamente como quantitativamente, foram utilizados dados de análises do *Climate Prediction Center (CPC)*. A validação dos dados do CFSv2 foi realizada para verificar a qualidade da condição inicial utilizada pelo RegCM4, além de discutir a importância do refinamento de grade. As análises do CPC consistem em dados diários, construído com resolução de $0,125^\circ$ latitude/longitude e disponibilizados com resolução de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ de latitude/longitude. Estes dados estão disponíveis de 1979 até o presente e descrevem as características espaciais da precipitação sobre áreas continentais.

É importante destacar que a análise inclui o parâmetro de elevação no método de interpolação utilizado para precipitações geradas por efeitos orográficos, proporcionando resultados mais exatos quando comparado a outras climatologias (XIE et al., 2007). De acordo com o *National Center for Atmospheric Research (NCAR, 2018)*, os conjuntos de dados estão disponíveis em dois membros, a primeira versão que usava mais de 30.000 estações em superfície, que operava entre 1979 a 2005, e a segunda versão de 2006 até o presente, onde

opera com 17.000 estações de superfície, a qual foi utilizada neste estudo devido ao período de análise. Nascimento et al. (2010) e Cardoso e Quadro (2017) documentaram que os dados do CPC foram utilizados em estudos prévios sobre a região da América do Sul (AS) e apresentaram alta correlação espacial comparados a dados de estações de superfície.

3.2. Modelo RegCM4

Este estudo utilizou a quarta versão do Modelo Climático Regional (RegCM4), que foi desenvolvido na década de 1980 no *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) por Dickinson et al. (1989) e atualmente encontra-se na versão 4.7.1 (GIORGI e ELGUINDI, 2014). O RegCM teve como base o modelo atmosférico *Mesoscale Model version 4* (MM4; ANTHES et al., 1987), que trata de um modelo comunitário de área limitada em coordenada vertical sigma-p e grade horizontal B de Arakawa, com as equações primitivas para fluido compressível e hidrostático (SOUZA et al., 2016). A integração no tempo utiliza um esquema “split-explicit” e um algoritmo que reduz a difusão horizontal na presença de grandes gradientes de topografia (GIORGI et al., 1993).

Neste estudo foi utilizado o esquema de superfície *Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme* (BATS; Dickinson et al. 1993) para resolver, em cada ponto da grade, os processos de interação solo-planta-atmosfera, que leva em consideração os processos de trocas turbulentas de momentum, energia e vapor de água. O esquema de transferência radiativa do RegCM4 é o mesmo do *Community Climate Model* (CCM3; Kiehl et al., 1996). Este esquema calcula separadamente as taxas de aquecimento e fluxos na superfície para a radiação solar sob condições de céu claro e nublado. O CMM3 leva em consideração em seus cálculos os efeitos dos gases CO₂, H₂O (vapor de água) e O₃ (ozônio) no infravermelho e dos gases CO₂, H₂O, O₃ e O₂ para radiação solar, além de incluir os efeitos dos gases de efeito estufa (Dióxido de nitrogênio- NO₂, metano - CH₄ e clorofluorcarbonos - CFCs), aerossóis atmosféricos e água de nuvem.

Para o tratamento dos processos úmidos, o modelo considera dois esquemas diferentes: um para convecção em cumulus profundo, feita na escala de subgrade e outro para precipitação na escala de grade. O esquema na escala da grade resolve uma equação para previsão de precipitação (PAL et al., 2000), permitindo a formação de água de nuvem, advecção e mistura turbulenta, re-evaporação em condições sub-saturadas, e conversão para precipitação através de um termo de auto-conversão (SILVA, 2007). Apesar de existirem vários esquemas de parametrizações cumulus, foram utilizados aqui os esquemas de Grell (GRELL, 1991), Emanuel (EMANUEL, 1991), Tiedtke (TIEDTKE, 1989) e convecção mista, que resulta em

executar dois esquemas de parametrizações cumulus para fluxos de superfície oceânica e terrestre.

3.3. Parametrizações Cumulus

3.3.1. Esquema de Grell

Semelhante à parametrização de Arakawa e Schubert (AS74) (GRELL e DEVENYI, 1994), o esquema de Grell considera as nuvens como duas circulações estáveis com uma corrente ascendente (*updraft*) e outra descendente (*downdraft*). Não ocorre nenhuma mistura direta entre o ar da nuvem e o ar ambiente, com exceção na parte superior e inferior das circulações. O fluxo de massa ascendente é constante com a altura e não ocorre entranhamento ou desentranhamento ao longo das bordas da nuvem. Os níveis de origem do *updraft* (*downdraft*) é dado pelos níveis de máxima (mínima) energia estática úmida. O esquema Grell é acionado quando uma parcela levantada atinge o Nível de Condensação por Levantamento (NCL) tornando-se saturada.

A condensação na corrente ascendente é calculada levantando uma parcela saturada. NA qual, o fluxo de massa descendente (m_0) depende do fluxo de massa ascendente (m_b) de acordo com a seguinte equação (Equação 1):

$$m_0 = \frac{\beta I_1}{I_2} m_b \quad \text{Eq.01}$$

Onde:

β é a fração de condensação ascendente que evapora na corrente descendente e depende do cisalhamento do vento e normalmente varia entre 0,3 e 0,5.

I_1 é a condensação da corrente ascendente normalizada.

I_2 é a condensação da corrente descendente normalizada.

A equação da precipitação (Equação 2) é dada pela equação 2:

$$p^{CU} = I_1 m_b (\beta - 1) \quad \text{Eq.02}$$

No esquema Grell o aquecimento e umedecimento são determinados tanto pelos fluxos de massa quanto pela extração do mesmo no topo e na base da nuvem. Além disso, está incluído o efeito de resfriamento de correntes ascendente úmidas.

O esquema de Grell possui uma natureza básica, com isto, é possível adotar várias ideias de fechamento. A versão anterior do RegCM4 implementa diretamente a suposição de quase-equilíbrio do AS74 (ELGUINDI et al., 2014). Na versão atual, além das opções de fechamento, Arakawa e Schubert (ARAKAWA e SCHUBERT, 1974) e Fritsch e Chappell (FRITSCH E CHAPPELL, 1980), o RegCM4 disponibiliza também a convecção de Emanuel com Grell (Grell terra – Emanuel Oceano). Neste estudo será utilizado o esquema de Grell com fechamento de Fritsch e Chappell (GFC), uma vez que apresenta melhores resultados em áreas da AS.

3.3.2. Esquema de Emanuel

Este esquema assume que a mistura em nuvens é episódica e não homogênea, considerando os fluxos convectivos baseados em um modelo idealizado em correntes descendentes e ascendentes em escalas menores. A convecção é acionada quando o nível de fluabilidade neutra é maior do que a altura da base da nuvem. Dentro da nuvem, os movimentos descendentes e ascendentes resultam no levantamento do ar e uma parcela da umidade condensada é transformada em precipitação, enquanto a fração restante resulta em nuvens. As taxas de entranhamento e desentranhamento (ou taxa de mistura), são em função dos gradientes verticais de flutuação da nuvem. Com relação a fração do fluxo total de massa da base da nuvem que se mistura com o ambiente em cada nível, a mesma é proporcional à taxa de fluabilidade não diluída na mesma altitude. O fluxo de massa ascendente na base da nuvem fica em repouso em direção ao quase equilíbrio na camada sub-nuvem. Além de uma representação mais física da convecção, o esquema Emanuel, oferece várias vantagens em comparação com as outras opções de convecção do RegCM4. Por exemplo, inclui uma formulação da auto-conversão da água presente na nuvem em precipitação, considerando também que os processos de gelo sejam contabilizados, permitindo que a auto-conversão seja dependente da temperatura. A precipitação é adicionada apenas a uma corrente descendente hidrostática, transportando calor e água. Por fim, o esquema de Emanuel considera o transporte de traçadores passivos (EMANUEL, 1991; SILVA, 2007; GONÇALVES, 2015).

3.3.3. Esquema de Tiedke

O esquema Tiedke (1989) é um tipo de parametrização cumulus que abrange o fluxo de massa em modelos de grande escala. O esquema considera um conjunto de nuvens, descrito por Yanai et al. (1973) na realização de um estudo sobre a região convectiva tropical. Nesta

parametrização está representado vários tipos de convecção, que são: a convecção profunda com fluxo convergente em larga escala, convecção rasa em condições suprimida e a convecção associadas aos ventos alísios em regiões extratropicais com o ar potencialmente instável acima da camada limite. A determinação do fluxo de massa em nuvens são: convecção profunda e convecção de nível médio que são mantidas pela convergência de umidade em grande escala, e a convecção superficial que é mantida pelo fornecimento de umidade devido à evaporação da superfície.

3.4.Previsões Climáticas

As previsões climáticas regionais foram realizadas entre os meses de fevereiro a junho de 2018. A escolha do período deve-se a disponibilidade dos dados do modelo CFSv2. As previsões climáticas foram realizadas com tempo de integração de 7 meses para cada uma das 4 parametrizações cumulus utilizadas (GFC, EMU, TID e GFC sobre o continente com EMU sobre o oceano), totalizando 18 experimentos numéricos. Todas as simulações foram iniciadas às 0000 UTC do dia 1º de cada mês, entre os meses de fevereiro e julho de 2018, conforme descrito na Tabela 1. Ressalta-se ainda que, o primeiro mês de cada integração do modelo foi considerado como período de *spin-up* e, portanto, descartados das análises. O *spin-up* é o período que processos no solo podem influenciar as previsões, desta forma este período é considerado como o tempo de estabilização do modelo para a componente atmosférica, o mês descartado foi sugerido por estudo de Giorgi e Mearns (1999). Assim, a previsão do modelo é melhor representada, como por exemplo, o desenvolvimento livre das circulações atmosféricas geradas por fatores fisiográficos (SILVA, 2007).

Tabela 1 - Design dos experimentos numéricos com o modelo RegCM4.

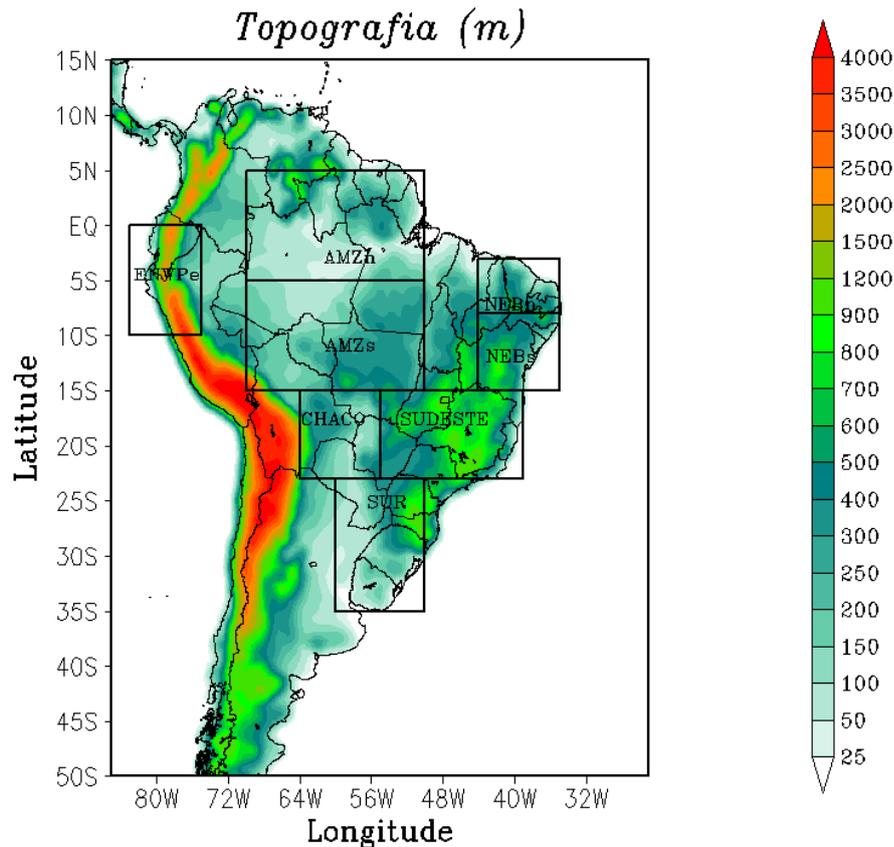
2018										
FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
*	X	X	X	X	X	X				
	*	X	X	X	X	X	X			
		*	X	X	X	X	X	X		
			*	X	X	X	X	X	X	
				*	X	X	X	X	X	X

* Inicialização e período de spin-up; X meses de previsão

A área de integração do modelo está compreendida entre as latitudes de $18,82^{\circ}\text{N}$ – $58,62^{\circ}\text{S}$ e longitude de $1,83^{\circ}\text{W}$ – $106,11^{\circ}\text{W}$, para toda região da América do Sul e parte dos oceanos Pacífico e Atlântico, porém a área avaliada está disposta na Figura 1. As resoluções horizontais e verticais foram de 50 km e 23 níveis sigma-pressão, respectivamente, com topo em 50 hPa.

Na Figura 1 observa-se também todos os subdomínios avaliados através de médias regionais dos acumulados mensais, cálculos de bias e índice de concordância. A Tabela 2 apresenta as dimensões (latitudes e longitudes) de todos os subdomínios avaliados. Alguns destes subdomínios foram avaliados por outros autores, porém com dimensões diferentes (SILVA, 2006, MACHADO, et al., 2011, GOMES, 2012, DANTAS et al., 2013; GONÇALVES,2015; DIAS, 2017; REBOITA et al., 2018).

Figura 1 - Domínio e subdomínios da área de estudo utilizado pelo RegCM4. As cores representam a topografia (m) da região.



Fonte: Autor (2019).

Tabela 2- Latitudes e Longitudes dos subdomínios avaliados nesta pesquisa.

Subdomínio	Latitude	Longitude
Amazônia Norte- AMZn	8°S – 3°S	44°W – 35°W
Amazônia Sul-AMNs	15 °S – 5°S	70 ° W – 50 ° W
Nordeste Norte-NEBn	8°S – 3°S	44°W – 35°W
Nordeste Sul- NEBs	15°S – 8°S	44°W – 35°W
Sul Brasil e Uruguai -SUR	35°S – 23°S	60°W – 50°W
Noroeste do Equador e Peru- ENWPe	10°S – 0°	83°W – 75°W
Sudeste- SUDESTE	23°S – 15°S	55°W – 39°W
Chacho- CHACO	23°S – 15°S	64°W – 55°W

Fonte: Autor (2019).

3.5. Validação Estatística

Para verificar a destreza do modelo quantitativamente, foram calculados o Erro Médio (BIAS) e o índice de Willmott (d) em cada subdomínio (descrito na Tabela 2), conforme descrito abaixo (WILKS, 2011).

O BIAS, considera uma determinada variável (X) com um sub-índice (M), indicando o valor simulado (X_M) e o valor observado O (X_O). Assim, o BIAS para a variável de interesse (X), será calculada para determinada área da seguinte forma (Equação 3):

$$b = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{Mi} - X_{Oi}) \quad \text{Eq.03}$$

no qual i representa o índice do ponto de grade e N o número total de pontos avaliados.

Para uma melhor avaliação foi calculado também o índice Willmott (d, WILLMOTT, 1981) para cada previsão avaliada (RegCM4) e condição inicial (CFSv2). Este índice leva em consideração a aproximação entre duas variáveis (simuladas/previstas e observadas), possibilitando medir o grau de concordância entre as previsões e os dados do CPC. Quando o resultado é 0 indica que não existe concordância, enquanto igual a 1 a concordância é perfeita. O Índice de Willmott é calculado através da Equação 04:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{Mi} - X_{Oi})^2}{\sum_{i=1}^N (|X'_{Mi}| + |X'_{Oi}|)^2} \quad \text{Eq.04}$$

onde $X'_{Mi} = X_{Mi} - X^m_{oi}$ e $X'_{oi} = X_{oi} - X^m_{oi}$. X^m_{oi} representa a média dos valores observados do CPC.

Na análise do índice “d” foi adotada a classificação sugerida por, Oliveira et al. (2008), a qual é apresentada na Tabela 3 o que sugere que os índices acima de 0,66 são melhores indicadores.

Tabela 3- Classificação dos índices de concordância de Willmott.

Índice de Willmott- d	Classificação
>0,86	Ótimo
0,76 – 0,85	Muito bom
0,66 – 0,75	Bom
0,61 – 0,65	Mediano
0,50 – 0,60	Sofrível
0,41 – 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Oliveira et al. (2008).

Para avaliação qualitativa, foi realizada uma comparação entre os dados previstos pelo RegCM4 e observados do CPC. Como estes dados possuem resoluções espaciais diferentes, foi utilizado um método de interpolação no dado do CPC visando modificar a sua resolução para a mesma resolução do RegCM4. Para tal, foi utilizado o *User Defined Function* (UDF), regrid2. O regrid2 é o primeiro de uma série de funções definidas de interpolação presentes no GrADS (*Grid Analysis and Display System*) que foi desenvolvido no *National Centers For Environmental Prediction* (NCEP).

4. Resultados e Discussões

Com o objetivo de avaliar as previsões climáticas do RegCM4 utilizando como condições fronteira os dados do modelo global CFSv2, previsões mensais de precipitação foram realizadas para um período de integração de sete meses, possibilitando avaliar a confiabilidade e destreza dessas previsões em relação aos dados do CPC. Nesta seção, serão apresentadas as análises subjetivas dos acumulados espaciais de precipitação, objetivas dos bias, médias regionais dos acumulados e bias nos subdomínios (AMZn, AMZs, NEBn, NEBs, SULDESTE, CHACO, SUR e ENWPe) e os índices de Willmott.

Avaliação da Previsão iniciada em Fevereiro de 2018

A Figura 2 mostra as previsões climáticas de precipitação (mm/mês) do modelo RegCM4, iniciadas no mês de fevereiro para os meses de março a agosto, para as parametrizações cumulus TID (a), GFC (b), EMU (c) e EMU-GFC (d), além das previsões do modelo CFSv2 (e) e análises do CPC (f).

De acordo com a Figura 2 (f1-f6), os maiores acumulados de precipitação encontrados nas análises do CPC foram no mês de março com os maiores acumulados foram observados na parte norte, centro sul e parte do nordeste brasileiro (150-1200 mm/mês). Apesar de grande parte da AS apresentar precipitações elevadas, algumas áreas específicas como a região central da Argentina, parte norte do Chile, litoral do Peru, parte de Roraima, sul e norte da Venezuela e Guiana, não ultrapassaram 25 mm/mês e algumas áreas no Brasil

Com relação as previsões do RegCM4 e para o primeiro mês de integração (março), os quatro esquemas de parametrização (TID, GFC, EMU e EMU-GFC) apresentaram padrões espaciais diferentes e subestimaram (superestimaram) os máximos (mínimos) de precipitação (Figura 2-a1-a6, b1-b6, c1-c6, d1-d6), bem como os resultados do CFSv2 quando comparados aos dados do CPC. A parametrização TID (Figura 2-a1) apresentou um melhor desempenho nas precipitações de até 200 mm/mês nas regiões norte e central do Brasil, porém não foi hábil em representar as precipitações acima de 250 mm/mês, principalmente em parte do estado Pará, Mato Grosso, norte do Peru, sul da Colômbia e leste do Equador. Para precipitações abaixo de 25 mm/mês, o TID representou de forma coerente a distribuição espacial sobre parte central da Argentina, norte do Chile e litoral peruano. Estes resultados concordam com aqueles encontrados por Kubota e Bonatti (2010), em especial sobre a região norte da AS, que também

utilizando a parametrização TID no modelo MCGA-CPTEC observaram melhores previsões de precipitação para valores de até 200 mm/mês.

A parametrização de Grell (GFC; Figura 2-b1) subestimou a precipitação sob as regiões centro oeste, sudeste e nordeste do Brasil, quando comparado aos dados do CPC. Além disso, foi possível verificar uma boa previsibilidade (de até 200 mm/mês) na região norte do Brasil, concordando com os resultados de Neves et al. (2011), os quais utilizaram esta mesma parametrização. Nas regiões sul do Brasil, norte da Argentina, Uruguai e Paraguai, o modelo RegCM4 conseguiu prever de forma coerente a distribuição espacial de precipitação, porém com o núcleo de 250 mm/mês deslocado mais para norte. Apesar da parametrização GFC ter reproduzido alguns padrões de precipitação, o mesmo não foi hábil em reproduzir a distribuição espacial em grande parte da América do Sul.

Para o esquema EMU (Figura 2-c1), foi possível observar uma superestimativa da precipitação sob o norte do Brasil, que difere daqueles encontrados por Neves et al. (2011). O esquema EMU-GFC (Figura 2- d1) não se mostrou hábil em reproduzir a precipitação no extremo norte da América do Sul, região central da Argentina, Bolívia e litoral dos estados do Espírito Santo e Bahia, onde a precipitação foi superestimada e deslocada para norte. Contudo, o modelo reproduziu de forma coerente as precipitações com acumulados de até 200 mm/mês quando comparados ao CPC.

A partir dos dados do CFSv2 (Figura 2- e1), observou-se que os mesmos subestimaram a precipitação sobre toda área da América do Sul, com maiores quantidades (300 mm/mês) sobre as regiões nordeste e sul do Brasil e extremo norte da América do Sul. Comparando estes resultados com os obtidos pelo RegCM4, destaca-se uma melhor destreza do modelo regional.

No mês de abril (Figura 2- f2) observou-se áreas mais secas com menores acumulados mensais sobre a região central da América do Sul, enquanto as maiores intensidades pluviométricas foram observadas na parte centro-norte da América do Sul, sul do Brasil, norte da Argentina e Uruguai. Através das análises do esquema EMU-GFC (Figura 2- d2), foi possível verificar um melhor padrão espacial da precipitação entre as latitudes 0° – 5° N, onde verificou-se um núcleo mais intenso no campo previsto e observado, porém este núcleo é subestimado nos acumulados mensais, diferente da região sul do Brasil, norte da Argentina e Uruguai, onde a previsão deslocou a precipitação mais ao norte quando comparado com o CPC. Essas características também foram observadas na região central do Brasil e na Bolívia, onde o esquema não conseguiu capturar o comportamento mensal da precipitação, enquanto no estado da Bahia possuiu tendências de superestimar os acumulados acima de 600 mm/mês.

O esquema EMU (Figura 2- c2) previu a distribuição espacial da precipitação na região centro-oeste da América do Sul, parte do Sudeste e Nordeste do Brasil, porém superestimou os acumulados mensais nestas regiões. Verifica-se um deslocamento mais ao norte da banda de precipitação localizada na região sul do Brasil, norte da Argentina e Uruguai. O esquema TID (Figura 2- a2) previu a precipitação sobre a região da Amazônia Norte e Amazônia Sul, porém com tendências a subestimação. Na região centro-oeste da América do Sul, parte do Sudeste e Nordeste do Brasil, onde observa-se as partes mais secas, o esquema TID previu de forma coerente a distribuição espacial da precipitação, enquanto que o esquema GFC (Figura 2- b2) subestimou a precipitação em parte do centro oeste, sudeste e parte do nordeste Brasileiro, observando-se melhor previsibilidade nos acumulados entre 50 – 200 mm/mês no litoral da Bahia até o litoral sul de Pernambuco. Os dados do CFSv2 (Figura 2- e2) subestimaram os acumulados e distribuição espacial de precipitação, concentrando maiores volumes pluviométricos no extremo norte e sul da América do Sul, e em parte do nordeste brasileiro.

No mês de maio são observadas regiões mais secas em parte do centro-oeste, sudeste e nordeste do Brasil (Figura 2- f3), quando comparado com as previsões realizadas pelo RegCM4, os esquemas TID, GFC e EMU-GFC (Figura 2- a3, b3 e d3), apresentaram uma melhor previsibilidade para a distribuição e os acumulados mensais de precipitação, convergindo para os dados do CPC, diferente do esquema EMU (Figura 2- c3) que superestimou a distribuição espacial. A previsão do RegCM4 em áreas com precipitações mais intensas como norte da América do Sul, no qual localizam-se os máximos das convecções, a distribuição de precipitação para os esquemas GFC, EMU e EMU- GFC (Figura 2- b3, c3 e d3) são mais próximas das análises do CPC, com destaque para EMU-GFC. O esquema GFC conseguiu capturar melhor o posicionamento de uma banda de precipitação que corta a América do Sul, estendendo-se até o Sul do Brasil, subestimando os acumulados mensais, onde previu o máximo de 100 mm/mês. Os dados do CFSv2 (Figura 2- e3) mantiveram os mesmos padrões das análises anteriores, resultando em menores acumulados mensais, sobressaindo-se melhor em parte do litoral nordeste do Brasil.

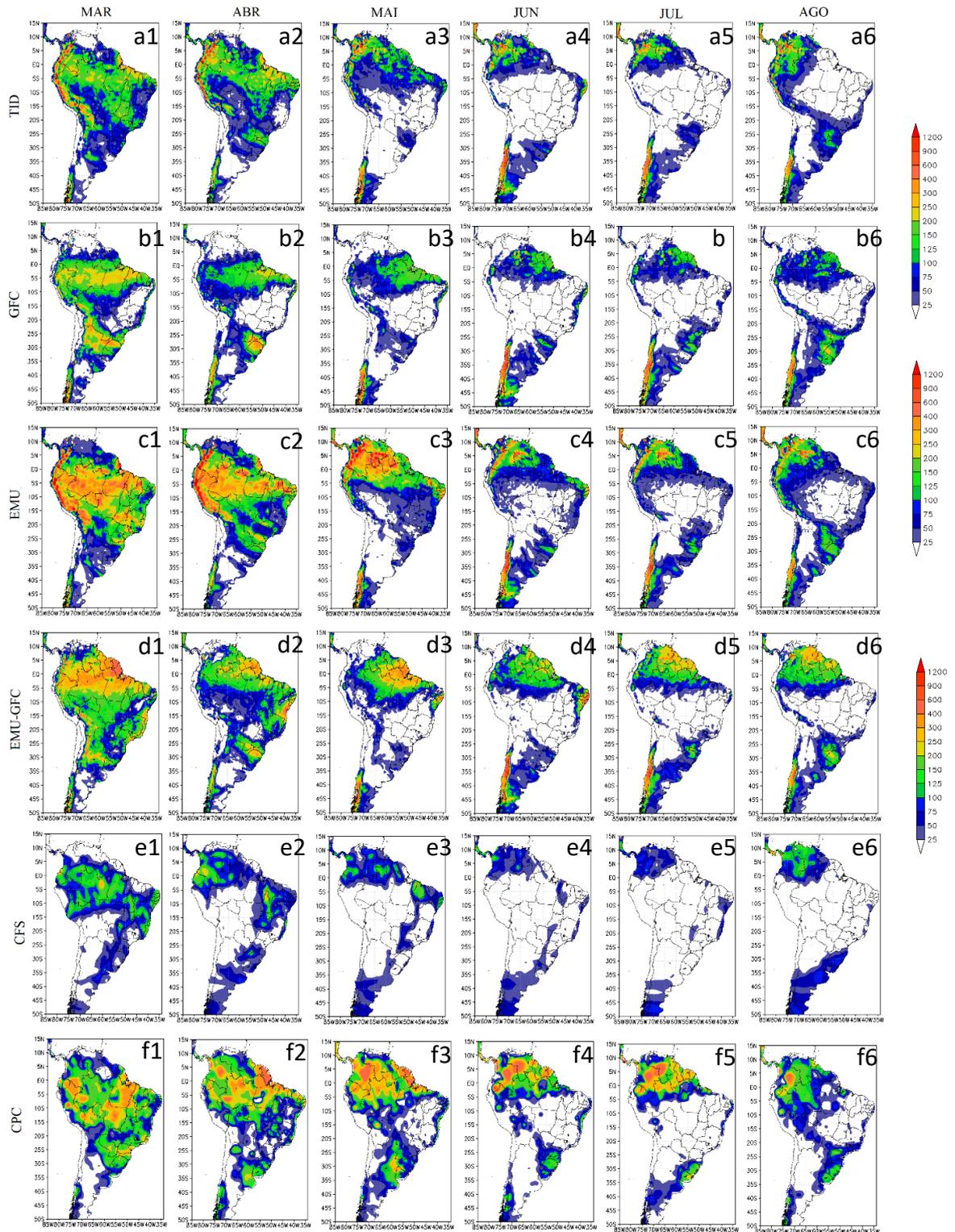
No mês de junho (Figura 2- f4) os núcleos mais intensos de precipitação são observados no extremo norte e sul da América do Sul, sul do Brasil, Uruguai, Oeste da Argentina e litoral da Bahia até o Rio Grande do Norte. Nas comparações entre os campos previstos e observados, foi possível verificar que os núcleos mais intensos no extremo norte e sul da América do Sul não foram previstos de forma coerente por todos os esquemas (Figura 2- a4, b4, c4, e d4), onde subestimou ao norte e superestimou ao sul, enquanto no modelo global CFSv2 são observadas subestimação em todas as áreas. Nas áreas com acumulados de 25 mm/mês, os esquemas TID,

GFC e EMU-GFC, e o modelo global CFSv2, conseguiram prever a distribuição e os acumulados mensais, com destaque para a região norte e nordeste do Brasil. Os resultados encontrados vão de acordo com Reboita et al. (2018), que mencionam que o modelo RegCM4 tende a reproduzir bem os padrões mais secos de precipitação.

Na Figura 2- f5 que corresponde ao acumulado mensal do CPC para o mês de julho, é observado os mesmos padrões pluviométricos do mês anterior em questão. Nas análises comparativas entre os dados do CPC e as previsões do RegCM4, observa-se em termos de intensidade e distribuição espacial da precipitação que o esquema EMU- GFC e EMU (Figura 2- c5 e d5) tiveram um melhor desempenho nas previsões sob o extremo norte da América do Sul, enquanto os demais esquemas (TID e GFC, Figura 2- a5 e b5) e o modelo global (Figura 2- e5) reproduziram a distribuição espacial entre $0^{\circ} - 5^{\circ}$ S, e entre $5^{\circ} - 10^{\circ}$ N. No litoral do nordeste brasileiro o esquema GFC apresenta um bom desempenho no acumulado e na distribuição espacial da precipitação (Figura 2- b5). No extremo sul da América do Sul nenhuma das previsões conseguiram capturar bem as precipitações.

No mês de agosto (Figura 2- f6) observa-se uma intensificação nos acumulados e distribuição espacial da precipitação, cortando a parte central da região continental da América do Sul com acumulados de 100 mm/mês. O esquema TID (Figura 2- a6) representou a precipitação no extremo norte, áreas centrais da América do Sul, litoral nordestino do Brasil, sul do Brasil, norte da Argentina e Uruguai, porém o esquema não previu as precipitações incidentes na região central da Argentina e no extremo sul do Chile, tal como os demais esquemas que obtiveram os mesmos resultados nestas áreas anteriormente mencionadas (Figura 2- b6, c6 e d6). Nos acumulados de até 25 mm/mês, os esquemas GFC, EMU e EMU-GFC (Figura 2- b6, c6 e d6) apresentaram bom desempenho no centro-oeste e parte do nordeste do Brasil. O esquema EMU (Figura 2- c6) tendeu a superestimar a distribuição espacial em todo litoral com oceano atlântico no suldeste, nordeste e norte do Brasil. Os esquemas (TID, GFC, EMU e EMU-GFC, Figura 2- a6, c6 e d6) conseguiram prever a precipitação na área central da América do Sul, porém em alguns casos é visto uma subestimação na distribuição espacial e no posicionamento da precipitação. O modelo CFSv2 (Figura 2- e6) tendeu a subestimar os volumes e a distribuição da precipitação em todos os meses analisados.

Figura 2- Precipitação acumulada mensal (mm/mês) prevista pelo modelo RegCM4 para os meses de março a agosto de 2018 com os esquemas de TID (a), GFC (b), EMU (c) e EMU-GFC (d), prevista pelo modelo global CFSv2/CFS (e) e observada pelo CPC (f). Previsões inicializadas no mês de fevereiro de 2018.



Fonte: Autor (2019).

A Figura 3 mostra as médias mensais de precipitação (mm/mês) nos subdomínios estudados apresentado na Figura para as previsões realizadas pelo RegCM4 com os esquemas TID, GFC, EMU e EMU-GFC, modelo global CFSv2, e a observação do CPC. É possível observar que na AMZn (Figura 3- a) no primeiro mês de integração os esquemas TID e GFC conseguiram aproximar das médias do CPC com volumes de aproximadamente 138 mm/mês, porém subestimaram a precipitação, que resultou em menores índices de Willmott (Tabela 4), onde TID foi de 0,57 (sofrível) e GFC, 0,60 (sofrível), com isto as previsões com os esquemas EMU e EMU-GFC representaram melhor as médias regionais, apresentando índices de Willmott (Tabela 4) de 0,63 e 0,67 (mediano e bom), respectivamente.

No subdomínio da AMZs (Figura 3- b) observa-se que nos meses de março e abril, com exceção do esquema MEU, todas as previsões subestimaram demasiadamente as médias na área, sendo CFSv2 que teve pior desempenho e subestimou aproximadamente 139 mm/mês. Nos demais meses de integração os esquemas de parametrização aproximaram dos valores observados, enquanto o CFSv2 tendeu a subestimar. De acordo com os índices de Willmott (Tabela 4), o esquema que teve melhor concordância foi EMU-GFC e EMU com 0,90 e 0,89 (ótimo), respectivamente. O modelo global CFS apresentou pior performance dentre as previsões, porém com índice de concordância alto (0,72, bom). Dias (2017), observou que os índices de Willmott mais altos foram do CFSv2 seguido pelo RegCM4 com o esquema MEU no mesmo período. Este melhor desempenho do CFSv2 no estudo de Dias (2017), pode ter sido gerado pelas dimensões das latitudes e longitudes dos subdomínios avaliados, no qual a caixa avaliada possui dimensões menores quando comparadas com a desta análise.

No subdomínio NEBn (Figura 3- c) nos primeiros dois meses de integração os esquemas TID, GFC e EMU aproximaram-se do CPC, flutuando cerca de 80 mm/mês para mais e para menos. Nos demais meses os esquemas de TID e GFC, e o modelo global CFSv2 conseguiu aproximar dos valores mensais do CPC subestimando em média 20 mm/mês. Os maiores índices de concordância de Willmott (Tabela 4) foram dos esquemas TID e GFC (0,82 e 0,86, muito bom e ótimo), e o modelo global CFSv2 (0,85, muito bom). Estes resultados diferem dos encontrados por Dias (2017) nesta mesma área, que observou índices maiores utilizando a parametrização EMU. No subdomínio NEBs (Figura 3- d) o esquema GFC apresentou bons resultados quando comparados com valores do CPC durante os meses de abril, maio, julho e agosto, subestimando em média 9 mm em todo o período, enquanto o modelo global CFSv2 subestimou em média 1 mm. Ao analisar os índices de Willmott (Tabela 4) comprova-se que os esquemas GFC e o CFSv2 tiveram uma melhor performance, com índices 0,79 (GFC, muito bom) e 0,88 (CFSv2, ótimo).

Na área do Sul do Brasil e Uruguai (SUR, Figura 3- e) nenhum dos esquemas conseguiram capturar todos os meses de integração, superestimando em mais de 80 mm os valores de precipitação menos intensos do CPC, enquanto os máximos de precipitação do CPC todos os esquemas subestimaram em aproximadamente 90 mm. No segundo e último mês de integração da previsão realizada pelo RegCM4, abril e agosto, respectivamente, apenas o esquema TID aproximou-se do observado (CPC), flutuando em média 5 mm de diferença para cada um dos meses. Também foi observado uma aproximação no mês de julho, entre o CPC e os esquemas EMU, GFC e EMU-GFC com diferença de 2 mm. De acordo com a Tabela 4 os quatro esquemas de parametrização e o modelo global possuíram menores índices de concordância na área avaliada, porém o esquema que teve melhor índice foi TID (0,68, bom). Gonçalves (2015) também utilizando o modelo RegCM4 com dados do CFSv2, observou que os melhores resultados das previsões de precipitação foram obtidos utilizando o esquema de parametrização EMU e EMU-GFC.

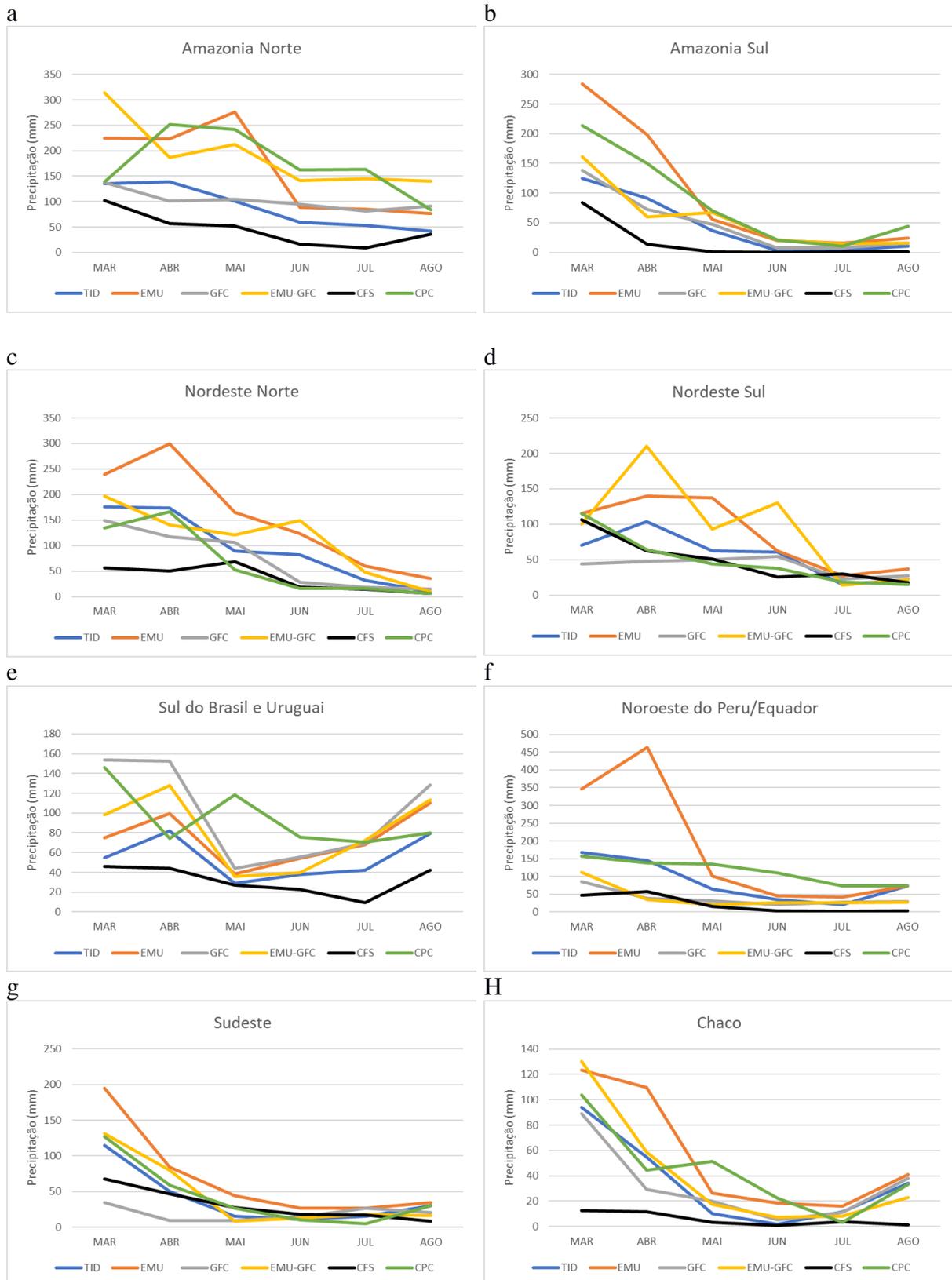
No Noroeste do Peru e Equador (ENWPe, Figura 3- f) nos dois primeiros meses de integração os esquemas GFC, EMU-GFC subestimaram a precipitação, enquanto EMU superestimou demasiadamente prevendo até 450 mm/mês, onde no CPC foi 150 mm/mês. O esquema TID, nestes meses, foi hábil em prever as médias de precipitação na área com menor destreza em relação ao CPC. Também no último mês de integração (agosto) o esquema anteriormente mencionado e EMU previram melhor as médias dos acumulados pluviométricos. Os maiores índices de Willmott (Tabela 4), foram observados com o esquema TID (0,68, bom) e EMU (0,50, sofrível).

Na região SUDESTE (Figura 3- g) as previsões TID, EMU, EMU-GFC e o modelo global CFSv2 representaram melhor as médias regionais, porém nos meses iniciais o esquema EMU tendeu a superestimar a precipitação em 80 mm/mês, enquanto o CFSv2 tendeu a subestimar em aproximadamente 60 mm/mês. Esta região em comparação aos dados observados do CPC apresentou menor *Skill* em relação aos demais subdomínios entre os meses de maio a agosto. Os índices de Willmott (Tabela 4) foram todos acima de 0,76 (muito bom), o que mostra a boa capacidade do modelo RegCM4 utilizando diferentes parametrizações e o modelo global CFSv2 em prever a precipitação no subdomínio avaliado.

No subdomínio CHACO (Figura 3- h) nos meses de março e abril os esquemas que melhor representaram foram TID e GFC, enquanto no segundo mês (abril) EMU-GFC superestimou 10 mm/mês prevendo melhor a média regional de precipitação. No mês de maio todos os esquemas e o modelo global CFSv2 subestimaram a precipitação em aproximadamente 25 mm/mês, no mês de junho o esquema EMU subestimou apenas 4 mm/mês. No mês de julho

o modelo global CFSv2 teve destreza menor que 1 mm/mês, enquanto no último mês de previsão (agosto) os esquemas TID, EMU e GFC superestimaram 8 mm/mês quando comparados com o CPC. Dentre a análise o maior valor de índice Willmott foi observado para o esquema TID (0,70, bom).

Figura 3- Médias regionais dos acumulados mensais de precipitação (mm/mês), para os subdomínios em avaliação para a previsão iniciada em fevereiro de 2018. a) AMZn, b)AMZs, c)NEBn, d)NEBs, e)SUR, f)ENWPe, g)SULDESTE e h)CHACO. No qual, a linha verde corresponde o CPC, azul o TID, laranja o EMU, cinza o GFC, amarelo o EMU-GFC e preto o CFS/CFSv2.



Fonte: Autor (2019).

Tabela 4- Índice de Concordância de Willmott calculado para todos os subdomínios das previsões de precipitação iniciadas em fevereiro de 2018.

	d_TID	d_EMU	d_GFC	d_EMU- GFC	d_CFS
AMZn	0,57	0,63	0,60	0,67	0,47
AMZs	0,81	0,89	0,83	0,90	0,71
NEBn	0,82	0,62	0,86	0,72	0,85
NEBs	0,70	0,62	0,79	0,58	0,88
SUR	0,69	0,67	0,65	0,62	0,50
ENWPe	0,68	0,50	0,46	0,48	0,40
SUDESTE	0,94	0,81	0,76	0,84	0,86
CHACO	0,70	0,69	0,69	0,66	0,52

Fonte: Autor (2019).

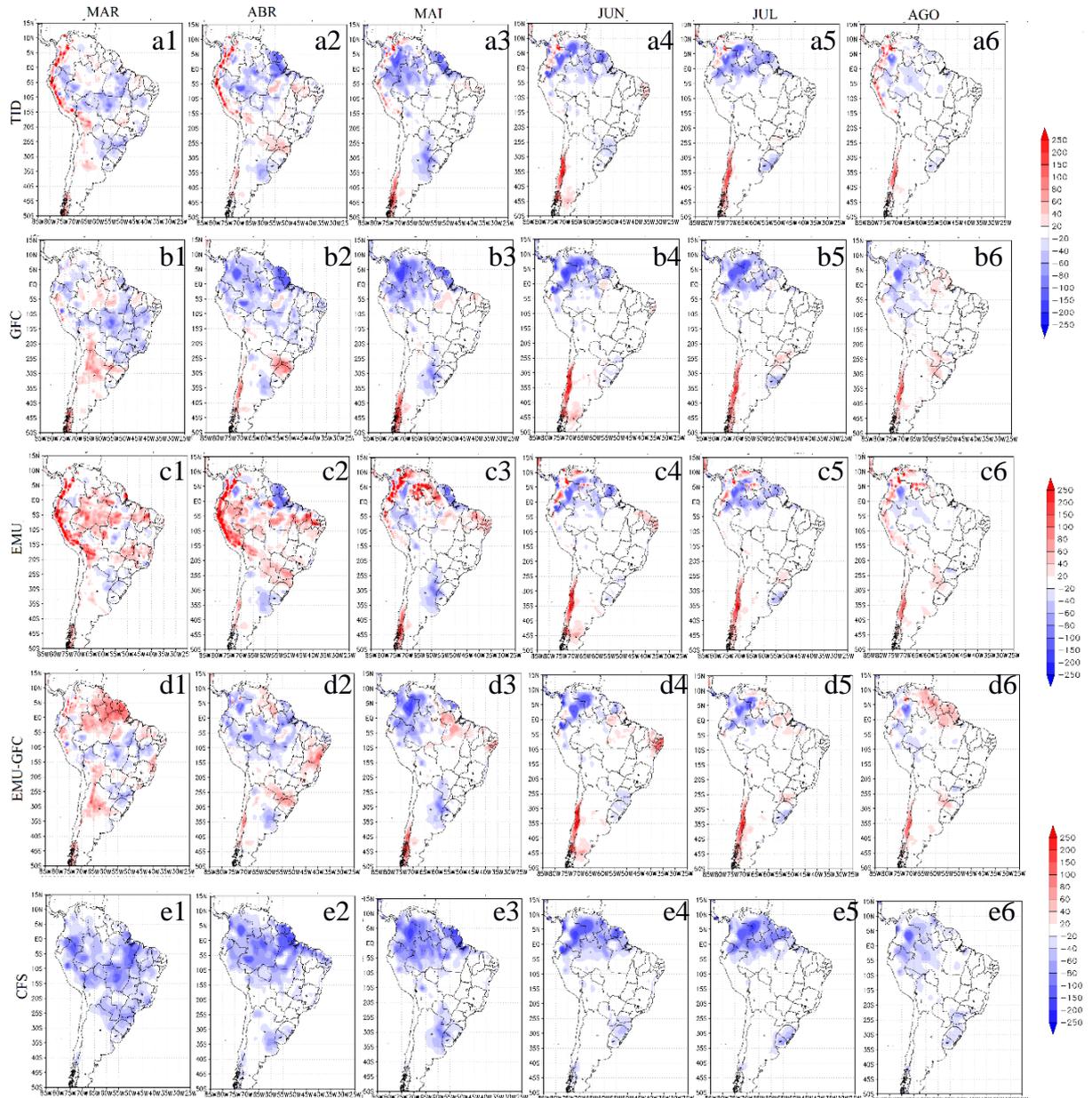
Na Figura 4 e 5 são apresentados os bias espaciais e para os subdomínios, respectivamente das previsões do RegCM4 com diferentes esquemas de parametrizações e o modelo global CFSv2.

As previsões do CFSv2 (Figura 4- e1 a e6) subestimaram a precipitação em até 200 mm/mês durante todo o período de integração, principalmente nos meses de março, abril e maio que foram os mais chuvosos. O esquema EMU (Figura 4- c1 a c6) foi o que mais apresentou bias positivo da precipitação em todo o período de integração do modelo RegCM4, porém nos meses mais seco (junho, julho e agosto) o esquema apresentou bias entre -20 – 20 mm/mês. Vale destacar, que durante os meses previstos os esquemas apresentaram bias positivo com aproximadamente 250 mm/mês no extremo sul da América do Sul, porém estas superestimativas podem estar associadas a erro do modelo regional.

No mês mais chuvoso (março) o esquema TID (Figura 4- a1) apresentou melhor habilidade em prever a precipitação no norte da América do Sul e no subdomínio SUDESTE, enquanto entre os meses de abril a julho o esquema de convecção mista (EMU-GFC, Figura 4- d1 a d6) apresentou bias entre -20 – 20 mm/mês. No mês de agosto os esquemas TID, GFC e EMU apresentaram menores bias no extremo norte da América do Sul. Com relação as precipitações com intensidades inferiores a 100 mm/mês, os esquemas e o modelo global CFSv2 apresentaram bias mais próximos da neutralidade, mostrando a habilidade em prever melhor os acumulados de precipitação com menor intensidade, principalmente na região central da América do Sul e da Argentina.

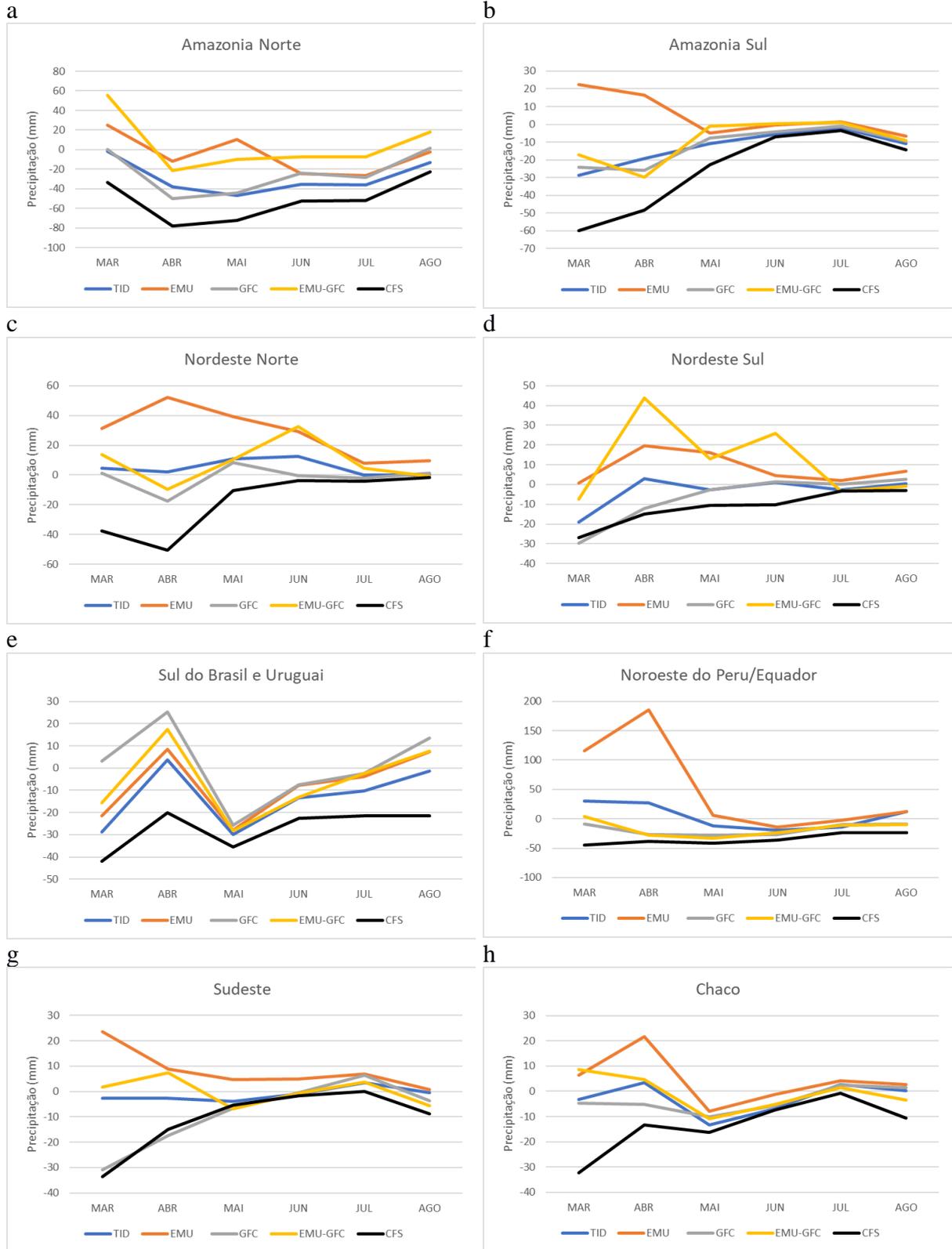
Quando avaliada as médias do bias nos subdomínios (Figura 5), verifica-se que o TID apresentou melhor desempenho nos subdomínios AMZs, NEBn, NEBs, ENWPe, SUDESTE e CHACO (Figura 5- a, c, d, f, g e h). Vale salientar que apesar do referido esquema ter melhor previsto a precipitação durante todo o período de integração do modelo nos 6 subdomínios, os demais esquemas (GFC, EMU e EMU-GFC) e o modelo global CFSv2 apresentaram bons resultados nos meses de maio a agosto nos subdomínios AMZs, ENWPe, SUDESTE e CHACO (Figura 5- a,f, g e h), onde as médias regionais de bias foram mais próximas de 0. No subdomínio AMZn o esquema convecção mista EMU-GFC durante os seis meses de integração flutou menores valores de bias entre -21 – 55 mm/mês. Para o subdomínio SUR, nenhum dos esquemas utilizados no RegCM4 e o modelo CFSv2 aproximaram da precipitação prevista da observada, assim, não sendo hábeis em representar a precipitação no subdomínio avaliado durante todos os meses de integração apenas no mês de junho.

Figura 4- Bias da precipitação acumulada mensal (mm/mês) do modelo RegCM4 para o meses de março a agosto de 2018 com os esquemas de TID (a), GFC (b), EMU (c) e EMU-GFC (d) e prevista pelo modelo global CFSv2/CFS (e), calculada utilizando os dados do CPC.



Fonte: Autor (2019).

Figura 5- Médias regionais dos bias mensais de precipitação (mm/mês), para os subdomínios em avaliação para a previsão iniciada em fevereiro de 2018. a) AMZn, b)AMZs, c)NEBn, d)NEBs, e)SUR, f)ENWPe, g)SULDESTE e h)CHACO. No qual, a linha azul corresponde o TID, laranja o EMU, cinza o GFC, amarelo o EMU-GFC e preto o CFS/CFSv2.



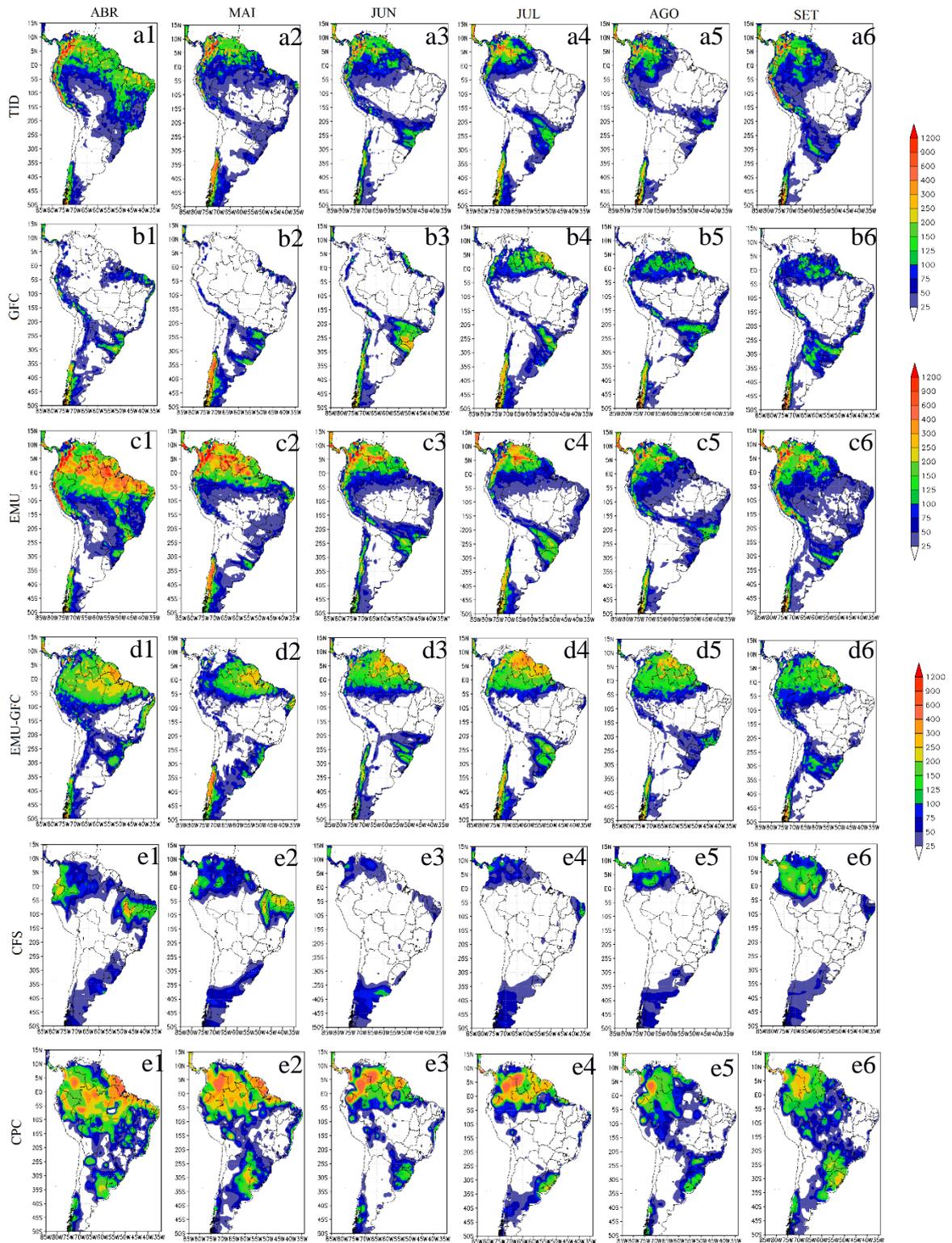
Avaliação da Previsão iniciada em Março de 2018

A Figura 6 mostra as previsões climáticas de precipitação mensal acumulada (mm/mês) do modelo RegCM4 iniciadas no mês de março para os meses de abril a setembro (Figura 6- a, b, c, d), além dos acumulados mensais das previsões do modelo global CFSv2 (Figura 6- e) e os campos espaciais de precipitação acumulada do CPC (Figura 6- f).

. No mês de maio o esquema TID (Figura 6- a2) conseguiu prever o posicionamento da banda de precipitação que corta a América do Sul (Figura 6- e2) como também a precipitação presente no litoral do nordeste e norte do Brasil, tal como EMU porém com valores mais baixos. O esquema EMU (Figura 6- c1 e c2) apesar de superestimar alguns núcleos de precipitação, previu melhor a distribuição espacial da precipitação no norte da América do Sul, tal como o esquema EMU-GFC (Figura 6- d3 a d6) que na mesma região apresenta-se hábil em prever os acumulados e a distribuição mensal nos meses entre maio a agosto, variando entre 100 – 400 mm/mês, porém deslocando alguns núcleos mais intensos.

No mês de agosto a banda de precipitação cortando a América do Sul (Figura 6- f5) foi prevista por todos os esquemas, no entanto apresentou um deslocamento nos acumulados, onde os esquemas com melhores resultados foram TID e EMU-GFC (Figura 6- a5 e d5). No oeste do extremo norte do continente sul-americano, os esquemas TID, EMU e EMU-GFC representaram a distribuição dos acumulados de 200 mm/mês nos meses agosto e setembro, onde a precipitação observada se intensifica (Figura 6- a5, c5, d5, a6, c6, d6 e e6). O modelo CFSv2 (Figura 6- e1 a e6) tendeu a subestimar a precipitação mais intensas, tendo melhor desempenho nas previsões de precipitação durante os meses mais secos e precipitações com acumulados de 25 mm/mês.

Figura 6- Similar a Figura 2, porém para os meses entre abril a setembro com previsões iniciadas no mês de março de 2018.



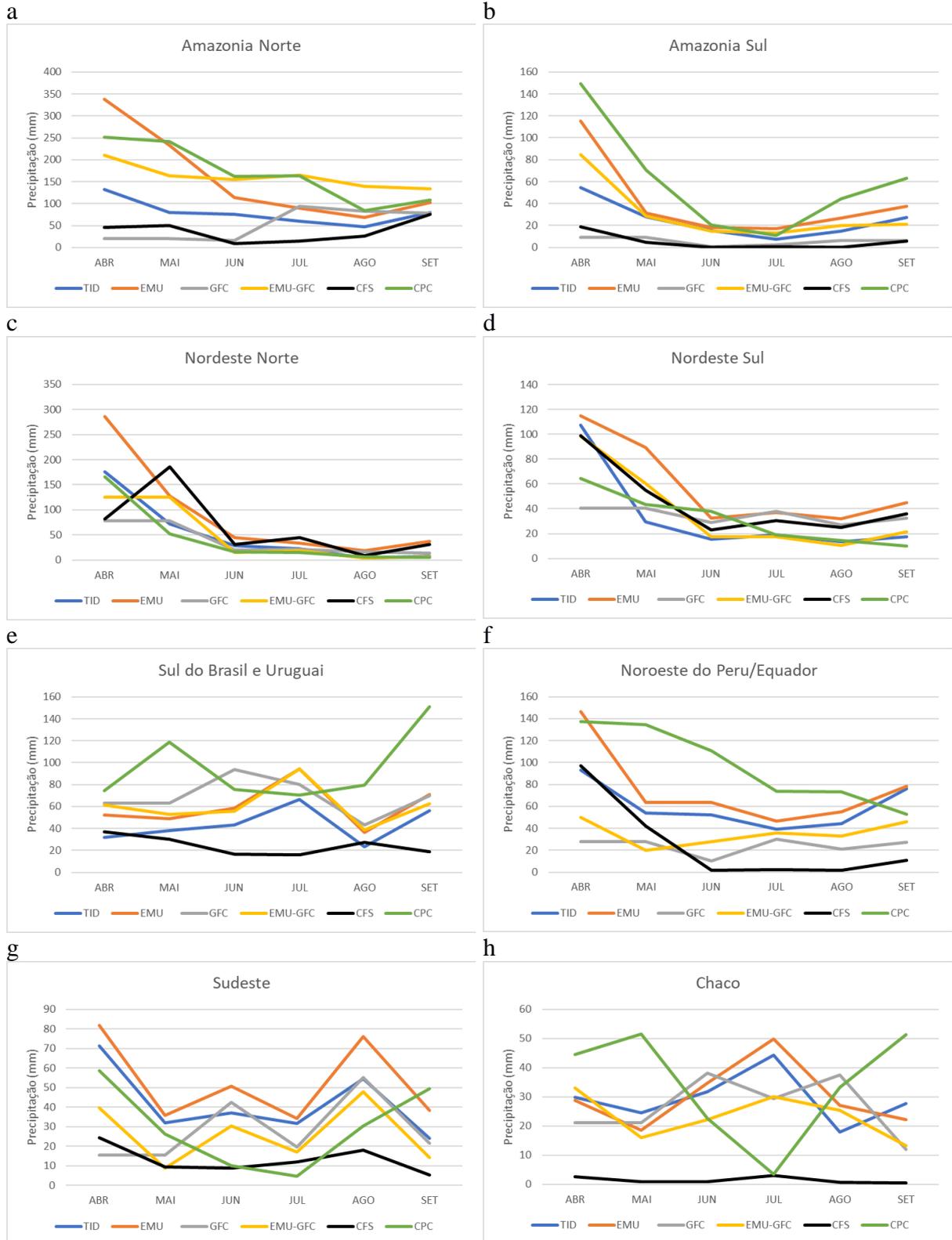
Fonte: Autor (2019).

Similar a Figura 3, mas para as previsões iniciadas no dia 01 de março de 2018. Observa-se nos subdomínios AMZn e AMZs (Figura 7- a e b) que os esquemas EMU e EMU-GFC apresentaram médias regionais mais próximas do observado (CPC), na Amazônia Norte entre os meses de maio a setembro, e Amazônia Sul entre junho a setembro. De acordo com os cálculos dos índices Willmott (Tabela 5) na AMZn os esquemas de EMU e EMU-GFC tiveram índices de 0,67 (bom) e 0,83 (muito bom), respectivamente, e AMZs 0,70 (bom) e 0,65 (mediano), respectivamente. Na AMZn o esquema EMU-GFC, apesar de não capturar bem os núcleos mais intensos de precipitação, ao calcular as médias nas áreas dos subdomínios, o esquema tende a aproximar dos valores observados resultando numa melhor concordância.

Nos subdomínios NEBn (Figura 7- c) os quatro esquemas de parametrização e o modelo global CFSv2 aproximaram-se dos dados observados do CPC, resultando em altos índices de Willmott (Tabela 5) indicando alta concordância, com destaque para o esquema TID (0,89, ótimo). No Nordeste Sul (Figura 7-d) foram observadas aproximações TID e EMU-GFC nos meses de julho, agosto e setembro, com maiores índices de concordância 0,79 (TID, muito bom) e 0,78 (EMU-GFC e GFC, muito bom). Dantas et al. (2013) avaliaram previsões iniciadas durante o mesmo período no Nordeste Brasileiro com subdomínios localizado entre $35^{\circ}\text{W} - 48^{\circ}\text{W} / 3^{\circ}\text{S} - 18^{\circ}\text{S}$, os autores verificaram que o esquema GFC foi hábil em prever a precipitação nos meses entre maio a setembro. Por se tratar de apenas um subdomínio no estudo anteriormente citado, ao dividirmos o Nordeste em dois subsetores, observamos que outros esquemas tiveram bom desempenho quando comparados com o CPC. Com relação ao desempenho do CFSv2 no Nordeste Sul, os resultados foram de acordo com as análises de Reboita et al. (2011).

Nos subdomínios Sudeste, Chaco, Sul do Brasil e Uruguai (Figura 7- e, g e h) os esquemas e o modelo global não reproduziram bem as médias nas áreas nos meses de integração, onde no Sul do Brasil e Uruguai o índice de Willmott apresentou melhor concordância com o esquema GFC (0,70, bom), enquanto nos demais subdomínios os esquemas TID (0,61, mediano) e EMU-GFC (0,64, mediano). Com relação ao subdomínio Noroeste do Peru e Equador (Figura 7- f) todos os esquemas subestimaram a precipitação em mais de 100 mm, porém o esquema EMU melhor reproduziu a precipitação na região nos meses de abril, agosto e setembro, o que resultou concordância de 0,72 (bom) (Tabela 5).

Figura 7- Similar a Figura 3, porém para as previsões iniciadas em março de 2018.



Fonte: Autor (2019).

Tabela 5- Similar a Tabela 4, porém para as previsões iniciadas em março de 2018.

	d_TID	d_EMU	d_GFC	d_EMU- GFC	d_CFS
AMZn	0,53	0,67	0,50	0,83	0,47
AMZs	0,63	0,70	0,56	0,65	0,55
NEBn	0,89	0,71	0,86	0,85	0,73
NEBs	0,79	0,64	0,77	0,78	0,73
SUR	0,59	0,64	0,70	0,65	0,47
ENWPe	0,64	0,72	0,52	0,57	0,51
SULDESTE	0,61	0,57	0,54	0,57	0,59
CHACO	0,59	0,58	0,58	0,64	0,48

Fonte: Autor (2019).

Similar a figura 4, mas para os bias gerados para as previsões iniciadas no dia 01 de março de 2018. Observa-se na Figura 8 nos três primeiros meses que as previsões do RegCM4 com os esquemas de TID e GFC, e o modelo global CFSv2 tenderam a subestimar a precipitação em aproximadamente 200 mm/mês no extremo norte da América do Sul (Figura 8- a1 a a3, b1 a b3 e e1 a e3), além disso o GFC e o CFSv2 subestimaram também a precipitação na região central da América do Sul. No primeiro mês de integração também é observado que todos os esquemas e o modelo global CFSv2 apresentaram bias entre -20 – 20 mm nos estados de Minas Gerais e Bahia. Sendo o esquema EMU- GFC que apresentou menores variações de bias em toda área estudada (Figura 8- d1 a d3). Nos três últimos meses das previsões o esquema EMU e EMU-GFC apresentaram bias menos intensos (Figura 8- c4 a c6 e d4 a d6).

Observa-se, de maneira geral, que o RegCM4 utilizando o esquema EMU-GFC com dados iniciais do CFSv2, melhorou notavelmente as previsões do modelo global CFSv2 em áreas onde as precipitações são mais intensas como no extremo norte da América do Sul, Uruguai e Sul do Brasil, porém também são observados bom desempenho do CFSv2 em áreas onde a precipitação tem menor intensidade.

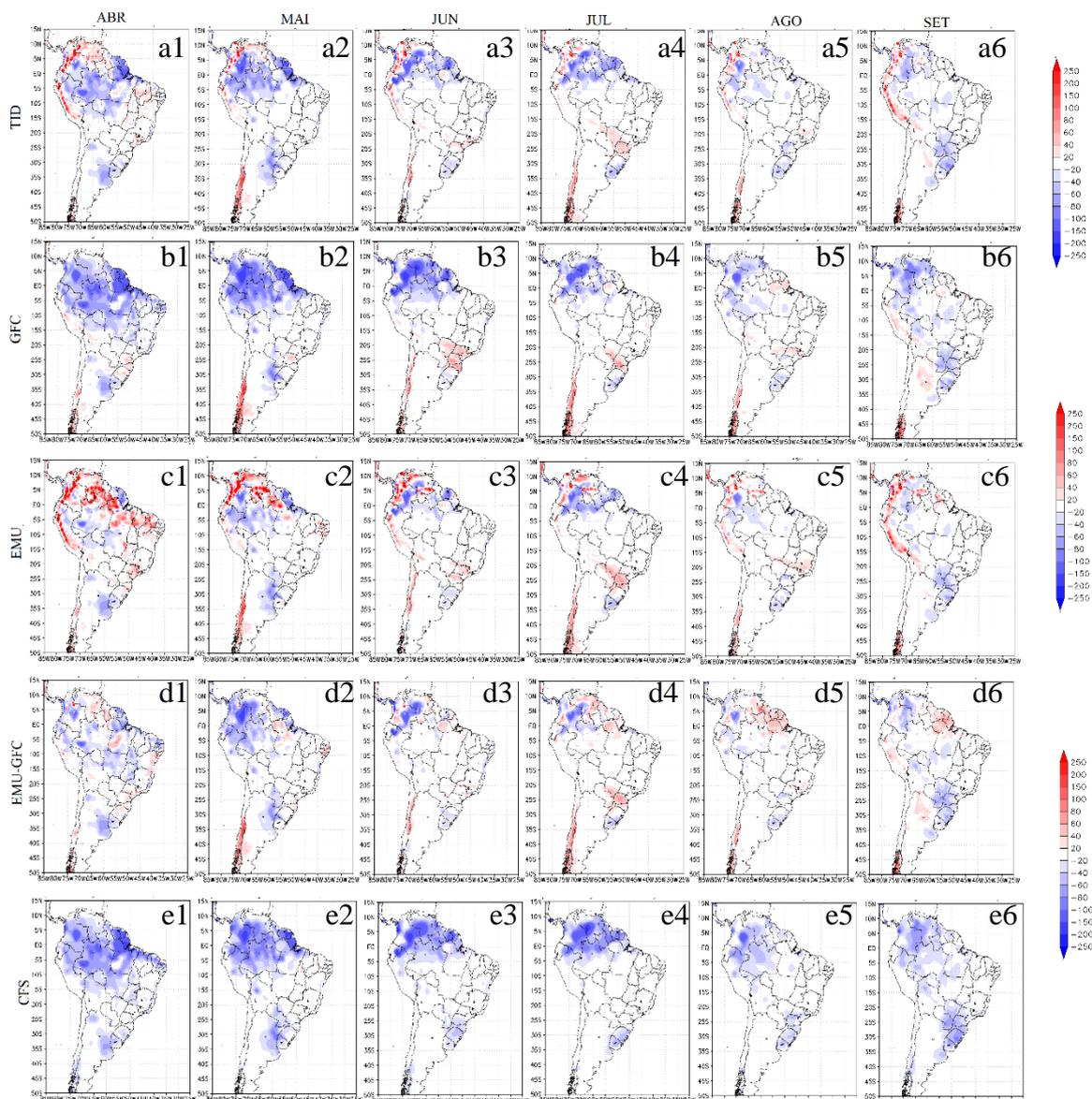
Na Figura 9 está disposto as médias regionais do bias calculado através dos dados previstos com o RegCM4 (TID, GFC, EMU e EMU-GFC), CFSv2 e observados CPC para cada subdomínio estudado. No subdomínio Amazônia Norte (Figura 9- a) o esquema EMU-GFC ficou mais próximo da neutralidade durante os meses de junho e julho, e o esquema EMU nos meses de agosto e setembro. Na região Amazônia Sul (Figura 9- b) os esquemas TID, GFC, EMU e EMU-GFC apresentaram bias menores entre os meses de junho a setembro com flutuações entre -9 – 0,7 mm/mês, sendo verificado que os esquemas são mais propícios a prever a precipitação durante este período do ano, corroborando com os resultados de De Souza et al. (2015) que utilizou os esquemas EMU e GFC.

No subdomínio do Nordeste Norte as médias regionais do bias (Figura 9- c) mostraram que entre os meses de maio a setembro o esquema TID e o modelo global CFSv2 foi próximo de 0, indicando a boa previsibilidade na área. O esquema GFC também apresentou bons resultados, porém se distanciou da neutralidade no mês de junho, período em que o esquema superestimou a precipitação na área, diferente do subdomínio Nordeste Sul (Figura 9- d), onde o GFC e o TID mostrou-se eficaz durante os meses de junho, julho e agosto, não distanciando-se dos valores do CPC.

Com relação aos subdomínios Sudeste, Chaco, Sul do Brasil e Uruguai (Figura 9- e, g e h) nenhum dos esquemas e modelo global CFSv2 apresentaram bias próximos da neutralidade em todo o período de integração (abril a setembro), com exceções de alguns meses que

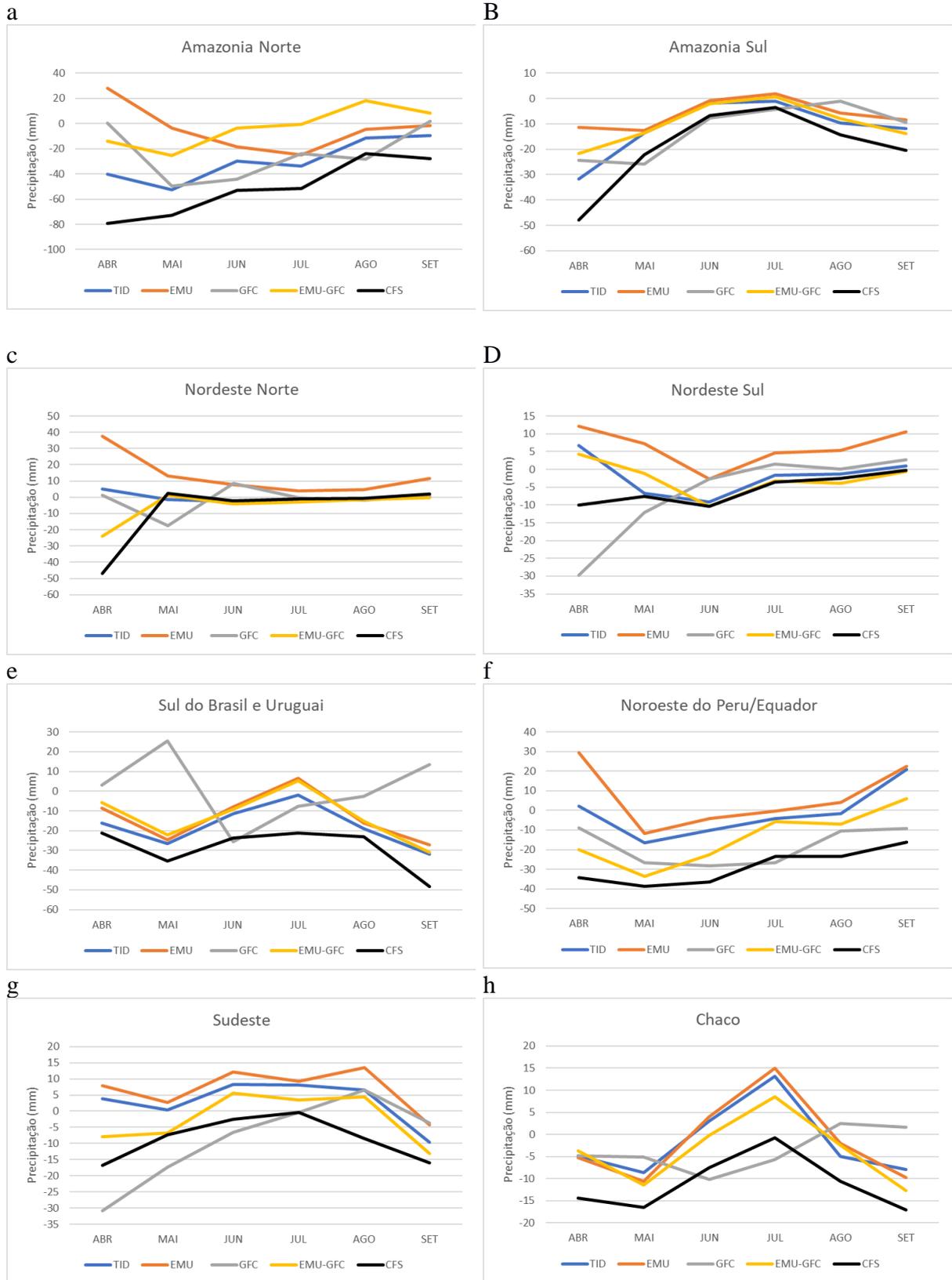
apresentaram bias menores nas áreas do Sul do Brasil e Uruguai (esquema EMU e EMU-GFC no mês de julho), Sudeste (GFC e CFSv2 no mês de julho) e Chaco (EMU-GFC no mês de junho). O subdomínio Noroeste do Peru e Equador (Figura 9- f) o esquema TID e EMU mostraram- se semelhantes com os dados do CPC, uma vez que entre os meses de maio a agosto as previsões apresentaram menores destrezas que flutuaram entre -11 – 4 mm/mês.

Figura 8- Similar a Figura 4, mas para as previsões iniciadas em março de 2018 para os meses de abril a setembro 2018.



Fonte: Autor (2019).

Figura 9- Similar a Figura 5, porém para as previsões iniciadas em março de 2018.



Fonte: Autor (2019).

Avaliação da Previsão iniciada em Abril de 2018

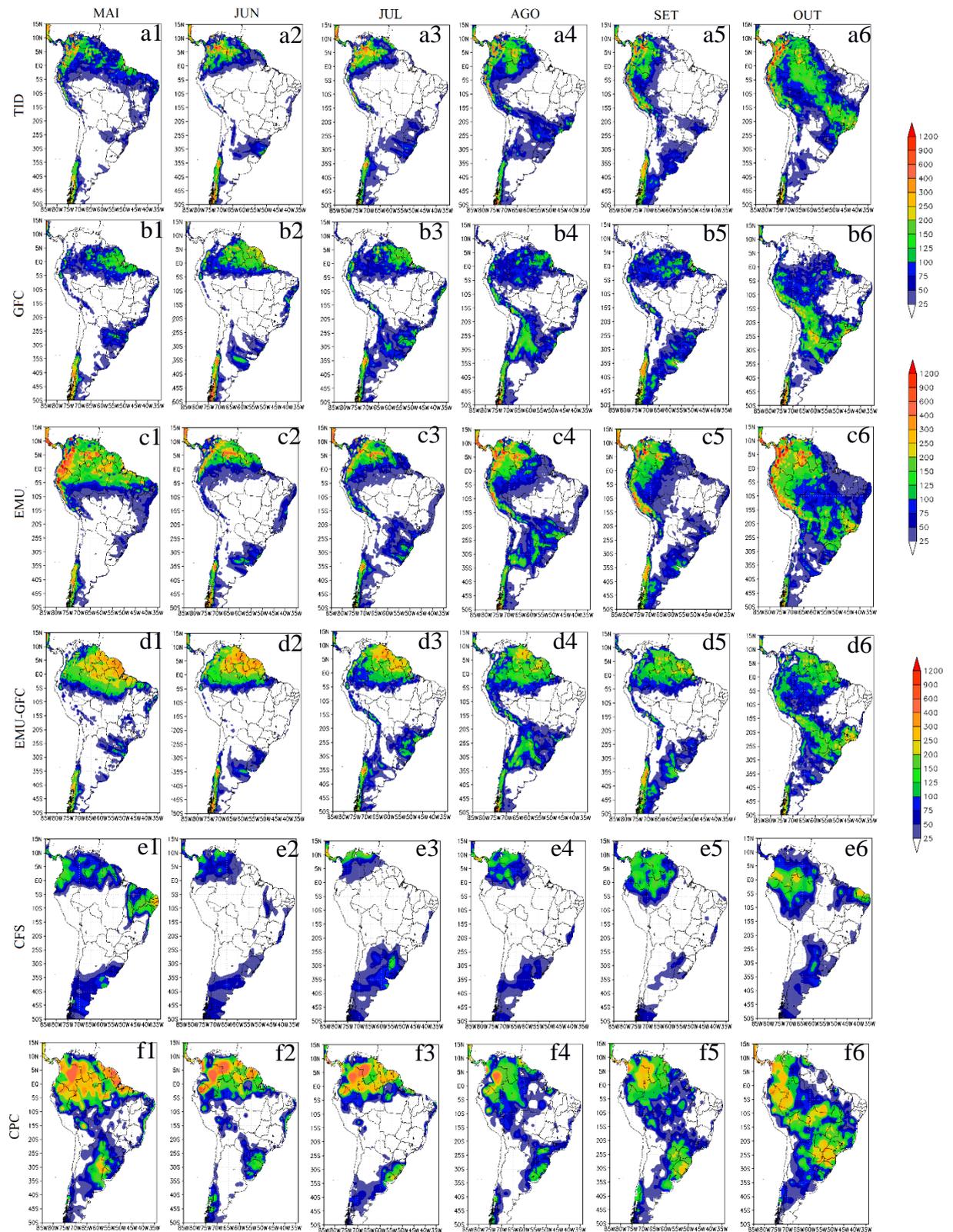
Na Figura 10 estão apresentadas os resultados das previsões climáticas de precipitação com acumulados mensais e distribuição espacial (mm/mês) do modelo RegCM4 iniciadas no mês de abril para o meses de maio a outubro com parametrizações cumulus TID, GFC, EMU e EMU-GFC (Figura 10- a, b, c, d), das previsões do modelo global CFSv2 (Figura 10- e) e os campos espaciais de precipitação acumulada observada do CPC (Figura 10- f).

No primeiro mês de previsão (maio), todos os esquemas divergiram das observações do CPC (Figura 10- f1), tendo um melhor desempenho nas distribuições da precipitação no extremo norte da América do Sul com esquema EMU e EMU-GFC (Figura 10- c1 e d1), e no litoral nordestino com GFC e EMU-GFC (Figura 10- b1) O esquema EMU-GFC, previu os acumulados mensais com maior intensidade como foi no extremo norte da AS. Nos meses de junho e julho todos os esquemas conseguiram capturar bem a distribuição espacial da precipitação no extremo norte (Figura 10- a2 a a3, b2 a b3 , c2 a c3 e d2 a d3), porém o esquema GFC teve pior desempenho na parte mais oeste do extremo norte da América do Sul, apresentando melhor resultado apenas no litoral do nordeste.

No mês de agosto os esquemas TID e EMU (Figura 10- a4 e c4) previu a intensidade e a distribuição espacial da precipitação a oeste do extremo norte da América do Sul, aproximando a distribuição espacial dos acumulados de até 200 mm/mês do CPC (Figura 10- f4). O esquema TID previu os acumulados de e 100 mm/ mês, provocados pela banda de precipitação que passa de oeste, cortando o continente sul-americano e chegando até o sul do Brasil, porém deslocou mais ao sul. No mês de setembro o esquema EMU-GFC (Figura 10- d5) previu os acumulados e distribuição espacial da precipitação de 200 mm/mês ao norte da América do Sul. Com relação as precipitações na região Sul do Brasil, Uruguai, Paraguai e Norte da Argentina, todos os esquemas apresentaram erros na distribuição espacial, prevendo acumulados de aproximadamente 100 mm/mês, onde foram aproximadamente 300 mm/mês nos dados do CPC.

Na Figura 10- f6 observa- se núcleos mais intensos de precipitação em toda área da América do Sul com exceção de parte do Chile, nordeste e norte do Brasil. Neste mês o esquema EMU apresentou melhores resultados quando comparados com os dados do CPC (Figura 10- c6 e f6), aproximando a distribuição espacial, porém subestimando as precipitações de aproximadamente 300 mm/mês sob a região noroeste e central da América do Sul, e sul do Brasil. O CFSv2 (Figura 10- e), apresentou piores previsões, porém nos meses de agosto, setembro e outubro o modelo global conseguiu prever os acumulados no extremo norte da AS.

Figura 10- Similar a Figura 2, porém para os meses entre maio e outubro com previsões iniciadas no mês de abril de 2018.



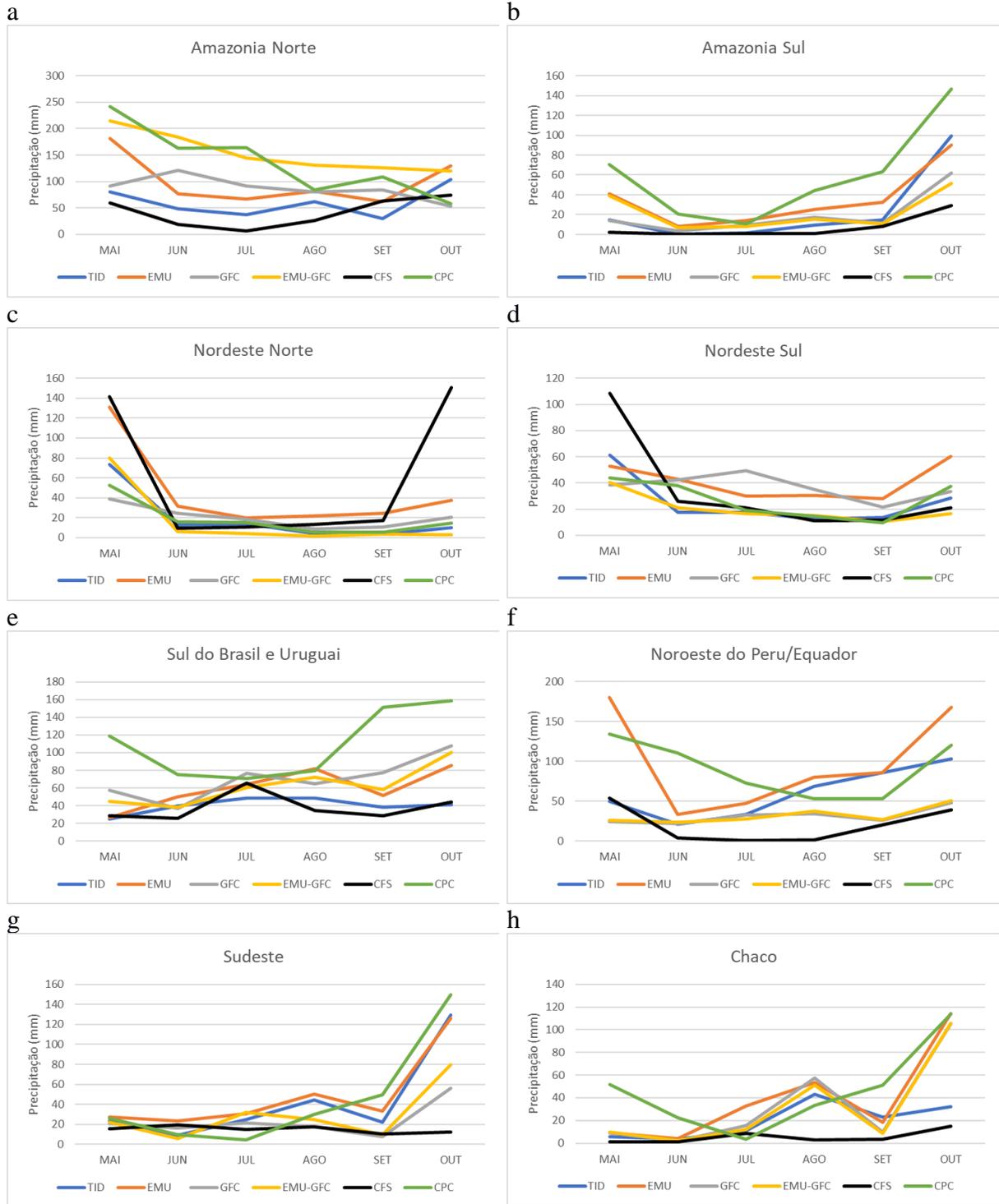
Fonte: Autor (2019).

Similar a Figura 3, mas para as previsões iniciadas no dia 01 de abril de 2018 para os meses entre maio a outubro de 2018. Observa-se na Figura 11- a que o esquema EMU-GFC apresentou melhor semelhança com os dados do CPC entre os três primeiros meses de previsão, com flutuações entre -25 – 20 mm/mês quando comparamos com o CPC. Nos três últimos meses o esquema GFC apresenta-se com médias regionais semelhantes ao CPC. De acordo com os índices de Willmott (Tabela 5) as maiores com concordância foram 0,84 (EMU-GFC, muito bom) e 0,75 (GFC, muito bom). No subdomínio Amazônia Sul (Figura 11- b) todos os esquemas e o modelo global subestimaram a precipitação durante todos os meses de integração, com exceção do esquema EMU que apresentou superestimação de 2 mm/mês em julho, desta forma os esquemas e o modelo global apresentaram índices baixos de concordância, onde o esquema que teve maior concordância foi EMU (0,69, bom).

No subdomínio Nordeste Norte (Figura 11- c) as previsões que melhor representaram a precipitação do CPC foram TID e GFC, com índice de Willmott 0,84 e 0,76 (muito bom), respectivamente. Nesta região o esquema EMU e o modelo global CFSv2 apresentaram piores índices, 0,43 e 0,53 (mau e sofrível), respectivamente. Nas médias regionais do subdomínio Nordeste Sul (Figura 11- d) entre os meses de junho a outubro os esquemas EMU-GFC, TID e o modelo global CFSv2, apresentaram aproximações dos acumulados do CPC, enquanto o esquema GFC nos meses de maio, junho e outubro. Nesta região, todos as previsões apresentaram índices de Willmott acima de 0,73 (bom), porém os esquemas que melhor representaram a área foram TID (0,84, muito bom) e EMU-GFC (0,85, muito bom), estes resultados diferem dos encontrados por Dantas et al., (2013), que encontrou melhor desempenho com o esquema GFC e EMU, porém esta diferença pode estar associada aos dados observados utilizados, no qual o autor utilizou os dados do TRMM.

Na Figura 11- e nos meses de julho e agosto o esquema EMU aproximou dos dados do CPC, e no noroeste do Peru e Equador (Figura 11- f) o esquema TID, enquanto na área do Chaco (Figura 11- h) os esquemas GFC (em julho), EMU e EMU-GFC (em julho e outubro) e TID (em outubro). Os índices de Willmott (Tabela 5) apresentaram em todos subdomínios baixa concordância, onde na área SUR foi GFC (0,69, bom), no subdomínio ENWPe os esquemas TID e EMU (0,66, bom), enquanto na área do CHACO o esquema EMU-GFC (0,64, mediano). No subdomínio Sudeste (Figura 11- g) verifica-se uma aproximação das previsões realizadas pelo RegCM4 e o CFSv2, dos dados observados do CPC nos meses de maio, junho, agosto, setembro e outubro, porém ao analisar os índices de Willmott (Tabela 5) o esquema TID apresentou melhor concordância com 0,81 (muito bom), seguido do esquema EMU com 0,80 (muito bom).

Figura 11- Similar a Figura 3, porém para as previsões iniciadas em abril de 2018.



Fonte: Autor (2019).

Tabela 6- Similar a Tabela 4, porém para as previsões iniciadas em abril de 2018.

	d_TID	d_EMU	d_GFC	d_EMU- GFC	d_CFS
AMZn	0,59	0,68	0,75	0,84	0,58
AMZs	0,61	0,69	0,61	0,63	0,56
NEBn	0,84	0,49	0,76	0,64	0,53
NEBs	0,84	0,73	0,77	0,85	0,77
SUR	0,58	0,69	0,69	0,68	0,57
ENWPe	0,66	0,66	0,59	0,59	0,52
SULDESTE	0,81	0,80	0,76	0,79	0,74
CHACO	0,63	0,62	0,62	0,64	0,55

Fonte: Autor (2019).

Similar a Figura 4, mas para os bias gerados para as previsões iniciadas no dia 01 de abril de 2018. Verifica-se na Figura 12 que nos três primeiros meses as menores destrezas foram utilizando o esquema EMU-GFC (Figura 12- d1 a d3) com menor abrangência em toda área, principalmente na região do extremo norte da América do Sul e no sul do Brasil, Uruguai e Paraguai, onde os demais esquemas e o modelo global CFSv2 subestimaram/superestimaram demasiadamente a precipitação. No mês de agosto observa-se que o esquema TID (Figura 12- d4) apresenta melhor desempenho nas regiões mais ao norte da América do Sul. O CFSv2 dentre as previsões, apresentou melhor resultado em parte da Argentina durante todo o período de previsão (Figura 12- e).

No mês de setembro o esquema EMU (Figura 12-c5) apresenta bias mais secos e menos intensos no norte da América do Sul subestimando em aproximadamente -40 mm/mês, porém o esquema superestimou a precipitação no litoral do Peru em aproximadamente 150 mm/mês, nesta área as previsões que melhor representaram a precipitação foram GFC, EMU-GFC e CFSv2 (Figura 12- c5, d5 e e5). Na região sul do Brasil a precipitação observada foi subestimada em até 150 mm/mês. No sexto mês de previsão o esquema EMU (Figura 12-c6) apresentou menor abrangência de bias na América do Sul, porém em parte do norte do Brasil onde o referido esquema superestimou a precipitação em até 250 mm/mês, o esquema GFC e o modelo global CFSv2 apresentaram bias entre -20 – 20 mm/mês (Figura 12-b6 e e6). Na região central da América do Sul em todas as previsões observa-se um fraco desempenho dos modelos.

Na Figura 13 está disposto as médias regionais do bias calculado através dos dados previstos com o RegCM4 (TID, GFC, EMU e EMU-GFC), CFSv2 e observados CPC para cada subdomínio estudado. Observa-se no subdomínio Amazônia Norte (Figura 13- a) o esquema EMU-GFC apresenta médias regionais do bias próximas neutralidade, flutuando entre -9 – 19 mm/mês, nota-se uma aproximação da neutralidade do esquema EMU no mês de agosto, e do esquema GFC nos meses de agosto e setembro. O modelo global CFSv2 apresentou menor skill na área durante o mês de setembro com aproximadamente -10 mm/mês. No subdomínio Amazônia Sul (Figura 13- b) o esquema EMU aproximou dos dados do CPC, principalmente nos 5 primeiros meses de integração do modelo RegCM4, flutuando entre -10 – 1 mm/mês. Observa-se também uma baixa destreza entre os modelos (RegCM4 e CFSv2) durante os meses de junho e julho.

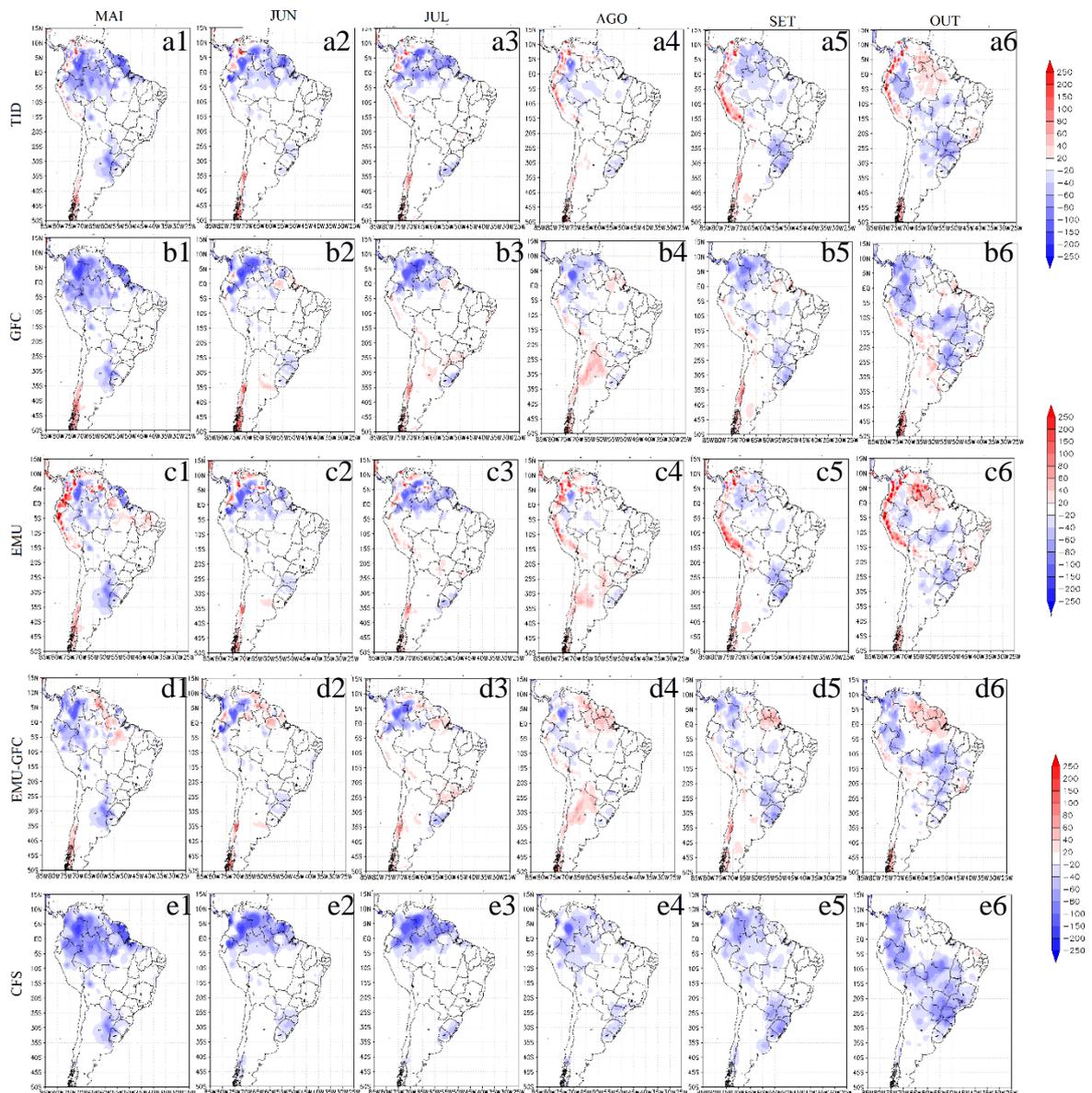
No Nordeste Norte (Figura 13- c) todos os esquemas e o modelo CFSv2 apresentaram menor *skill* durante todo o período, com destaque para o esquema TID e EMU-GFC, GFC (entre junho e outubro), e CFSv2 (entre maio e setembro), e EMU nos meses de junho e julho. Na Figura 13- d verifica-se que o esquema TID foi mais próximo de 0, com exceção do mês de

junho, onde o esquema TID, EMU-GFC e o modelo global CFSv2 apresentaram maior destreza, neste mês os esquemas EMU e GFC ficaram próximos da neutralidade. Nesta região, durante os meses junho, agosto e setembro o esquema EMU-GFC e o modelo global CFSv2 apresentaram subestimação de apenas 4 mm/mês. Com relação ao Noroeste do Peru e Equador (Figura 13- f) os esquemas e o modelo global superestimaram/subestimaram a precipitação durante todos os meses, não sendo observadas maiores aproximações da neutralidade.

Na Figura 13- e (Sul do Brasil e Uruguai) verifica-se que todos os esquemas do RegCM4 apresentaram bias menores na área nos meses entre junho e agosto. No sudeste (Figura 13- g) os esquemas TID e EMU foram mais próximos de zero durante os seis meses de previsão, porém observa-se também uma aproximação da neutralidade dos esquemas GFC e EMU-GFC, e o modelo CFSv2 entre os meses de maio e agosto, no qual flutuaram em média -8 – 6 mm. Na região do Chaco (Figura 13- f) os esquemas GFC, EMU e EMU-GFC ficaram mais próximos de zero, durante os meses de junho, julho, agosto e outubro indicando uma aproximação entre as previsões e observações. O esquema TID também apresentou baixo *skill* entre os meses de julho a setembro, enquanto o CFSv2 apresentou melhor desempenho nos meses de junho e julho com aproximação da neutralidade, mostrando a boa previsibilidade do modelo global nesta área durante os meses citados.

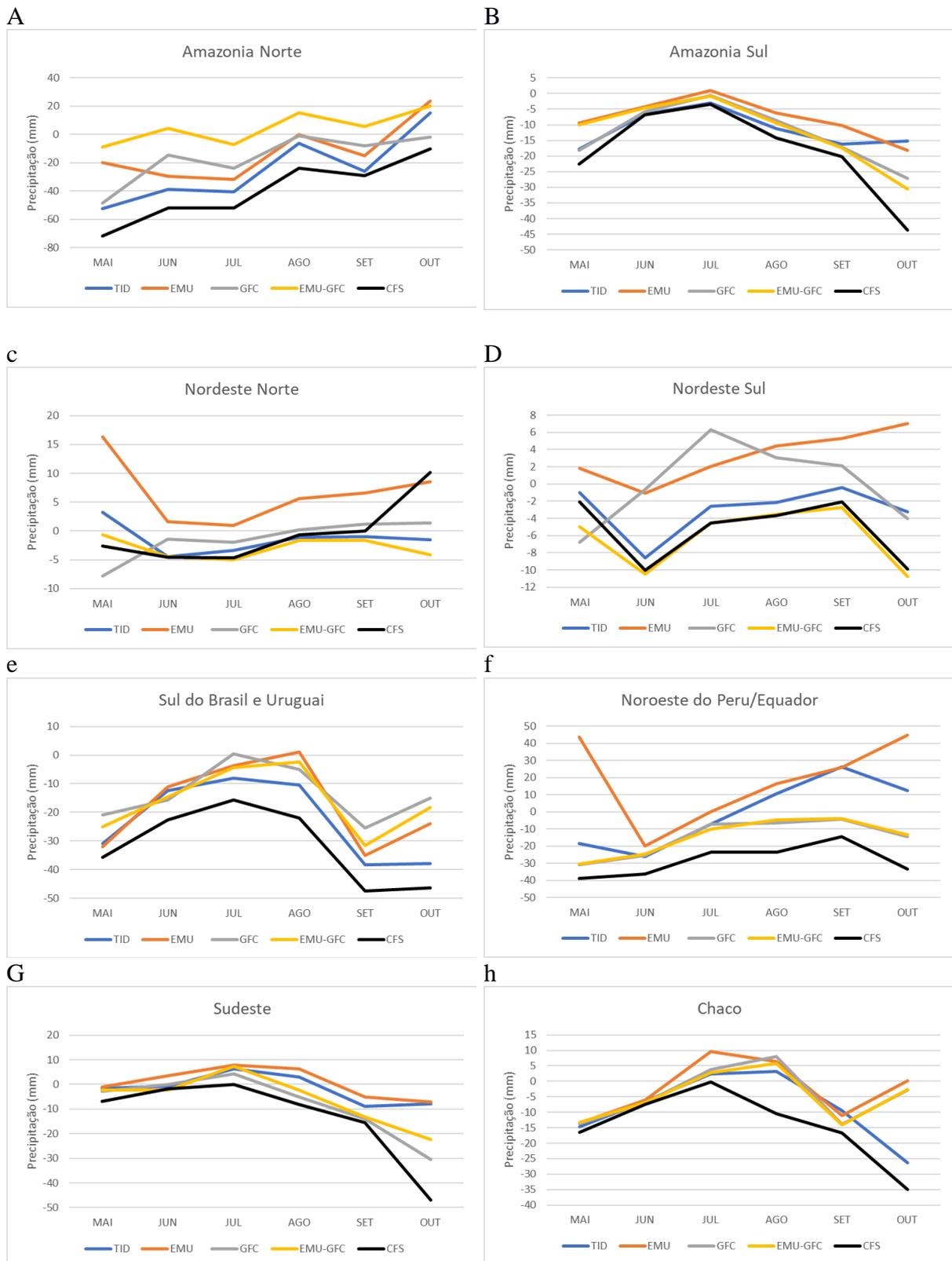
Verifica-se ainda nas médias regionais de bias que o modelo CFSv2 tende a subestimar a precipitação nos subdomínios mais ao sul da América do Sul, principalmente nos meses com maior incidência de precipitação (setembro, outubro e novembro).

Figura 12- Similar a Figura 4, mas para as previsões iniciadas em abril de 2018 para os meses de maio a outubro 2018.



Fonte: Autor (2019).

Figura 13- Similar a Figura 5, porém para as previsões iniciadas em abril de 2018.



Fonte: Autor (2019).

Avaliação da Previsão iniciada em Maio de 2018

Similar a Figura 2, mas para as previsões iniciadas no dia 1 de maio de 2018 para os meses entre junho a novembro. Observa-se na Figura 14 que durante os dois primeiros meses de integração (junho e julho), o esquema EMU utilizado no modelo climático regional RegCM4, apresentou melhor desempenho nas previsões de precipitações no extremo norte da América do Sul, mostrando uma superestimativa nos núcleos mais intensos de precipitação, concentrando em regiões diferentes das observadas (Figura 14- c1,c2, f1 e f2).

Nesta mesma região, verificou-se que nos campos de previsões, o esquema EMU-GFC apresenta um melhor desempenho, além de regiões no sul do Brasil e Uruguai durante o mês de junho, onde o esquema foi hábil em prever a distribuição espacial da precipitação e os volumes mensais de 200 mm (Figura 14- d1), enquanto no mês de julho o melhor desempenho foi apenas na região norte da América do Sul, subestimando os acumulados (Figura 14- d2). O que corrobora com os resultados encontrados por Gonçalves (2015). Os esquemas TID e GFC, e o modelo CFSv2 (Figura 14- a1, a2, b1, b2, e1 e e2), apresentaram tendências a subestimação, principalmente na distribuição espacial das precipitações mais intensas, porém o esquema GFC (Figura 14- b1 e b2) apresentou volumes e a distribuição mensal da precipitação mais próximos do observado no litoral do nordeste brasileiro com acumulados entre 75 – 100 mm/mês.

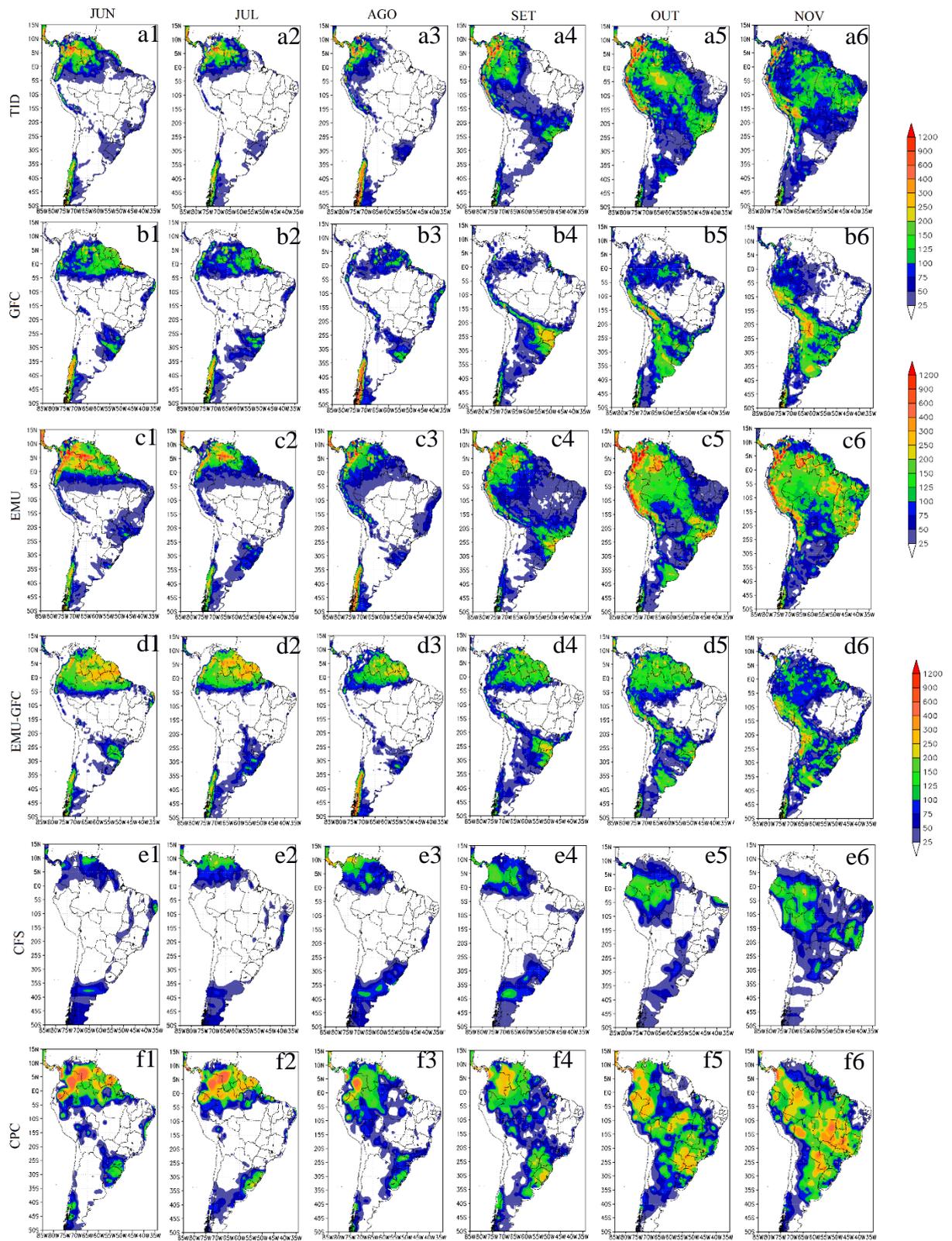
Observa-se durante o mês de agosto que os esquemas TID e EMU (Figura 14- a3 e c3) tiveram melhor similaridade com o CPC (Figura 14- f3), principalmente a oeste do extremo norte da América do Sul, onde as precipitações com volumes mensais de 200 mm/mês foram espacialmente predominantes. Na região central da Argentina os esquemas GFC, EMU e EMU-GFC (Figura 14- b3, c3 e d3) previram uma banda de precipitação que não é vista nos dados observados do CPC, nesta região, o esquema TID apresentou melhor previsão. Verifica-se também um bom desempenho do esquema EMU-GFC na região sul do Brasil e Uruguai, onde a previsão do RegCM4 conseguiu capturar um núcleo de 200 mm, observados no CPC (Figura 14- d3 e f3). O CFSv2 habilidade em prever a precipitação que se estende do litoral do Espírito Santo até o litoral de Pernambuco (Figura 14- e3 e f3).

Nos meses de setembro e outubro os resultados apresentam similaridade com as análises do mês anterior, porém, acrescenta-se que os esquemas GFC e EMU-GFC apresentaram uma boa previsão na distribuição da chuvas de aproximadamente 25 mm/mês no oeste da América do Sul, além da região nordeste do Brasil, onde foi hábil em prever a precipitações com os mesmos acumulados mensais (Figura 14- b4, b5, d4 e d5). Ressalta-se ainda que o esquema GFC (Figura 14- b5) apesar de ter subestimado a precipitação em toda área durante o mês de

outubro, o mesmo conseguiu capturar os volumes de precipitação no estado do Amazônia e Pará, enquanto os demais esquemas superestimaram.

No mês de novembro a precipitação é mais intensa quando comparada com os demais meses (Figura 14- f1 a f6). Comparando os campos de previsão com os dados observados do CPC, observa-se que nenhum dos esquemas foi hábil em representar a precipitação em toda área, porém os esquemas apresentaram melhores desempenhos em regiões específicas, como por exemplo na área central da América do Sul, onde os esquemas TID e EMU aproximaram-se dos acumulados mensais e da distribuição da precipitação verificadas nos dados observados do CPC (Figura 14- a6, c6 e f6) e também em parte do Nordeste do Brasil, em que os esquemas GFC e EMU-GFC conseguiram capturar as precipitações de aproximadamente 50 mm/mês. O CFSv2 (Figura 14- e6) previu fortes acumulados de precipitação e grande parte da distribuição espacial, mostrou-se hábil em prever as precipitações em regiões com menores índices pluviométricos como no nordeste do Brasil e costa oeste da América do Sul.

Figura 14- Similar a Figura 2, porém para os meses entre junho a novembro com previsões iniciadas no mês de maio de 2018.



Fonte: Autor (2019).

Similar a Figura 3, mas para as previsões iniciadas no dia 01 de maio de 2018 para os meses entre junho a novembro. Verifica-se na Figura 15-a que o esquema EMU-GFC representou a precipitação na Amazônia Norte, porém com tendência a superestimação em quase todos os meses da análise, onde a mesma foi mais intensa no mês de outubro, onde observa-se 140 mm/mês na previsão, enquanto no dado observado 55 mm/mês. De acordo com índice de Willmott (Tabela 7) o referido esquema apresentou melhor concordância dentre as previsões avaliadas com índice de 0,72 (muito bom). No subdomínio Amazônia Sul (Figura 15-b) todas as previsões realizadas com o RegCM4 e o CFSv2 apresentaram mais próximas dos acumulados do CPC nos meses de junho e julho, enquanto nos meses de setembro e outubro, apenas os esquemas TID e EMU. Observa-se índices de Willmott com boa concordância em todas as previsões, porém os esquemas EMU e TID resultaram em concordância 0,90 e 0,84 (ótimo e muito bom), respectivamente.

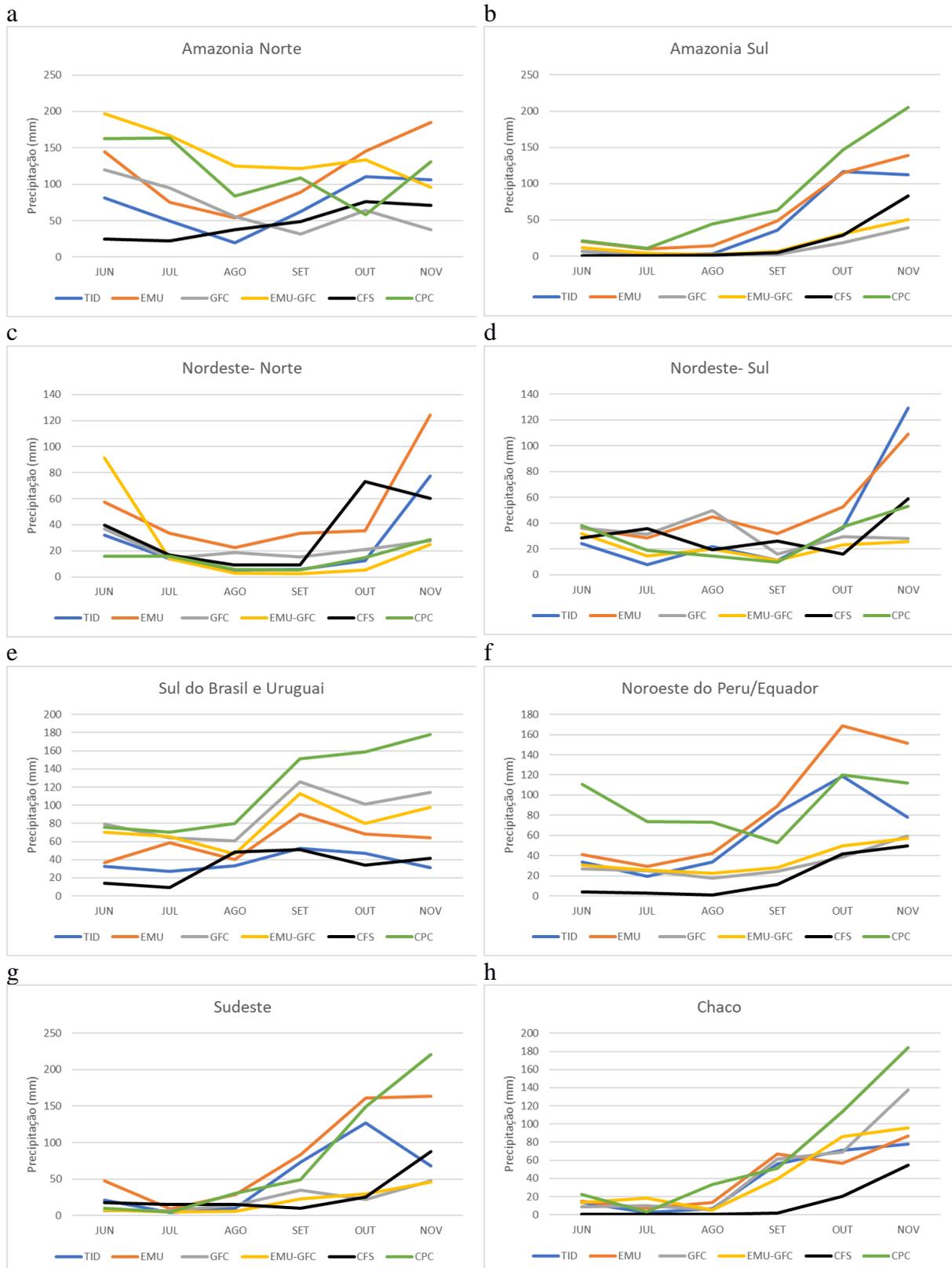
Na região Nordeste Norte (Figura 15-c) verifica-se que EMU-GFC melhor representou a precipitação observada pelo CPC durante todos os meses de previsão, porém o índice de concordância foi baixo (0,61, mediano). Verifica-se no trimestre julho, agosto e setembro uma aproximação entre os dados previstos e observados do esquema TID e do modelo global CFSv2. Estes resultados diferem dos encontrados por Dantas et al., (2013). No subdomínio Nordeste Sul (Figura 15-d) observa-se também o bom desempenho do esquema EMU-GFC durante todos os meses de previsão, com índice de concordância 0,83 (muito bom). Também apresentaram boa previsibilidade das médias regionais o esquema TID nos meses de agosto, setembro e outubro, GFC (em junho, setembro e outubro) e o modelo global CFSv2 em junho, agosto e novembro.

No subdomínio Sul do Brasil e Uruguai (Figura 15-e) verifica-se que nos meses de junho e julho os esquemas GFC e EMU-GFC aproximaram-se dos dados do CPC com baixas flutuações, porém nos demais meses os esquemas GFC, EMU-GFC e EMU conseguiram prever o padrão da precipitação com tendências a alta subestimação. Desta forma, o esquema GFC foi o que melhor representou a precipitação na região apresentando concordância de 0,84 (muito bom). Estes resultados estão de acordo com Jesus (2014). No Noroeste do Peru e Equador (Figura 15-f) nenhuma das previsões conseguiram capturar as médias regionais da área, com exceção do esquema TID no mês de outubro. Ao analisar o índice de Willmott, verifica-se baixos valores de concordância, onde o esquema TID apresentou 0,62 (mediano).

No Sudeste (Figura 15-g) todas as previsões apresentaram altos índice de Willmott, porém o que mais se destacou foi o esquema EMU com 0,91 (ótimo) indicando que o esquema previu efetivamente a variável de interesse neste subdomínio, seguido por TID (0,89, ótimo) e

GFC (0,85, muito bom). Na área do Chaco é observado nos índices de Willmott (Tabela 7) que os esquemas TID, EMU, GFC e EMU-GFC aproximaram-se dos valores observados do CPC o que resultou em maiores concordâncias, 0,88, 0,85, 0,87 e 0,88 (muito bom e ótimo), respectivamente, esta aproximação é observada principalmente entre junho e setembro, onde as previsões flutuaram próximas das médias regionais do observado.

Figura 15- Similar a Figura 3, porém para as previsões iniciadas em maio de 2018.



Fonte: Autor (2019).

Tabela 7- Similar a Tabela 4, porém para as previsões iniciadas em maio de 2018.

	d_TID	d_EMU	d_GFC	d_EMU- GFC	d_CFS
AMZn	0,55	0,64	0,61	0,72	0,51
AMZs	0,84	0,90	0,72	0,73	0,73
NEBn	0,58	0,25	0,57	0,61	0,55
NEBs	0,78	0,68	0,77	0,83	0,76
SUR	0,60	0,69	0,84	0,78	0,59
ENWPe	0,62	0,57	0,50	0,51	0,44
SULDESTE	0,89	0,91	0,85	0,83	0,82
CHACO	0,88	0,85	0,88	0,87	0,73

Fonte: Autor (2019).

Similar a figura 4, mas para o bias gerado para as previsões iniciadas no dia 01 de maio de 2018. Na Figura 16, observa-se que nos três primeiros meses de previsão o esquema EMU-GFC (Figura 16- d1 a d3) mostrou bias menores em toda área estudada, indicando a boa previsibilidade do RegCM4, porém durante o mês de agosto o esquema mostrou superestimação de 60 mm/mês em alguns locais específicos, destacando-se no norte do Pará, Amapá, Roraima, Suriname, Guyana e Guiana Francesa. Nestes mesmos locais os esquemas GFC e EMU, e o modelo global (Figura 16- b3, c3 e e3) também reduziram o bias na área, mostrando valores entre -20 – 20 mm/mês.

Com relação as demais áreas onde os acumulados mensais de precipitação foram 100 mm/mês, todas as previsões apresentaram bias entorno -20 – 20 mm, durante o período seco, onde as chuvas foram menos intensas na AS (Figura 16- a1 a a3, b1 a b3, c1 a c3, d1 a 3, e e1 a e3). Dias (2017) também observou o bom desempenho do modelo climático regional RegCM4, onde concluiu o bom desempenho do modelo em prever os acumulados de precipitações menos intensos durante o período mais seco. Ainda no mesmo período, mas nas áreas no sul do Brasil e Uruguai, observa-se que as previsões foram mais secas (Figura 16- a1 a a3, b1 a b3, c1 a c3, d1 a 3, e e1 a e3), porém ao comparar as mesmas, verifica-se que o esquema GFC e EMU-GFC apresentaram melhor performance, e o esquema EMU durante os meses de julho e agosto. No extremo sul da América do Sul apenas o CFSv2 apresentou melhor desempenho na área com bias entre -40 – 20 mm/mês.

No mês de setembro entre as latitudes 15° N – 10°S os esquemas TID, EMU e EMU-GFC apresentaram baixa variação de bias distribuído espacialmente (Figura 16- a4, c4 e d4) com subestimação/superestimação em áreas isoladas. Verifica-se que as superestimações mais intensas foram na região dos Andes nas previsões utilizando os esquemas TID e EMU, enquanto nesta mesma região os esquemas GFC e EMU-GFC apresentou bias menos intensos com valores entre -20 – 40 mm/mês. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por De Souza et al., (2016), que realizou simulações climáticas utilizando o esquema GFC no RegCM4 para região norte da América do Sul.

No mês de outubro, observa-se que o esquema GFC e o modelo global CFSv2 apresentaram bias entre -20 – 20 mm/mês em parte da Amazônia, Pará, Amapá e Roraima (Figura 16- b5 e e5). Nas demais áreas a predominância de bias entre -20 – 20 mm/mês foram nas previsões do modelo RegCM4 com os esquemas TID e EMU (Figura 16-a5 e c5). No mês de novembro observa-se que a previsão que apresenta bias menos intensos, foram do esquema EMU (Figura 16-c6), porém no litoral norte da América do Sul e Sul do Brasil, predomina-se bias menos intensos com o esquema EMU-GFC (Figura 16-d6). O CFSv2 apesar de subestimar a precipitação em toda a América do Sul, o modelo em partes da região andina apresentou bias entre -20 – 20 mm/mês durante os períodos de precipitação mais intensa (Figura 16- e4 a e6), onde o modelo RegCM4 em todas as previsões tendeu a superestimar.

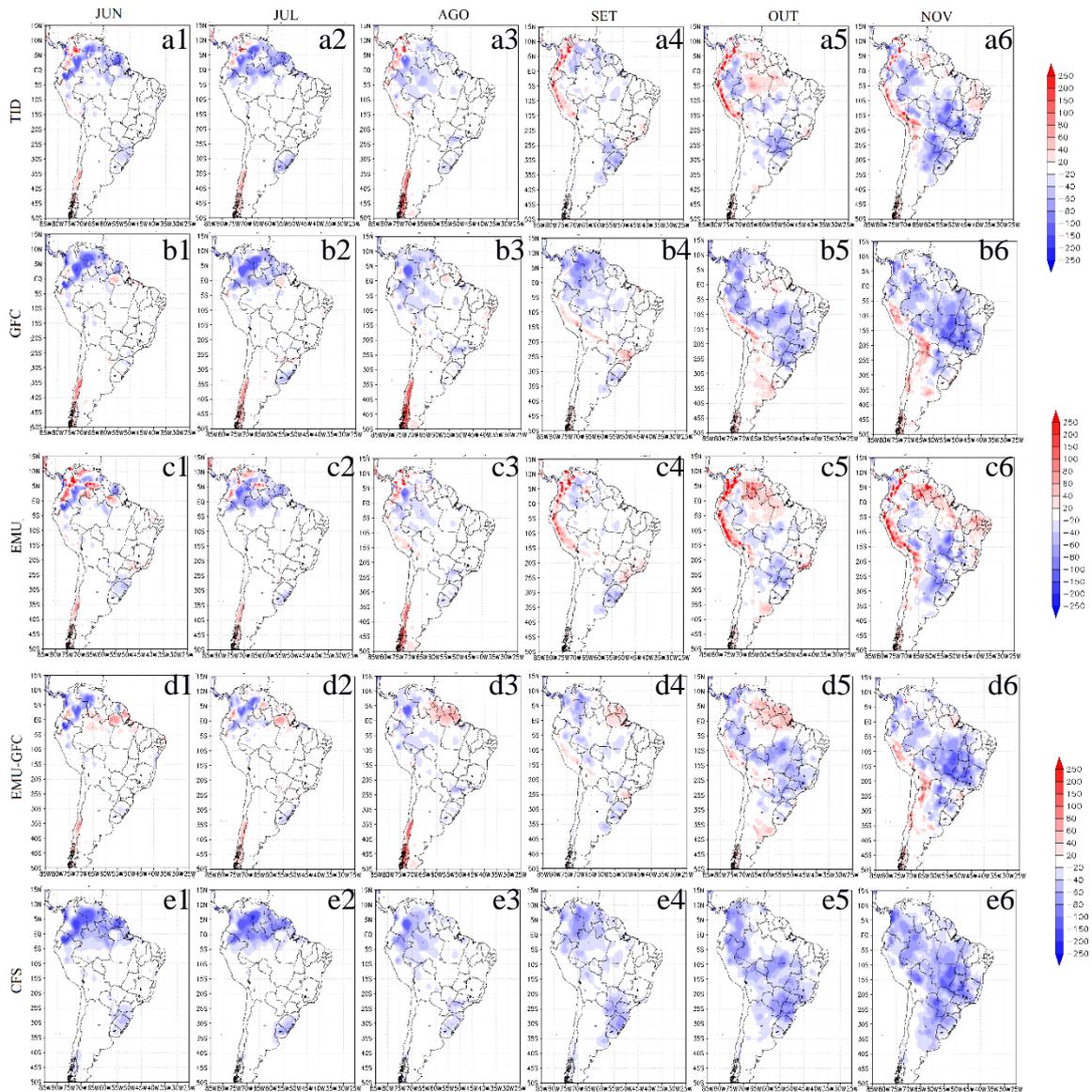
Na Figura 17 está disposto as médias regionais do bias calculado através dos dados previstos com o RegCM4 (TID, GFC, EMU e EMU-GFC), CFSv2 e observados CPC para cada subdomínio estudado. Verifica-se no subdomínio Amazônia Norte (Figura 17-a) que o esquema EMU-GFC entre os meses de junho e setembro, apresentou médias do bias mais próximas de 0 quando comparado com as demais previsões, indicando a aproximação da previsão do RegCM4 com os dados observados do CPC. Observa-se ainda que os esquemas EMU teve média na área de -6 mm/mês (em setembro) e GFC ~2 mm/mês (em outubro). No subdomínio Amazônia Sul (Figura 17-b) entre junho e outubro os esquemas EMU e TID apresentaram-se mais próximo da neutralidade. Os demais esquemas e o modelo global CFSv2, também apresentaram menores *skill* durante os meses junho e julho.

Na área do Nordeste Norte (Figura 17- c) a previsão do modelo global CFSv2 e do RegCM4, configurado com o esquema GFC tiveram menores flutuações em relação aos dados do CPC, aproximando-se da neutralidade. No Nordeste Sul (Figura 17- d) nota-se que em quase todo período as médias regionais de bias de todas as previsões foram mais próximas de 0, indicando que as previsões foram hábeis em representar a precipitação, porém o esquema EMU-GFC e o CFSv2 apresentaram tendências a subestimação da precipitação, enquanto o

esquema EMU superestimou entre julho a novembro, e dentre as previsões que apresentaram menores bias estão TID (agosto a outubro), CFSv2 (julho a setembro) e GFC (junho e julho).

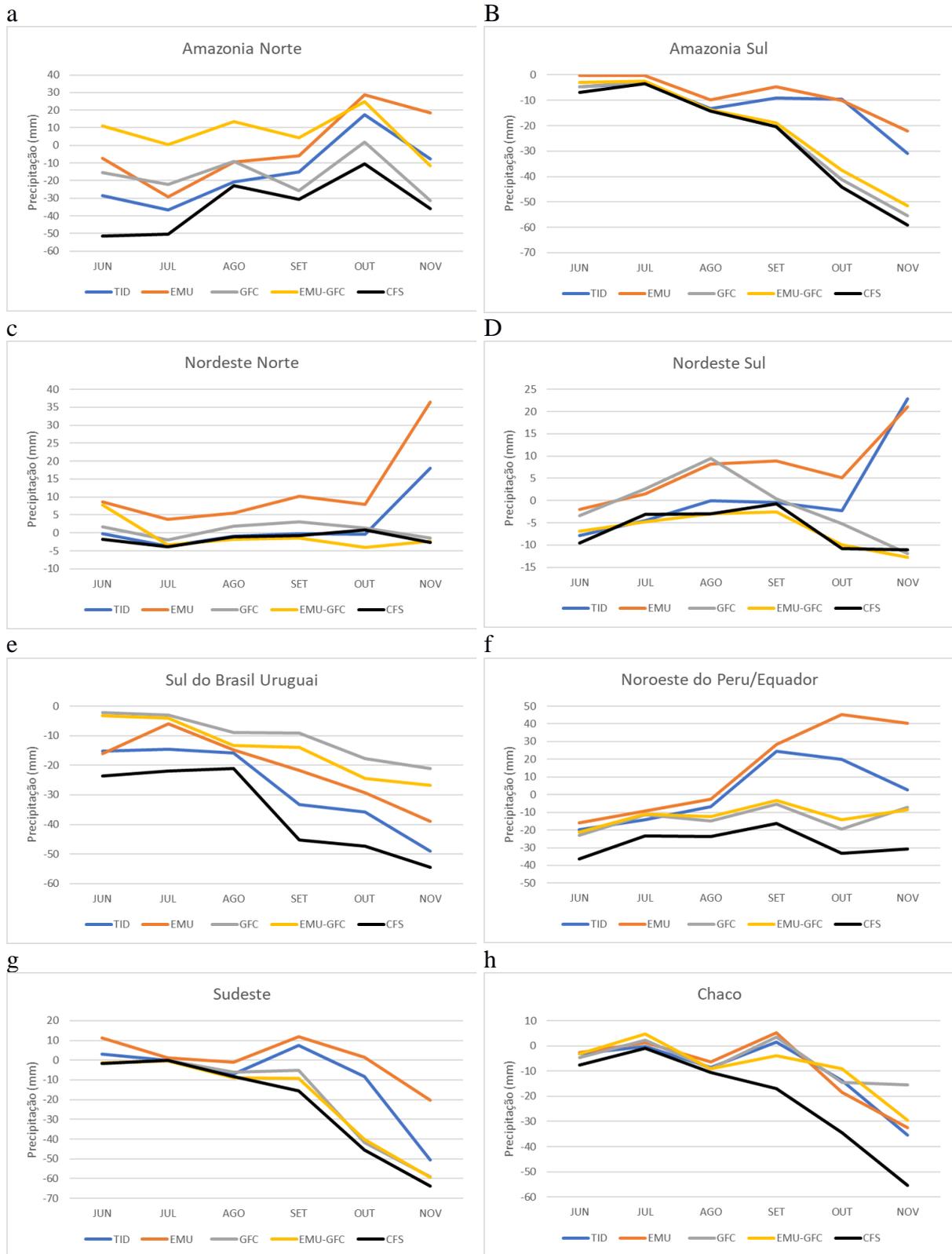
No sul do Uruguai (Figura 17- e) as médias regionais de bias mostraram que todas as previsões tenderam a subestimar demasiadamente a precipitação, sendo o esquema GFC o que apresentou maior aproximação dos dados observados, com destaque para EMU-GFC (entre junho e agosto) e EMU (em julho). No subdomínio Noroeste do Peru e Equador (Figura 17- f) as maiores aproximações de 0 foram em meses específicos, onde EMU foi junho e julho, TID em agosto e novembro, GFC entre setembro e outubro, e EMU-GFC em setembro e novembro, não tendo uma previsão que representasse todo o período de previsão. No Sudeste (Figura 17- g) entre os meses junho e agosto todas as previsões apresentaram menores *skill*, enquanto nos meses de setembro e outubro, apenas os esquemas EMU e TID. No Chaco (Figura 17- h) nos três primeiros meses de previsão, todos os experimentos apresentaram menores bias na área, enquanto no mês de setembro apenas as previsões realizadas pelo RegCM4. Nos dois últimos meses de integração nenhuma das previsões aproximaram-se da neutralidade, mostrando que nenhum modelo foi hábil em representar a precipitação na área.

Figura 16- Similar a Figura 4, mas para as previsões iniciadas em maio de 2018 para os meses de junho a novembro 2018.



Fonte: Autor (2019).

Figura 17- Similar a Figura 5, porém para as previsões iniciadas em maio de 2018.



Fonte: Autor (2019).

Avaliação da Previsão iniciada em Junho de 2018

Devido a um problema técnico no site da NOAA, não foi possível realizar o download dos dados referentes as observações do mês de dezembro, o que impossibilitou uma melhor análise para a última rodada que foi iniciada no mês de junho do ano de 2018, no qual as previsões finalizariam no mês de dezembro de 2018, logo as comparações objetivas e subjetivas para a referida rodada, foram feitas até o mês de novembro de 2018.

Nota-se no primeiro mês de previsão (julho) que o esquema EMU-GFC (Figura 18- d1) previu melhor a distribuição espacial da precipitação no extremo norte da América do Sul, onde são evidentes volumes pluviométricos mais intensos no norte do Brasil, norte do Peru, Colômbia, Suriname, Guyana e Guiana Francesa (Figura 18- f1), porém no norte da Colômbia e Venezuela as previsões utilizando o esquema TID e EMU representaram melhor a precipitação entre 75 – 200 mm/mês (Figura 18- a1 e c1). O esquema TID também foi hábil em prever os acumulados e a distribuição pluviométrica no litoral do nordeste Brasileiro. No sul do Uruguai e Rio Grande do Sul-BR nenhuma das previsões apresentaram valores mais próximos do observado (CPC), subestimando os núcleos de precipitação de 200 mm/mês. O CFSv2 apresentou bom desempenho em prever a distribuição espacial e os acumulados de precipitação (~100 mm/mês) em partes da Argentina e do Chile (Figura 18- e1).

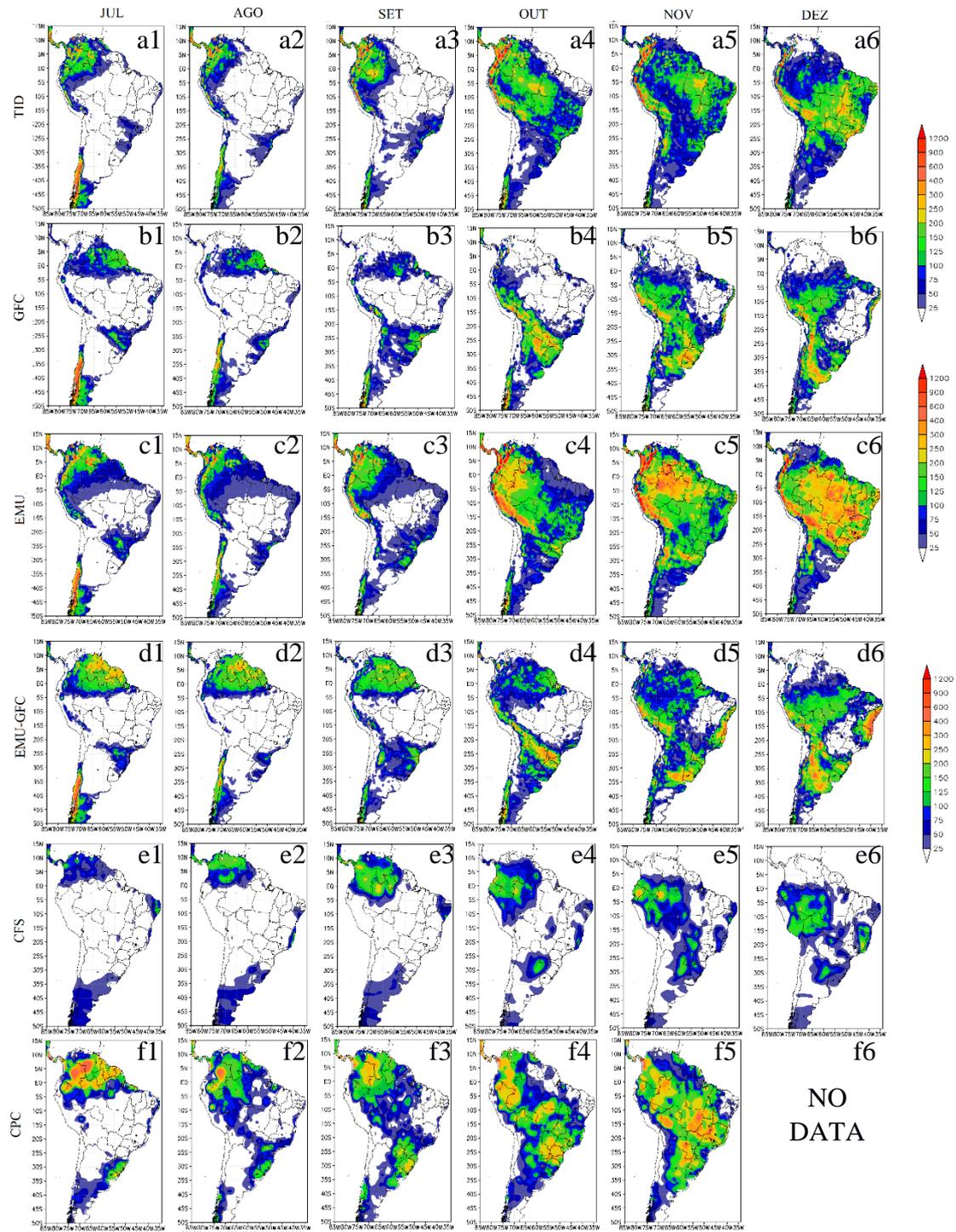
No mês de agosto nas áreas do extremo norte da América do Sul, o esquema EMU (Figura 18- c2) apresentou melhores resultados das distribuições espaciais e os acumulados entre 100 – 200 mm/mês da precipitação, aproximando dos dados observados, porém em algumas áreas a previsão subestimou, tanto a distribuição quanto os acumulados mensais de precipitação, ficando evidente o mesmo padrão nas demais previsões realizadas pelo modelo regional RegCM4 e o modelo global CFSv2 (Figura 18- a2, b2, d2 e f2). Com relação a banda de precipitação que corta o continente sul-americano, nenhuma das previsões conseguiram capturar o posicionamento da mesma, sendo o esquema EMU (Figura 18- a2) o resultado mais condizente com os dados observados do CPC.

No mês de setembro foram observados os mesmos padrões das análises dos meses anteriores com uma maior intensificação da precipitação na área (Figura 18- f3). Jesus (2014) avaliou o esquema EMU para a região do CORDEX, e observou que as previsões tendem a subestimar a precipitação da banda de nebulosidade que corta o continente, logo, o modelo RegCM4 mostrou um fraco desempenho em prever os maiores acumulados provocados pelo sistema, o que corrobora com os resultados encontrados neste estudo.

No mês de outubro, observa-se que as previsões utilizando os esquemas TID e EMU conseguiram prever os acumulados de 200 mm/mês em grande parte do continente sul-americano (Figura 18- a4 e c4). Os mesmos esquemas tiveram pior desempenho no norte do Brasil, onde superestimaram a precipitação menos intensa (100 mm/mês), sendo o esquema GFC e o modelo global CFSv2 (Figura 18- b4 e e4) os que mais aproximaram dos dados observados. Vale destacar também o bom desempenho do modelo CFSv2 em prever a distribuição espacial da precipitação na região dos Andes, onde o modelo RegCM4 tende a superestimar. O esquema EMU-GFC (Figura 18- d4) apresentou melhor habilidade em prever o núcleo de precipitação de aproximadamente 300 mm/mês localizado no Sul do Brasil.

No mês de novembro TID e EMU (Figura 18- a5 e c5) representaram a precipitação no domínio avaliado, porém subestimando os volumes e a distribuição da precipitação com acumulados entre 250 – 400 mm/mês (Figura 18- a5 e f5) principalmente no centro oeste e sudeste do Brasil, e superestimando na região norte do Brasil, estimando acumulados de aproximadamente 1200 mm/mês, o que não foi observado nos dados do CPC (Figura 18- c5 e f5). No nordeste do Brasil a previsão do CFSv2 apresentou maior coerência com os dados observados do CPC, indicando a boa previsibilidade do modelo global nesta região. As demais previsões apresentaram melhores desempenho em áreas específicas como no Mato Grosso do Sul, Paraná e Santa Catarina (GFC, Figura 18- b5), e norte da Amazônia, Amapá e Venezuela (EMU-GFC, Figura 18- d5).

Figura 18- Similar a Figura 2, porém para os meses entre julho a dezembro com previsões iniciadas no mês de junho de 2018.



Fonte: Autor (2019).

Similar a Figura 3, mas para as previsões iniciadas no dia 01 de junho de 2018 para os meses entre julho a dezembro. Verifica-se no subdomínio Amazônia Norte (Figura 19- a) nos meses de julho, setembro e novembro que o esquema EMU-GFC apresentou médias regionais mais próximas dos dados observados, porém flutuando em torno de -40 - 40 mm/mês. Apesar de haver uma aproximação das médias regionais entre a previsão e os dados observados, o esquema EMU-GFC não apresentou alto índice de Willmott (0,59, sofrível, Tabela 8). No subdomínio Amazônia Sul (Figura 19- b), EMU teve a previsão com melhor performance, prevendo o padrão da precipitação, resultando em alta concordância com 0,90 (ótimo) seguida pela configuração TID com 0,84 (muito bom).

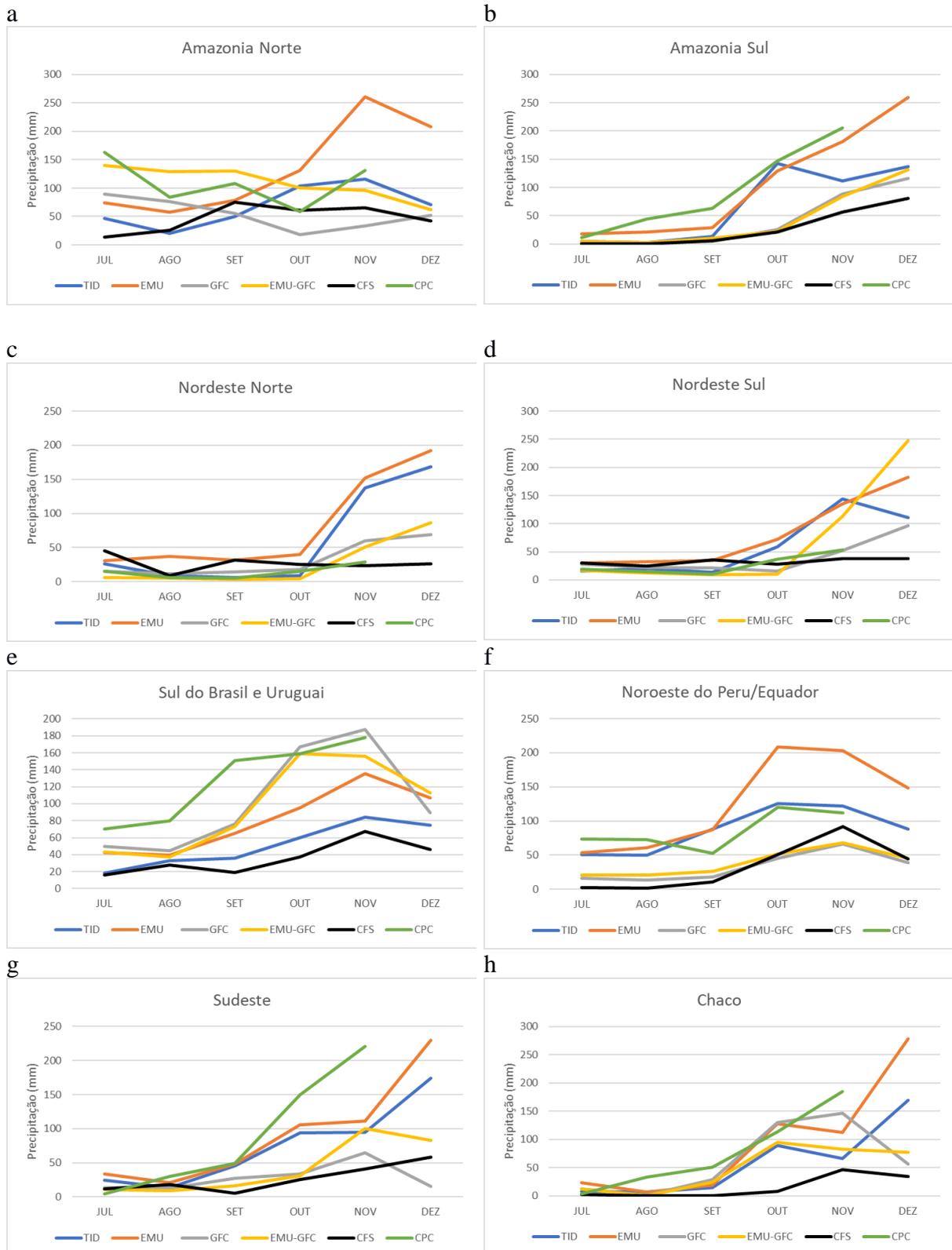
No subdomínio Nordeste Norte (Figura 19- c) durante os quatro primeiros meses o esquema GFC apresentou menores flutuações em relação ao dado observado (CPC), enquanto no mês de novembro, onde a precipitação foi mais intensa em toda área avaliada, o modelo global CFSv2 teve melhor desempenho. De acordo com índice de Willmott (Tabela 8) a maior concordância foi observada utilizando o modelo RegCM4 com o esquema GFC (0,69, bom). Na área Nordeste Sul (Figura 19- d) os índices de Willmott foram mais altos, com destaques para as previsões do RegCM4 configurado com GFC (0,79, muito bom) e EMU-GFC (0,73, bom), onde ao verificar a Figura 19- d fica evidente que ambas as previsões seguiram os padrões da precipitação do CPC durante quase todos os meses de previsão.

No Sul do Brasil e Uruguai (Figura 19- e) observa-se nos três primeiros meses de previsão que o RegCM4 e o CFSv2 subestimaram a precipitação entre 21 – 131 mm/mês, porém no mês de outubro e novembro os esquemas GFC e EMU-GFC as médias flutuaram em torno de -10 - 10 mm/mês em comparação com os dados observados. De acordo com o índice de Willmott (Tabela 8) ambos os esquemas apresentaram significantes índices de concordância com 0,82 e 0,80 (muito bom), respectivamente. Reboita et al., (2018) encontrou índices de 0,68, porém esta diferença pode estar associada a condição inicial e de contorno, no qual o autor utilizou os dados do modelo do CPTEC. No noroeste do Peru e Equador (Figura 19- f) observa-se pior desempenho dos esquemas EMU-GFC e GFC (entre julho a novembro), e o CFSv2 (entre julho a outubro), onde subestimaram a precipitação entorno de 20 – 80 mm/mês. Nesta região, o maior índice de concordância encontrado (Tabela 8) foi do esquema TID (0,76, muito bom), onde observa-se que durante o período de previsão uma maior aproximação dos valores estimados e CPC, com destaque para os meses de outubro e novembro.

A Figura 19- g, verifica-se no primeiro mês de previsões, que o esquema EMU-GFC representou melhor a precipitação, subestimando em aproximadamente 6 mm/mês, enquanto nos demais meses o esquema EMU representou melhor a média regional de precipitação

observada do CPC nos meses de previsão com exceção do mês de novembro, porém resultou ainda em índice elevado de concordância (0,91, ótimo, Tabela 8). No subdomínio Chaco (Figura 19- g) observa-se que as previsões dos quatro esquemas, conseguiram prever o padrão da precipitação que aumenta com o decorrer dos meses (CPC). Destaca-se alta previsibilidade do CFSv2 no mês de julho onde foi previsto 3 mm/mês também verificado no dado observado. Nesta mesma área, nos meses de setembro, outubro e novembro o esquema GFC e EMU, apresentaram comportamento similar do dado observado e de acordo com o índice de Willmott, (Tabela 8) o esquema EMU (0,89, ótimo) e GFC (0,85, muito bom) apresentaram melhor concordância com os dados do CPC.

Figura 19- Similar a Figura 3, porém para as previsões iniciadas em junho de 2018.



Fonte: Autor (2019).

Tabela 8- Similar a Tabela 4, porém para as previsões iniciadas em junho de 2018.

	d_TID	d_EMU	d_GFC	d_EMU- GFC	d_CFS
AMZn	0,53	0,46	0,56	0,59	0,49
AMZs	0,84	0,90	0,72	0,72	0,70
NEBn	0,52	0,25	0,69	0,60	0,50
NEBs	0,74	0,56	0,79	0,79	0,74
SUR	0,57	0,68	0,82	0,80	0,53
ENWPe	0,76	0,60	0,50	0,53	0,52
SULDESTE	0,89	0,91	0,82	0,81	0,78
CHACO	0,82	0,85	0,89	0,84	0,70

Fonte: Autor (2019).

Similar a figura 4, mas para os bias gerados para as previsões iniciadas no dia 01 de junho de 2018. Na Figura 20, ao comparar as previsões no mês de julho, observa-se que a previsão com o esquema EMU-GFC (Figura 20- d1) mostra o bias com menor distribuição espacial da subestimação e superestimação, concentrando bias mais seco ao norte (~-200 mm/mês) e úmido no extremo do sul da América do Sul (~200 mm/mês, visto nas demais previsões do RegCM4), Amapá (~40 mm/mês) e Paraná (~40 mm/mês). Nos meses de agosto e setembro o esquema EMU (Figura 20- c2 e c3) apresentou menores variações de bias, indicando uma melhor previsão dos acumulados mensais de precipitação, ficando evidente que o RegCM4 conseguiu capturar as características da distribuição espacial e acumulados de precipitação.

Nos meses de outubro e novembro o esquema EMU (Figura 20- c4 e c5) continua a apresentar bias seco menos intensos em relação as demais previsões principalmente no centro oeste e sudeste do Brasil, onde ocorreram chuvas mais intensas. Porém na região norte do Brasil o referido esquema apresenta superestimações intensas com bias extremamente úmido (~250 mm/mês). Com relação ao nordeste Brasileiro as previsões realizadas com o esquema GFC e o CFSv2 (Figura 20- b4, b5, e4 e e5) apresentaram bias entre -20 – 20 mm/mês. Vale ressaltar que em todo o período de previsão o CFSv2 em relação ao RegCM4 (Figura 20- e1 e e5) previu melhor a precipitação na região dos Andes, uma vez que os modelo climático tendeu a superestimar, com exceção dos meses de julho e agosto com os esquemas GFC e EMU-GFC (Figura 20- b1, b2, d1 e d2).

Na Figura 21, está apresentado as médias regionais dos bias calculados através dos dados previstos com o RegCM4 (TID, GFC, EMU e EMU-GFC), CFSv2 e observados CPC para cada subdomínio estudado. Identifica-se no subdomínio Amazônia Norte (Figura 21-a) que a previsão do RegCM4 com o esquema EMU-GFC, teve menor *skill* em maior período de previsão (agosto a novembro). O esquema EMU mostra-se hábil em prever a precipitação nos meses de agosto e setembro, uma vez que os bias foram mais próximos a 0 nesta área, como também o esquema GFC (em agosto) e TID (em novembro). Na Amazônia Sul (Figura 21-b) a previsão com o esquema EMU apresenta menor bias em todo o período de previsão do RegCM4, flutuando em torno de -11 – 8 mm/mês. Vale destacar o primeiro mês de previsão, onde todas as previsões dos modelos apresentam médias menores nesta área, indicando a boa representatividade das previsões de precipitação.

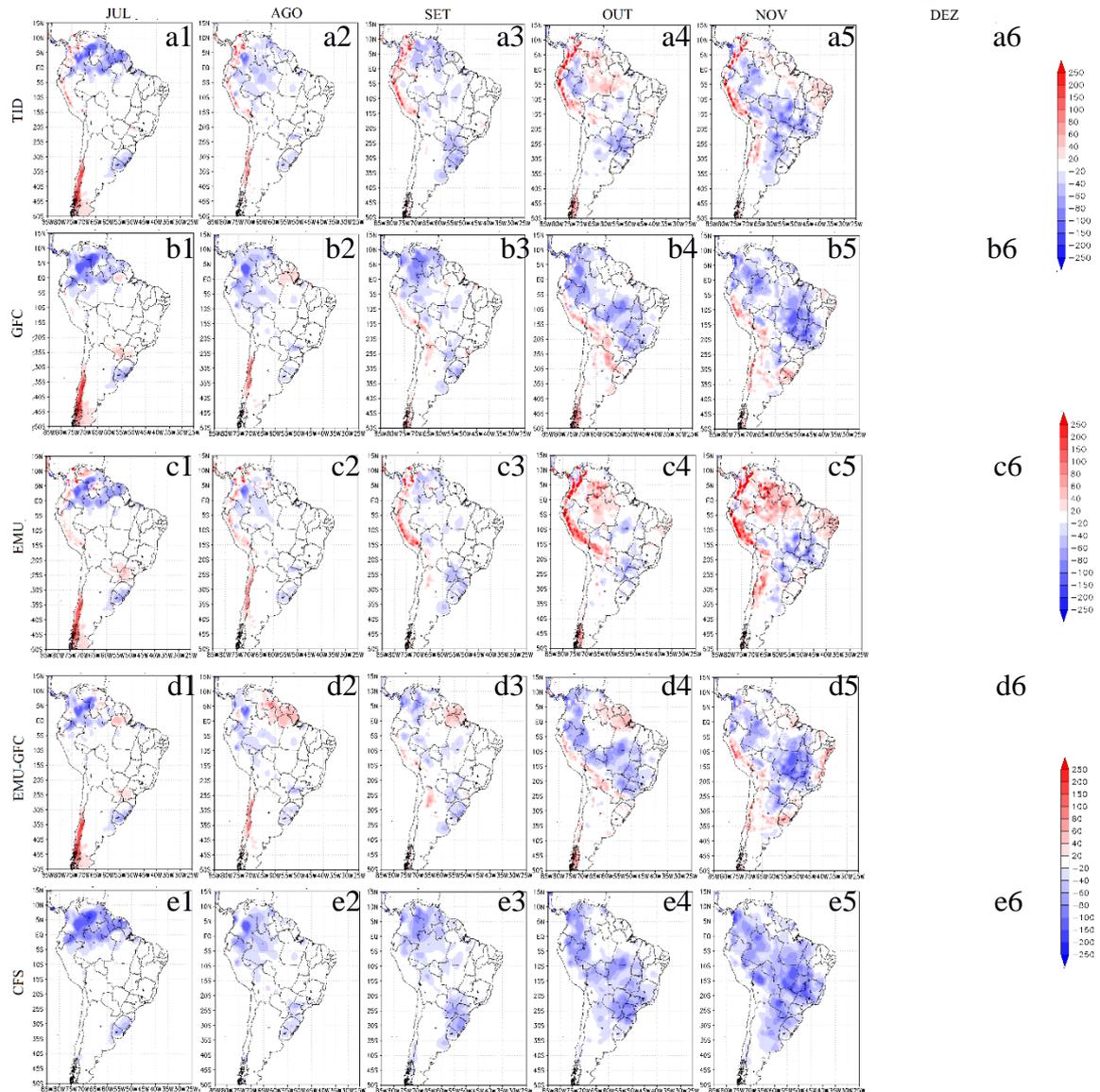
No subdomínio Nordeste Norte (Figura 21-c) durante os meses de previsão os esquemas GFC e EMU-GFC apresentaram menores destrezas, uma vez que previram melhor os padrões de precipitação observadas pelo CPC. Além disso as previsões com TID e o CFSv2 possuem

boa habilidade em representar a precipitação entre os meses de julho a outubro. No subdomínio Nordeste Sul (Figura 21-d) as previsões entre julho a outubro foram melhores representadas pelos esquemas TID, GFC e EMU-GFC, e o modelo global CFSv2, enquanto no mês de outubro o esquema TID possui tendências a superestimar, e GFC, EMU-GFC e CFSv2, subestimar a precipitação com maiores intensidades.

Na área Sul do Brasil e Uruguai (Figura 21-e) observa-se que as médias regionais de bias apresentaram uma subestimação em todas as previsões durante o trimestre julho, agosto e setembro, onde dentre estes meses, setembro apresentou menor destreza com os esquemas EMU,GFC e EMU-GFC, enquanto nos meses de outubro e novembro, apenas as previsões com o esquema GFC e EMU-GFC. Gonçalves (2015) observou os mesmos padrões, porém mostrou que o esquema de convecção mista Emanuel Terra e Grell no oceano, representou melhor a precipitação neste período. No noroeste do Peru e Equador (Figura 21-f) verifica-se que nos meses de julho e agosto os valores de bias próximos a 0 é visto apenas com as previsões utilizando TID e EMU, e no mês de setembro e novembro os esquemas GFC e EMU-GFC.

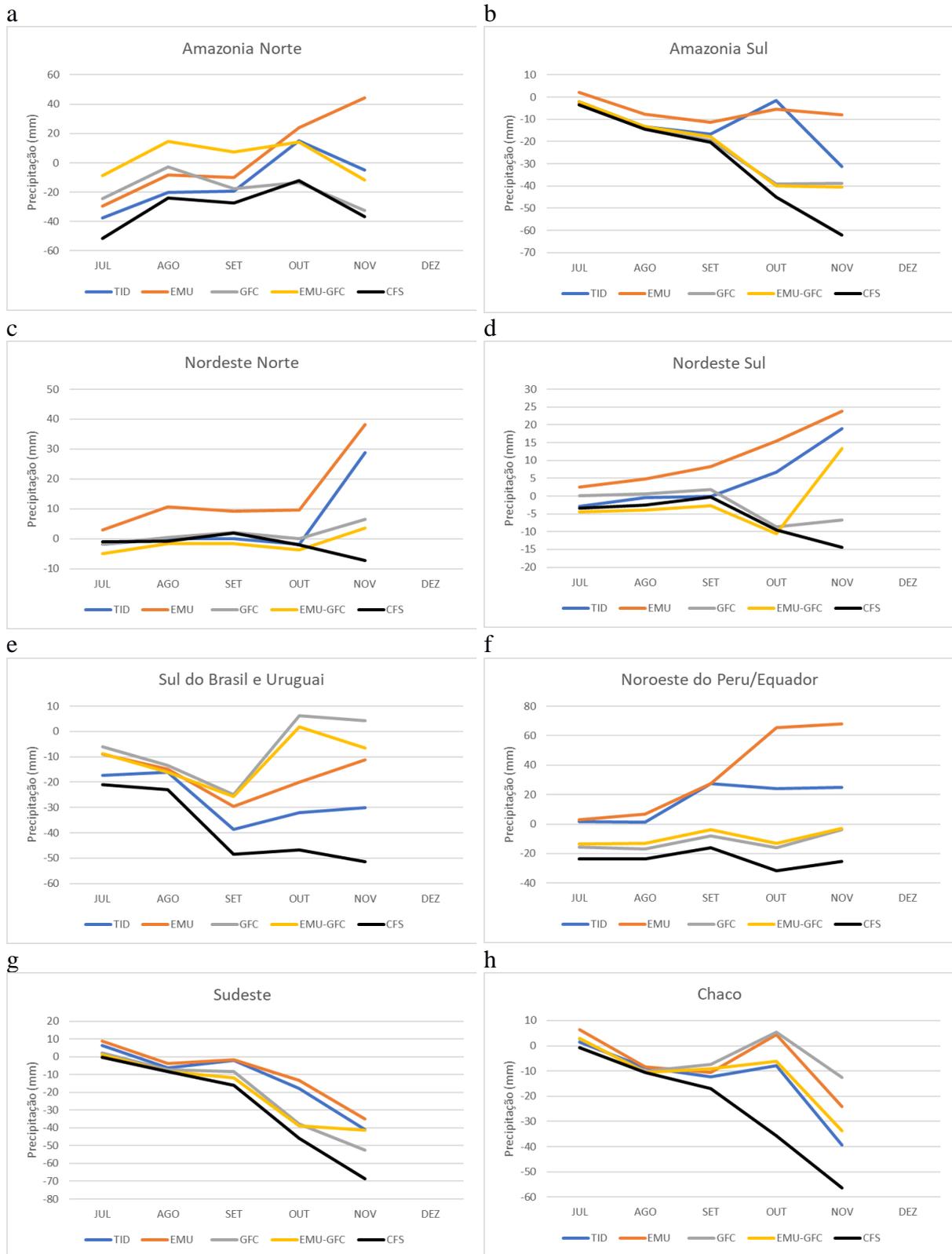
No subdomínio Sudeste (Figura 21-g) o trimestre julho, agosto e setembro todas as previsões dos modelos RegCM4 e CFSv2, apresentaram menores *skill*, ficando mais próximo da neutralidade, indicando que as previsões foram hábeis em representar a variável de interesse, porém nos demais meses as previsões tenderam a subestimar demasiadamente. Na Figura 21-h, as previsões do RegCM4 entre os meses de julho e outubro convergiram para os dados do CPC, uma vez que a média do bias nesta área estão mais próximas de zero, enquanto o mês de novembro apenas o esquema GFC apresentou menor destreza. O modelo global CFSv2 apresentou melhor desempenho apenas nos meses de julho e agosto, subestimando significativamente a precipitação nos demais meses de previsão.

Figura 20- Similar a Figura 4, mas para as previsões iniciadas em junho de 2018 para os meses de julho a novembro 2018. *dezembro impossibilitado de fazer a análise devido ao problema nos sites federais do EUA.



Fonte: Autor (2019).

Figura 21- Similar a Figura 5, porém para as previsões iniciadas em junho de 2018.



Fonte: Autor (2019).

5. Considerações Finais

Esta pesquisa teve como objetivo analisar 5 inicializações de previsões climáticas mensais de precipitação sobre a América do Sul utilizando o modelo climático regional versão 4 (RegCM4) com diferentes esquemas de parametrizações cumulus (TID, GFC, EMU e EMU-GFC) e o modelo global CFSv2 com um período de integração de 7 meses. O RegCM4 nas inicializações como condições iniciais e de contorno utilizou dados do modelo global CFSv2, desta forma foi avaliado também as previsões do modelo global para avaliar o quanto as previsões do modelo climático regional podem acrescentar nestas previsões do CFSv2.

O CFSv2 nas avaliações subjetivas das previsões dos acumulados mensais de precipitação, apresentou piores resultados em grande parte da América do Sul nas 5 inicializações de previsão, principalmente onde as precipitações foram mais intensas, porém em locais onde as precipitações foram inferiores a 70 mm/mês, o modelo apresentou bom desempenho, como em parte do Nordeste do Brasil, Argentina, e com destaque para região dos Andes, onde apresentou melhor desempenho. Apesar das previsões do RegCM4 aproximarem dos dados observados do CPC, verificou-se que as precipitações previstas nos subdomínios selecionados foram bem representadas pelos diferentes esquemas de parametrização.

A seguir são listadas as previsões que melhor representaram a precipitação nos subdomínios de acordo os índices de Willmott, no caso desta pesquisa, para os meses entre março e dezembro de 2018:

- AMZn o esquema de convecção mista EMU-GFC
- AMZs o esquema de parametrização EMU.
- NEBn o esquema GFC. Porém foi observado que as previsões TID, EMU-GFC e CFSv2 obtiveram bons resultados, conseguindo capturar as médias regionais de precipitação.
- NEBs o esquema EMU.
- SUR o esquema GFC.
- ENWPe o esquema TID.
- SUDESTE o esquema TID.
- CHACO o esquema TID e GFC.

Ao verificar as análises do comportamento do bias nos subdomínios, nota-se que na Amazônia Norte todas as previsões diferem do observado, enquanto na Amazônia Sul as previsões de EMU, convergem para os dados do CPC, além disso nestes dois subdomínios o modelo global CFSv2 subestima a precipitação em aproximadamente 80 mm/mês em todas as

previsões inicializadas, principalmente nos períodos mais chuvosos (fevereiro, setembro a novembro). No nordeste norte e sul observa-se que o esquema EMU apresenta bias menos intenso no período mais seco, porém nos períodos mais chuvosos o esquema TID apresentou melhor resultado

Nos subdomínios mais ao sul (Sul do Brasil e Uruguai, Sudeste e Chaco) é observado o melhor desempenho do RegCM4 em relação ao modelo CFSv2, que subestima exponencialmente a precipitação em grandes volumes durante os meses de integração em todas as inicializações. No subdomínio ENWPe apesar do esquema TID apresentar melhores índices de Willmott, os esquemas GFC e EMU-GFC tendem a prever melhor a precipitação nos meses entre julho e outubro (final do período seco para o período chuvoso).

Contudo, o RegCM4 apesar de subestimar/superestimar a precipitação em determinadas regiões, o mesmo conseguiu melhorar significativamente as previsões de precipitação utilizando dados do CFSv2, porém o CFSv2 apresenta bons resultados ao prever a precipitação em áreas isoladas (subdomínios) durante alguns meses.

5.1. Sugestões de Trabalhos Futuros

- Gerar e Analisar os hindcasts do RegCM4 com dados iniciais do CFSv2 para a AS.
- Avaliar as previsões do RegCM4 para outras variáveis atmosféricas.
- Comparar a destreza do modelo em relação a dados de estações meteorológicas de superfície.

6. Referências

ALVES, L. M. **Simulações da Variabilidade do Clima Presente sobre a América do Sul utilizando um Modelo climático Regional**. INPE, Tese de Doutorado, 2007.

ALVES, L. M.; CHOU, S-C.; MARENGO, J. A. Avaliação das previsões de chuvas sazonais do modelo ETA climático sobre o Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. 2009. p. 29.

ALVES, L. M.; CHOU, S-C.; MARENGO, J. A. Avaliação das previsões de chuvas sazonais do modelo ETA climático sobre o Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**. p. 29. 2009.

ALVES, L. M.; MARENGO, J. Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 100, n. 3-4, p. 337-350, 2010.

ALVES, L. M.; MARENGO, J. Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 100, n. 3-4, p. 337-350, 2010.

AMADOR, J. A. et al. Putting into action the REGCM4. 6 regional climate model for the study of climate change, variability and modeling over Central America and Mexico. **Atmosfera**, v. 31, n. 2, p. 185-188, 2018.

ANTHES, R. A. et al. **Description of the Penn State/NCAR mesoscale model version 4 (MM4)**. Boulder, CO.: NCAR, 1987.

ARAKAWA, A.; SCHUBERT, W. H. Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment, Part I. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 31, n. 3, p. 674-701, 1974.

ARAÚJO, G. R. G. de. **Avaliação do modelo climático regional RegCM4 sobre o Nordeste brasileiro para o período do outono**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

ÁVILA, P. L. R. et al. Simulação da precipitação sazonal com o RegCM4 sobre o estado do Pará para evento extremo utilizando a parametrização MIT. **SBAGRO**, 2011.

ÁVILA, P. L. R.; DE SOUZA, E. B.; PINHEIRO, A. N. Simulação da Precipitação Sazonal com o Regcm4 sobre o Estado do Pará para Anos de El Niño e La Niña (Simulation of Seasonal Precipitation with Regcm4 about the State of Pará for Years of El Niño and La Niña). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 5, p. 1316-1335, 2013.

CARDOSO, C. S.; DE QUADRO, M. F. L.. Análise comparativa de dados de precipitação gerados pelo “Climate Prediction Center–CPC” versus dados observados para o Sul do Brasil (Comparative analysis of precipitation data generated by Climate Prediction Center–CPC versus data observed...). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1180-1198, 2017.

CHUNG, J. X. et al. Performances of BATS and CLM land-surface schemes in RegCM4 in simulating precipitation over CORDEX Southeast Asia domain. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 794-810, 2018.

DANTAS, V. de. A. et al. Downscaling dinâmico sobre o Nordeste do Brasil utilizando um modelo climático regional: Impacto de diferentes parametrizações na precipitação simulada. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 4, p. 995-1008, 2013.

DIAS, C. G. **Validação de previsões climáticas sazonais sobre o Brasil: Modelos globais e regional**. Universidade Federal de Itajubá, Dissertação de Mestrado, 2017.

DICKINSON, R. E.; HENDERSON-SELLERS, A.; KENNEDY, P. J. Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) version 1E as coupled to the NCAR Community Climate Model. **NCAR Technical Report**. TN-387+STR, NCAR, Boulder, Colorado, p. 72, 1993.

DICKINSON, Robert E. et al. A regional climate model for the western United States. **Climatic change**, v. 15, n. 3, p. 383-422, 1989.

EK, M. B. et al. Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta model. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 108, n. D22, 2003.

ELGUINDI, N., BI, X., GIORGI, F., NAGARAJAN, B., PAL, J., SOLMON, F., RAUSCHER, S., ZAKAY, A., O'BRIEN, T., NOGHEROTTO, R. e GIULIANI, G. **Regional climatic model RegCM Reference Manual version 4.6**. ITCP, Trieste, 37p., 2014.

EMANUEL, K. A. A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 48, n. 21, p. 2313-2329, 1991.

FANTINI, A.; COPPOLA, E.; VERDECCHIA, M. Evaluation of two new high-resolution EURO-CORDEX RegCM simulations with a new Italian precipitation dataset. In: **EGU General Assembly Conference Abstracts**. 2018. p. 14329.

FRITSCH, J. M.; CHAPPELL, C. F. Numerical prediction of convectively driven mesoscale pressure systems. Part II. Mesoscale model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 37, n. 8, p. 1734-1762, 1980.

GIORGI, F.; ELGUINDI, N. **Regional Climatic Model RegCM User's Guide Version 4.4**. Trieste, Italy May 14, 2014.

GIORGI, F.; et al. Development of a second-generation regional climate model (RegCM2). Part I: boundary-layer and radiative transfer processes. **Monthly Weather Review**, v. 121, p. 2794-2813, 1993a.

GIORGI, F.; MEARN, L. O. Introduction to special section: Regional climate modeling revisited. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 104, n. D6, p. 6335-6352, 1999.

GOMES, H. B. **Distúrbios Ondulatorios de Leste no Nordeste Brasileiro: climatologia e modelagem numérica**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GONÇALVES, J. S. **Avaliação da previsão numérica sazonal de precipitação para o Rio Grande do Sul**, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado, 2015.

GRELL, G. A.; DEVENYI, D. J. **Dudhia, and DR Stauffer: A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5)**. NCARTech, 1994. Note NCAR/TN-398STR.

GRELL, G. A.; KUO, Y-H.; PASCH, R. J. Semiprognostic tests of cumulus parameterization schemes in the middle latitudes. **Monthly weather review**, v. 119, n. 1, p. 5-31, 1991.

JESUS, E. M. Simulações climáticas regionais para o CORDEX sobre a América do Sul e impactos das frentes frias na climatologia simulada. 2014. 135p. 2014. Tese de Doutorado. Programa de Meteorologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

KIEHL, J. T. et al. Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3). Boulder, Colorado: NCAR Technical Note, **NCAR/TN-420+STR**, 152 p., 1996.

KUBOTA, Paulo Yoshio; BONATTI, José Paulo. Variabilidade da Precipitação na América do Sul Forçada Com Diferentes Parametrizações de Superfície para Previsão de Curto Prazo. In: Anais Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2010.

LLOPART, M. et al. Sensitivity of simulated South America climate to the land surface schemes in RegCM4. **Climate Dynamics**, v. 49, n. 11-12, p. 3975-3987, 2017.

LLOPART, M.; BOIASKI, N.; DA ROCHA, R. VARIABILIDADE INTERANUAL DA PRECIPITAÇÃO SIMULADA PELO REGCM4. **Ciência e Natura**, v. 35, p. 311, 2013.

LLOPART, M.; BOIASKI, N.; DA ROCHA, R. VARIABILIDADE INTERANUAL DA PRECIPITAÇÃO SIMULADA PELO REGCM4. **Ciência e Natura**, v. 35, p. 311, 2013.

MACHADO, R. D. et al. Previsões climáticas sazonais sobre o Brasil: avaliação do RegCM3 aninhado no modelo global CPTEC/COLA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 1, p. 121-136, 2011.

MARTÍNEZ-CASTRO, D. et al. The performance of RegCM4 over the Central America and Caribbean region using different cumulus parameterizations. **Climate Dynamics**, p. 1-24, 2017.

MENDONÇA, M.; et al. Análise multiescalar para a compressão de causas e consequências da variabilidade climática na América do Sul. **Experimentos em Climatología Geográfica**. Organizadores: Charlei Aparecido de Silva, Edson Soares Fialho e Ercilio Torres Steinke. **Asociación Brasileña de Climatología Geográfica**, p. 271-290, 2014.

MISRA, V.; KANAMITSU, M. Anomaly Nesting: A Methodology to Downscale Seasonal Climate Simulations from AGCMs. **Journal of Climate**, v.17, n.17, p.3249-3262, 2004.

MOTA, G. V. et al. Precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3, **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, 111-124, 2009.

NASCIMENTO, T. S. et al. Preenchimento de falhas em banco de dados pluviométricos com base em dados do CPC (Climate Prediction Center): estudo de caso do Rio Solimões-Amazonas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 7, 2010.

National Center for Atmospheric Research Staff (Eds), 2018. The Climate Data Guide: CPC Unified Gauge-Based Analysis of Global Daily Precipitation. Retrieved from <<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/cpc-unified-gauge-based-analysis-global-daily-precipitation>>. Acesso entre 01 de março e 01 de setembro de 2018.

NEVES, D. G. et al. Modelagem climática regional durante dois anos de extremos de Precipitação sobre o estado do Amapá: teste de sensibilidade aos Esquemas convectivos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 4, p. 569-578, 2011.

OH, S-G. SUH, M-S. Changes in seasonal and diurnal precipitation types during summer over South Korea in the late twenty-first century (2081–2100) projected by the RegCM4.0 based on four RCP scenarios. **Climate Dynamics**, p. 1-20, 2018.

OLIVEIRA, L. C. D. et al. Estimativas de chuvas intensas para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola**, v. 28, no.1, 2008.

OZTURK, T. et al. Future projections of temperature and precipitation climatology for CORDEX-MENA domain using RegCM4.4. **Atmospheric Research**, v. 206, p. 87-107, 2018.

PAL, J. S.; SMALL, E. E.; ELTAHIR, E. A. B. Simulation of regional-scale water and energy budgets: Representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 105, n. D24, p. 29579-29594, 2000.

PHAN-VAN, T. et al. Evaluation of the NCEP Climate Forecast System and Its Downscaling for Seasonal Rainfall Prediction over Vietnam. **Weather and Forecasting**, n. 2018, 2018.

PRADO, D. E. As caatingas da América do Sul. **Ecologia e conservação da Caatinga**, v. 2, p. 3-74, 2003.

RACZKA, B. et al. An observational constraint on stomatal function in forests: evaluating coupled carbon and water vapor exchange with carbon isotopes in the Community Land Model (CLM4. 5). **Biogeosciences**, v. 13, n. 18, p. 5183, 2016.

REBOITA, M. S et al.. Validação da Precipitação Simulada pelo CFSv2. In: IV Simpósio Internacional de Climatologia, 2011, João Pessoa. SIC, 2011.

REBOITA, M. S. et al. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, 2010.

REBOITA, Michelle Simões et al. Previsão Climática Sazonal para o Brasil Obtida Através de Modelos Climáticos Globais e Regional. **Rev. Bras. Meteorol**, p. 0102-7786332001, 2018.

SAHA, S. et al. The NCEP climate forecast system version 2. **Journal of Climate**, v. 27, n. 6, p. 2185-2208, 2014.

SILVA, A. G. Estudo sobre a precipitação simulada no outono na região tropical da América do Sul através de downscaling dinâmico e previsão por conjunto. 2016. 128f. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

SILVA, V. B. S. et al. An improved gridded historical daily precipitation analysis for Brazil. **Journal of Hydrometeorology**, 8:847-861, 2007.

SILVA, M. C. L. **Modelagem climática regional do jato de baixos níveis a leste dos Andes e validação**. 2006. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de São Paulo.

SOLMAN, S. A, et al. Regional climate change experiments over southern South America. I: present climate. **Climate Dynamics**, v. 30, n. 5, p. 533-552, 2008.

SOUZA, E. B. et al. Sazonalidade da Precipitação sobre a Amazônia Legal Brasileira: Clima Atual e Projeções Futuras Usando o Modelo Regcm4. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, 2016.

TIEDTKE, M. A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models. **Monthly Weather Review**, v. 117, n. 8, p. 1779-1800, 1989.

VANZOLINI, P. E. Paleoclimas e especiação em animais da América do Sul tropical. **Estudos Avançados**, v. 6, n. 15, p. 41-65, 1992.

VELIKOU, K.; TOLIKA, K. Evaluation of the Sensitivity of the Updated RegCM4 Model to Physics Parameterizations over the Mediterranean Region: Precipitation and Temperature Simulations. In: **Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings**. 2017.

VERA, C.; SILVESTRI, G. Precipitation interannual variability in South America from the WCRP-CMIP3 multi-model dataset. **Climate dynamics**, v. 32, n. 7-8, p. 1003-1014, 2009.

WANG, Y.; SEN, O. L.; WANG, B. A highly resolved regional climate model (IPRC-RegCM) and its simulation of the 1998 severe precipitation event over China. Part I: Model description and verification of simulation. **Journal of Climate**, v. 16, n. 11, p. 1721-1738, 2003.

WANG, Lang et al. Evaluation of the Regional Climate Model over the Loess Plateau of China. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 1, p. 35-54, 2018.

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

WILLMOTT, Cort J. On the validation of models. **Physical geography**, v. 2, n. 2, p. 184-194, 1981.

Xie, P., A. Yatagai, M. Chen, T. Hayasaka, Y. Fukushima, C. Liu e S. Yang (2007), uma análise baseada em indicadores da precipitação diária sobre a Ásia Oriental, **J. Hidrometeorol.** 8, 607. 626

YANAI, M, et al. Determination of bulk properties of tropical cloud clusters from large-scale heat and moisture budgets. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 30, n. 4, p. 611-627, 1973.

YANG, M. et al. Simulation of Land Surface Climate over China with RegCM4. 5: Verification and Analysis. **Advances in Meteorology**, v. 2018, 2018.