



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## **DESEMPENHO DAS PREVISÕES SAZONAIS DO MODELO ETA ANINHADO AO MODELO BESM DO INPE**

Roberto Leo dos Santos Baltazar

Relatório Final de Iniciação Científica do  
programa PIBIC/INPE, orientada pela PhD.  
Chou Sin Chan e Dra. Claudine Pereira  
Dereczynski.

INPE  
São José dos Campos  
2023

## RESUMO

Modelos climáticos globais são ferramentas importantes para a simulação do tempo e clima em todo o planeta. Entretanto, as baixas resoluções de suas previsões sazonais fornecem informações limitadas para o planejamento e atuação em escala local. Modelos climáticos regionais permitem um aumento da escala espacial, resultando em um detalhamento adicional das previsões geradas por modelos globais, o que possibilita previsões destinadas a áreas mais limitadas e com fins mais específicos. O objetivo deste trabalho é avaliar as previsões climáticas sazonais do modelo regional Eta aninhado ao modelo global Brazilian Earth System Model (BESM), ambos modelos desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em eventos extremos no país. Ademais, investiga-se as forçantes climáticas predominantes durante os eventos de extremos climáticos ocorridos na região da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. O modelo regional Eta fornece previsões climáticas sazonais para todo o Brasil com resolução de 40 km. As previsões sazonais consideradas do modelo Eta40km utilizam a temperatura da superfície do mar prevista pelo modelo BESM. Anteriormente, foram realizadas avaliações do desempenho das previsões sazonais do modelo Eta40kmBESM em relação à Reanálise ERA5 e ao Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP) para eventos extremos secos e chuvosos no trimestre dezembro-janeiro-fevereiro para o período 1987-2010. Foram também comparadas as avaliações das previsões de precipitação e temperatura em níveis de pressão do modelo Eta40kmBESM e do BESM, identificando semelhanças entre os erros nos dois modelos. Nesta etapa do trabalho, deu-se continuidade às comparações entre os modelos para as variáveis de pressão ao nível médio do mar, temperatura do ar à 2m e altura geopotencial em 500 e 850 hPa. Os erros das previsões são identificados através de comparações às saídas do ERA5 e do MSWEP. As métricas calculadas são erro médio, raiz do erro quadrático médio, desvio padrão e coeficiente de correlação de Pearson para previsões nos horários de 00, 06, 12 e 18 UTC de cada variável. Os resultados preliminares indicam que, assim como foi visto para temperatura e precipitação, as previsões do Eta40kmBESM para as novas variáveis analisadas também apresentam erros que acompanham os encontrados nas saídas do BESM. Os sinais e distribuição espacial das anomalias previstas pelo modelo Eta40kmBESM se mostram similares aos simulados pelo modelo BESM, tanto para casos de acertos quanto de erros nas previsões.

Palavras-chave: Previsões climáticas. América do Sul. Avaliação de modelos.

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 4.1 - Anomalias de pressão a nível médio do mar previstas pelo modelo global BESM, modelo regional Eta40BESM e de reanálise do ERA5, respectivamente, na América do Sul para o trimestre de dezembro-janeiro-fevereiro do período de 1988 até 2010. ....	7
Figura 4.2 - Anomalias de temperatura do ar a 2 metros previstas pelo modelo global BESM, modelo regional Eta40BESM e de reanálise do ERA5, respectivamente, na América do Sul para o trimestre de dezembro-janeiro-fevereiro do período de 1988 até 2010. ....	13
Figura 4.3 - Anomalias de altura geopotencial em 500 hPa previstas pelo modelo global BESM, modelo regional Eta40BESM e de reanálise do ERA5, respectivamente, na América do Sul para o trimestre de dezembro-janeiro-fevereiro do período de 1988 até 2010. ....	19
Figura 4.4 - Anomalias de altura geopotencial em 500 hPa previstas pelo modelo global BESM, modelo regional Eta40BESM e de reanálise do ERA5, respectivamente, na América do Sul para o trimestre de dezembro-janeiro-fevereiro do período de 1988 até 2010, com exceção de 1995 e 2003 (dados faltantes). ....	23

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
BESM	Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
EM	Erro médio

## SUMÁRIO

	<b><u>Pág.</u></b>
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Objetivos Gerais e Específicos.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
3 DADOS E METODOLOGIA .....	3
4 RESULTADOS.....	6
4.1 Modelos vs. Observação .....	6
4.1.1 Pressão a nível médio do mar .....	6
4.1.2 Temperatura do ar a 2 metros .....	11
4.1.3 Altura geopotencial em 500 e 850 hPa .....	17
5 CONCLUSÃO .....	28
5.1 Próximos Passos.....	29
5.2 Agradecimentos.....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	30

# 1 INTRODUÇÃO

A variabilidade climática se refere a flutuações do clima acima ou abaixo da média climatológica a longo prazo. Essas oscilações podem apresentar valores extremos, geralmente resultando em grandes prejuízos e perdas de vidas quando enfrentados com despreparo. Eventos extremos de variabilidade climática na precipitação podem ocasionar em crises hídricas e, conseqüentemente, energéticas em períodos de seca extrema, enquanto períodos extremos chuvosos podem causar desastres como inundações, deslizamentos e escorregamentos de terra. Nesse sentido, previsões sazonais de precipitação, geradas através de modelos numéricos, são muito úteis pois permitem identificar a qualidade da estação chuvosa com alguns meses de antecedência.

Modelos climáticos globais são instrumentos capazes de realizar previsões de tempo e clima em grande escala, porém suas baixas resoluções resultam em previsões sazonais consideradas grosseiras para o planejamento e atuação em escala local. A redução da escala das previsões se torna possível através da implementação de modelos regionais climáticos, que adicionam detalhamento adicional às previsões dos modelos globais. Os modelos regionais utilizam condições iniciais, de contorno lateral e inferior fornecidas pelos modelos globais, que introduzem informações sobre a circulação atmosférica de grande escala enquanto o modelo regional agrega informações detalhadas do clima em escala local. O aumento da resolução permite que previsões sejam feitas para áreas mais limitadas e com fins mais específicos, além de permitir uma melhor reprodução de eventos extremos climáticos.

## 1.1 Objetivos Gerais e Específicos

Este trabalho tem como objetivo geral estudar o desempenho das previsões sazonais do modelo climático regional Eta (Mesinger et al., 2012; Chou et al., 2020) aninhado ao modelo global BESM, ambos desenvolvidos pelo INPE. Com isso em mente, constatam-se os seguintes objetivos específicos:

I. Avaliar as previsões climáticas sazonais do modelo Eta aninhado ao modelo BESM em eventos extremos no país;

II. Investigar as forçantes climáticas predominantes durante os eventos de extremos climáticos ocorridos na região da bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Previsões sazonais geradas por modelos climáticos globais geralmente possuem detalhamento insuficiente para a tomada de ações em escalas locais, devido à baixa resolução dos modelos. Ao mesmo tempo, a utilização de modelos climáticos globais de alta resolução exige recursos computacionais cujo acesso ainda é bastante limitado, tornando a redução de escala através de modelos climáticos regionais uma opção mais viável para gerar previsões sazonais mais detalhadas (Laprise et al. 2000). A primeira tentativa de explorar a aplicação de modelos regionais para a redução da escala de previsões na América do Sul foi feita por Chou et al. (2000), aninhando o modelo regional Eta ao modelo global do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Chou et al. (2000), assim como Menéndez et al. (2001), Nicolini et al. (2002) e Misra et al. (2002), conseguiram demonstrar que as previsões do modelo climático global foram melhoradas pelo modelo regional Eta, sendo capaz de reproduzir anomalias climáticas observadas. Os autores também destacaram a utilidade de modelos regionais climáticos aninhados a modelos globais para previsões climáticas.

Chou et al. (2020) avaliou 10 anos de previsões retrospectivas regionais sobre a América do Sul do modelo climático regional Eta com resolução 40km, aninhado ao modelo global do CPTEC, realizando comparações a dados observacionais. Chou et al. (2020) encontrou que as previsões subestimaram os valores de precipitação na porção central do Brasil durante o verão, enquanto superestimou a precipitação no Sul e ao longo da costa leste brasileira durante o inverno. Resultados de *skill score* também indicaram a habilidade do modelo de reproduzir a variabilidade interanual das anomalias de precipitação na porção norte do continente sul-americano. No Brasil, a habilidade de previsão encontrada foi mais alta nas regiões Norte e Nordeste, com o Sul demonstrando habilidade moderada e o Sudeste valores mais baixos. O estudo também encontrou que as habilidades de previsão durante os eventos extremos de El Niño e La Niña se mostraram mais altas do que durante anos neutros, além de demonstrar maior

habilidade em comparação a previsões de modelos climáticos globais. Em geral, Chou et al. (2020) encontrou que o processo de redução de escala das previsões a partir da aplicação do modelo regional Eta ao modelo global do CPTEC adicionou valor às previsões sazonais sobre a América do Sul, com efeito visível durante as estações chuvosas de DJF a MAM, assim como durante a estação de transição SON. Concluiu-se que as previsões sobre a América do Sul com o modelo climático regional Eta acoplado ao modelo climático global do CPTEC demonstraram maior resolução, provendo informações mais detalhadas e uma maior habilidade de previsão sazonal de precipitação.

Anteriormente, Chou et al. (2005) gerou e avaliou em seu trabalho previsões sazonais do modelo Eta sobre a América do Sul, focando na previsibilidade de precipitação em períodos de tempo em escalas sazonais, mensais e semanais. O modelo constava de uma resolução de 40 km e utilizou previsões do modelo climático global do CPTEC como contorno lateral. Chou et al. (2005) encontrou que as previsões sazonais do modelo Eta apresentavam valores totais comparáveis aos observados, além de representar bem os sistemas de precipitação de larga escala sobre a América do Sul, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). As previsões do modelo Eta demonstraram maior habilidade de previsão de precipitação sobre a região amazônica e menor sobre o nordeste brasileiro. Valores totais de precipitação indicaram que o modelo conseguiu capturar a variabilidade intrasazonal, como o início da monção. Comparações com as previsões do modelo climático global do CPTEC demonstraram uma melhora ao utilizar o modelo Eta em suas previsões, e comparações com a climatologia indicaram que as previsões sazonais do modelo Eta produziram informações úteis adicionais.

### **3 DADOS E METODOLOGIA**

O Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (BESM - *Brazilian Earth System Model*) é um modelo climático global acoplado oceano-atmosfera que vem sendo desenvolvido e aprimorado pelo INPE (Nobre et al., 2013), cuja versão mais recente possui componente atmosférica de resolução T62L28 (resolução horizontal de aproximadamente 200 km e



28 níveis verticais) representada pelo modelo de circulação geral atmosférico do INPE. A sua componente oceânica é representada pelo MOM5 (Modular Ocean Model version 5), modelo de circulação geral oceânica do GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) que possui 50 níveis e resolução horizontal variando 0,25° entre 10°S e 10°N, 1° entre 10°N/S e 45°N/S e 2° entre 45°N/S e 90°N/S. A resolução do modelo é constante de 1° em longitude.

O modelo Eta se trata de um modelo climático regional desenvolvido pela Universidade de Belgrado junto ao Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia (Mesinger et al. 1988), que entrou em operação no National Centers for Environmental Prediction (NCEP) (Black 1994) e foi implementado em 1996 no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), onde tem gerado previsões sazonais desde 2001. (Chou et al., 2020; Chou et al 2005; Chou, 1996).

Na etapa anterior deste trabalho, foram consideradas as previsões do modelo regional Eta aninhado ao modelo global BESM, realizadas para as variáveis de precipitação, temperatura do ar a 2 metros, temperatura do ar em 850, 500 e 250 hPa, pressão a nível médio do mar, movimento vertical a 500 hPa e altura geopotencial a 850 e 500 hPa. Foram geradas previsões nos horários de 00, 06, 12 e 18Z para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro no período de 1988-2010 (23 anos), cobrindo o domínio da América do Sul. As previsões do modelo Eta40BESM foram comparadas aos dados observacionais de mesmo horário e período para a avaliação de seu desempenho. Foram utilizados dados de observação obtidos pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts ReAnalysis 5* (ERA5) (Hersbach et al., 2020) para as variáveis de temperatura a 2 metros, temperatura do ar, pressão a nível médio do mar, movimento vertical, altura geopotencial e temperatura do ar em 250, 500 e 850 hPa enquanto dados do *Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation* (MSWEP) (Beck et al., 2019) foram utilizados para precipitação. Para cada variável, foram calculadas as métricas de erro médio, raiz do erro quadrático médio, anomalia, desvio padrão e coeficiente de correlação de Pearson. Em seguida, as previsões do modelo regional Eta40BESM foram comparadas às do modelo global BESM, a fim de se identificar a origem dos erros encontrados nas previsões de precipitação e temperatura do ar em 250, 500 e 850 hPa do Eta40BESM. A etapa anterior do estudo encontrou que o modelo Eta40BESM foi capaz

de prever sinais de anomalia predominantes similares aos observados e seus padrões espaciais, mas falhou ao simular corretamente suas intensidades, apresentando superestimativas e subestimativas em seus valores. Apesar disso, ocorreu uma quantidade significativa de casos em que o modelo regional não conseguiu reproduzir satisfatoriamente em suas previsões tanto os sinais quanto os padrões espaciais das anomalias observadas, resultando em previsões com erros ou malsucedidas. Ao comparar as previsões de anomalia de precipitação do modelo Eta40BESM com as do modelo BESM, foram encontradas semelhanças nos sinais e distribuição espacial entre as previsões dos dois modelos, sugerindo que as previsões do modelo regional tenham herdado erros e acertos do modelo global. Já para as previsões de anomalia de temperatura em níveis de pressão, as previsões do Eta40BESM se mostraram quase idênticas às do BESM, variando apenas em intensidade, de modo que as anomalias previstas pelo Eta40BESM foram menos intensas e mais próximas da observação.

Para a etapa atual do trabalho, as previsões do modelo global BESM foram avaliadas através da mesma metodologia da etapa anterior, com o objetivo de se identificar semelhanças e possíveis erros no modelo global que possam ter influenciado negativamente as previsões do modelo regional Eta40BESM. O desempenho das previsões do modelo BESM foi comparado ao das previsões do Eta40BESM e aos valores de observação (reanálise do ERA5) para as variáveis de pressão a nível médio do mar, temperatura a 2 metros e altura geopotencial em 500 e 850 hPa. Na etapa anterior, a avaliação das previsões foi feita de forma mensal, analisando cada mês do trimestre de forma individual. Nesta etapa, a avaliação passa a ser trimestral, obtendo-se previsões únicas para todo o trimestre de dezembro-janeiro-fevereiro e também reavaliando-as em relação aos dados de observação, caso haja discrepâncias entre as análises mensais e trimestrais.

A série de dados do trabalho foi definida pela disponibilidade de anos com previsões retrospectivas do modelo Eta40km-BESM e originalmente constava de 30 anos, possuindo período de 1981-2010, porém precisou ser reduzida por conta de erros detectados na configuração das previsões dos anos de 1981-1986.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Modelos vs. Observação

#### 4.1.1 Pressão a nível médio do mar

Na Figura 4.1 estão representadas as previsões sazonais de anomalia de pressão a nível médio do mar do modelo global BESM, modelo regional Eta40BESM e da reanálise do ERA5 respectivamente, para o trimestre de dezembro-janeiro-fevereiro no período de 1988 a 2010.

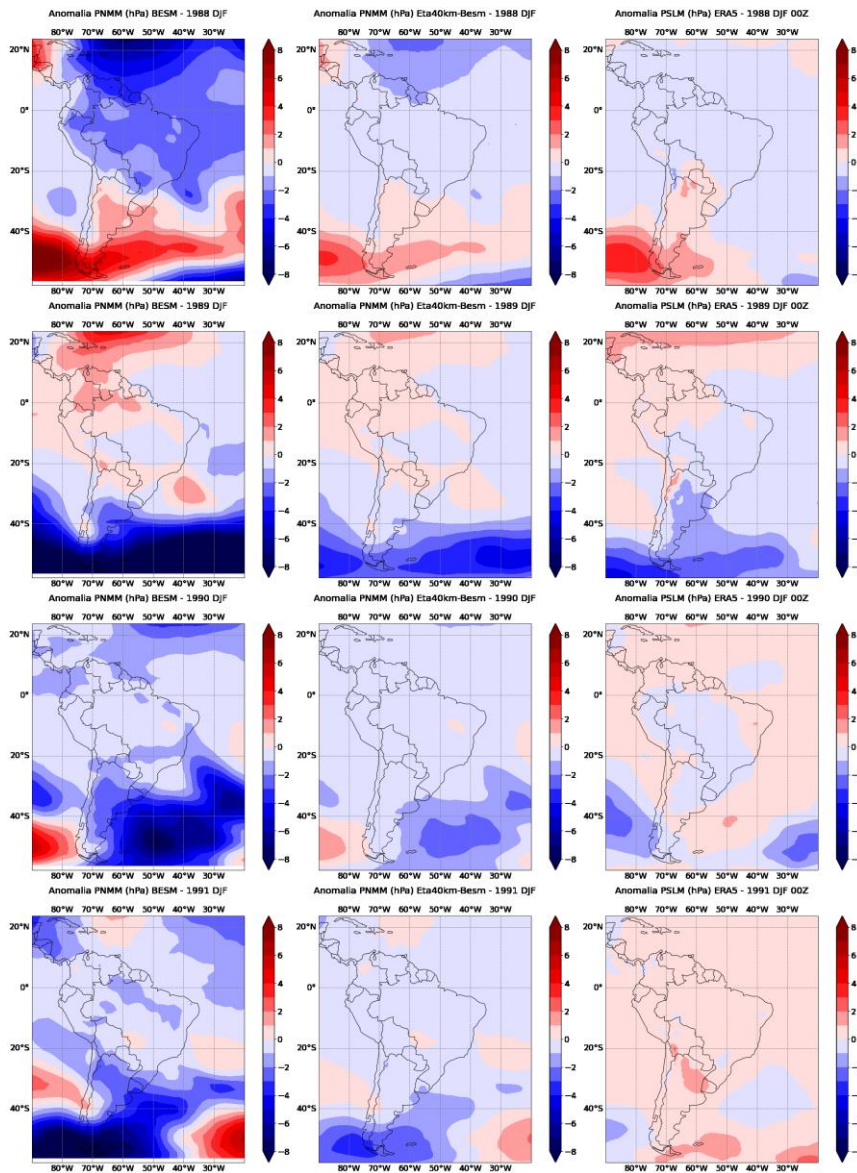
A partir da figura 4.1, é possível notar que o modelo regional Eta40BESM conseguiu prever corretamente os sinais e os padrões espaciais de anomalias de pressão sobre a América do Sul e sobre a porção sudoeste do oceano Atlântico, como foi visto nos anos de 1988, 1989, 1994, 1995, 2000, 2001, 2002, 2003 e 2004. As previsões do modelo regional apresentaram algumas variações em relação aos valores da reanálise do ERA5, como em intensidade e deslocamento do posicionamento das anomalias, porém essas variações são esperadas quando se trata de modelos de previsão e da previsibilidade em escala sazonal da região estudada. Destacam-se também os anos em que o modelo regional Eta40BESM previu sinais opostos aos vistos pelo ERA5, sendo considerados anos com previsões malsucedidas, como foram os casos de 2005, 2006, 2007, 2008 e 2010.

Na figura 4.1 também pode-se notar que as previsões do modelo global BESM se mostraram bastante similares às do modelo regional Eta40BESM, sugerindo que as previsões sazonais do modelo regional tenham acompanhado as do modelo global, tanto em sinal quanto em distribuição espacial das anomalias de pressão a nível médio do mar. Esse comportamento é esperado, uma vez que o modelo regional está aninhado ao global, e pôde ser observado em todos os anos da série. Apesar disso, o modelo Eta40BESM apresentou divergências em intensidade, prevendo anomalias de pressão menos intensas do que o modelo BESM, tanto para sinais positivos quanto negativos. Os valores menos intensos simulados pelo modelo regional tornaram suas previsões mais próximas dos valores observados pela reanálise do ERA5, enquanto as previsões

do modelo global demonstraram forte superestimava dos sinais das anomalias de pressão.

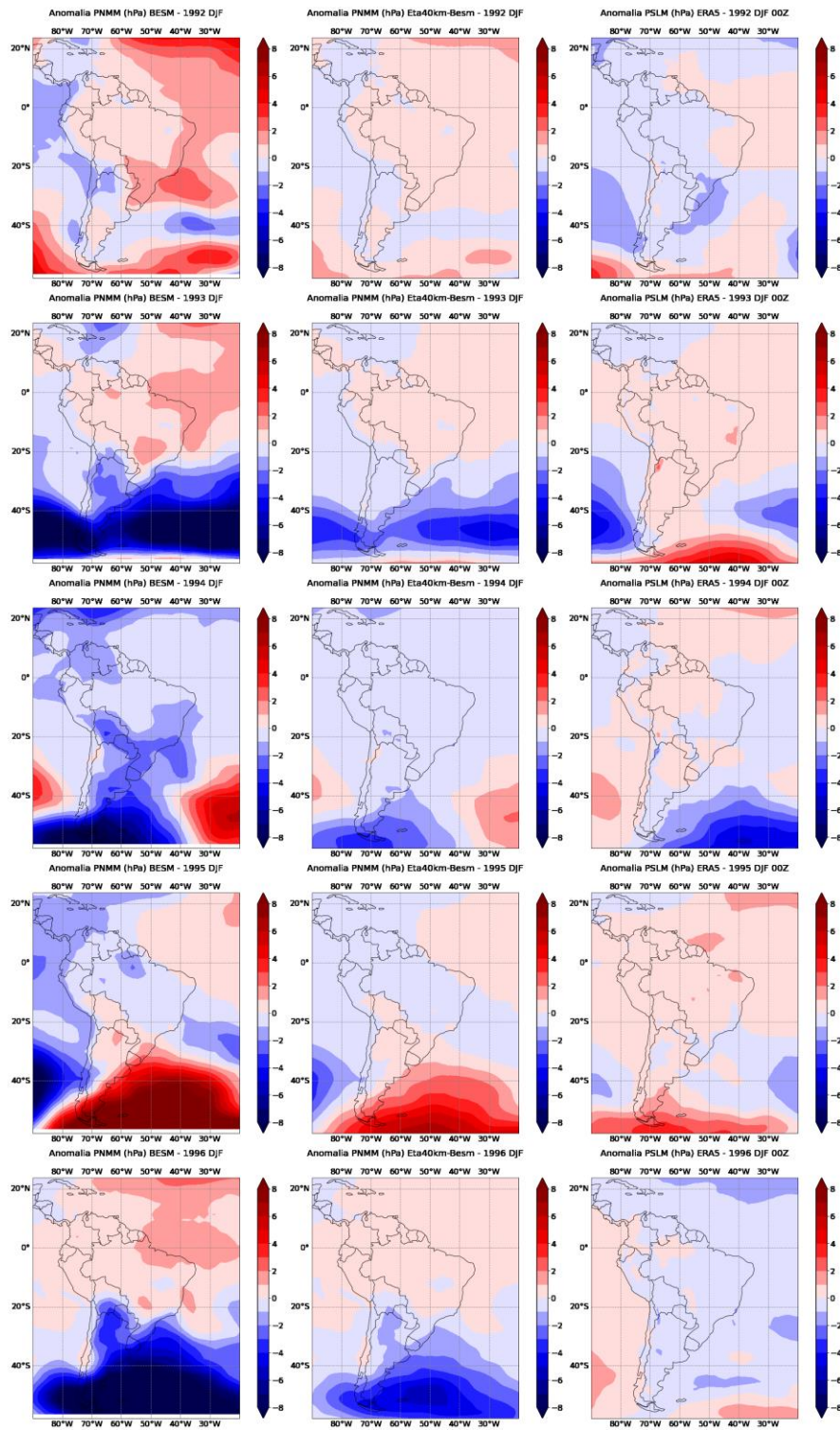
Por conta da tendência encontrada do Eta40BESM de acompanhar o comportamento do BESM em suas previsões, é possível deduzir que os erros nas previsões malsucedidas do modelo regional tenham origem no modelo global ao qual está aninhado.

Figura 4.1 - Anomalias de pressão a nível médio do mar previstas pelo modelo global BESM, modelo regional Eta40BESM e de reanálise do ERA5, respectivamente, na América do Sul para o trimestre de dezembro-janeiro-fevereiro do período de 1988 até 2010.



(Continua)

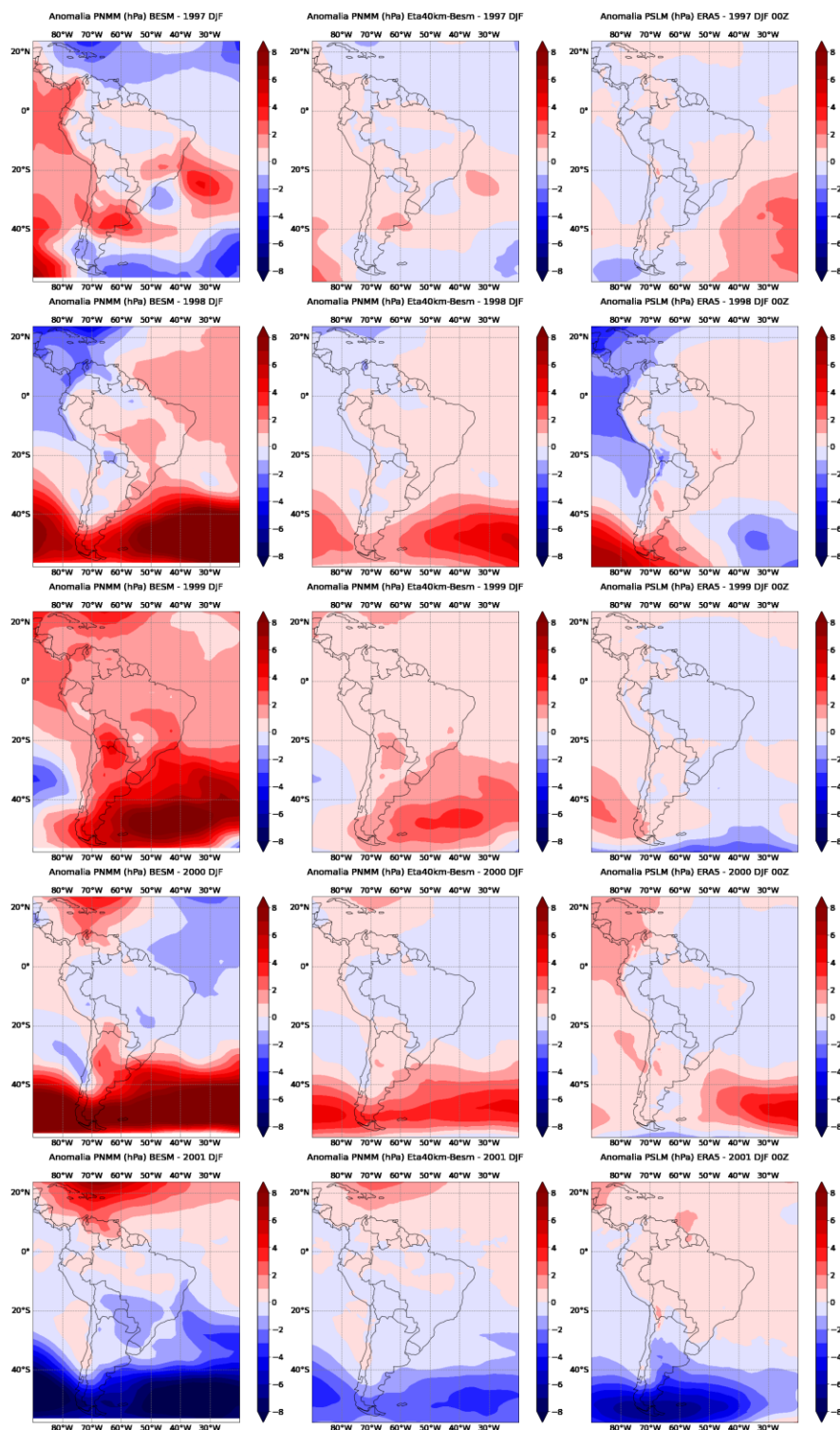
Figura 4.1 – Continuação.



(Continua)

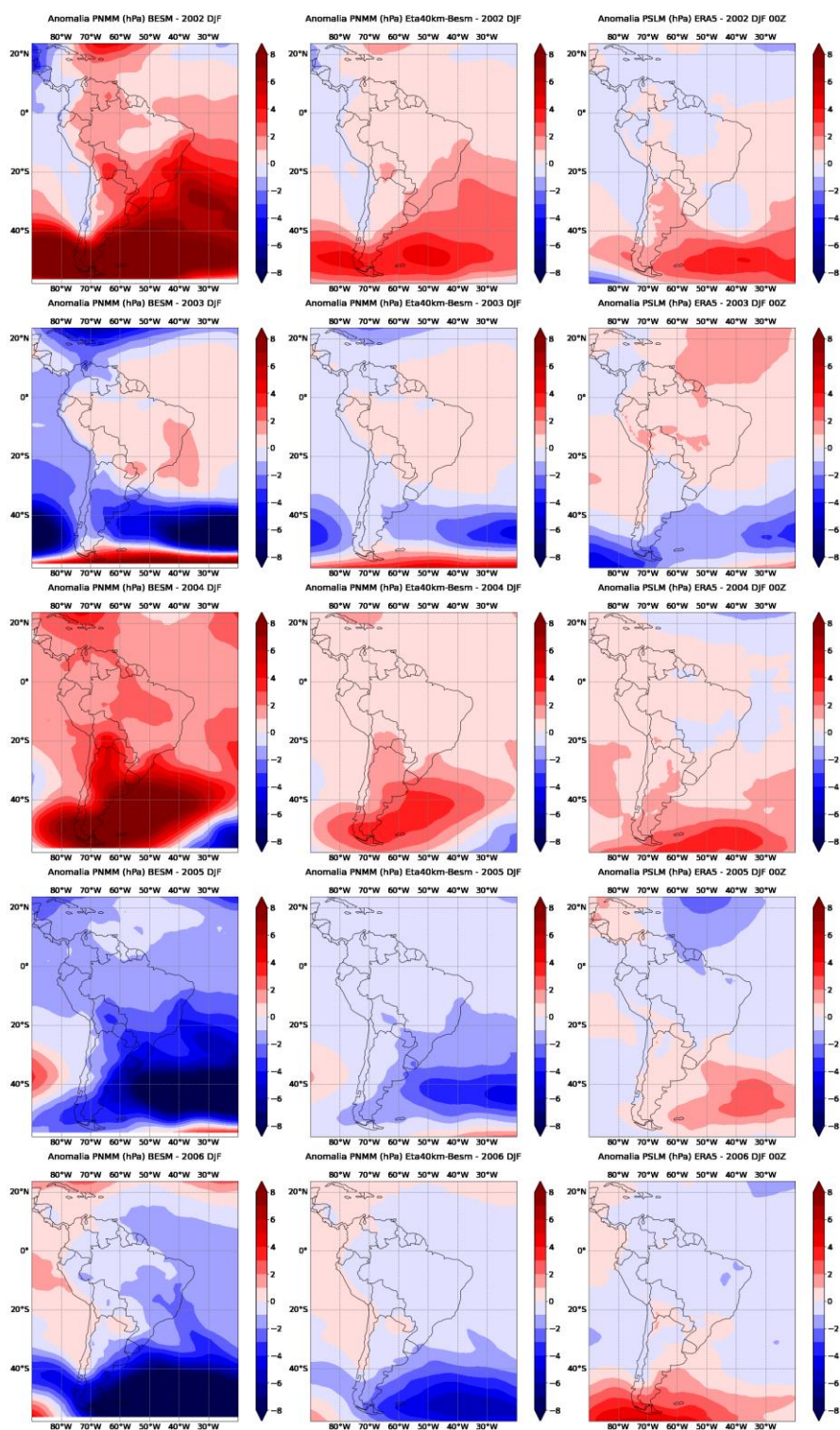


Figura 4.1 – Continuação.



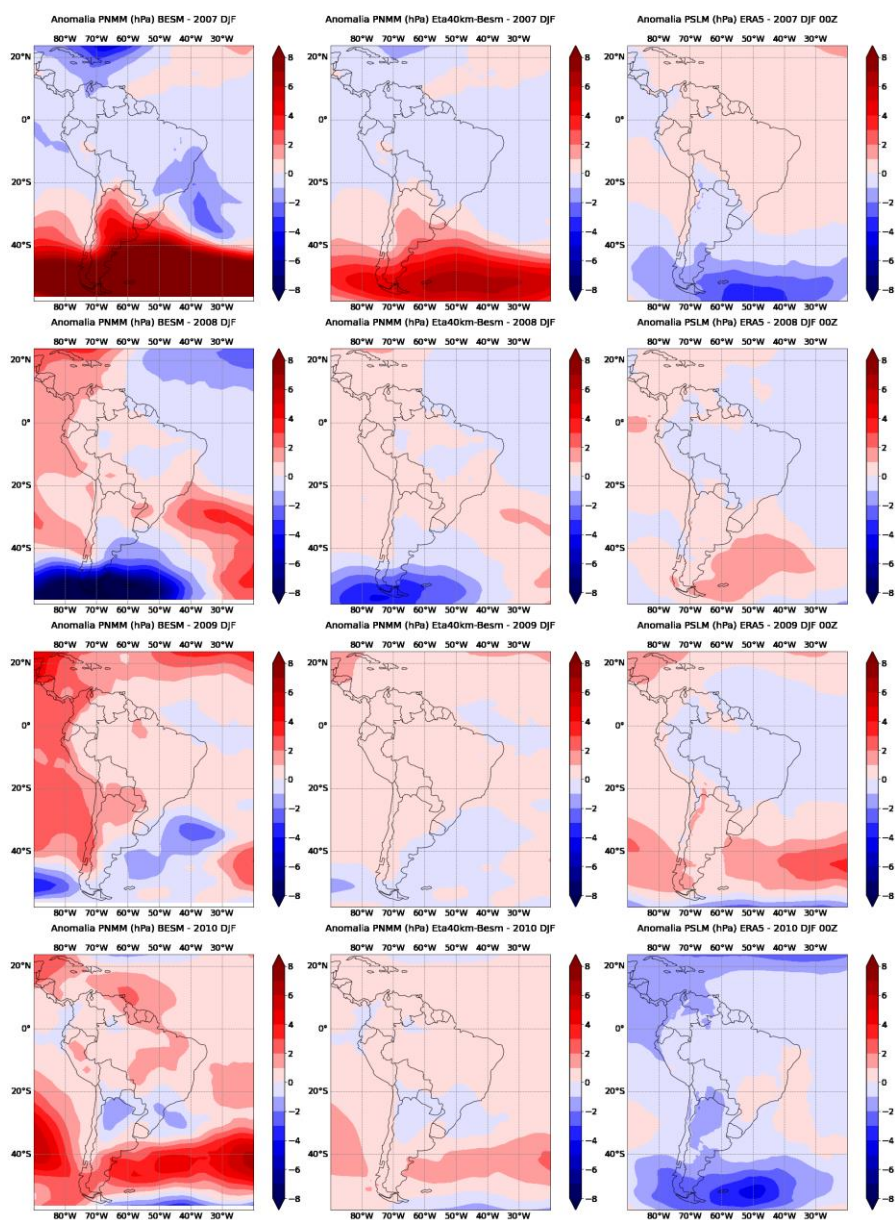
(Continua)

Figura 4.1 – Continuação.



(Continua)

Figura 4.1 – Continuação.



#### 4.1.2 Temperatura do ar a 2 metros

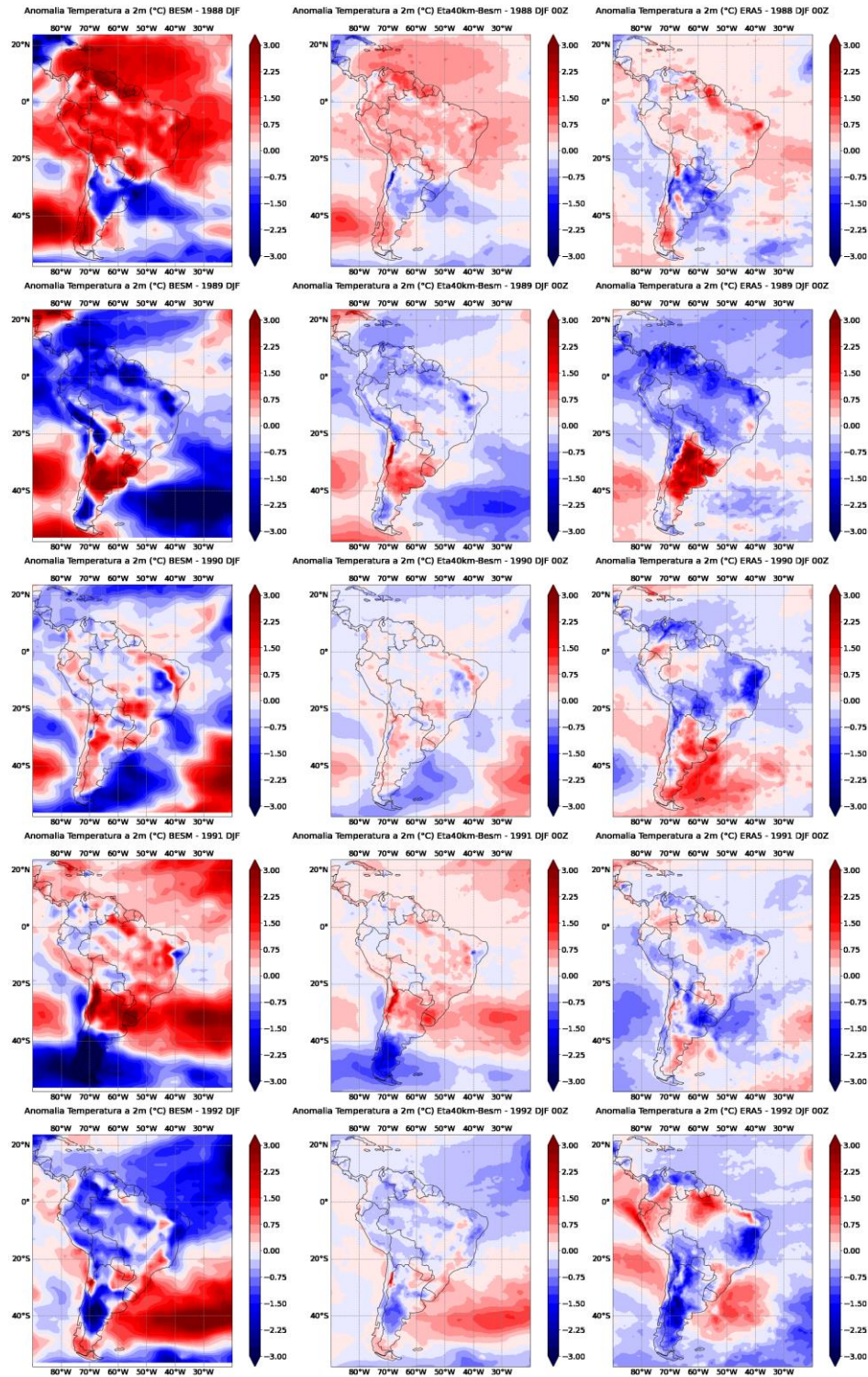
A Figura 4.2 apresenta as previsões sazonais de anomalia de temperatura do ar a 2 metros do modelo global BESM, modelo regional Eta40BESM e da reanálise do ERA5 respectivamente, para o trimestre de dezembro-janeiro-fevereiro no período de 1988 a 2010.



Através da figura 4.2, nota-se que as previsões sazonais de anomalia de temperatura do ar a 2 metros do modelo regional Eta40BESM se mostraram capazes de reproduzir os sinais e distribuição espacial das anomalias observadas pelo ERA5, assim como os sinais predominantes de parte dos anos da série. Destacam-se como previsões bem-sucedidas do Eta40BESM os anos de 1988, 1989, 1992, 1996, 1997, 1998, 2002, 2004 e 2010. Em alguns casos, o modelo previu sinais incorretos de anomalia em porções consideráveis da região de domínio da previsão, mas acertou os sinais predominantes no restante da região, como ocorreu nos anos de 1993, 2000, 2007 e 2008. Previsões malsucedidas, em que o modelo previu sinais opostos aos observados pela reanálise do ERA5, foram vistas nos anos de 1990, 1991, 1999, 2001 e 2006.

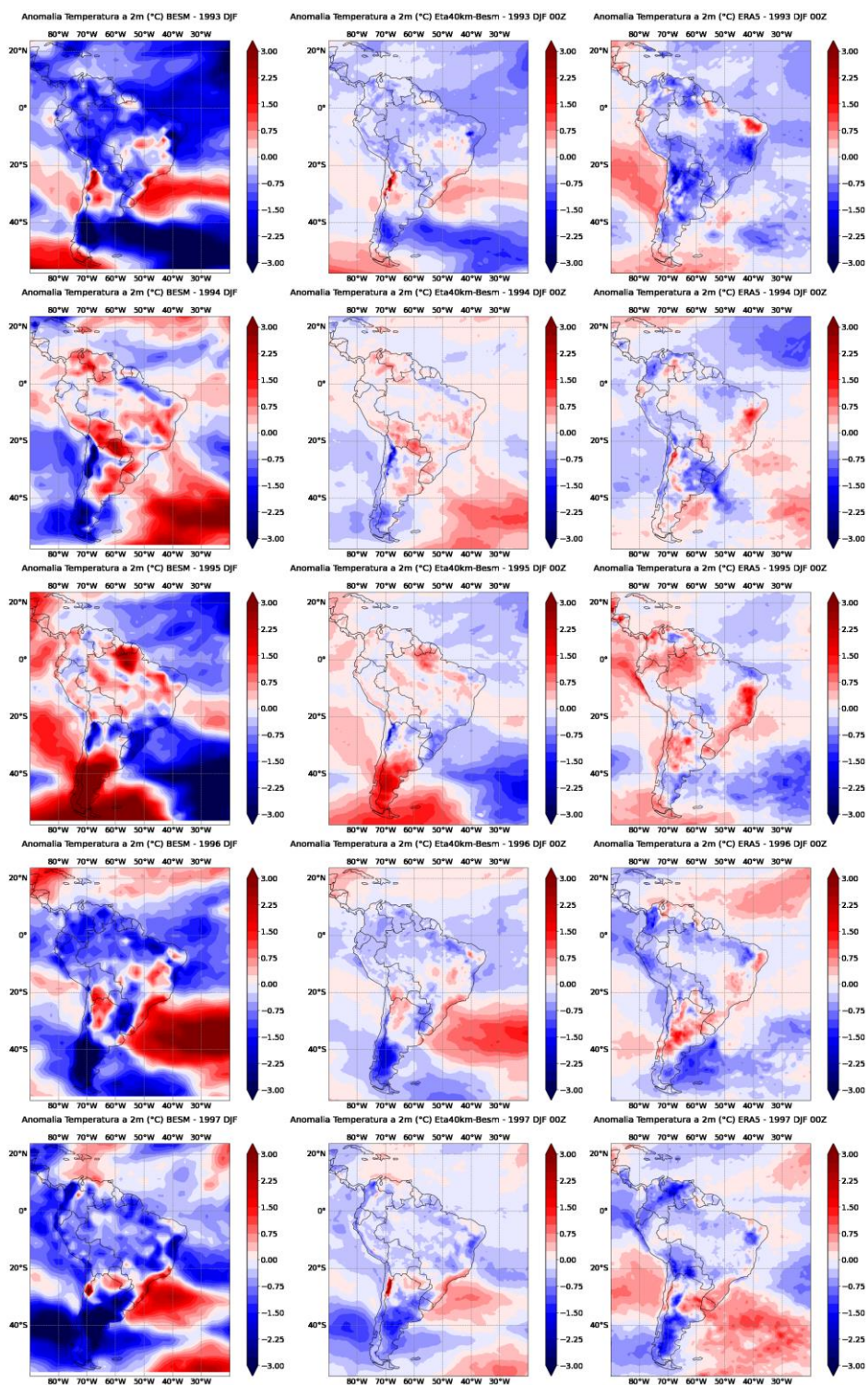
Ao realizar uma comparação entre modelos das previsões sazonais de anomalia de temperatura do ar a 2 metros, é possível notar que, assim como visto anteriormente para a pressão a nível médio do mar na figura 4.1, as previsões do modelo regional Eta40BESM acompanharam o comportamento demonstrado pelas previsões do modelo global BESM, simulando os mesmos sinais e distribuição espacial das anomalias, variando apenas em intensidade. As anomalias menos intensas do Eta40BESM fizeram com que as previsões do modelo regional se tornassem mais próximas dos valores da reanálise do ERA5, enquanto o modelo global BESM se distanciou. O comportamento similar entre as previsões dos dois modelos sugere que os erros nos sinais e distribuição espacial das anomalias do Eta40BESM, assim como os acertos, sejam fortemente influenciados pelos erros e acertos do modelo global BESM.

Figura 4.2 - Anomalias de temperatura do ar a 2 metros previstas pelo modelo global BESM, modelo regional Eta40BESM e de reanálise do ERA5, respectivamente, na América do Sul para o trimestre de dezembro-janeiro-fevereiro do período de 1988 até 2010.



(Continua)

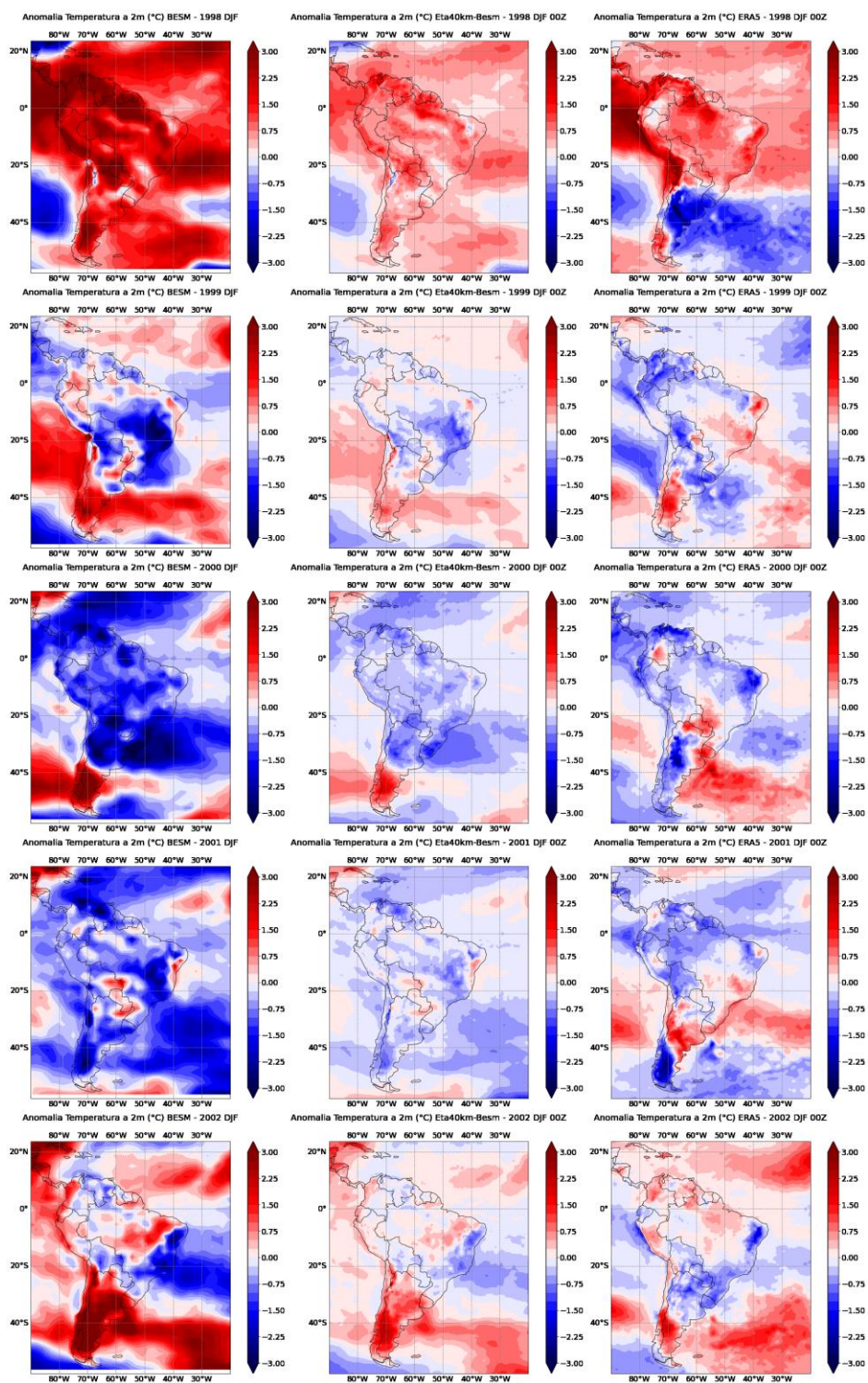
Figura 4.2 – Continuação.



(Continua)

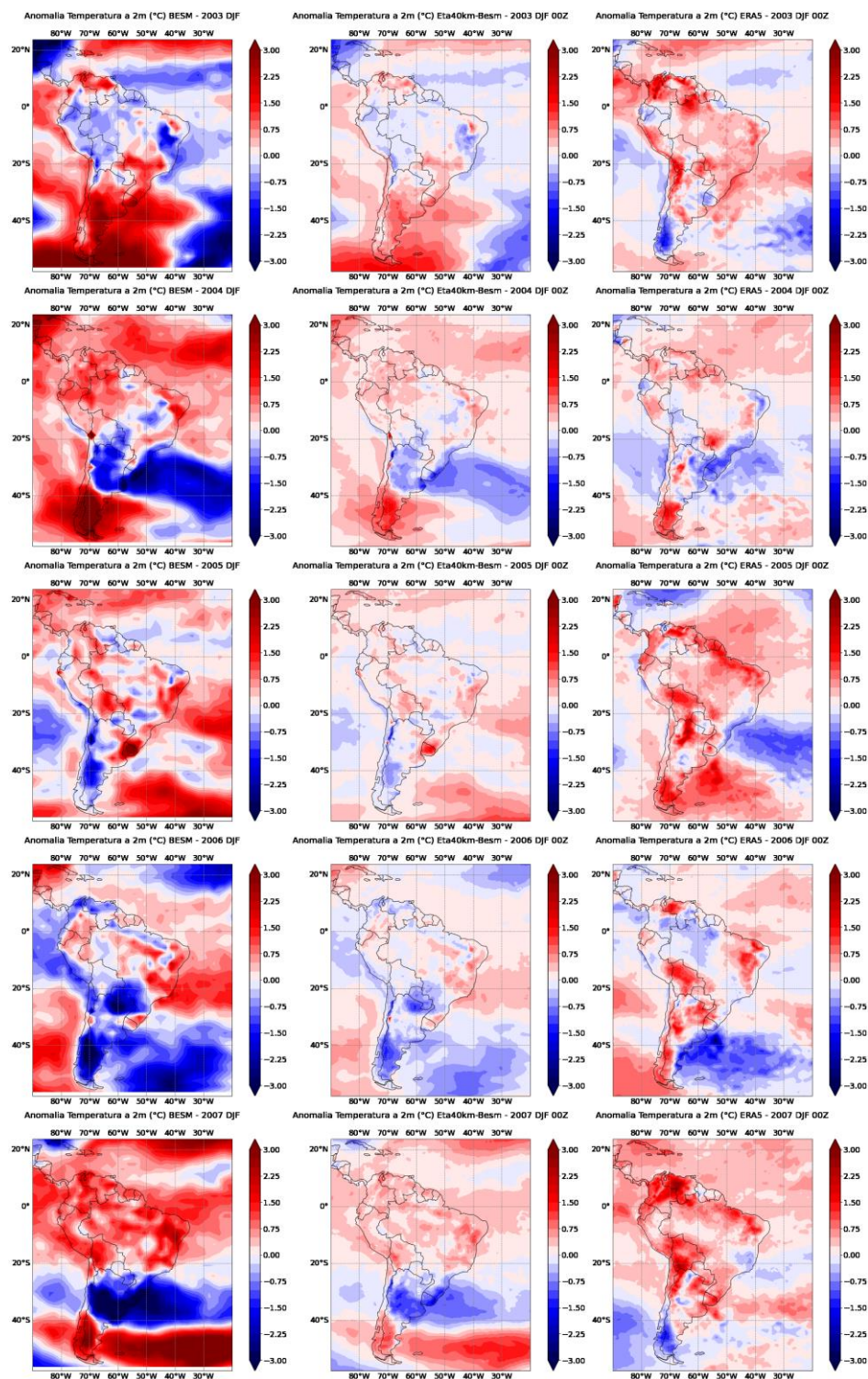


Figura 4.2 – Continuação.



(Continua)

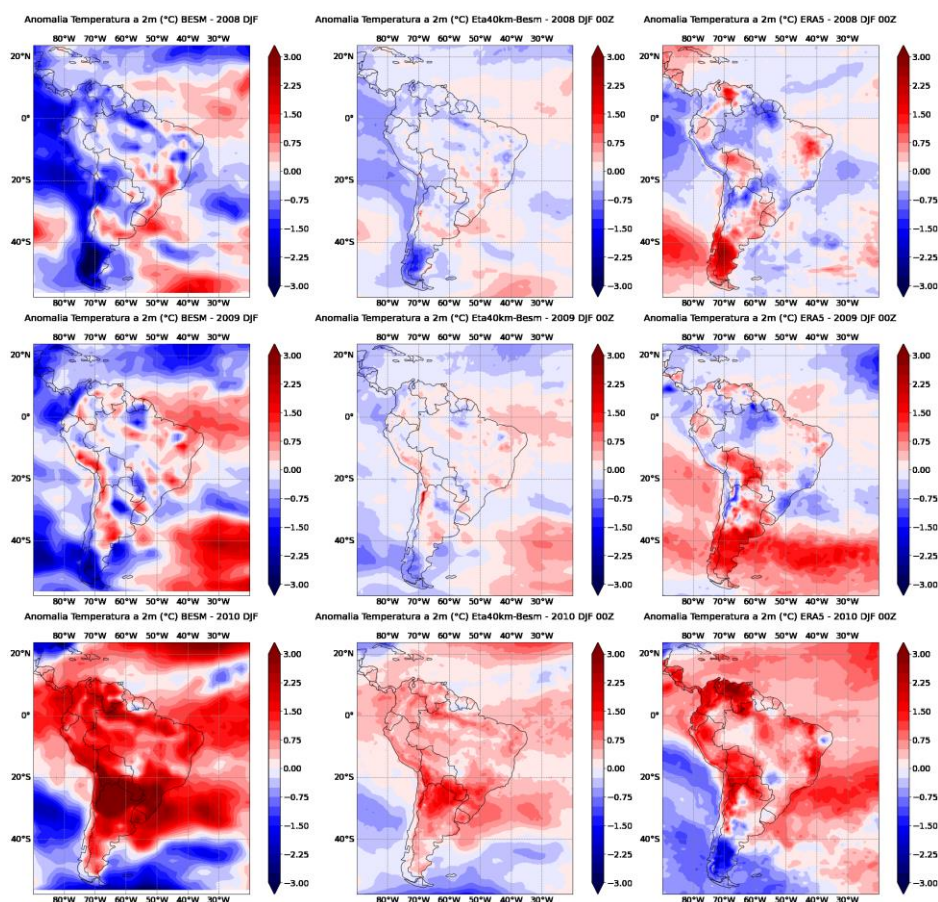
Figura 4.2 – Continuação.



(Continua)



Figura 4.2 – Continuação.



### 4.1.3 Altura geopotencial em 500 e 850 hPa

Nas Figuras 4.3 e 4.4 encontram-se as previsões sazonais de anomalia de altura geopotencial em 500 e 850 hPa do modelo global BESM, modelo regional Eta40BESM e da reanálise do ERA5 respectivamente, para o trimestre de dezembro-janeiro-fevereiro no período de 1988 a 2010.

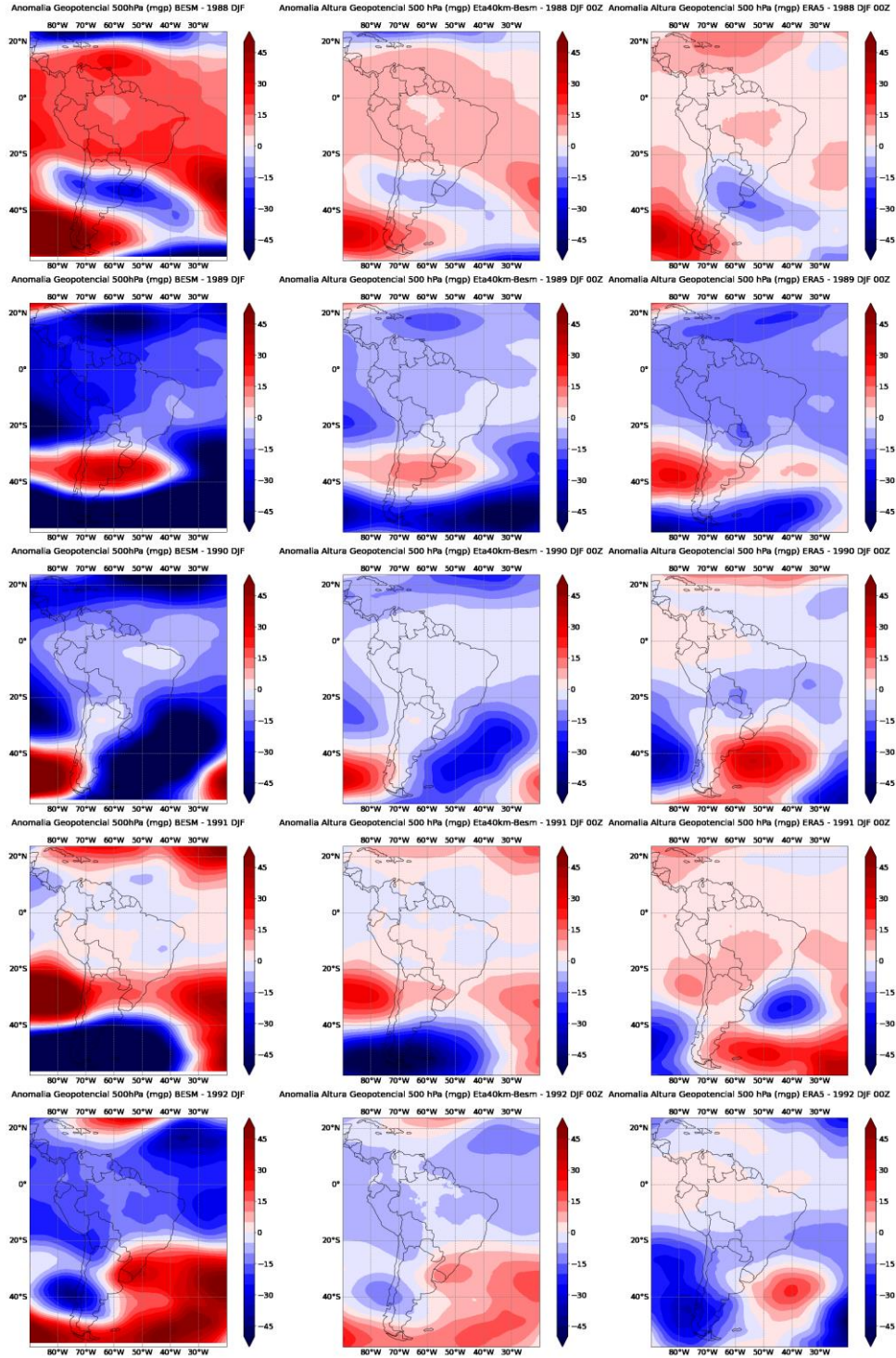
As anomalias de altura geopotencial encontradas nas figuras 4.3 e 4.4 demonstraram resultados semelhantes para os níveis de 500 e 850 hPa, de modo que quando os

modelos apresentaram previsões bem-sucedidas (malsucedidas) em um nível, no outro também foram vistos acertos (erros). As previsões das anomalias de altura geopotencial, assim como nas previsões das figuras 4.1 e 4.2, apresentaram resultados com sinais e distribuição espacial quase idênticos para o modelo global BESM e para o modelo regional Eta40BESM, sendo que as anomalias previstas pelo Eta40BESM se mostraram menos intensas e mais próximas dos valores da reanálise do ERA5.

Através das figuras 4.3 e 4.4, nota-se que o Eta40BESM foi capaz de prever os sinais e padrões espaciais das anomalias de altura geopotencial em 500 e 850 hPa em boa parte da série. Algumas previsões do modelo regional apresentaram erros de sinal em parte da região prevista, porém ainda foi capaz de reproduzir os sinais predominantes das anomalias no restante do domínio de previsão. Destacaram-se como previsões bem-sucedidas do Eta40BESM, para ambos os níveis de 500 e 850 hPa, as dos anos de 1988, 1989, 2001, 2002 e 2004. Para casos em que o modelo acertou parcialmente em suas previsões, foram vistos os anos de 1993, 1998 e 2000. Já para casos de previsões malsucedidas em que o modelo Eta40BESM previu sinais opostos aos da reanálise do ERA5, foram identificados os anos de 1990, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2010.

A semelhança entre as previsões do modelo regional Eta40BESM e do modelo global BESM sugerem que o modelo regional tenha herdado os erros e acertos em suas previsões do modelo global.

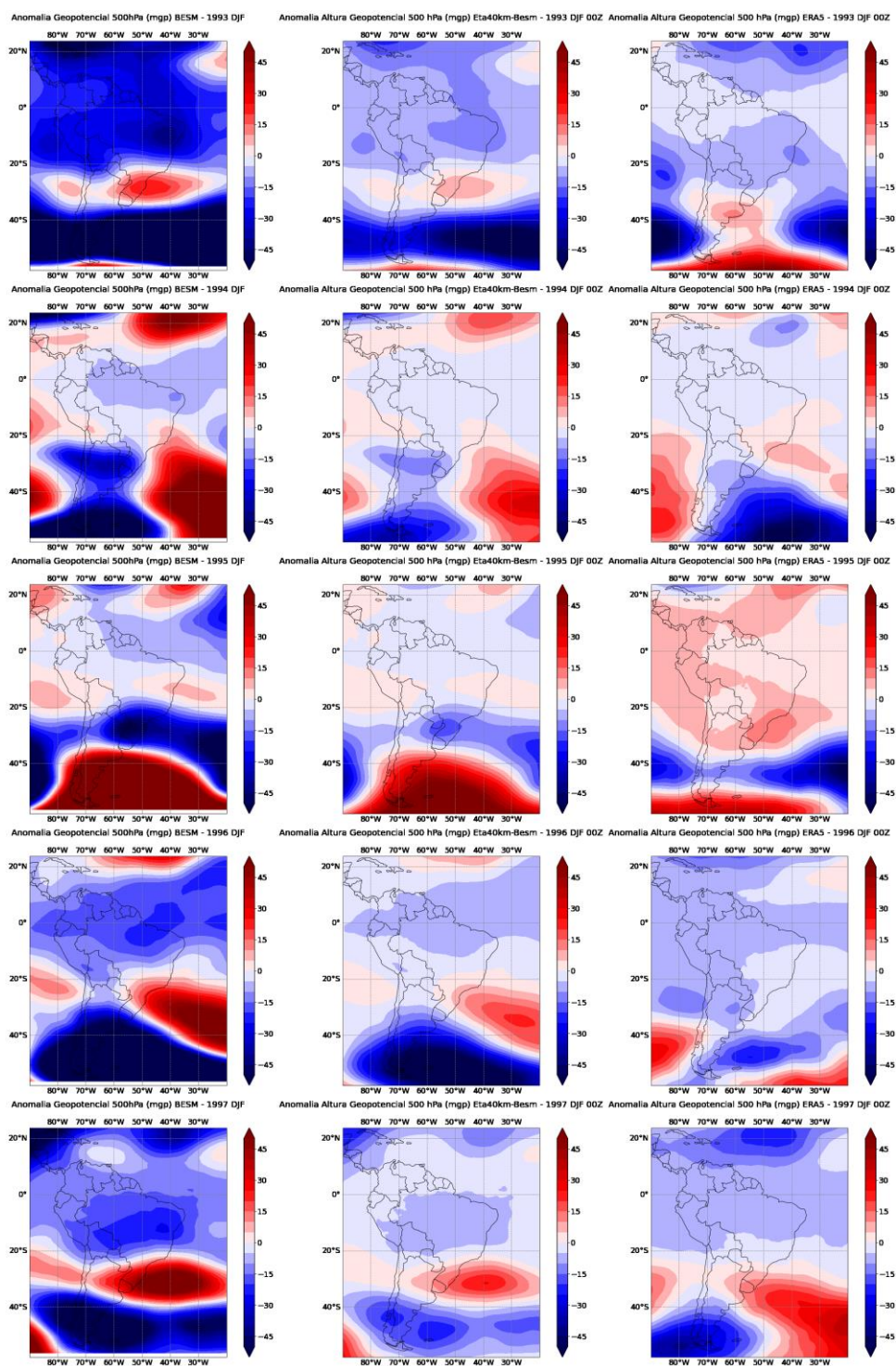
Figura 4.3 - Anomalias de altura geopotencial em 500 hPa previstas pelo modelo global BESM, modelo regional Eta40BESM e de reanálise do ERA5, respectivamente, na América do Sul para o trimestre de dezembro-janeiro-fevereiro do período de 1988 até 2010.



(Continua)

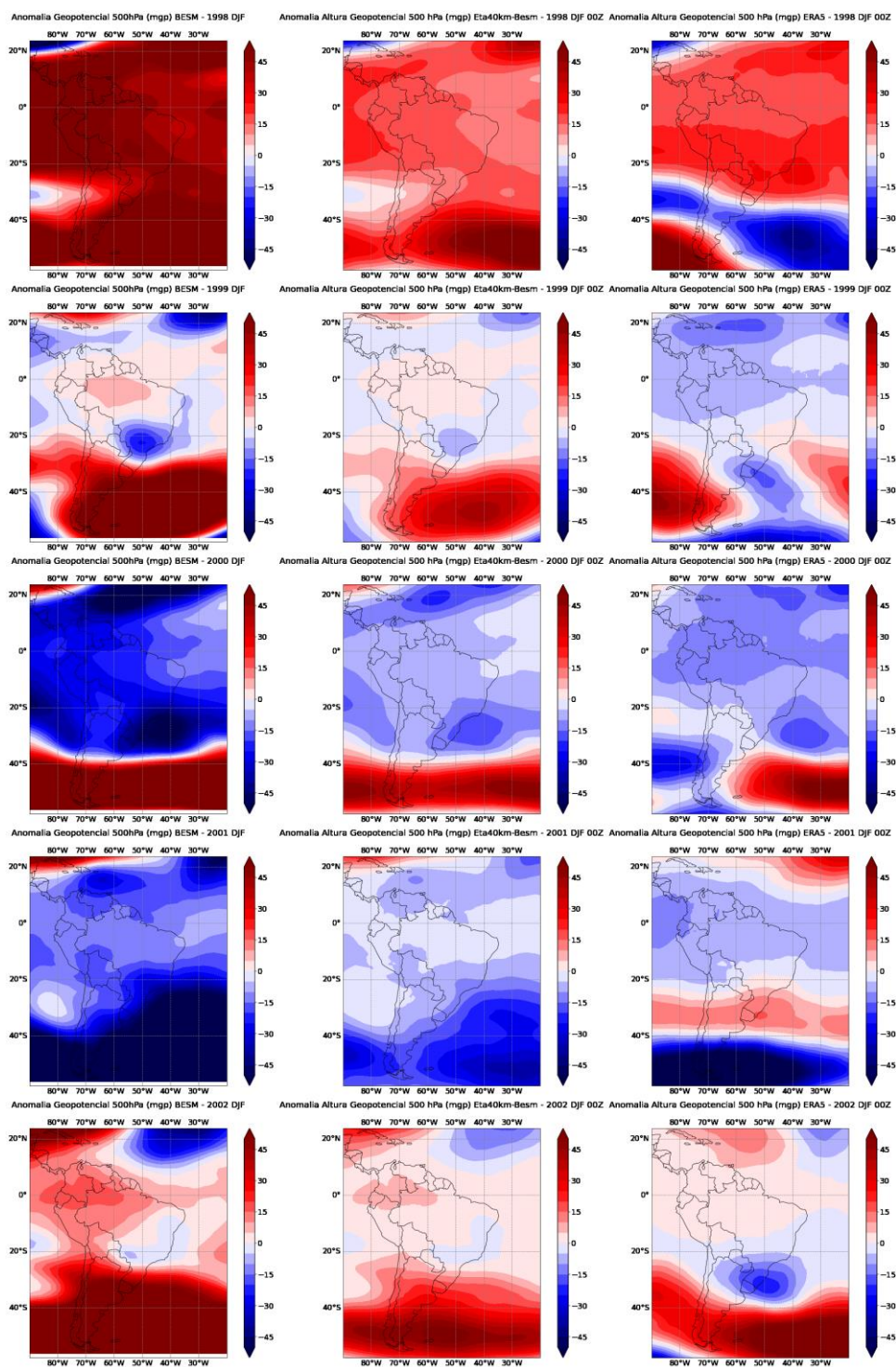


Figura 4.3 – Continuação.



(Continua)

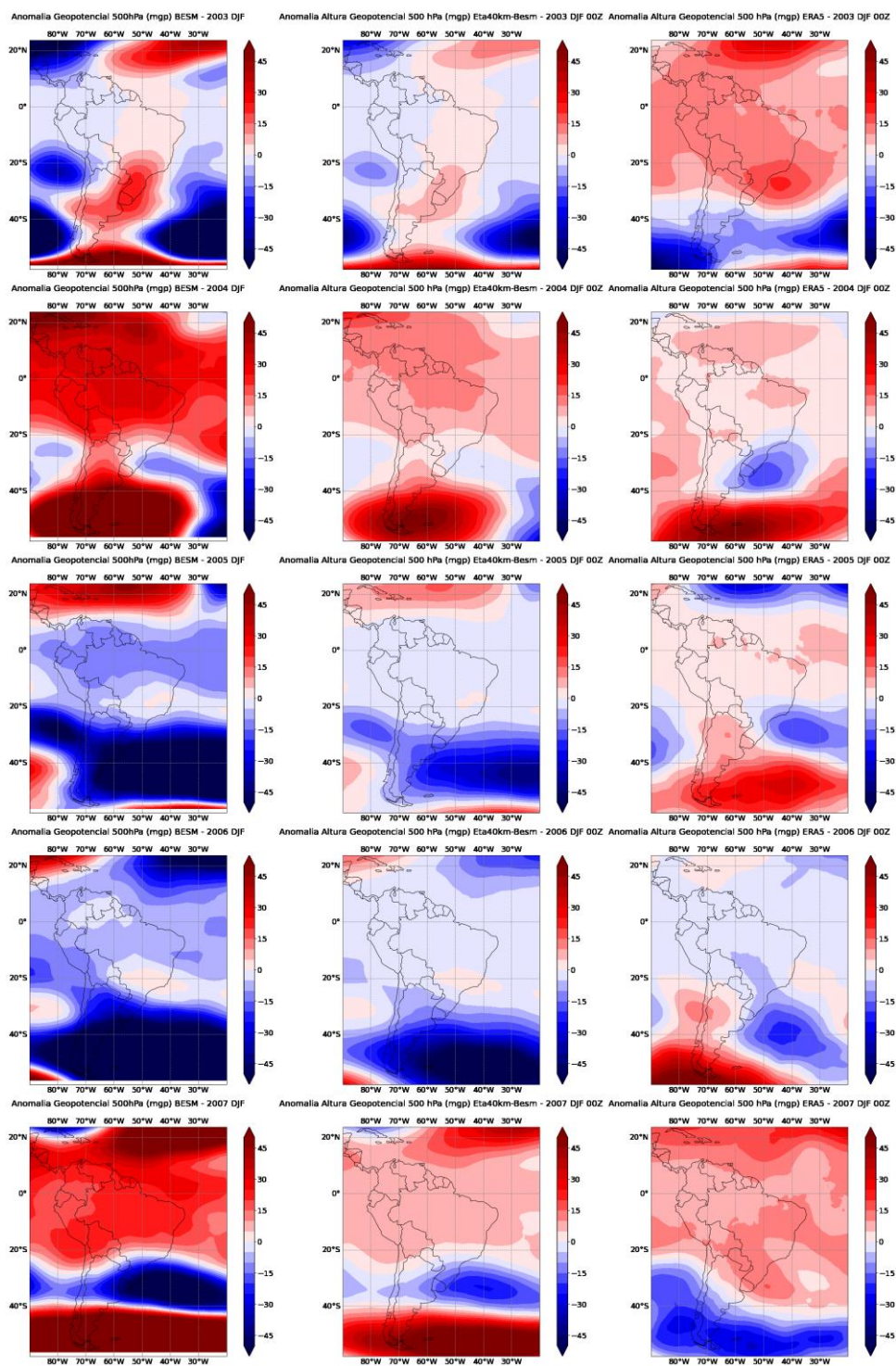
Figura 4.3 – Continuação.



(Continua)



Figura 4.3 – Continuação.



(Continua)

Figura 4.3 – Continuação.

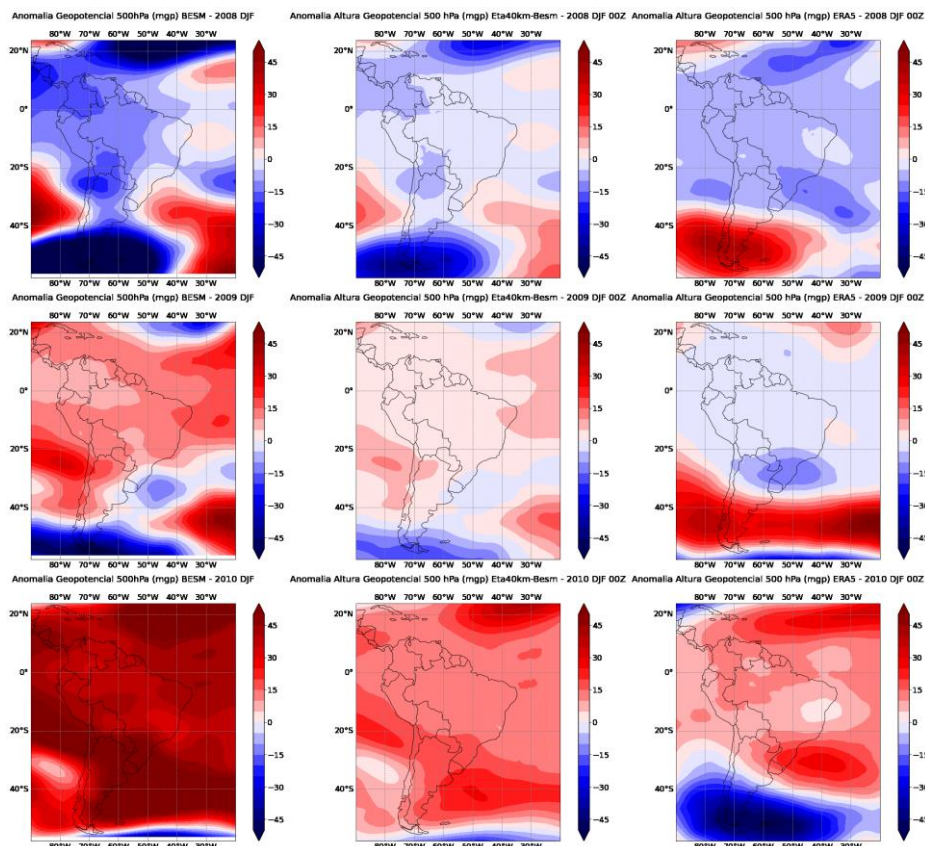
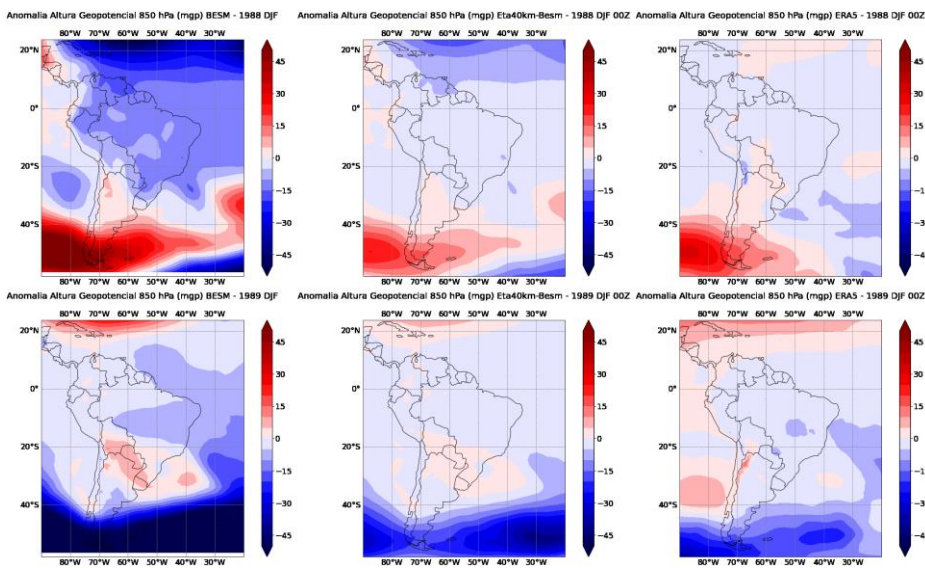


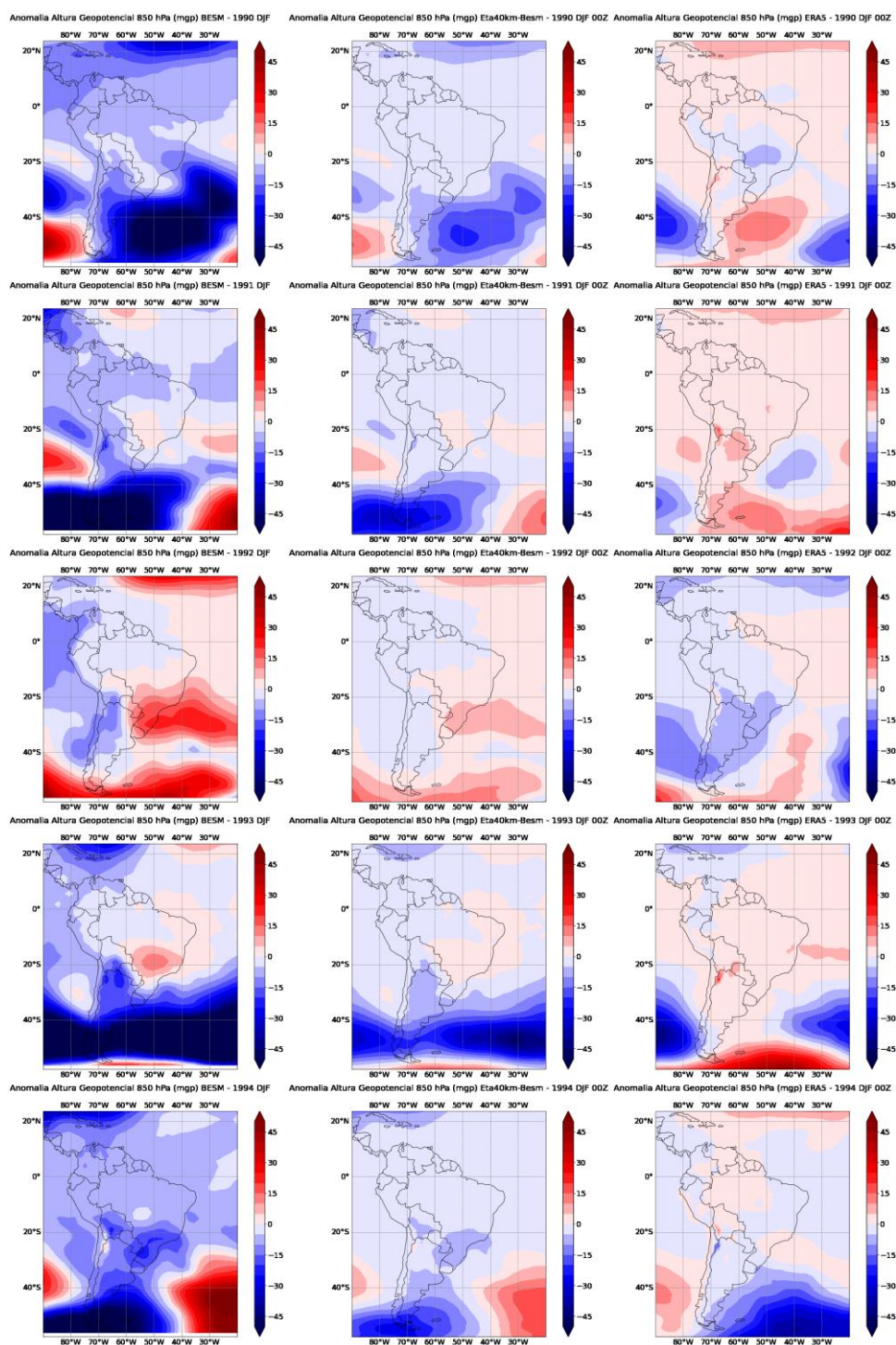
Figura 4.4 - Anomalias de altura geopotencial em 500 hPa previstas pelo modelo global BESM, modelo regional Eta40BESM e de reanálise do ERA5, respectivamente, na América do Sul para o trimestre de dezembro-janeiro-fevereiro do período de 1988 até 2010, com exceção de 1995 e 2003 (dados faltantes).



(Continua)

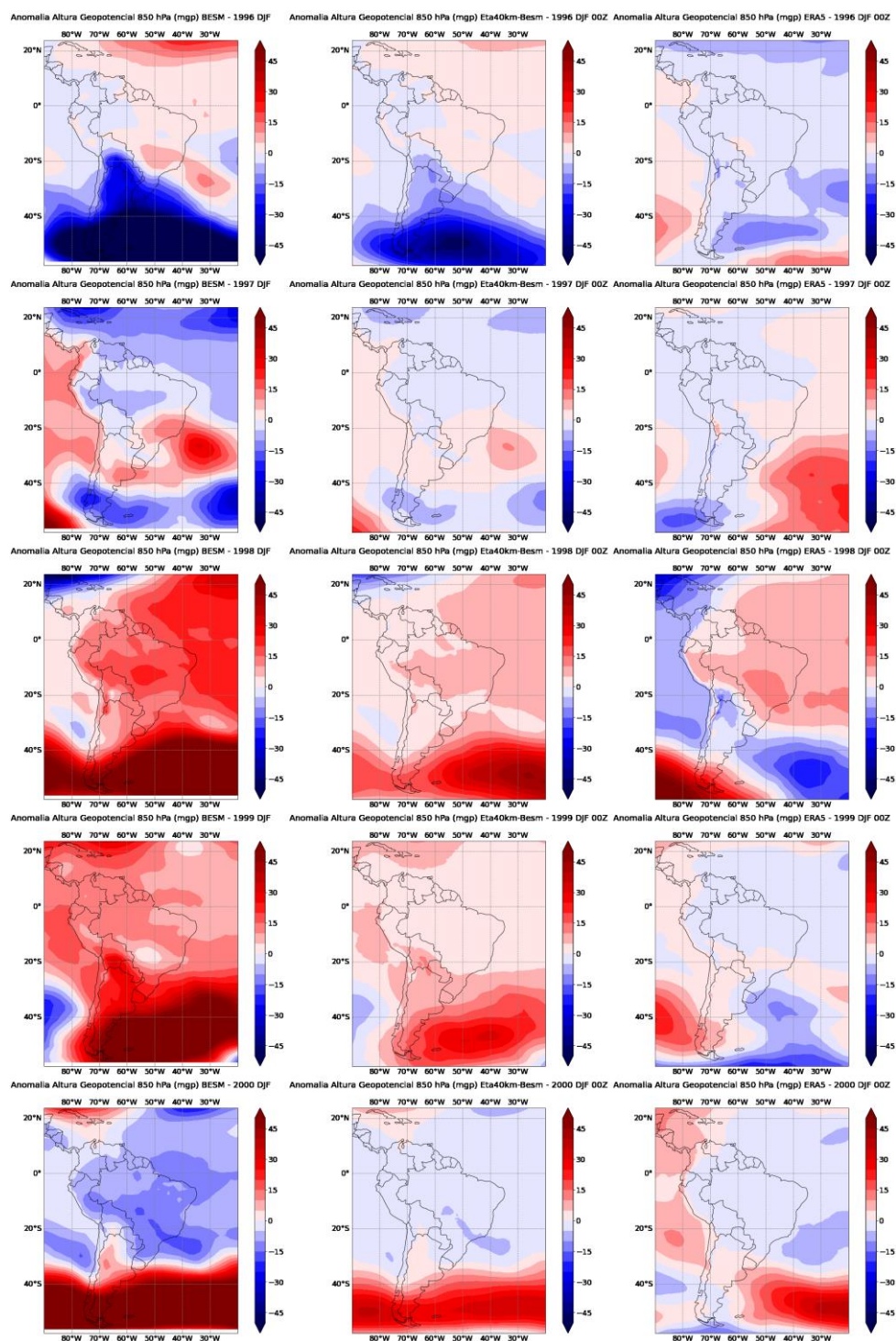


Figura 4.4 – Continuação



(Continua)

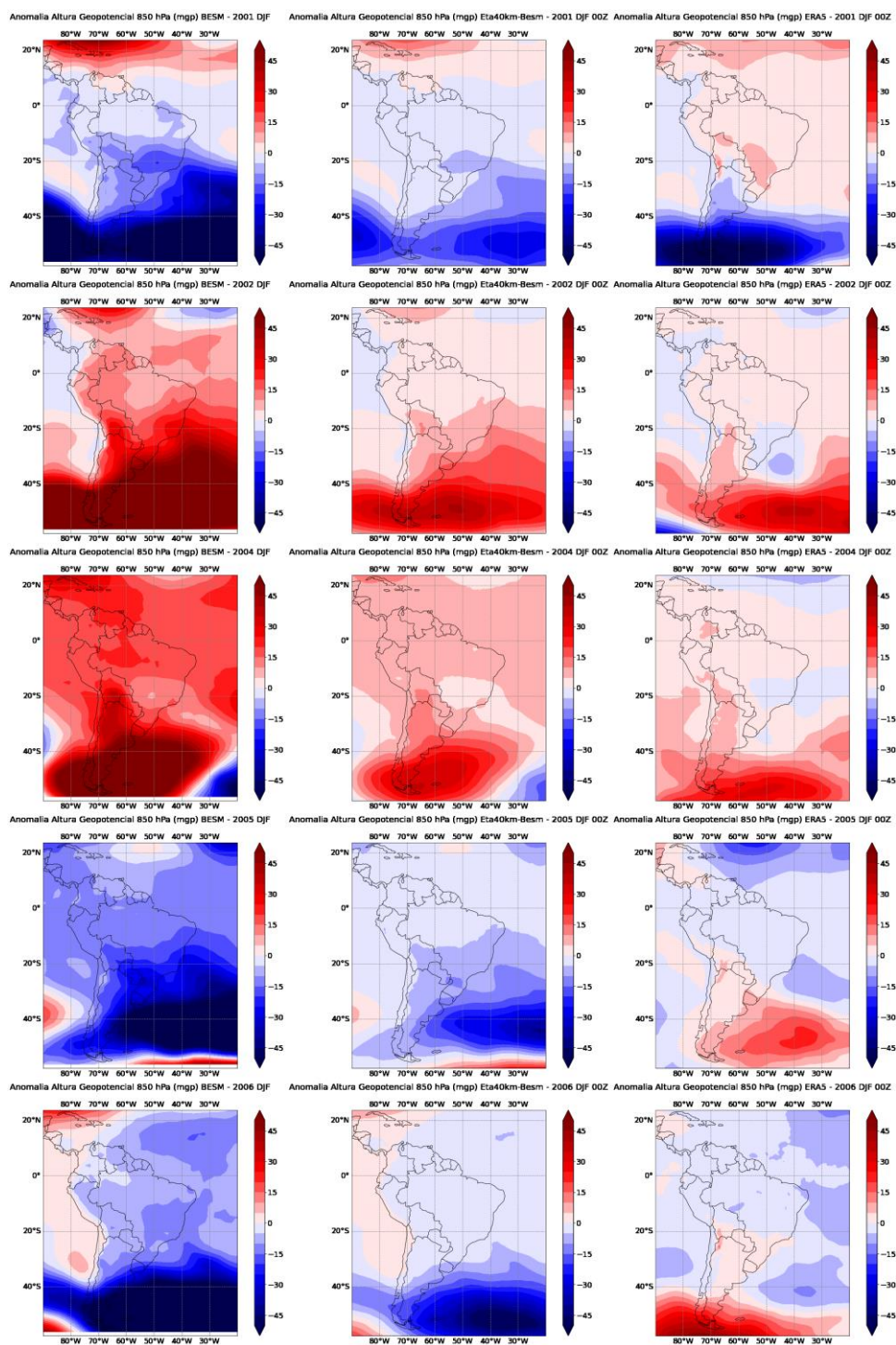
Figura 4.4 – Continuação



(Continua)

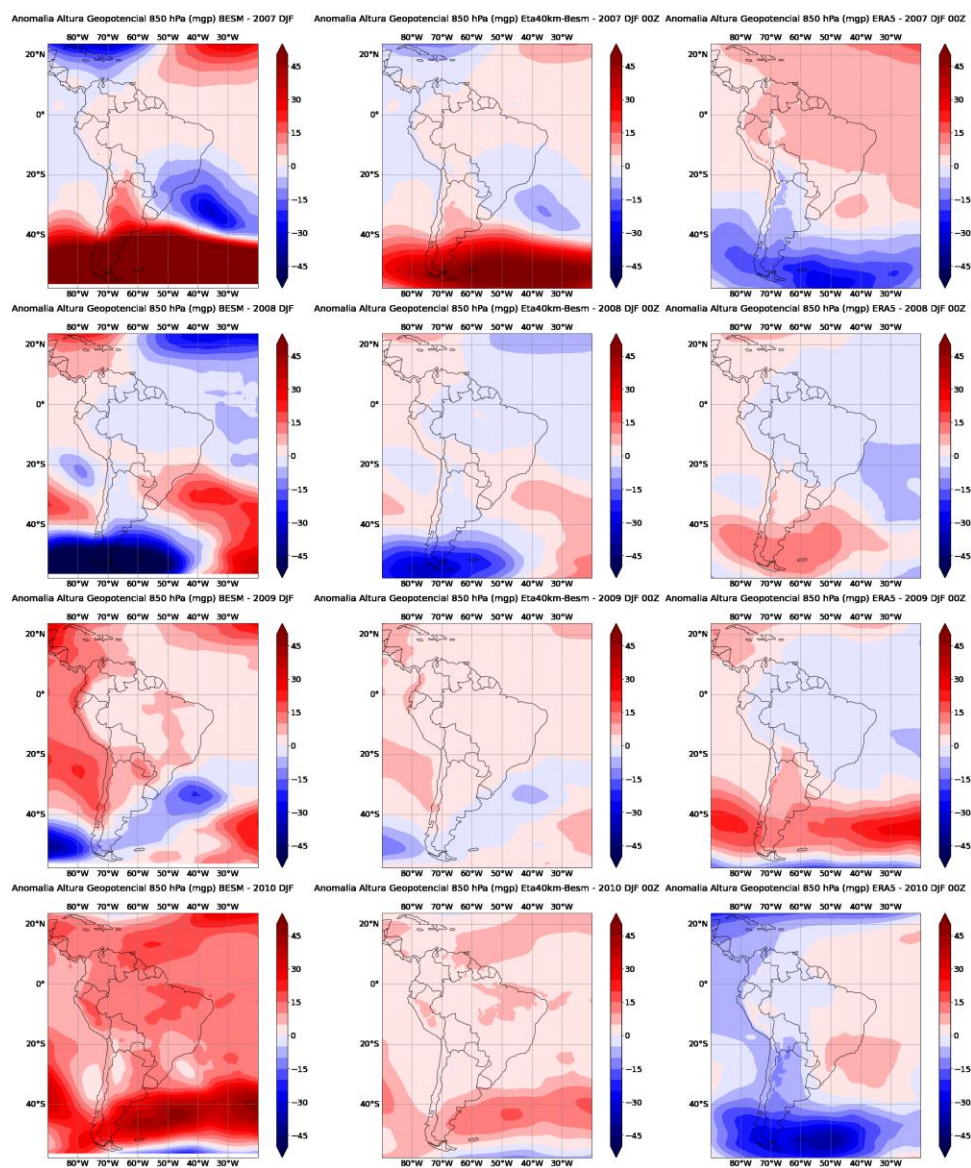


Figura 4.4 – Continuação



(Continua)

Figura 4.4 – Continuação





## 5 CONCLUSÃO

Nesse estudo foram avaliadas as previsões do modelo regional Eta40km aninhado ao BESM em comparação ao modelo global BESM e aos dados de reanálise do ERA5, analisando suas anomalias a fim de se avaliar o desempenho do modelo regional Eta40BESM em realizar previsões sazonais. Além disso, o estudo buscou identificar a origem dos erros encontrados nas previsões do Eta40BESM. Nesta etapa do trabalho foi possível identificar a capacidade do modelo regional Eta40BESM de produzir previsões sazonais de anomalia de temperatura a 2 metros, pressão a nível médio do mar e altura geopotencial em 500 e 850 hPa, demonstrando acertos em boa parte da série de 1988 a 2010. Também foi possível identificar erros nas previsões do Eta40BESM, sendo eles parciais (sinais de anomalias opostos aos observados em parte do domínio de previsão ou posicionamento errado de anomalias com sinais corretos) ou totais (previsões malsucedidas em que o modelo previu sinais opostos na maior parte ou todo o domínio de previsão).

Em relação ao modelo global BESM, o modelo regional Eta40BESM apresentou previsões de anomalias com sinais e padrões de distribuição espacial muito parecidos ao do modelo global, de modo que suas previsões foram fortemente influenciadas pelas rodadas do BESM. Apesar disso, as previsões de anomalia do Eta40BESM simularam valores muito menos intensos do que os das previsões do BESM e mais próximos aos da reanálise do ERA5, sendo possível concluir que a implementação do modelo regional Eta40km aninhado ao BESM resultou em previsões de anomalia mais próximas do observado.

Em geral, conclui-se que, através das anomalias analisadas neste trabalho, o modelo regional Eta40BESM realizou previsões bastante parecidas às do modelo global BESM ao qual está aninhado, porém mais próximas às reanálises do ERA5, demonstrando capacidade de realizar previsões sazonais de anomalia de temperatura a 2 metros, pressão a nível médio do mar e altura geopotencial em 500 e 850 hPa. Os erros identificados nas previsões do modelo Eta40BESM acompanharam erros vistos nas previsões do BESM, sendo necessário investigar e corrigir os erros do modelo global para que não se propaguem ao modelo regional.

## **5.1 Próximos Passos**

Nos próximos passos deste trabalho, as seguintes atividades serão elaboradas:

- a) Continuar a avaliação das previsões Eta-BESM abordando aspectos de reprodutibilidade de processos e fenômenos climáticos;
- b) Investigar a origem remota ou global das anomalias positivas e negativas de chuva no Sudeste;
- c) Relacionar os erros das previsões de precipitação e temperatura com os erros das variáveis de altos níveis e com anomalias de TSM.

## **5.2 Agradecimentos**

Agradecimento especial ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e ao CNPQ pelo apoio ao trabalho, desenvolvido com bolsa CNPq PIBIC/CNPq/INPE 133540/2021-9.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHOU, S.C.; BUSTAMANTE, J.F.; GOMES, J. 2005. Evaluation of Eta Model seasonal precipitation forecasts over South America. **Nonlinear Processes in Geophysics**, 12: 537-555. doi: <<https://doi.org/10.5194/npg-12-537-2005>>

CHOU, S.C.; DEREZYNSKI, C.P.; GOMES, J.L.; PESQUERO, L.F.; ÁVILA, A.M.H.; RESENDE, N.C.; ALVES, L.F.; RUIZCÁRDENAS, R.; SOUZA, C.R.; BUSTAMANTE, J.F.F. 2020. Ten-year hindcasts of Eta seasonal forecasts. In Press. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**. doi: <<https://doi.org/10.1590/0001-3765202020181242>>

NOBRE, P.; SIQUEIRA, L.S.P.; ALMEIDA, R.A.F.; MALAGUTTI, M.; GIAROLLA, E.; CASTELAO, G.P.; BOTTINO, M.J.; KUBOTA, P.; FIGUEROA, S.N.; COSTA, M.C.; SILVA, M.B.; IRBER, JR. L.C.; MARCONDES, G.G. 2013. Climate Simulation and Change in the Brazilian Climate Model. **Journal of Climate**, 26: 6716-6732.

MESINGER, F.; CHOU, S.C.; GOMES, J.L.; JOVIC, D.; BASTOS, P.; BUSTAMANTE, J.F.; et al. 2012. An upgraded version of the Eta model. **Meteorology and Atmospheric Physics**, 116, 63–79. doi: <<https://doi.org/10.1007/s00703-012-0182-z>>

MESINGER, F.; JANJIC, Z.; NICKOVIC, S.; GAVRILOV, D.; DEAVEN, D.G. 1988. The Step-Mountain Coordinate: Model Description and Performance for Cases of Alpine Lee Cyclogenesis and for a Case of an Appalachian Redevelopment, **Monthly Weather Review**, 116(7), 1493-1518.

BLACK, T. L. 1994. The New NMC Mesoscale Eta Model: Description and Forecast Examples, **Weather and Forecasting**, v. 9(2), 265-278.

CHOU, S.C. 1996. **Modelo Regional Eta**. Climanálise. Edição Comemorativa de 10 anos, INPE, São José dos Campos. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/27.html>>

HERSBACH, H.; BELL, B.; BERRISFORD, P.; et al. 2020. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. 2020; 146: 1999–2049. doi: <<https://doi.org/10.1002/qj.3803>>

BECK, H.E.; WOOD, E.F.; PAN, M.; FISHER, C.K.; MIRALLES, D.G.; VAN DIJK, A.I.J.M.; MCVICAR, T.R.; ADLER, R.F. 2019. MSWEP V2 Global 3-Hourly 0.1° Precipitation: Methodology and Quantitative Assessment, **Bulletin of the American Meteorological Society**, 100(3), 473-500.

LAPRISE, R.; VARMA, M.R.; DENIS, B.; CAYA, D.; ZAWADZKI, I. 2000. Predictability of a Nested Limited-Area Model, **Monthly Weather Review**, 128(12), 4149-4154.

LAPRISE, R.; ELÍA, R.; CAYA, D.; BINER, S.; LUCAS-PICHER, P.; DIACONESCU, E.; LEDUC, M.; ALEXANDRU, A.; SEPAROVIC, L. 2008. Challenging some tenets of Regional Climate Modelling. **Meteorology and Atmospheric Physics**, 100, 3–22 (2008). doi: <<https://doi.org/10.1007/s00703-008-0292-9>>

MENÉNDEZ, C.G.; SAULO, A.C.; LI, Z.X. 2001. Simulation of South American wintertime climate with a nesting system. **Climate Dynamics** 17, 219–231 (2001). doi: <<https://doi.org/10.1007/s003820000107>>

NICOLINI, M.; SALIO, P.; KATZFEY, J.J.; MCGREGOR, J.L.; SAULO, A.C. 2002. January and July regional climate simulation over South America, **Journal of Geophysical Research**, 107(D22), 4637. doi: <<https://doi.org/10.1029/2001JD000736>>

MISRA, V.; DIRMEYER, P.A.; KIRTMAN, B.P.; JUANG, H.M.H.; KANAMITSU, M. 2002. Regional simulation of interannual variability over South America, **Journal of Geophysical Research**, 107 (D20). doi: <<https://doi.org/10.1029/2001JD900216>>