

**COMPOSIÇÃO, VALIDAÇÃO E ANÁLISE DE INDICADORES DE
DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA A REGIÃO HIDROGRÁFICA DO SÃO
FRANCISCO A PARTIR DE PREVISÕES SAZONAIS E SUBSAZONAIS DO
MODELO ETA**

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)

Ana Cláudia de Godoy do Prado (UNISAL, Bolsista
PIBIC/CNPq) E-mail: ana_claudia_godoy@hotmail.com

Chou Sin Chan (CPTEC/INPE, Orientador) E-mail:
chou.sinchan@gmail.com

COLABORADOR

Minella Alves Martins (Cemaden/INPE) E-mail:
minella.martins@cemaden.gov.br

DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

Nome: **Ana Claudia de Godoy do Prado**

Local de Trabalho: **CPTEC / INPE**

Título do projeto: **Composição, validação e análise de indicadores de disponibilidade hídrica para a região hidrográfica do São Francisco a partir de previsões sazonais e subsazonais do modelo Eta.**

Tipo de bolsa: **Bolsa PIBIC-IC**

Período: **Agosto/2018 – Julho/2019**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar força e saúde para realizar este trabalho.

A minha família, em especial minha mãe (*in memoriam*) que foi a pessoa que me incentivou a busca do saber, a mulher em quem me inspiro todos os dias, a principal influenciadora para eu começar esse projeto e que sempre estava ao meu lado nos momentos de incertezas e ansiedade; a minha avó que é a base da minha vida e que sempre está rezando pelo meu sucesso; as minhas tias que sempre estão ao meu lado quando eu preciso; ao meu namorado que sempre está comigo dando força e coragem para eu seguir em frente; aos meus amigos que me apoiaram em toda essa jornada.

A minha orientadora Dra. Chou Sin Chan. Pela confiança e incentivo na realização deste trabalho.

A Dra. Minella Alves Martins, meu carinho e admiração pela profissional e pessoa que é. Sua confiança, paciência em ajudar e boa vontade em compartilhar seus conhecimentos tornaram possível a realização deste trabalho.

A Dra. Nicole Costa Resende. Pela paciência na aquisição dos dados do modelo.

A Dra. Priscila da Silva Tavares. Pela ajuda e paciência com a etapa final do trabalho.

A Elisa de Oliveira Giornes. Pela ajuda e companhia ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Ao Grupo Projeta. Pelo acolhimento, amizade e valiosa ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	6
1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	7
2.1. OBJETIVO GERAL	7
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	7
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
3.1. Região Hidrográfica do São Francisco.....	8
3.2 Modelo Eta.....	9
4. MATERIAIS E MÉTODOS	10
4.1. Área de estudo.....	10
4.2. Configuração do Modelo Eta	10
4.3 Dados observados.....	10
4.4 Avaliação dos erros	11
5. ANÁLISE E RESULTADOS	11
6. CONCLUSÃO	20
7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	20

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Região Hidrográfica do São Francisco e classificação climática de Koppen. ...	8
Figura 5.1 - Precipitação média sazonal (mm/mês) previsão do Modelo Regional do Eta, média no período 2002-2012.	11
Figura 5.2 – Temperatura máxima média sazonal (°C) previsão do Modelo Regional do Eta, média no período 2002-2012.	13
Figura 5.3 – Temperatura mínima média sazonal (°C) previsão do Modelo Regional do Eta, média no período 2002-2012	14
Figura 5.4 – Temperatura a 2 metros média sazonal (°C) previsão do Modelo Regional do Eta, média no período 2002-2012.....	16
Figura 5.5 – Graficos da média do modelo Eta e do Observado dos quatro meses.....	18

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do modelo Eta sazonal e compor indicadores de disponibilidade hídrica para a região hidrográfica do São Francisco. . Uma das regiões mais vulneráveis do Brasil no que tange à disponibilidade hídrica é a região nordeste, onde a bacia do rio São Francisco apresenta grande importância socioeconômica e ambiental. Os indicadores de disponibilidade hídrica visam contribuir para uma melhor gestão das águas da bacia, uma vez que esta vive extremos de secas e de cheias. Foram utilizadas previsões do modelo Eta sazonal (cerca de 4 meses), na resolução espacial de 40 km. Antes de compor os indicadores de disponibilidade hídrica, foram avaliadas as variáveis precipitação, temperatura mínima, temperatura máxima e temperatura a 2m. Foram consideradas previsões retrospectivas de 10 anos (2002-2012), contendo 5 membros para o período NDJF (novembro a fevereiro). Para avaliar as previsões deste período utilizou-se dados observados interpolados para a grade do modelo e indicadores estatísticos de correlação espacial, erro médio (BIAS), erro absoluto médio (MAE) e raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE). Em média o modelo tende a subestimar as observações. As previsões com melhor desempenho foram para as variáveis temperatura a 2m, temperatura mínima e máxima. As previsões de precipitação para a região do Baixo São Francisco apresentaram erros significativos. A fim de melhorar o desempenho do modelo sugere-se corrigir os erros sistemáticos do modelo antes de compor os indicadores de disponibilidade hídrica.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da frequência dos extremos do clima aliado ao mau uso da terra tem impactado a disponibilidade hídrica, acarretando o conflito pelo uso de água em diversas regiões do Brasil. Uma das regiões mais vulneráveis do Brasil no que tange à disponibilidade hídrica é a Região Nordeste (SIMÕES et al, 2010), onde a bacia do São Francisco apresenta grande importância socioeconômica e ambiental. No entanto, um dos maiores desafios na gestão desta bacia é a multiplicidade de usos de água (MMA, 2006a; MMA,2006b).

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) a Região da Bacia do São Francisco vive extremos de secas e de cheias. Enquanto o trecho que atravessa a região semiárida é afetado por períodos de estiagens prolongadas a região metropolitana de Belo Horizonte enfrenta enchentes frequentes. Um dos maiores desafios é a multiplicidade de usos de água como, por exemplo, geração de energia, irrigação, pesca dentre outros. A Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997) estabelece, em seu art. 1º que a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas, assim, a garantia do direito de uso múltiplo da água depende da gestão eficiente e responsável no tocante à quantidade e qualidade deste recurso. Em prol de subsidiar ações de gestão por parte dos tomadores de decisão, propõe-se neste trabalho a composição de indicadores da disponibilidade hídrica para a Região Hidrográfica do São Francisco os quais deverão sumarizar os efeitos sazonais e subsazonais do clima a fim de prover informações que possa otimizar a alocação de recursos hídricos na Bacia do São Francisco.

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do modelo Eta sazonal e compor indicadores de disponibilidade hídrica para a região hidrográfica do São Francisco.

2.2.OBJETIVO ESPECÍFICO

- Seleção das variáveis a compor o indicador e análise estatística multivariada.
- Análise de desempenho das previsões das variáveis selecionadas

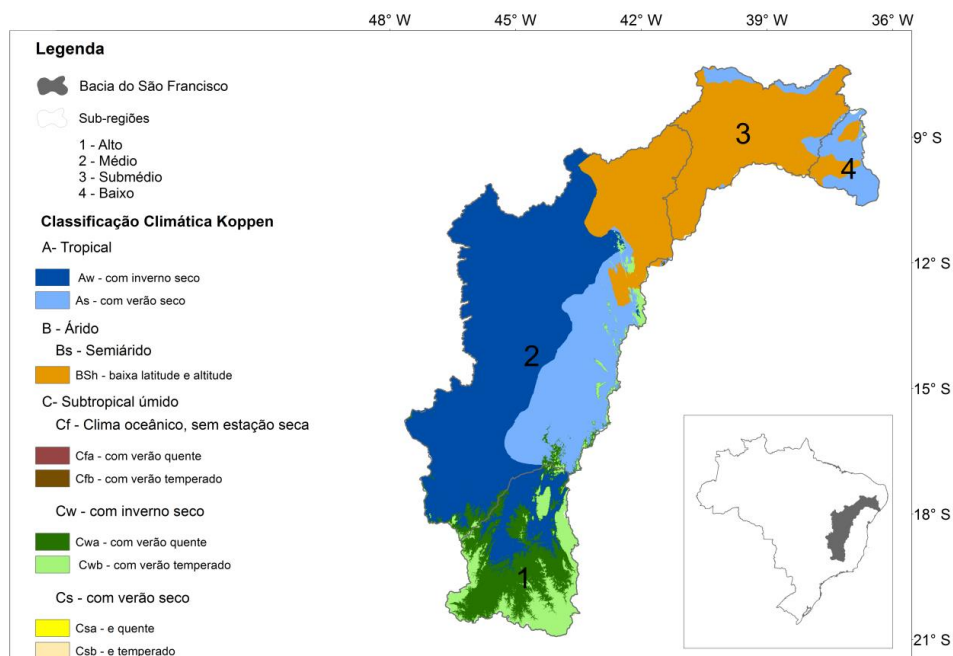
Composição e validação do indicador de disponibilidade hídrica.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1.Região Hidrográfica do São Francisco

A bacia do São Francisco é um local onde se pratica todo tipo de uso possível da água, é totalmente brasileira e ocupa uma área de 640 mil km², o seu domínio drena sete estados do Brasil, entre eles parte do Distrito Federal. Possui uma extensão de 2.800 km e devido ao seu tamanho é dividido em quatro trechos: Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco (SILVA et al., 2004), conforme exemplificado pela Figura 1. Cada um dos trechos apresenta uma diversidade climática o que reflete nos padrões de precipitação dentro da bacia. A região do Alto São Francisco apresenta um clima Subtropical úmido com um inverno seco e um verão que varia entre quente e temperado, na região do Médio São Francisco o clima é mais tropical apresentando um inverno seco e verão seco, o trecho submédio apresenta clima semiárido, enquanto a região do baixo São Francisco é caracterizada pelo clima tropical com um verão seco. Essa diversidade climática que reflete na disponibilidade hídrica em toda a bacia exige um modelo de gestão de muita interação, integração e negociação para que a água não venha se constituir em um fator restritivo ao desenvolvimento dessa importante região do País.

Figura 2.1 – Região Hidrográfica do São Francisco e classificação climática de Koppen.



Fonte: Adaptado de Alvares et al (2013)

A parte da bacia compreendida no domínio do semiárido nordestino apresenta períodos críticos de prolongadas estiagens, resultado da alta evapotranspiração e a baixa pluviosidade (ANA,2019). De acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), a

precipitação média anual na região é de 1.003 mm, abaixo da média nacional que fica em torno de 1.761 mm. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA,2019), a disponibilidade hídrica superficial do São Francisco é 1.886 m³/s, o que corresponde a 2,07% da disponibilidade superficial do país (91.071 m³/s). A vazão média é de 2.846 m³/s (1,58% da vazão média nacional, de 179.516 m³/s), e a vazão de retirada (demanda total), de 278 m³/s (9,8% da demanda nacional). Dentre os principais usos de água na bacia, a irrigação representa o maior percentual de retirada, conforme descrito na Tabela 2.1

Tabela 2.1. – Uso da água

APLICAÇÃO	DEMANDA
Irrigação	213,5 m ³ /s (77%)
Urbano	31,3 m ³ /s (11%)
Industrial	19,8 m ³ /s (7%)
Animal	10,2 m ³ /s (4%)
Rural	3,7 m ³ /s (1%)

Fonte: Adaptado dos dados disponibilizados pela ANA 2019

Devido à multiplicidade de usos e à heterogeneidade climática na bacia, faz-se necessário metodologias que contribuam a melhor conhecimento da oferta de água na região e sua variabilidade sazonal a fim de melhor gerenciar a relação oferta/demanda garantindo a sustentabilidade e suprimento contínuo para os diversos usos.

3.2 Modelo Eta

O modelo regional Eta foi desenvolvido pela Universidade de Belgrado e o Instituto Hidrometeorológico da antiga Iugoslávia e foi operacionalizado pelo *National Center for Environmental Prediction* (NCEP). No Brasil é operado no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) para obter previsões de curto prazo desde 1996 (MESINGER et al., 2012), para previsões sazonais desde 2002 (CHOU et al. 2014a) e mais recentemente para projeções climáticas (CHOU et al. 2014b). O domínio do modelo envolve a América do Sul e os oceanos adjacentes.

A resolução horizontal do modelo é de 40 km e a resolução vertical de 38 camadas (ALVES et al., 2004). Uma das principais vantagens do modelo é a coordenada vertical Eta,

caracterizando a estabilidade numérica (MESINGER et al, 1990). As variáveis prognósticas do modelo são: precipitação, temperatura do ar a 2m, temperatura mínima, temperatura máxima, escoamento superficial, vento, pressão à superfície, umidade, entre outras, previstas em intervalos de seis horas, sendo que o modelo para previsão sazonal tem prazo de integração de 4 meses e meio. As previsões do modelo Eta sazonal foram avaliadas em diversos estudos, como no de Bustamante et al. (1999); de Chou et al. (2005); de Fennessy e Shukla (2000); de Seluchi e Chou (2001), destacando-se, mesmo com algumas limitações, as constantes melhorias.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A região estudada compreende a bacia hidrográfica do Rio São Francisco com foco em suas divisões fisiográficas: Alto, Médio, Sub-médio e Baixo São Francisco, conforme exemplificado na Figura 2.1. Devido a sua diversidade climática, o regime de precipitação e, conseqüentemente, a disponibilidade hídrica varia de uma sub-região para outra e, portanto, optou-se pela análise individual de cada sub-região.

4.2. Configuração do Modelo Eta

Nesta pesquisa foi utilizado o modelo Eta sazonal com resolução espacial de 40km. Foram avaliados os meses Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro – NDJF, para o período de 10 anos (2002 a 2012).

A princípio as variáveis precipitação, temperatura a 2 metros, temperatura mínima e temperatura máxima foram selecionadas para avaliação.

O domínio do modelo compreende a América do Sul com previsões a cada 6 horas. Para compor uma base de dados diária, a variável precipitação foi acumulada até completar 24h enquanto para as demais variáveis foi considerada a média entre as previsões a cada 24h.

Um recorte para a região hidrográfica do São Francisco foi feita a fim de melhor avaliar cada uma das sub-regiões.

4.3 Dados observados

Para avaliar as previsões do modelo Eta foi utilizada uma base de dados com estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Surface Synoptic Observations (SYNOP), Plataforma de coleta de dados (PCD), Agência Nacional de Água (ANA), Estação

meteorológica automática (EMA), Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), Meteorological Aerodrome Report (METAR) e outros. Foi necessário interpolar os dados coletados para transformar para a grade de 40 km.

4.4 Avaliação dos erros

Para avaliar os erros das variáveis precipitação, temperatura a 2 metros, temperatura máxima e temperatura mínima gerada pelo modelo Eta foram usadas três medidas estatísticas de erro: o erro médio (BIAS), o erro absoluto médio (MAE) e a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) definido pelas Equações 1, 2 e 3, respectivamente.:

$$BIAS = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (V_{Eta} - V_{obs}) \quad \text{Eq.1}$$

$$MAE = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |V_{Eta} - V_{obs}| \quad \text{Eq.2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (V_{Eta} - V_{obs})^2} \quad \text{Eq.3}$$

onde M é o número total do conjunto de dados, V_{Eta} é a variável prevista pelo modelo Eta e o V_{obs} a variável observada.

5. ANÁLISE E RESULTADOS

Ao realizar uma média entre os quatro meses escolhidos foi possível fazer uma comparação entre o modelo Eta e os dados observados para cada variável, como demonstrado na figura 5.1 para cada um dos anos analisados. .

Figura 5.1 - Precipitação média sazonal (mm/mês) previsão do Modelo Regional do Eta, média no período 2002-2012.

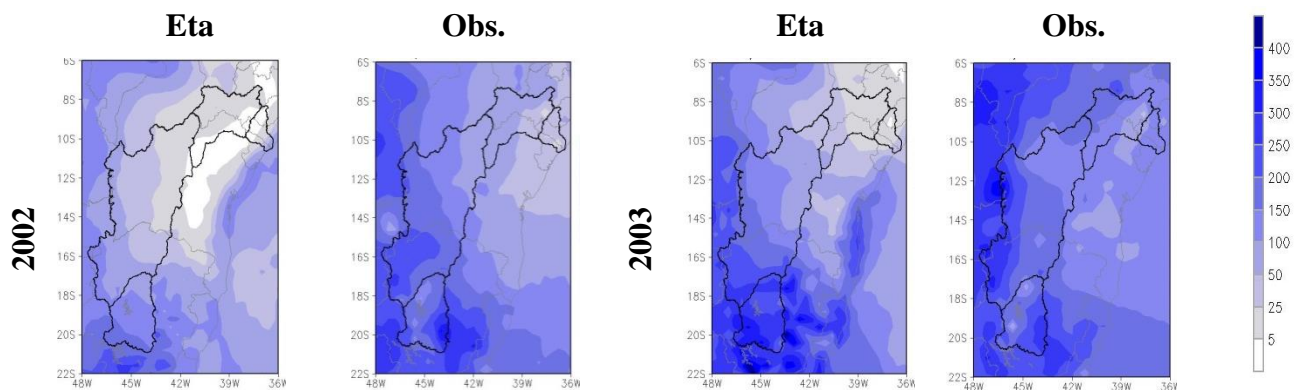


Figura 5.1. – Continua

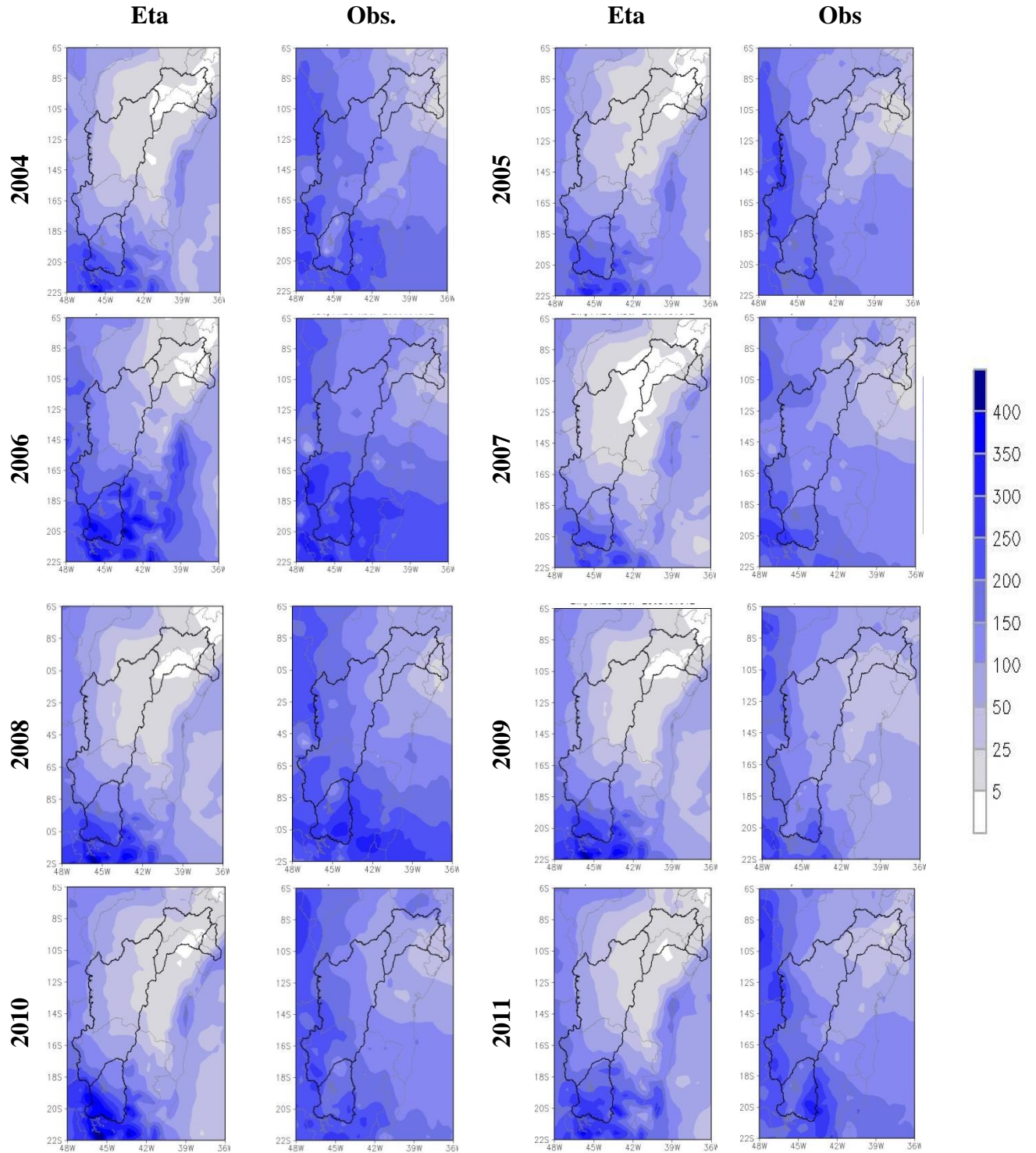


Figura 5.1 – Fim
 Fonte: Produção do autor

De forma geral, nota-se que o modelo Eta conseguiu representar de forma razoável a região do Alto São Francisco, no entanto subestimou as precipitações para todos os anos nas regiões Médio, Submédio e Baixo da bacia. A parte baixa da bacia enquanto o modelo coloca ausência de chuvas as observações mostram chuvas.

Figura 5.2 – Temperatura máxima média sazonal (°C) previsão do Modelo Regional do Eta, média no período 2002-2012.

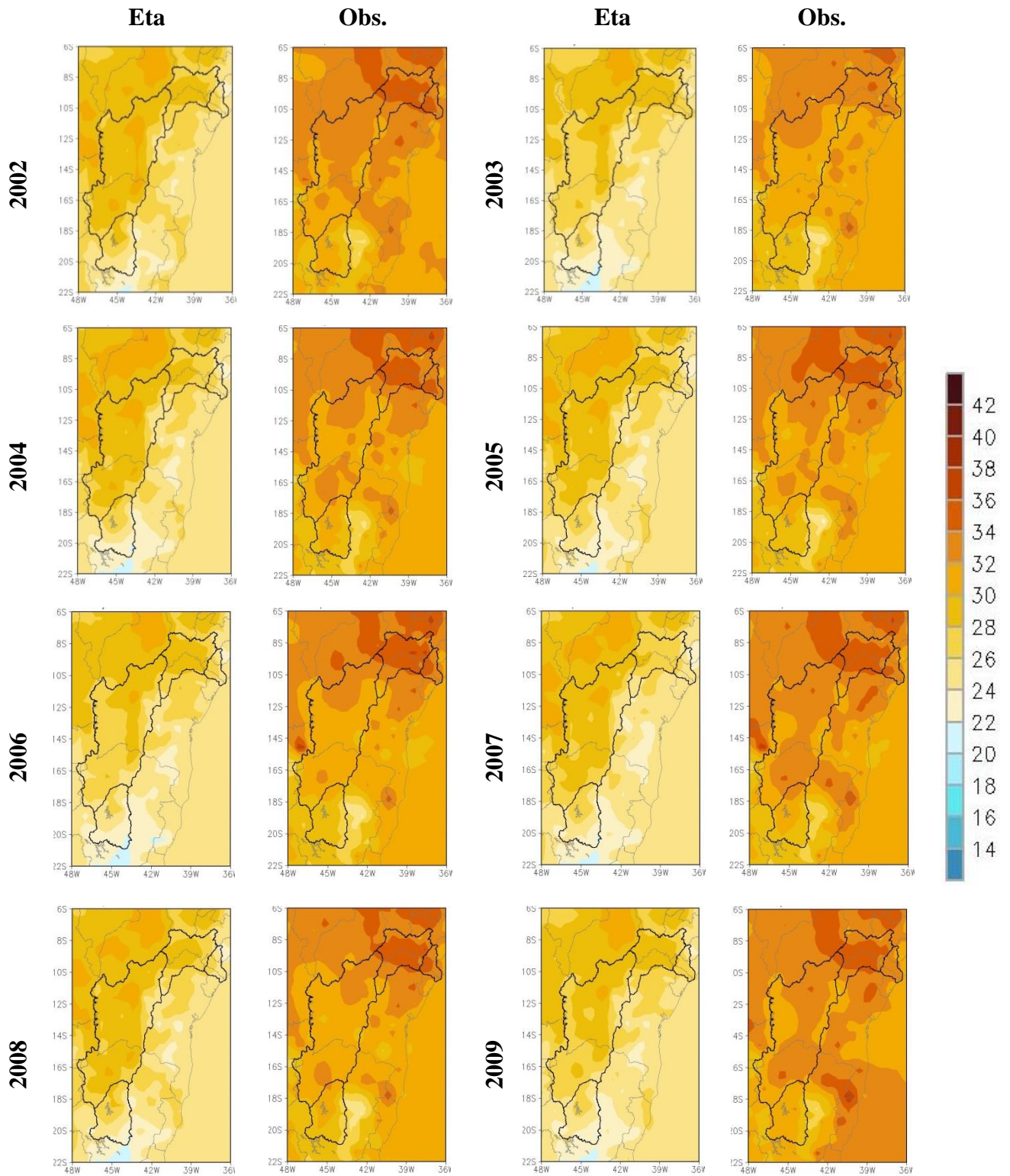


Figura 5.2 – Continua

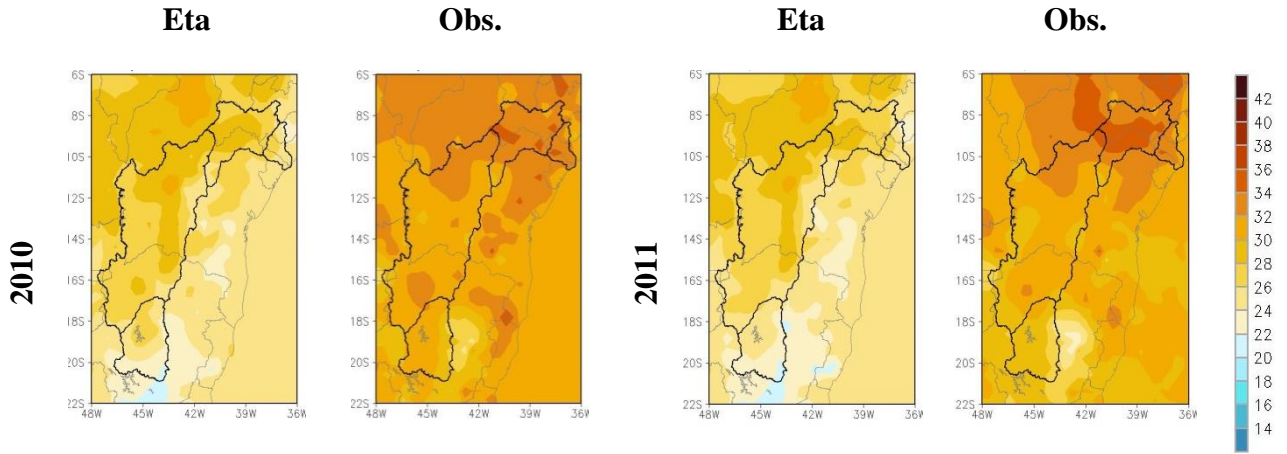


Figura 5.2 – Fim
 Fonte: Produção do autor

Ao comparação as imagens do modelo Eta e da observação, é possível observar que o modelo subestimou a temperatura máxima para toda bacia.

Figura 5.3 – Temperatura mínima média sazonal (°C) previsão do Modelo Regional do Eta, média no período 2002-2012

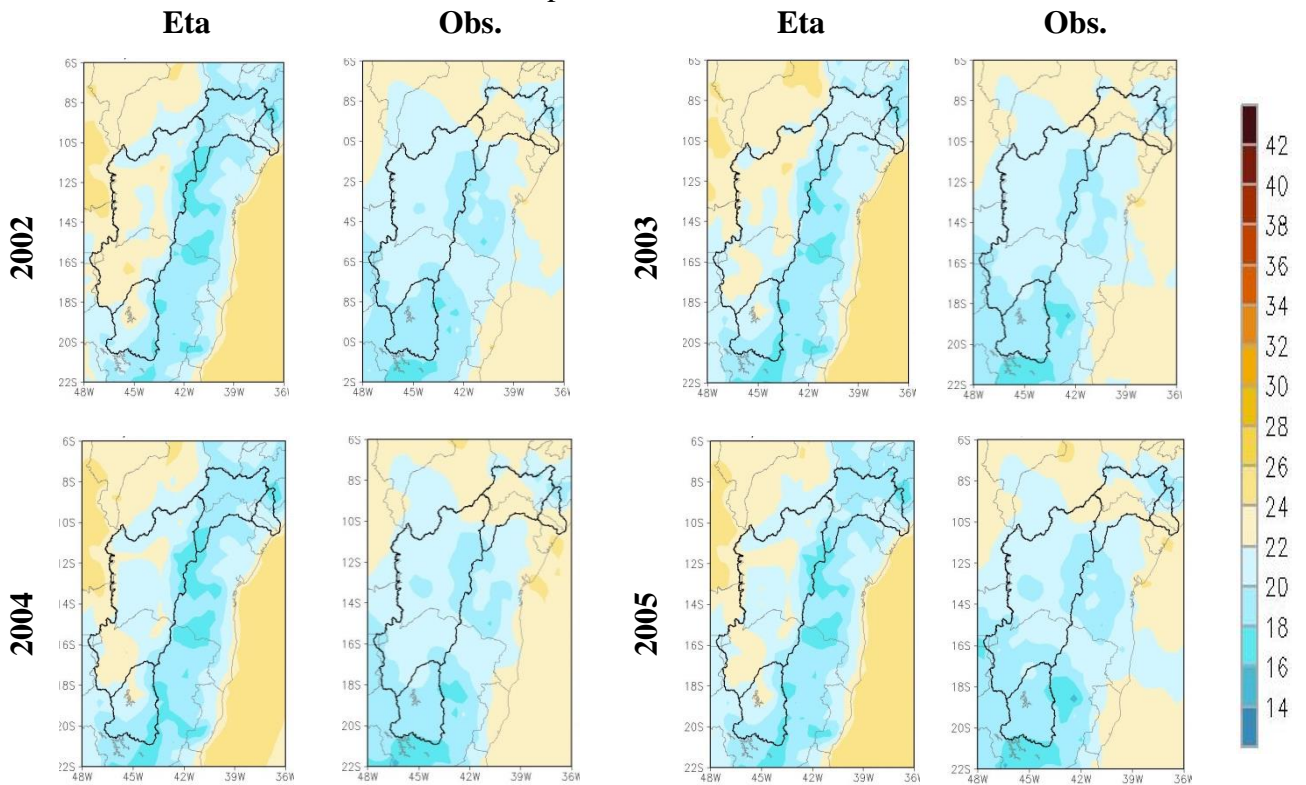


Figura 5.3. – Continua

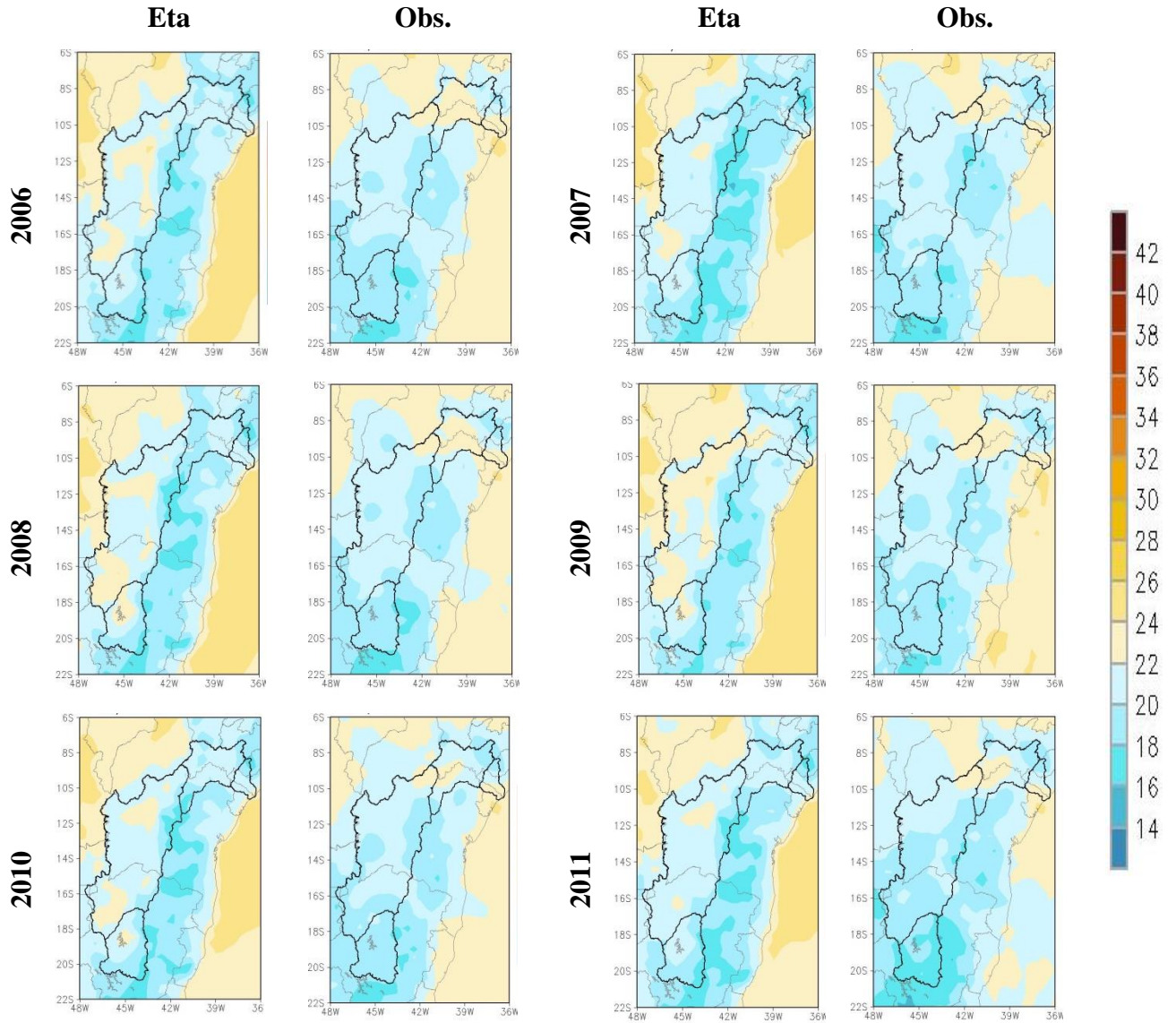


Figura 5.3 – Fim

Fonte: Produção do autor

Nota-se que o modelo Eta conseguiu representar de forma razoável a região alta do São Francisco, no entanto subestimaram as temperaturas mínimas para todos os anos nas regiões do Médio, submédio e baixo do São Francisco.

Figura 5.4 – Temperatura a 2 metros média sazonal (°C) previsão do Modelo Regional do Eta, média no período 2002-2012

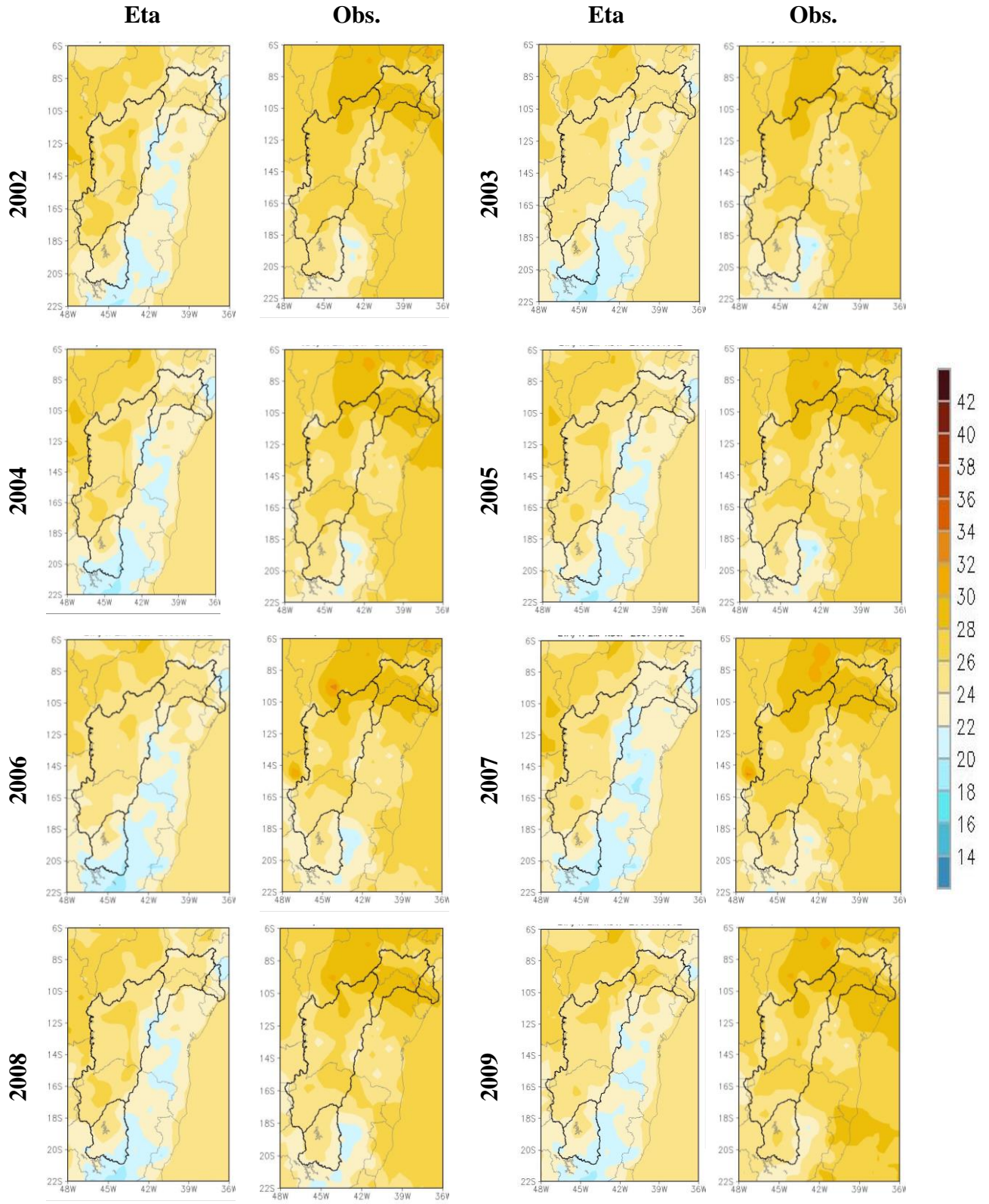


Figura 5.4 – Continua

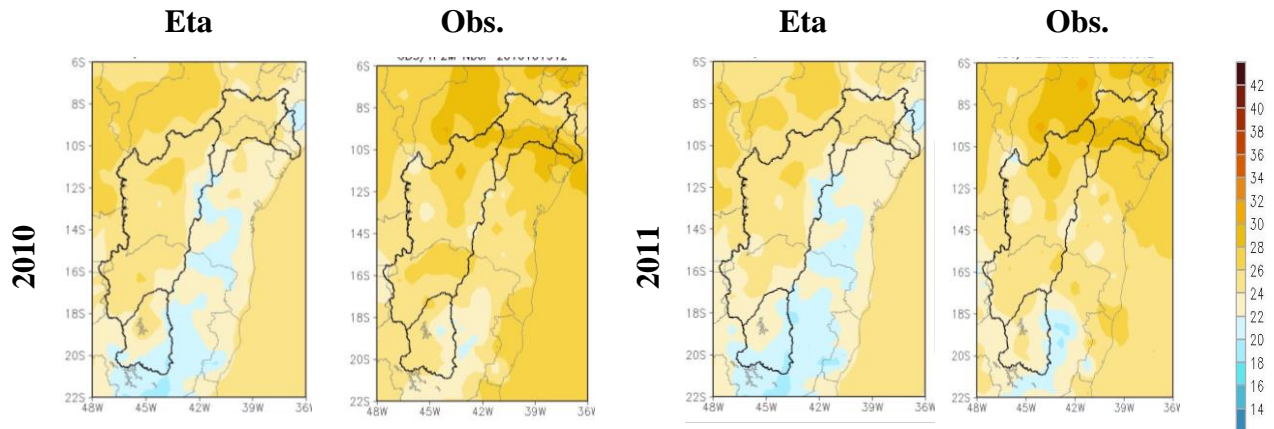


Figura 5.4 – Fim

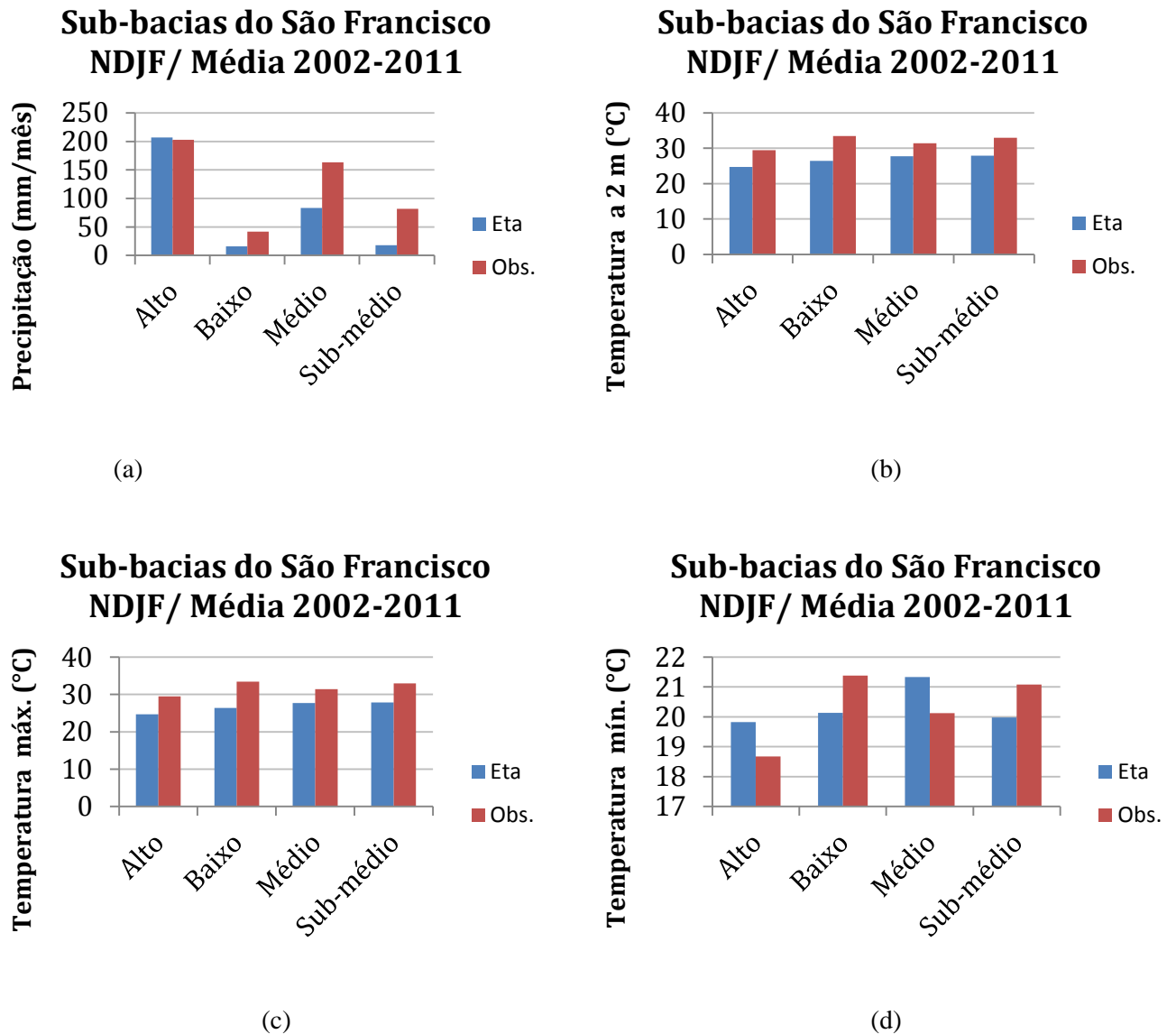
Fonte: Produção do autor

É possível notar que o modelo Eta conseguiu representar de forma razoável a região média e submédia do São Francisco, no entanto subestimou as temperaturas a 2 metros para todos os anos nas regiões do alto e baixo São Francisco.

Após realizar a média dos meses foi feita uma média de todos os anos para verificar qual a diferença entre o modelo Eta e o observado para cada um dos trechos da bacia, o resultado está representado na Figura 5.5.

Assim como mostraram as Figuras 5.1 a 5.4, as previsões do modelo Eta tiveram melhor desempenho na região do Alto São Francisco para precipitação (Figura 5.5a), enquanto para as demais variáveis regiões houve uma subestimativa do modelo (Figura 5.5b-d). Para a variável temperatura a 2 metros, as regiões média e submédia da bacia foram as que apresentaram melhor desempenho, as demais regiões apresentaram uma subestimativa do modelo em relação às observações (Figura 5.5b). Apesar da temperatura máxima ter sido subestimada, foi a variável que melhor representada pelo modelo ao longo da bacia (Figura 5.5c). A temperatura mínima também foi subestimada em toda a bacia (Figura 5.5d).

Figura 5.5 – Gráficos da média do modelo Eta e do Observado dos quatro meses



Fonte: Produção do autor

Após calcular o erro médio foi possível realizar as três medidas estatísticas básicas de erro: o erro médio (BIAS), o erro absoluto médio (MAE) e a raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE). Foi também calculada a correlação entre as variáveis do modelo e aquelas observadas.

Tabela 5.1 – Medidas estatísticas básicas de erro

PRECIPITAÇÃO				
Sub-bacias	BIAS ¹	Correl. Esp. ²	MAE ³	RMSE ⁴
Alto	3,9206	0,3744	37,6278	45,46139
Médio	- 79,7305	0,778	74,488	87,28958
Submédio	- 63,7976	0,4932	63,7976	66,6326
Baixo	- 25,6765	-0,1572	25,6765	34,02436
TEMPERATURA A 2 METROS				
Alto	- 4,8047	0,7498	4,8047	23,45198
Médio	- 3,6996	0,5833	3,6996	14,00042
Submédio	- 5,1018	0,56	5,1018	26,20354
Baixo	- 7,0235	0,8354	7,0235	49,80213
TEMPERATURA MÁXIMA				
Sub-bacias	BIAS	Correl. Esp.	MAE	RMSE
Alto	- 4,8047	0,7498	4,8047	4,842724
Médio	- 3,6996	0,5833	3,6996	3,741713
Submédio	- 5,1018	0,56	5,1018	5,118939
Baixo	- 7,0235	0,8354	7,0235	7,057063
TEMPERATURA MÍNIMA				
Alto	1,1451	0,7448	1,1451	1,176005
Médio	1,2062	0,5397	1,2062	1,231995
Submédio	- 1,2519	0,827	1,2519	1,307428
Baixo	-1,1033	0,4927	1,1033	1,244546

Fonte: Produção do autor

¹BIAS: Erro médio (mm/mês; °C). ² Correl. Esp.: Correlação espacial (adimensional) ³MAE: Erro Absoluto Médio (mm/mês; °C). ⁴RMSE: raiz quadrada do erro quadrático médio (mm/mês; °C).

Ao observar os resultados obtidos em precipitação, temperatura a 2 metros e temperatura máxima pode-se verificar que o erro entre o modelo Eta e o observado é significativo para algumas regiões, a variável temperatura mínima foi a variável que apresentou menor erro. Em relação à correlação espacial, todas as temperaturas apresentaram bons resultados, somente a precipitação apresentou um menor resultado na região do submédio e baixo São Francisco e valores razoáveis para o alto e bons para o médio São

Francisco.

6. CONCLUSÃO

O modelo Eta apresentou uma tendência a subestimar os valores observados. As previsões com melhor desempenho foram para as variáveis temperatura a 2m, temperatura mínima e máxima. As previsões de precipitação para a região do Baixo São Francisco apresentaram erros significativos. A fim de melhorar o desempenho do modelo pode-se optar por corrigir os erros sistemáticos e assim melhorar seu desempenho para as variáveis analisadas.

Sugere-se que, antes de compor os indicadores de disponibilidade hídrica seja aplicada a correção dos erros.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Regiões Hidrográficas. Região Hidrográfica do Parnaíba. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/Parnaiba.aspx#>>. Acesso em 10 de julho de 2019. Regiões Hidrográficas. Região Hidrográfica do São Francisco. Disponível em <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/SaoFrancisco.aspx#>> Acesso em 10 de julho de 2019. Sala de Situação. São Francisco. Disponível em: < <https://www.ana.gov.br/sala-de-situacao/sao-francisco/sao-francisco-saiba-mais>>. Acesso em 21 de julho de 2019.

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C., DE MORAES, G., LEONARDO, J., SPAROVEK, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol. Z. 22, 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ALVES, L. M.; CHOU, S. C.; MARENGO, J. A. Avaliação das previsões de chuvas sazonais do modelo Eta climático sobre o Brasil. Disponível em: < https://www.researchgate.net/profile/Jose_Marengo/publication/37679883_Avaliacao_das_previsoes_de_chuvas_sazonais_do_modelo_ETA_climatico_sobre_o_Brasil/links/5a48e819aca272d29460febd/Avaliacao-das-previsoes-de-chuvas-sazonais-do-modelo-ETA-climatico-sobre-o-Brasil.pdf>. Acesso em 20 de julho de 2019.

BRASIL. Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o

inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

CHOU, S. C.; LYRA, A.; MOURÃO, C.; DEREZYNSKI, C.; PILOTTO, I.; GOMES, J.; BUSTAMANTE, J.; TAVARES, P.; SILVA, A.; RODRIGUES, D.; CAMPOS, D.; CHAGAS, D.; SUEIRO, G.; SIQUEIRA, G.; MARENGO, J. Assessment of climate change over South America under RCP 4.5 and 8.5 downscaling scenarios. *American Journal of Climate Change*, v. 03, p. 512-527, 2014a.

CHOU, S. C.; SOUZA, C. R.; GOMES, J. L.; EVANGELISTA, E. F. D.; OSÓRIO, C.; CATALDI, M. Refinamento estatístico das previsões horárias de temperatura a 2 m do modelo Eta em estações do nordeste do Brasil. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/b96f/7677316ecffd638b0837f1a6bea2215ed3dc.pdf>>.

Acesso em: 20 de julho de 2019.

MESINGER, F.; BLACK, T.L.; PLUMMER, D.W.; WARD, J. H. Eta model precipitation forecasts for a period including Tropical Storm Allison. *Wea. Forecasting*, v.5, p. 483–493. 1990.

MESINGER, F.; CHOU, S.C.; GOMES, J.L.; JOVIC, D.; BASTOS, P.; BUSTAMANTE, J.F.; LAZIC, L.; LYRA, A.A.; MORELLI, S.; RISTIC, I., VELJOVIC, K. An upgraded version of the Eta Model. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v. 116, p. 63-79, 2012.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco. Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA, 2006a.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). Caderno da Região Hidrográfica do Parnaíba. Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA, 2006

SIMÕES, A.F, KLIGERMAN, D.C., LA ROVERE, E.L., MOROUN, M.R., BARATA, M., OBERMAIER, M. Enhancing adaptive capacity to climate change: The case of smallholder farmers in the Brazilian semi-arid region. *Environmental Science & Policy*, V.13, pp.801-808. 2010.