



**Investigação da Previsibilidade Sazonal da
Precipitação na Região do Alto São Francisco em Minas Gerais**
Evaluation of Seasonal Ensemble Precipitation
Hindcasts at Upper São Francisco River in Brazil

Taciana Menezes Weber¹; Claudine Pereira Dereczynski¹;
Ricardo Henrique dos Santos Souza¹; Sin Chan Chou²; Josiane Ferreira Bustamante² &
Arthur Chaves de Paiva Neto³

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro

Instituto de Geociências, Departamento de Meteorologia, Avenida Athos da Silveira Ramos, 274 – Bloco G
Cidade Universitária, 21941-916 - Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Rodovia Presidente Dutra, Km 39; 12630-000 Cachoeira Paulista, SP, Brasil

³ Companhia Energética de Minas Gerais, Av. Barbacena, 1200, 30.190-131 Santo Agostinho, Belo Horizonte, MG, Brasil

E-mails: taciana.weber@gmail.com; claudine@acd.ufrj.br;

ricardohssouza@gmail.com, chou@cpfec.inpe.br; josiane@cpfec.inpe.br; arthur.paiva@cemig.com.br

Recebido em: 22/08/2014 Aprovado em: 04/12/2015

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2015_2_24_36

Resumo

Previsões sazonais de precipitação geradas com modelo regional Eta para a estação chuvosa da Bacia do Rio São Francisco, a montante da Usina Hidrelétrica (UHE) de Três Marias em Minas Gerais são avaliadas neste trabalho. A utilização de tais previsões como insumo nos modelos de planejamento energético, representaria um melhor gerenciamento na geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. Contudo, é conhecido o fato de que na maior parte do globo, a previsibilidade climática sazonal é muito reduzida, uma vez que os efeitos das condições de contorno em determinar a evolução do estado médio da atmosfera competem com a variabilidade caótica interna associada às instabilidades e interações não lineares do escoamento atmosférico. As previsões do modelo Eta-Sazonal-15km são iniciadas nos dias 13 a 17 de outubro, estendendo-se até 28 de fevereiro, durante os anos de 2001 a 2010. Os resultados da avaliação indicam que o ruído (variabilidade intermembros) é superior ao sinal (variabilidade interanual), sugerindo baixa confiabilidade das previsões para a região no período chuvoso. As previsões de precipitação são subestimadas e a Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio, de 77,03 mm/mês é elevada, quase o dobro de seu desvio padrão. Nota-se elevada variabilidade espacial da precipitação devido a topografia bastante acentuada, o que reduz ainda mais o desempenho dos modelos numéricos. Um índice de acerto da categoria da precipitação (IACP), baseado na distribuição de tertéis, foi aplicado para contabilizar o número de vezes em que as previsões apontam para a mesma categoria das chuvas observadas: chuvas abaixo, acima ou dentro da normalidade. O IACP para toda a área e durante os dez anos foi baixo (média de 29%), contudo no sul da Bacia o IACP é um pouco mais elevado, em torno de 50%, chegando a 70% no sudeste da região. A avaliação anual das previsões para toda a área indicou que a melhor performance do modelo ocorreu no ano de 2005, quando condições de ATMS negativas no Pacífico, próximo a costa do Peru foram persistidas no mês de outubro de 2005 e de fato tais anomalias se verificaram até o mês de fevereiro de 2006.

Palavras-chave: previsão sazonal; precipitação; modelo Eta; Minas Gerais

Abstract

Seasonal rainfall forecasts generated with regional Eta model for the rainy season of the São Francisco River Basin, upstream Hydroelectric Power Plant (HPP) Três Marias in Minas Gerais are evaluated in this work. The use of such forecasts as an input in energy planning models, represent a better management in the generation, transmission and distribution of electricity. However, it is well known that most of the globe, seasonal climate predictability is much reduced, since the effects of boundary conditions to determine the evolution of the average state of the atmosphere compete with internal variability associated with the chaotic instabilities and nonlinear interactions of the atmospheric flow. The forecasts of the Eta-Seasonal-15km model are initiated on days 13 to 17 October, extending until February 28, during the years 2001-2010. The evaluation results indicate that the noise (inter members variability) is higher than the signal (interannual variability), suggesting low reliability of the forecasts for the region during the rainy season. Forecasts of precipitation are underestimated and the Root Mean Square Error of 77.03 mm / month is high, almost twice its standard deviation. Note A high spatial variability of rainfall due to very steep topography, which further reduces the performance of numerical models. A hit rating category of precipitation (IACP), based on the distribution of tertiles, was applied to account for the number of times that the forecasts point to the same category of observed rainfall: rainfall below, within or above the normal range. The IACP for the whole area and during the ten years was low (mean 29%), however in the southern Basin IACP is a bit higher, around 50% to 70% in the Southeast region. The annual review of the forecasts for the entire area indicated that the best model performance occurred in 2005, when conditions ATMS negative in Pacific, near the coast of Peru were persisted in October 2005 and in fact such anomalies occurred through the month of February 2006.

Keywords: seasonal forecasting; precipitation; Eta model; Minas Gerais

1 Introdução

Previsões meteorológicas são extremamente importantes para o setor elétrico, beneficiando atividades relacionadas à geração, transmissão e distribuição da energia. Como no Brasil aproximadamente 90% da matriz energética é composta por hidrelétricas (<http://ons.org.br>), a meteorologia pode contribuir para o melhor planejamento e gestão dos recursos hídricos. As previsões sazonais de precipitação poderiam ser usadas como dados de entrada na geração de cenários hidro-energéticos para simulação de modelos de planejamento. Estes modelos definem a geração de energia das usinas hidrelétricas e térmicas e os intercâmbios entre os subsistemas, atendendo a demanda de energia do país (C. Machado 2013, comunicação pessoal).

Neste trabalho previsões climáticas sazonais (4,5 meses), obtidas por modelagem numérica regional de alta resolução, são utilizadas para a área do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Três Marias, localizada na sub-bacia do Alto São Francisco, entre os paralelos 18° e 21° S e os meridianos 43°30' e 46°40' W no Estado de Minas Gerais (Região Sudeste do Brasil). A UHE de Três Marias, de propriedade da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), tem uma potência instalada de 396 MW, possui um reservatório (lago da represa) de 21 bilhões de metros cúbicos de água, sendo sete vezes maior que a Baía de Guanabara, no Rio de Janeiro. Sua construção, iniciada em maio de 1957 e concluída em janeiro de 1961, teve como principais objetivos a regularização das vazões do Rio São Francisco em parte de seu trecho Médio, o controle das enchentes nesse trecho durante as cheias periódicas, melhoria da navegabilidade, utilização do potencial hidrelétrico e fomento da indústria e irrigação (ONS, 2009). A energia gerada na UHE de Três Marias contribui com cerca de 23% da energia para o Subsistema Nordeste (C. Machado 2013, comunicação pessoal).

A região estudada possui uma orografia de terreno acidentado, com serras e terrenos ondulados e altitudes que variam entre 600 e 1600 m. O divisor leste é formado pelas montanhas das Serras do Espinhaço e do Cipó, estreitas e alongadas na direção norte-sul, e com altitudes variando entre 1000 e 1300 m. Do lado oeste, destacam-se as Serras

da Saudade e da Canastra, cujas cotas oscilam entre 900 e 1500 m. No centro norte da região predominam as depressões formadas pelo vale do Rio São Francisco, com elevações entre 600 e 700 m. Destaca-se ainda na área em estudo a presença da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) com elevado índice de urbanização, principalmente na capital do Estado (Belo Horizonte), localizada a 852 m de altitude.

A respeito da previsibilidade meteorológica é conhecido que após o prazo de duas semanas aproximadamente a previsibilidade da data de passagem de sistemas meteorológicos individuais é fortemente reduzida e a previsibilidade das condições médias do tempo (caso exista previsibilidade) pode aumentar apenas a partir das condições de contorno (Rodwell & Doblas-Reyes, 2006). Palmer & Anderson (1994) afirmam que a expectativa de existência de previsibilidade na escala de tempo sazonal reside no fato de que as condições de contorno (temperatura da superfície do mar, armazenamento de água no solo, etc.), que evoluem numa escala de tempo mais lenta do que os sistemas atmosféricos responsáveis pelas flutuações do tempo, possam conferir significativa previsibilidade à evolução do estado médio da atmosfera. Desta forma, na região tropical, onde a circulação é determinada pelas células de Hadley e Walker, cujas flutuações são afetadas pelas condições de contorno, a previsibilidade é potencialmente superior ao restante do globo (Palmer & Anderson, 1994; Shukla, 1998). Por outro lado, nos extratropicais os efeitos das condições de contorno em determinar a evolução do estado médio da atmosfera competem com a variabilidade caótica interna associada às instabilidades e interações não lineares do escoamento atmosférico (Brankovic *et al.*, 1994).

É importante ressaltar que em uma previsão climática sazonal, diferente da previsão de tempo a médio prazo (até dez dias) e da previsão subsazonal (entre dez dias e um mês), o objetivo não é prever quando ocorrerá a passagem de um sistema transiente, mas sim prever as propriedades estatísticas de algum estado climático futuro, como um mês ou uma estação. Ou seja, na previsão climática sazonal não existe a preocupação com os detalhamentos que são fornecidos numa previsão de tempo e com a ordem cronológica de ocorrência dos eventos sinóticos diários.

Desta forma fica claro que a geração de previsões climáticas sazonais de qualidade é um enorme desafio, principalmente fora da região tropical. Uma tentativa de contornar a baixa previsibilidade na escala de tempo sazonal é empregar a técnica da previsão por conjunto como forma de reduzir as incertezas do estado inicial de um sistema climático, visando assim elevar sua previsibilidade. Esta técnica consiste em construir um conjunto de forçantes, ligeiramente diferentes entre si, podendo ser gerados por perturbações nas condições iniciais ou nas condições de contorno, o que Schneider & Griffies (1999) definem como estudos de previsibilidade do primeiro e de segundo tipo, respectivamente. A técnica mais comum para a previsão climática sazonal é utilizar análises de datas distintas para compor as condições iniciais, como utilizado nesta pesquisa.

Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA's) são comumente utilizados para previsões climáticas sazonais, contudo estes não representam adequadamente os fenômenos de pequena escala, como fenômenos convectivos (escala sub-grade) e aspectos da topografia. Desta forma, devido a complexa topografia da área em estudo, justifica-se a utilização de modelos regionais, tais como o modelo Eta (Mesinger *et al.*, 2012) empregado neste trabalho, com resolução mais fina, representando de maneira mais eficaz tais processos e fenômenos de escala sub-grade, cobrindo uma região mais específica dependendo do interesse e aplicação do estudo a ser desenvolvido.

No Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) o modelo Eta com resolução espacial de 15 km foi integrado em escala sazonal (Eta-Sazonal-15km) aninhado ao modelo Eta-Sazonal-40km, para a região do reservatório da UHE de Três Marias no período de 2001 a 2010. Tais previsões sazonais foram inicializadas a cada mês do ano, disparados a partir dos dias 13, 14, 15, 16 e 17 (total de 5 membros). O conjunto de previsões inicializadas em outubro de cada ano, estendendo-se até o final de fevereiro, é avaliado neste trabalho. O objetivo principal é investigar o desempenho do modelo Eta-Sazonal-15km para prever precipitação na escala de tempo sazonal, para o período chuvoso (novembro a fevereiro) na região da Bacia do Rio São Francisco, a montante da UHE de Três Marias.

Na seção 2 desse artigo descreve-se a metodologia e os dados utilizados no trabalho. Os resultados da avaliação do modelo Eta-Sazonal-15km são apresentados na seção 3 e finalmente no item 4 estão as conclusões.

2 Metodologia

Nesta seção são descritos os dados observacionais de precipitação utilizados, as previsões sazonais por conjunto geradas com o modelo Eta-Sazonal-15km e a metodologia empregada para avaliar tais previsões.

2.1 Dados Observacionais

Totais mensais de precipitação do período de novembro a fevereiro (2001 a 2010) coletados nas estações do INMET e nos postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA) e da CEMIG são utilizados neste trabalho para avaliar o desempenho do modelo Eta-Sazonal-15km. Foram consideradas 58 estações localizadas na área em estudo, sendo que em algumas estações foi utilizada a técnica de preenchimento de dados denominada Método do Coeficiente de Correlação Modificado, ponderado pelo inverso da distância (CIDW - *modified correlation coefficient with inverse distance weighting method*), descrito em Suhaila *et al.* (2008) para preenchimento dos dados faltantes. A Tabela 1 apresenta as informações referentes as 58 estações utilizadas no trabalho e a localização dos respectivos pontos de grade do modelo Eta-Sazonal-15km mais próximos a cada estação.

2.2 Previsões Sazonais por Conjunto Geradas com Modelo Eta-Sazonal-15km

O modelo Eta foi desenvolvido na Sérvia (Mesinger *et al.*, 1988) e tornado operacional no National Centers for Environmental Prediction (NCEP) (Black, 1994). É um modelo de área limitada em ponto de grade. O nome do modelo é a letra grega η usada para definir a sua coordenada vertical (Mesinger, 1984) que é aproximadamente horizontal mesmo em regiões de topografia. A coordenada η é adequada para uso em regiões de topografia íngreme onde erros numéricos costumam surgir

Investigação da Previsibilidade Sazonal da Precipitação na Região do Alto São Francisco em Minas Gerais

Taciana Menezes Weber; Claudine Pereira Dereczynski;

Ricardo Henrique dos Santos Souza; Sin Chan Chou; Josiane Ferreira Bustamante & Arthur Chaves de Paiva Neto

Núm.	Estações	Órgão Responsável	Localização da Estação			Localização do Ponto de Grade do Modelo Eta		
			Lat (°S)	Lon (° W)	Alt. (m)	Lat (°S)	Lon (° W)	Alt. (m)
1	Cajuru	CEMIG	-20,24	-44,75	722	-20,3	-44,8	822
2	Ponte Br 040	CEMIG	-18,11	-45,46	798	-18,05	-45,80	705
3	Ponte dos Vilelas	CEMIG	-20,40	-44,63	839	-20,45	-44,65	824
4	Porto Mesquita	CEMIG	-19,17	-44,70	637	-19,10	-44,65	681
5	Porto Pará	CEMIG	-19,29	-45,11	674	-19,25	-45,10	654
6	Rio de Pedras	CEMIG	-20,21	-43,73	870	-20,15	-44,05	1222
7	São Roque de Minas	CEMIG	-20,20	-46,57	818	-20,15	-46,45	1057
8	Gafanhoto	CEMIG	-20,12	-44,83	762	-20,15	-44,80	823
9	Pari Copasa	CEMIG	-20,17	-44,90	703	-20,15	-44,95	879
10	Porto Indaiá	CEMIG	-18,68	-45,63	804	-18,65	-45,70	796
11	Quartel Geral	CEMIG	-19,29	-45,57	688	-19,25	45,55	657
12	Três Marias	CEMIG	-18,22	-45,26	569	-18,20	-45,25	655
13	Pompéu	INMET	-19,21	-45,00	691	-19,25	-44,95	699
14	Florestal	INMET	-19,86	-44,41	745	-19,85	-44,35	1006
15	Ibirité	INMET	-20,01	-44,05	815	-20,00	-44,05	1029
16	Bom Despacho	INMET	-19,68	-45,36	738	-19,70	-45,40	768
17	Centro de Operação e Apoio	INMET	-19,91	-44,07	930	-19,85	-44,05	955
18	Lagoa do Gouvêia	ANA	-18,84	-45,85	1035	-18,80	-45,85	898
19	Barra do Funchal	ANA	-19,39	-45,88	720	-19,40	-45,85	822
20	Felixlândia	ANA	-18,50	-45,25	628	-18,50	-45,25	654
21	Lagoa da Prata	ANA	-20,02	-45,53	658	-20,00	-45,55	822
22	Silva Campos	ANA	-19,09	-44,95	662	-19,10	-44,95	656
23	Barro Preto	ANA	-19,96	-44,45	847	-20,00	-44,50	957
24	Entre Rio de Minas	ANA	-20,66	-44,07	885	-20,00	-44,05	1010
25	Fazenda Benedito Chaves	ANA	-20,17	-44,52	944	-20,15	-44,50	944
26	Melo Franco	ANA	-20,20	-44,12	761	-20,15	-44,20	1134
27	Papaiaos	ANA	-19,43	-44,72	703	-19,40	-44,65	822
28	Ponte Nova do Paraopeba	ANA	-19,96	-44,31	721	-20,00	-44,35	1010
29	Bambu	ANA	-20,02	-45,97	654	-20,00	-46,00	830
30	Pium I	ANA	-20,46	-45,95	806	-20,45	-46,00	840
31	Fazenda São Felix	ANA	-18,46	-45,65	760	-18,5	-45,70	729
32	Andreique - Três Marias	ANA	-18,28	-45,00	852	-18,35	-45,10	655
33	Horto Florestal	ANA	-19,27	-44,40	733	-19,25	-44,35	823
34	Jaguaruna - Jusante	ANA	-19,73	-44,81	684	-19,70	-44,80	848
35	Velho da Taipa	ANA	-19,70	-44,93	585	-19,7	-44,95	744
36	Ponte da Taquara	ANA	-19,42	-44,55	624	-19,40	-44,50	823
37	Betim - Copasa	ANA	-19,97	-44,19	822	-20,00	-44,20	1010
38	Fortuna de Minas	ANA	-19,56	-44,45	729	-19,55	-44,50	823
39	Estação Alvaro da Silveira	ANA	-19,75	-45,12	648	-19,70	-45,10	694
40	Bom Despacho	ANA	-19,74	-45,26	750	-19,70	-45,25	795
41	Dores do Indaiá (Cvsvf)	ANA	-19,47	-45,60	962	-19,40	-45,55	710
42	Abaeté	ANA	-19,16	-45,44	565	-19,10	-45,40	655
43	Taquaral	ANA	-19,67	-45,65	590	-19,70	-45,70	823
44	Porto das Andorinhas	ANA	-19,28	-45,29	566	-19,25	-45,25	655
45	Martinho Campos	ANA	-19,33	-45,23	562	-19,4	-45,25	655
46	Tapiraí - Jusante	ANA	-19,88	-46,03	670	-19,85	-46,00	824
47	São José da Bela Vista	ANA	-19,53	-46,10	1150	-19,55	-46,15	687
48	Congonhas - Linígrafo	ANA	-20,52	-43,83	871	-20,45	-44,05	1027
49	Fazenda Campo Grande	ANA	-20,63	-44,43	915	-20,60	-44,50	976
50	Alto da Boa Vista	ANA	-20,11	-44,40	905	-20,15	-44,35	1010
51	Carmo da Mata	ANA	-20,56	-44,87	749	-20,60	-44,80	874
52	Iguatama Montante	ANA	-20,18	-45,70	606	-20,15	-45,70	823
53	Lamounier	ANA	-20,47	-45,04	738	-20,45	-45,10	858
54	Arcos (Copasa)	ANA	-20,29	-45,54	791	-20,30	-45,55	827
55	Santo Antônio do Monte	ANA	-20,08	-45,30	950	-20,00	-45,25	823
56	Fazenda Ajudas	ANA	-20,10	-46,06	705	-20,15	-45,25	887
57	Vargem Bonita	ANA	-20,33	-46,37	743	-20,30	-46,30	876
58	Fazenda Samburá	ANA	-20,15	-46,28	734	-20,15	-46,30	935

Tabela 1 Informações referentes as estações da ANA, INMET e CEMIG utilizadas neste trabalho e a localização dos respectivos pontos de grade do modelo Eta-Sazonal-15km

nas coordenadas comumente usadas em modelos atmosféricos. O modelo é de domínio público e está disponível no endereço: <http://etamodel.cptec.inpe.br/download.shtml>. As principais características do modelo estão listadas em Pielke (2002) e as recentes atualizações do modelo em Mesinger *et al.* (2012).

A versão utilizada neste trabalho é a mesma da previsão sazonal usada operacionalmente no CPTEC (Eta-Sazonal-40km), as características gerais do modelo Eta estão descritos na Tabela 2 e a configuração do modelo Eta-Sazonal-15km está descrita na Tabela 3.

A construção da climatologia da versão do modelo Eta-sazonal-15km foi feita seguindo a metodologia já empregada na primeira versão determinística do modelo Eta sazonal no CPTEC (Bustamante *et al.*, 2006) e da atual versão implementada operacionalmente em 2011 (Bustamante *et al.*, 2012).

De todo o conjunto de integrações sazonais, apenas aquelas iniciadas em outubro, estendendo-se até o final de fevereiro, foram utilizadas neste trabalho. O objetivo foi avaliar a performance do modelo durante o período chuvoso da região. Os primeiros dias de integrações foram descartados (previsões do mês de outubro), analisando-se o período de novembro a fevereiro, desde 2001 a 2010. Ressalta-se que o que está sendo chamado, por exemplo, de conjunto de previsões de 2001 refere-se as previsões de 4 meses, de novembro de 2001 a fevereiro de 2002, e assim por diante até as previsões de 2010, que se encerram em fevereiro de 2011. A precipitação prevista pelo modelo Eta-Sazonal-15km é acumulada no período de 31/10 – 12 UTC até 28/02 – 12 UTC para analisar o período novembro-fevereiro.

As avaliações das previsões de precipitação do modelo Eta-15km são elaboradas confrontando-

Processo	Descrição	Referências:
Coordenada Vertical	Coordenada vertical Eta com refinamento em superfícies inclinadas (<i>sloping steps</i>)	Mesinger, 1984; Mesinger <i>et al.</i> , 2012
Tio de grade horizontal	Grade E	
Dinâmica	- Esquema de advecção horizontal com conservação de energia na transformação de energia potencial para cinética. - Dois níveis no tempo, "split-explicit", divisão explícita: esquema de ajuste: método de integração "forward-backward" para frente e para trás; esquema de advecção horizontal: método de integração <i>forward-and then centered</i> , para frente e em seguida, centrado; - Advecção vertical: esquema linear "piecewise" por partes. - Esquema de difusão de segunda ordem. - Volume finito	Mesinger, 1984; Janjic, 1984; Janjic, 1979; Mesinger <i>et al.</i> , 2012
Variáveis prognósticas	Temperatura, vento, pressão a superfície, umidade específica, energia cinética turbulenta, água ou gelo da nuvem.	
Esquema do contorno lateral	Esquema Mesinger uma linha, sem esquema de relaxação e sem "nudging" interno.	(Mesinger, 1977)
Tipo de grade vertical	Lorenz, primeiro nível aproximadamente 20m de espessura	
Radiação	Esquema GFDL ondas curtas e ondas longas	Fels & Schwarzkopf (1975) (Onda Longa) Lacis & Hansen (1974) (Onda Curta)
Turbulência	Esquema Mellor-Yamada nível 2.5; Monin-Obukhov na camada superficial utilizando as funções de estabilidade de Paulson (1971), Charnock sobre oceano.	Mellor & Yamada (1974); Paulson (1970)
Microfísica de nuvens	Esquema de Zhao	Zhao <i>et al</i> (1997)
Convecção cumulus	Esquema Betts-Miller-Janjic	Janjic (1994)
Biosfera/hidrologia	Esquema NOAH	Ek <i>et al.</i> (2003)

Tabela 2 Características gerais do modelo Eta.

Domínio	Brasil
Grade do modelo (im x jm x lm)	237x435x38
Grade pós-processada (lat x lon x níveis de pressão)	320x273x20
Ponto central	58°W;15°S
Resolução horizontal	15 km
Passo de tempo do modelo	40 segundos
Condições Iniciais (CI)	Análise do NCEP interpolada para a grade do Eta-Sazonal-40km
Condições de Contorno Lateral (CCL)	Previsões pós-processadas do modelo Eta-Sazonal-40km
Frequência da atualização das CCL	A cada 6 horas
Condições de Contorno Inferiores	- Temperatura da Superfície do Mar (TSM) atualizada diariamente no modelo. Tal campo de TSM é obtido persistindo-se a anomalia da TSM observada no primeiro mês da previsão até o final do período a ser previsto. -Climatologia sazonal da umidade do solo.
Prazo de previsão	4,5 meses
Número de integrações	5 integrações o mês de outubro de cada ano partindo dos dias 13, 14, 15, 16 e 17
Número de processadores	32
Tempo de integração	22,5 horas para 4,5 meses de previsão
Parâmetros convectivos	Valores dos parâmetros convectivos dos perfis de referência de temperatura e umidade, sobre continente e oceano, tempo de relaxação convectivo. DSPBFL=-4500; DSP0FL=-5500; DSPTFL=-2000; FSL=0.85 DSPBFS=-3875; DSP0FS=-5875; DSPTFS=-1875; FSS=0.85 TREL=2900; UNIS=UNIL=FALSE
Mapa de solo	9 tipos
Mapa de cobertura do solo original	PROVEG-INPE, 1km, Sestini et al 2002.
Topografia original	USGS 1km
Ozônio	Média zonal climatológica

Tabela 3 Configuração do modelo Eta-Sazonal-15km para o Brasil.

se o valor da precipitação prevista na caixa de grade do modelo e a precipitação observada na estação meteorológica contida na mesma caixa de grade. Outras técnicas de avaliação, que levam em consideração valores médios na área, não foram aplicadas neste trabalho. Portanto, foram avaliados 580 previsões de precipitação (58 localidades x 10 anos).

2.3 Metodologia para Avaliação das Previsões Sazonais de Precipitação geradas com modelo Eta-Sazonal-15km

Para investigar o desempenho das previsões sazonais de precipitação do modelo Eta-Sazonal-15km na área em estudo são elaboradas as

seguintes métricas de avaliação: Desvio Padrão Normalizado (DPN), Índice de Acerto da Categoria da Precipitação (IACP), Erro Médio (EM) e Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM). Todas as análises e cálculos foram elaborados considerando-se os totais pluviométricos do período novembro-fevereiro, desde 2001 até 2010.

a) Desvio Padrão Normalizado (DPN)

A razão entre o sinal (variabilidade interanual) e o ruído (variabilidade inter-membros ou espalhamento) das previsões, dá uma ideia da confiabilidade das mesmas. Quando o ruído é superior ao sinal a confiabilidade é baixa.

Neste trabalho adotou-se a metodologia utilizada por Misra *et al.* (2013) para investigar a confiabilidade das previsões, dividindo-se o Desvio Padrão (DP) pelo Desvio Padrão Total (DPT), como apresentado na equação 1:

$$DPN = \frac{DP}{DPT} \quad (1)$$

O DP (equação 2) é computado como a raiz quadrada da variância em torno da média do conjunto, que é calculado separadamente para cada ano e depois mediado por todos os 10 anos no período nov-fev.

$$DP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \quad (2)$$

Onde:

x_{ij} = precipitação para N anos ($i = 1, 2, \dots, N$) e n membros do conjunto ($j=1, 2, \dots, n$) e

\bar{x}_i = média do conjunto

De forma a comparar espalhamentos de distintas variáveis e entre modelos distintos, Misra *et al.* (2013) normalizam o DP pelo desvio padrão total (DPT). O DPT (equação 3) é obtido pelo desvio em relação à média climatológica (média sobre todas as 5 simulações).

$$DPT = \sqrt{\frac{1}{N(n-1)} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})^2} \quad (3)$$

Onde:

\bar{x} = média climatológica do conjunto, definida como:

$$\bar{x} = \frac{1}{Nn} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n (x_{ij})$$

O DPT contém ambos, o sinal da variabilidade inter-anual e a variabilidade interna (ruído). Desta forma, quando DPN é igual a 0 significa ausência total de ruído nas previsões e quando DPN é igual a 1 significa que o ruído das previsões é o fator dominante.

b) Índice de Acerto da Categoria da Precipitação (IACP)

Um índice denominado IACP é aplicado à precipitação prevista na caixa de grade do modelo Eta-Sazonal-15km que contém a observação, ao todo 58 pares de pontos são testados.

O IACP compreende três categorias: chuvas "abaixo da faixa normal", "na faixa normal", ou "acima da faixa normal". Nesta classificação, baseada na distribuição de tercís, o tercil médio define a faixa normal da distribuição climatológica da chuva acumulada no período em foco, em uma dada localidade. Desta forma, inicialmente calcula-se os valores do limite inferior e do limite superior da faixa normal (percentis 33 e 67) para o período em questão em cada localidade. Caso o total pluviométrico acumulado no período seja menor do que o valor correspondente ao percentil 33, o período é considerado seco, se for maior do que o percentil 67 é classificado como chuvoso e se estiver entre os limiares dos percentis 33 e 67 é considerado como neutro. Infelizmente, como o trabalho só contempla dez anos de previsões (2001 a 2010) os percentis observados e previstos são calculados para cada localidade a partir de duas séries pequenas contendo cada uma 10 valores observados e 10 valores previstos.

Tanto para os dados observacionais quanto para as previsões sazonais nas caixas de grade do modelo, o período considerado para o estabelecimento dos limiares que definem as categorias da chuva, foi o de 2001 a 2010. Quando os totais pluviométricos (acumulado para a estação, nov-fev) previstos pelo modelo e os dados observados caem na mesma categoria, significa que a precipitação no ponto de grade mais próximo à estação meteorológica foi prevista com sucesso. No final, soma-se o número de acertos para identificar a porcentagem de previsões de precipitação corretas.

c) Erro Médio (EM) e Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (REQM)

O erro médio (EM), a Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio (REQM) e o Desvio Padrão (DP) também foram calculados para as séries de precipitação em cada ponto de grade e para cada ano, utilizando-se as equações abaixo:

$$EM = \frac{1}{N.L} \sum_{i=1}^{N.L} (P_i - O_i) \quad (4)$$

$$REQM = \frac{1}{N.L} \left(\sum_{i=1}^{N.L} (P_i - O_i)^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

$$D = \frac{1}{N.L} \left(\sum_{i=1}^{N.L} (P_i - P_{med})^2 \right)^{1/2} \quad (6)$$

onde N é o total de anos (10), P são as previsões (média dos membros) para cada ano (i), O_i é valor da observação para cada ano (i) no mesmo ponto de grade, L é o número total de pontos de grade avaliados (58) e P_{med} é a precipitação média considerando-se todos os anos e todos os pontos de grade analisados.

3 Avaliação das Previsões Sazonais de Precipitação geradas com Modelo Eta-Sazonal-15km

Nesta seção é feita uma avaliação da performance do Modelo Eta-Sazonal-15km em prever a precipitação na região de interesse, ou seja, na região da Bacia do Rio São Francisco, à montante da UHE de Três Marias.

A Figura 1 apresenta o DPN para as previsões do modelo Eta-Sazonal-15km, considerando-se todo o período (novembro-fevereiro). Como mencionado anteriormente na metodologia, quanto mais próximo de zero, maior será a confiabilidade da previsão. Como esperado, exceto para as regiões tropicais, esse valor é alto, indicando que o ruído nas previsões é elevado. Nota-se que todos os valores de DPN oscilam entre 0,72 no norte e 0,8 no sul da área em estudo.

A anomalia da precipitação prevista para o período de novembro a fevereiro para cada um dos 5 membros e a cada ano (figuras não apresentadas), mostram que em geral é grande o espalhamento entre os membros dos conjuntos das previsões sazonais na área estudada. Enquanto alguns membros indicam previsões de anomalias positivas de precipitação em toda área estudada, outros apontam para anomalias

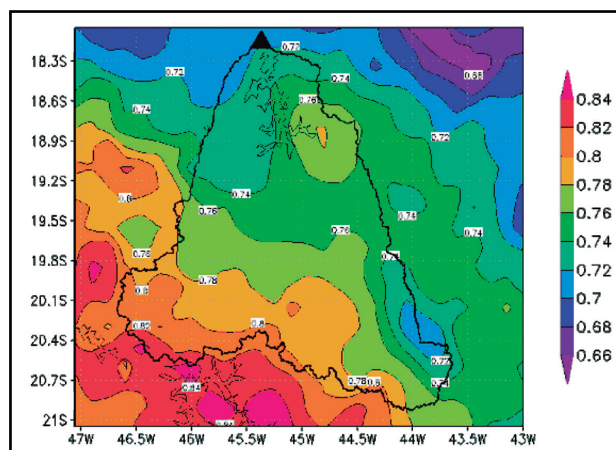


Figura 1 Desvio padrão normalizado, calculado para a previsão sazonal de precipitação gerada pelo modelo Eta-Sazonal-15km, para os meses de novembro a fevereiro de 2001 a 2010. A linha em negrito delimita o contorno da Bacia do Rio São Francisco à montante da UHE Três Marias, representada pelo triângulo preto.

negativas, e na média dos membros verifica-se previsão de um período normal ou neutro. Dos dez anos estudados apenas nos anos de 2007 e 2010 nota-se uma concordância entre os membros com relação ao sinal da anomalia de precipitação. Em tais anos foi observado um padrão de La Niña intensa no Oceano Pacífico, o que pode ter contribuído para direcionar os membros para um mesmo sinal de anomalia de precipitação. Análises mais detalhadas precisam ser elaboradas para confirmar se o modelo de fato está configurando circulações típicas de um evento de La Niña nesses dois anos, influenciando desta forma a passagem de transientes na região de estudo.

Um exemplo do espalhamento que ocorre entre os membros pode ser visto na Figura 2, elaborada para uma localidade selecionada (Piumhi) e para o período de novembro-fevereiro. Nota-se que em determinados anos, como por exemplo em 2009, enquanto o membro 5 (linha amarela) prevê anomalias de precipitação em torno de -500 mm, o membro 4 (linha azul) prevê anomalia de chuva de 200 mm.

A classificação da chuva acumulada entre novembro-fevereiro como “abaixo da faixa normal”, “dentro da faixa normal” ou “acima da faixa normal”, foi feita para ambas as séries (previsão e observação), considerando-se os 58 pontos de grade analisados, durante os 10 anos. O valor médio do IACP considerando-se toda a área em estudo foi de 29%, contudo nota-se na Figura 3 que em partes

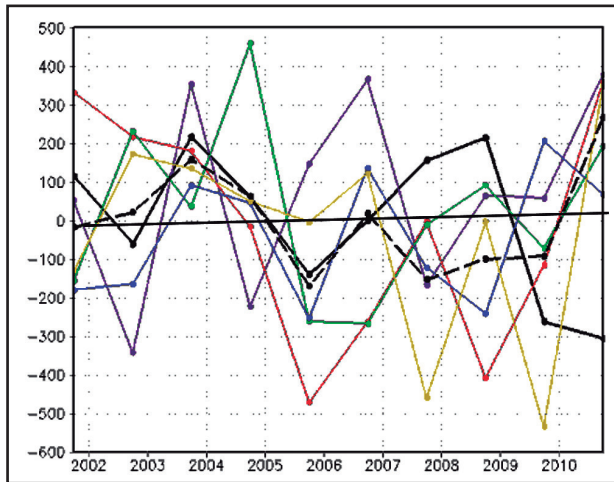


Figura 2 Anomalia da precipitação acumulada entre novembro-fevereiro dos anos de 2001 a 2010 em Piumhi. Observação (linha preta); média dos membros (linha preta tracejada); membro 1 (linha roxa); membro 2 (linha vermelha); membro 3 (linha verde); membro 4 (linha azul) e membro 5 (linha amarela).

Analisando-se anualmente a quantidade de localidades onde a previsão concorda com a categoria da chuva observada foi de: 29 (em 2001), 17 (em 2002), 16 (em 2003), 23 (em 2004), 32 (em 2005), 24 (em 2006), 15 (em 2007), 1 (em 2008), 11 (em 2009) e 3 (em 2010). No ano de 2005 a precipitação foi prevista corretamente em quase toda a região, sendo portanto o ano de melhor performance do modelo. Uma análise no campo de Anomalia de Temperatura da Superfície do Mar (ATSM) ocorrido em outubro de 2005, persistido nas previsões de novembro de 2005 a fevereiro de 2006, mostra que havia uma região de águas frias no Pacífico, próximo a costa do Peru e que nos quatro meses seguintes tal condição foi mantida, ampliando-se as área de ATSM negativa em direção ao oeste do Pacífico. Desta forma, provavelmente este aspecto contribuiu para a boa performance das previsões neste ano.

do sul da região em estudo o IACP é superior a 50%, por exemplo em Piumhi, atingindo 70% no sudeste, na estação Centro de Operações e Apoio. Isso significa que em 7 dos 10 anos analisados a previsão sazonal da precipitação foi prevista corretamente nesta localidade.

Na Figura 4 estão os mapas da anomalia da precipitação observada e prevista (média dos membros) na área em estudo para novembro-fevereiro dos anos de 2001 a 2010. Ressalta-se que para o modelo Eta-sazonal-15km a figura foi construída utilizando-se 588 pontos de grade (21

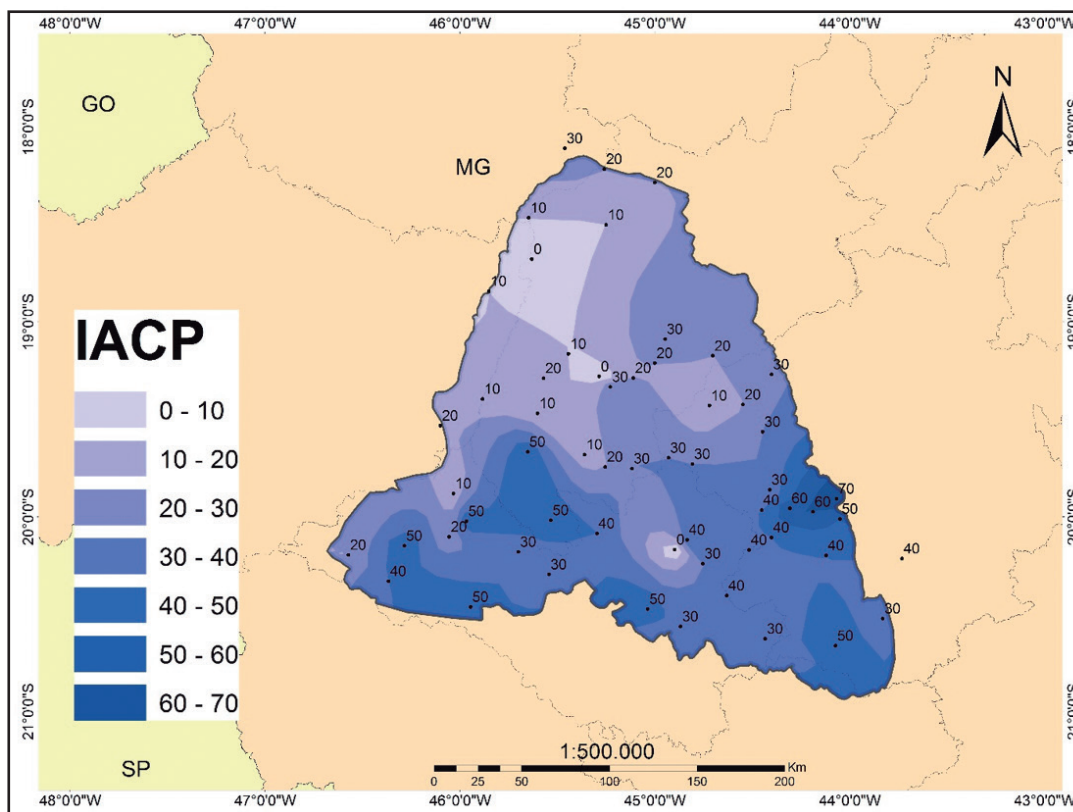


Figura 3 Mapa de IACP, calculado para cada localidade, relativo ao período novembro-fevereiro de 2001 a 2010.

pontos de latitude x 28 pontos de longitude) e no caso das observações foram usados apenas 58 postos pluviométricos. Nota-se que as anomalias observadas são maiores (em módulo) do que as anomalias previstas. Além disso, as previsões não conseguem reproduzir a elevada variabilidade espacial observada, ou seja, as previsões tendem a apresentar um padrão espacial mais homogêneo. Apenas nos anos de 2004 e 2005 as previsões do sinal de anomalia de precipitação foram consideradas coerentes com as observações. Em alguns anos, a previsão foi boa em algumas regiões específicas dentro da região em estudo. Por exemplo no ano de 2002 a previsão do sinal da anomalia da precipitação foi boa no setor sul da região em estudo. No ano de 2003 a previsão foi melhor nas bordas da região, e em 2006 no centro-sul da região em estudo.

Os valores de Desvio Padrão (DP), do Erro Médio (EM) e da Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) das previsões do Eta-Sazonal-15km para o período novembro-fevereiro são apresentados na Tabela 4. Nota-se que há uma tendência de subestimativa da precipitação (valores de EM negativos) e o valor de REQM é 1,7 vezes maior do que seu respectivo DP.

Estatística	Período Nov-Fev
EM	-27,73(mm/mês)
REQM	77,03(mm/mês)
DP Previsão	43,04(mm/mês)
DP Observação	61,36(mm/mês)

Tabela 4 Valores de EM, REQM e DP das previsões de precipitação do modelo Eta-Sazonal-15km e também DP da observação no período novembro-fevereiro dos anos de 2001 a 2010, considerando-se 588 pontos de grade do modelo.

4 Conclusões

Neste trabalho é feita uma avaliação do conjunto de previsões elaboradas com o modelo Eta-Sazonal-15km (5 membros) para a região da Bacia do Rio São Francisco a montante da UHE de Três Marias considerando-se o período novembro-fevereiro dos anos de 2001 a 2010.

Inicialmente calcula-se o desvio padrão normalizado (DPN) das previsões de precipitação para verificar a razão entre o sinal do ruído presente nas previsões do modelo. A seguir, anomalias de precipitação previstas são confrontadas com os valores observados no mesmo período em 58 estações meteorológicas localizadas na área em estudo. Um índice de acerto da categoria da precipitação (IACP), baseado na distribuição de tercís, é aplicado para contabilizar o número de vezes em que às previsões apontam para a mesma categoria das chuvas observadas: chuvas abaixo, acima ou dentro da normalidade.

Os resultados mostram que o DPN é alto (varia entre 0,72 e 0,8), ou seja, o ruído é o fator dominante, indicando baixa confiabilidade das previsões na região. Em alguns anos os membros apresentam previsões de anomalias opostas, ou seja, alguns membros indicam anomalias positivas e outros negativas em toda a área, o que acaba gerando um campo médio (entre os 5 membros) de anomalias próximas de zero. Contudo, em 2007 e 2010 (anos de eventos La Niña intensos) notou-se uma concordância entre os os membros. Este aspecto é interessante e deve ser explorado com mais detalhes futuramente. Nota-se também que o modelo não é capaz de representar a elevada variabilidade interanual que ocorre na região. O valor do IACP calculado para cada par de previsões/observações nas 58 estações meteorológicas localizadas na área em estudo foi baixo (29%). Contudo, em áreas do sul e no sudeste da região o IACP é mais elevado, atingindo valores de 60 e 70% no sudeste da região. No ano de 2005 foram verificadas as melhores previsões do modelo, o que pode ter ocorrido pelo fato da anomalia negativa no Pacífico observada no campo de ATSM de outubro de 2005, ter sido persistida corretamente de novembro a fevereiro de 2006. A influência dos campos de ATMS nas previsões sazonais na área em estudo deve ser investigada em detalhes.

5 Agradecimentos

O trabalho foi desenvolvido como parte da dissertação de mestrado do primeiro autor com apoio do Programa de P&D da CEMIG GT464, regulado pela ANEEL. Os autores agradecem à ANA, CEMIG e INMET pelo fornecimento dos dados.

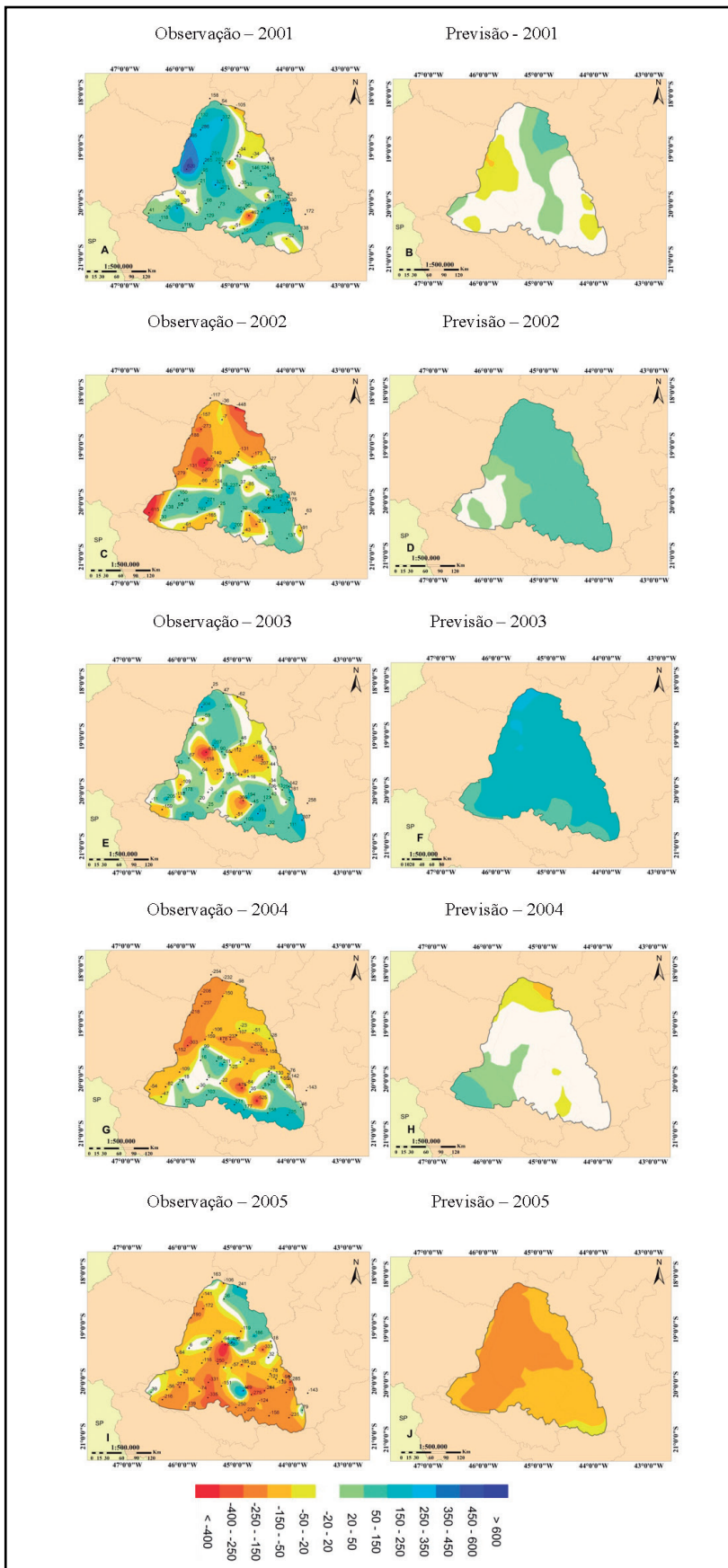


Figura 4 Anomalia da precipitação (mm) do período novembro-fevereiro dos anos de 2001 a 2010. Na coluna esquerda encontram-se as observações e na coluna direita as previsões do modelo Eta-Sazonal-15km (média dos membros).

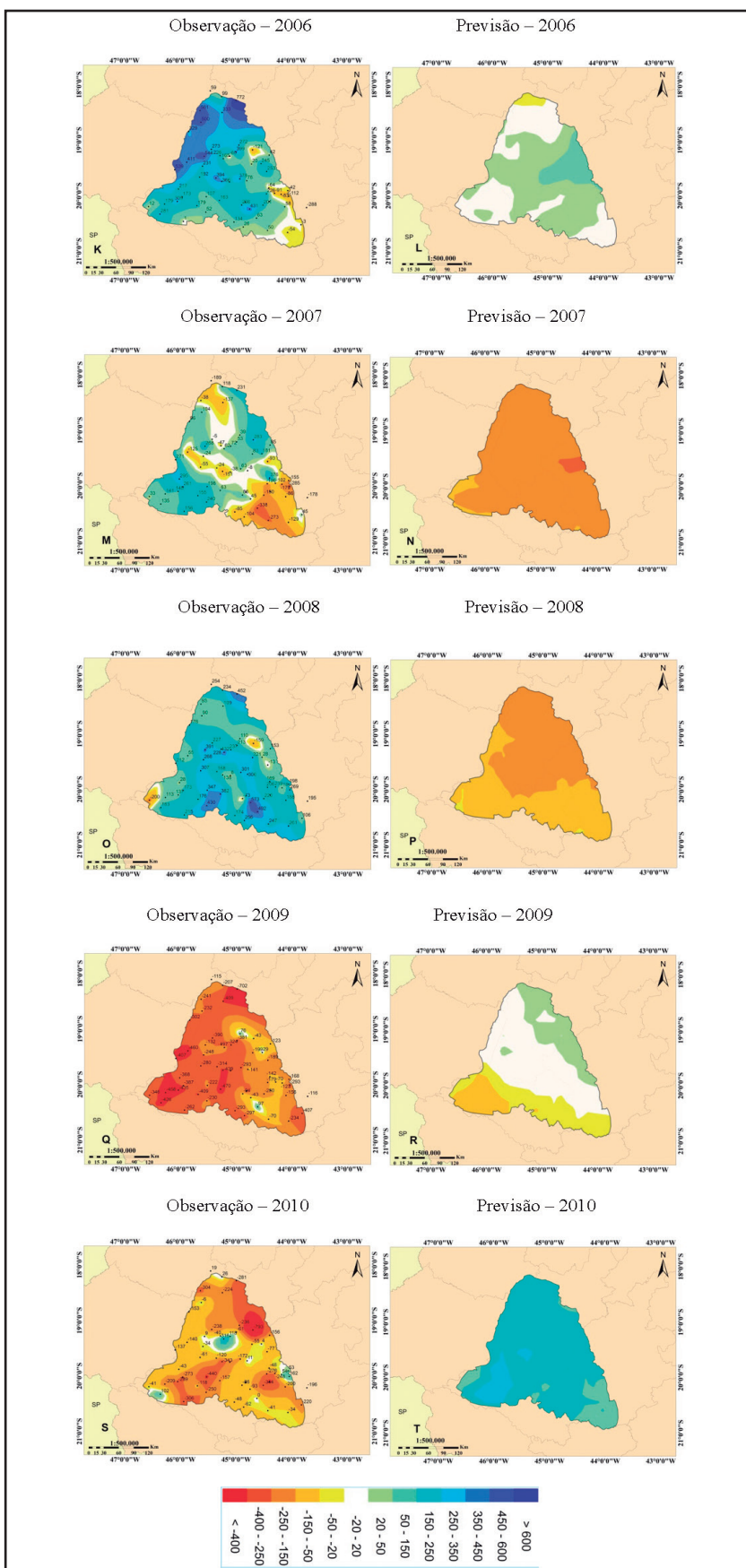


Figura 4 Continuação.

6 Referências

- Black, T.L. 1994. The new NMC mesoscale Eta model: Description and forecast examples. *Weather Analysis and Forecasting*, 9: 265-278.
- Brankovic, C.; Palmer, T.N. & Ferranti, L. 1994. Predictability of seasonal atmospheric variations. *Journal of Climate*, 7: 217-237.
- Bustamante, J.F.; Gomes, J.L. & Chou, S.C. 2006. 5-year Eta Model seasonal forecast climatology over South America. In: INTER CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 8, Foz do Iguaçu.
- Bustamante, J.F.; Chou, S.C. & Sueiro, G. 2012. 10-Year Eta Model Seasonal Forecast Climatology Over South America. In: EUROPEAN GEOSCIENCE UNION, GENERAL ASSEMBLY 2012. 22-27, April 2012, Vienna, Austria.
- Ek, M.B.; Mitchell, M. K.; Liu, Y.; Rogers, E.; Grunman, P.; Koren, V.; Gayano, G. & Tarpley, J.D. 2003. Implementation of Noah Land Model advances in the NCEP operational Eta Model. *Journal of Geophysical Research*, 108 (D22): 8851-8867.
- Fels, S.B. & Schwarzkopf, M.D. 1975. The simplified exchange approximation: A new method for radiative transfer calculations. *Journal of the Atmospheric Science*, 32: 1475-1488.
- Janjic, Z.I. 1979. Forward-backward scheme modified to prevent two-grid-interval noise and its application in sigma coordinate models. *Contributions Atmospheric Physics*, 52: 69-84.
- Janjic, Z.I. 1984. Non-linear advection Eulerian schemes and energy cascade on semi-staggered grids. *Monthly Weather Review*, 112: 1234-1245.
- Janjic, Z.I. 1994. The step-mountain coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. *Monthly Weather Review*, 122: 927-945.
- Lacis, A.A. & Hansen, J.E. 1974. A parameterization of the absorption of solar radiation in earth's atmosphere. *Journal of the Atmospheric Science*, 31: 118-133.
- Mellor, G.L. & Yamada, T. 1974. A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. *Journal of the Atmospheric Science*, 31: 1791-1806.
- Mesinger, F. 1977. Forward-backward scheme, and its use in a limited area model. *Contrib. Atmospheric Physics*, 50: 200-210.
- Mesinger, F. 1984. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. *Rivista Meteor. Aeronautica*, 44: 195-202.
- Mesinger, F.; Janjic, Z.I.; Nickovic, S.; Gavrilo 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: 1493-1518.
- Mesinger, F.; Chou, S.C.; Gomes, J.L.; Jovic, D.; Bastos, P.; Bustamante, J.F.; Lazić, L.; Lyra, A.A.; Morelli, S.; Ristic, I. & Veljovic, K. 2012. An upgraded version of the Eta model, *Meteorology and Atmospheric Physics*, doi: 10.1007/s00703-012-0182-z.
- Misra V.; Dirmeyer, P.A. & Kirtman, B.P. 2003. Dynamic Downscaling of Seasonal Simulations over South America, *Journal of Climate*, 16: 103-117.
- ONS, 2009. Previsão de Vazões Diárias ao Reservatório de Três Marias usando a Técnica de Redes Neurais. *Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) NS*, NT 051/9. 89 p.
- Palmer, T.N. & Anderson, D.L.T. 1994. The prospects for seasonal forecasting – A review paper. *Quarterly Journal of the Meteorological Society*, 518, Part A (120): 755-793.
- Paulson, C.A. 1970. The mathematical representation of wind speed and temperature profiles in the unstable atmospheric surface layer. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 9: 857-861.
- Pielke, R.A. 2002. Mesoscale meteorological modeling. In: *International Geophysics Series*, 78. Academic Press, New York, p. 676.
- Rodwell, M.J. & Doblas-Reyes F.J. 2006. Medium-Range, Monthly, and Seasonal Prediction for Europe and the Use of Forecast Information. *Journal of Climate – Special Section*, 19: 6025-6046.
- Schneider, T. & Griffies, S.M. 1999. A conceptual framework for predictably studies. *Journal of Climate*, 12: 3133-3155.
- Sestini, M.F.; Alvalá, R.C.S.; Mello, E.M.K.; Valeriano, D.M.; Chou, S.C.; Nobre, C.A.; Paiva, J.A.C. & Reimer, E.S. 2002. Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*, São José dos Campos, SP, Brasil.
- Shukla, J. 1998. Predictability in the midst of chaos: A scientific basis for climate forecasting. *Science*, 282: 728-731.
- Suhaila, J.; Sayang M.D. & Jemain A.A. 2008. Revised spatial weighting methods for estimation of missing rainfall data. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 44: 93-104.
- Zhao, Q.; Black, T.L. & Baldwin, M.E. 1997. Implementation of the cloud prediction scheme in the Eta Model at NCEP. *Weather and Forecasting*, 12: 697-712.