AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO EFEITO DE PROJEÇÕES DO CLIMA EM CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS SOBRE OS NÍVEIS D'ÁGUA DO BANHADO DO TAIM, RS

Juan Martín Bravo [1]; David da Motta Marques [2]; Rutinéia Tassi [3]; Angélica Cardoso [4]

RESUMO --- As estimativas de cenários climáticos futuros permitem avaliar possíveis impactos e planejar medidas mitigadoras. Nesse contexto insere-se este trabalho, onde projeções de precipitação foram utilizadas para alimentar um modelo hidrodinâmico para estimar níveis d'água no banhado do Taim. Através dessas simulações foram estimadas projeções de alterações do hidroperiodo. Os resultados permitem uma visão preliminar do efeito das projeções de precipitação nos cenários de mudanças climáticas sobre os níveis do banhado. Uma análise complementar foi executada para avaliar a influência da escolha dos modelos climáticos nos resultados obtidos. Considerando todos os modelos foram obtidos valores médios de anomalias do nível d'água do banhado de 0,04m a 0,13m no futuro próximo e de 0,12m a 0,56m no futuro longo. É importante ressaltar as incertezas associadas a essas projeções, em função da discrepância quanto à intensidade das anomalias estimadas. A seleção de um subconjunto de modelos para o calculo das estatísticas dos resultados mostrou uma grande influência nos resultados obtidos. Considerando os modelos que melhor representaram o clima atual da região, a tendência a aumento dos níveis do banhado foi mais evidente em todos os cenários e futuros analisados, ao mesmo tempo em que a faixa de incerteza dos resultados foi menor.

ABSTRACT --- We present a preliminary assessment of climate change impacts on the water levels of the Taim Wetland, located in Central-East South America, based on predictions of twenty Atmospheric/Ocean General Circulation Models (AOGCMs) that feed a hydrodynamic model. Through these simulations were estimated projections of changes of the hydroperiod in the Taim Wetland. Results provide a preliminary overview of the effect of climate change precipitation projections on the water levels. An additional analysis was performed to assess how model selection influenced the results. Considering all models were obtained values of water levels anomalies of about 0.04 m to 0.13 m in the near future and from 0.12 m to 0.56 m in the long future. It is important to emphasize the uncertainties associated with these projections, due to the discrepancy in the intensity of the estimated anomalies. The selection of a subset of models for calculating the statistics showed a significant influence on the results. Considering models that best represented the current climate of the region only, the tendency to increased water levels of the Taim Wetland was more evident in all future scenarios, while the range of uncertainty of the results was reduced.

Palavras-chave: Mudança climática, MAGICC/ScenGen, Sistema hidrológico do Taim.

[1] Professor Adjunto IPH/UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre, RS. E-mail: jumarbra@iph.ufrgs.br
[2] Professor Associado IPH/UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre, RS. E-mail: dmm@iph.ufrgs.br
[3] Professora Adjunto Dpto. de Hidráulica e Saneamento, UFSM. Av. Roraima, 1000. Santa Maria. E-mail: rutineia@gmail.com
[4] IPH/UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre, RS. E-mail: magcardoso@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

As projeções no futuro de variáveis globais (temperatura, gases do efeito estufa, etc.) sugerem a possibilidade da ocorrência de significativas alterações no clima e na biosfera terrestre (IPCC, 2007). Existem diversas evidências que mostram que, tanto espécies como ecossistemas, têm sofrido impactos das mudanças climáticas. As respostas biológicas vão desde mudanças na distribuição espacial e temporal das espécies individuais, até mudanças completas do regime do ecossistema (Mooij et al., 2009).

Entre estes ecossistemas, podem ser citadas as terras úmidas, que são de particular interesse, pois comportam numerosos organismos vegetais e animais, que vão desde os micróbios até os mamíferos. As terras úmidas se encontram entre os ecossistemas mais produtivos no mundo, comparáveis às florestas tropicais e recifes de coral (Tassi, 2008). Entre as principais funções desempenhadas podem ser citadas: o armazenamento de água e amortecimento de cheias, a recarga de aquíferos e a melhoria na qualidade da água mediante a retenção de nutrientes, contaminantes e sedimentos. Assim, através das terras úmidas a sociedade se beneficia pelo turismo, pesca, abastecimento de água para população e atendimento da demanda de agricultura, entre outros (Mitsch e Gosselink, 1986).

As terras úmidas são caracterizadas e regidas pela frequência e duração do nível da água (ou hidroperíodo) que condicionam as características da vegetação e todos os processos físicos, químicos e biológicos associados a tais sistemas (Clymo et al., 1995). Além disso, a circulação da água, propriamente dita, constitui um dos fatores fundamentais para o funcionamento desse tipo de ecossistema (Aumen, 2003; Paz, 2003).

A alteração do hidroperíodo natural e do padrão geral do escoamento por estressores naturais ou antrópicos, tem impacto direto sobre a distribuição espacial da vegetação (Guasseli, 2005), e desencadeia uma série de consequências adversas, do ponto de vista ecológico, que ocasiona a degradação do ambiente. Entre elas, podem ser citadas: modificação da composição das espécies vegetais dominantes; alterações no ciclo reprodutivo de espécies da fauna; redução da diversidade de espécies e do número de indivíduos, tanto vegetais quanto animais; e o comprometimento do desempenho das funções e valores das áreas úmidas.

O sistema hidrológico do Taim, localizado na região Sul do país, tem como característica marcante a existência da associação de áreas úmidas e lagos, e se apresenta como o local de estudo ideal para essa pesquisa, fundamentalmente, pela disponibilidade de dados, de trabalhos prévios e pela sua importância ecológica no nível nacional e internacional.

Torna-se evidente que para analisar e entender a complexa interação entre a hidrodinâmica desse sistema e dos fenômenos climáticos é necessária a utilização de ferramentas de simulação. Assim, este trabalho apresenta os resultados preliminares desta pesquisa onde projeções de precipitação estimadas por Bravo et al. (2011) foram utilizadas para alimentar um modelo hidrodinâmico que simula o comportamento do banhado do Taim.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência de cenários de mudança climática nos padrões do nível d'água do banhado do Taim.

Como uma forma de alcançar este objetivo, propõe-se responder às seguintes perguntas:

- Qual é o efeito esperado provocado por cenários de mudança climática futuros no hidroperiodo do banhado do Taim?
- Observam-se tendências nas projeções dessas duas variáveis nos cenários de mudança climática nessa região?
- Quais são as incertezas associadas às projeções dessas variáveis nos cenários de mudança climática?

3. ESTUDO DE CASO: Sistema hidrológico do Taim (SHT)

O Sistema Hidrológico do Taim (SHT) está localizado entre o oceano Atlântico e a lagoa Mirim, sul do Estado do Rio Grande do Sul, correspondendo partes dos Municípios de Santa Vitória do Palmar e de Rio Grande (Figura 1). Na área do sistema (2254 km^2) encontra-se a Estação Ecológica do Taim (ESEC-Taim), situada na estreita faixa de terra entre o oceano Atlântico e a lagoa Mirim (alinhamento dos Banhados Pós-Planícies Marinho-Eólica). A área total desta unidade de conservação perfaz 33.935 ha, compreendendo praias oceânicas, dunas, campos, matas de restinga, lagoas e principalmente banhados e alagados. Associada com o clima subtropical, esta região se distingue de outras áreas alagáveis existentes no Brasil.

O SHT se reparte em diferentes subsistemas:

a) Subsistema Norte (387 km^2), composto pela lagoa Caiubá, lagoa das Flores e o banhado do Maçarico, este último com afluência para a lagoa das Flores;
b) Subsistema do banhado (270 km^2) é o banhado propriamente dito, também composto pelas lagoas Nicola e Jacaré. O escoamento é caracterizado por baixas velocidades

superficiais, devido à existência de macrófitas aquáticas e biomassa, e a saída de água acontece pelas comportas no extremo norte, em direção à lagoa Mirim;

c) Subsistema Sul (1597 km^2) é formado pela lagoa Mangueira e sua bacia de contribuição.

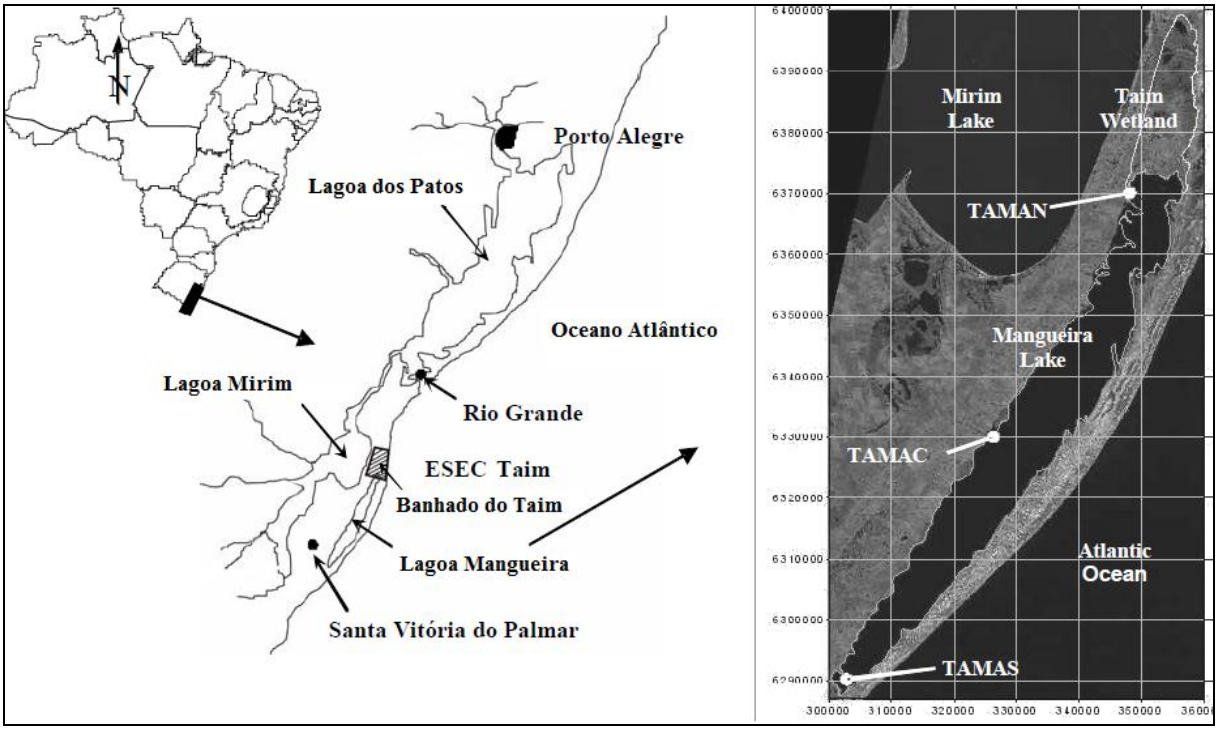

Figura 1 – Sistema hidrológico do Taim (SHT). Adaptado de Fragoso (2009).

A união do subsistema Sul com o banhado é realizada através: (1) do canal junto a BR-471 por escoamento concentrado; (2) da interface lagoa-banhado por escoamento difuso. Os fluxos nesses subsistemas são diferenciados conforme características próprias, tais como: topografia, cobertura de macrófitas aquáticas, condições climáticas e uso da água.

A influência do subsistema Norte sobre o banhado é mínima, sob o ponto de vista hidrológico. O fluxo de água no banhado é caracterizado por baixas velocidades superficiais devido à presença de grande quantidade de macrófitas.

O sistema recebe água de uma bacia pouco maior do que a própria Lagoa Mangueira, ou seja, a maior parcela de entrada de água se dá por precipitação direta sobre o sistema. As saídas de água do sistema ocorrem basicamente por evaporação, demanda para irrigação e, quando o nível está alto, escoamento para a Lagoa Mirim por uma comporta (Paz, 2003; Villanueva, 1997).

4. METODOLOGIA

O procedimento metodológico utilizado para estimar os valores das projeções de anomalias de níveis d'água no banhado do Taim em cenários de mudança climática é dividido em cinco etapas, descritas a seguir.

4.1- Seleção dos cenários de emissão

Os cenários de emissão representam uma visão possível do desenvolvimento futuro de emissões de substâncias que têm um efeito radiativo potencial (gases de efeito estufa, aerossóis), baseados numa combinação coerente e internamente consistente de assunções sobre forçamentos controladores como demografia, desenvolvimento socioeconômico, e mudança na tecnologia, assim como suas interações (Marengo, 2006).

Existem, basicamente, quaro família de cenários de emissões definidos pelo *Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas* – IPCC (IPCC, 2000). Neste trabalho foram selecionados dois cenários: (1) Cenário A2, o qual apresenta altas emissões e (2) Cenário B2, o qual representa baixas emissões. A seguir é apresentada uma breve descrição destes cenários.

Cenário A2 (Altas emissões): esse cenário descreve um mundo futuro muito heterogêneo onde a regionalização é dominante. Existiria um fortalecimento de identidades culturais regionais, auto-suficiência em termos de recursos e menos ênfase nas interações econômicas, sociais e culturais entre as regiões são característicos para esse futuro. Outras características são: o crescimento populacional alto e a menor preocupação em relação ao desenvolvimento econômico rápido. O crescimento econômico resulta desigual em função das diferentes economias regionais.

Cenário B2 (Baixas emissões): esse cenário descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais, na sustentabilidade econômica, social e ambiental. As políticas públicas e as estratégias empresariais, a nível nacional e local, são influenciadas por conceitos ambientalistas, com uma tendência para a auto-suficiência local. A mudança tecnológica é mais diversa com forte ênfase nas iniciativas comunitárias e inovação social, em lugar de soluções globais.

Para cada cenário foram feitas estimativas das projeções de anomalias de precipitação e temperatura do ar média mensal para dois futuros: o futuro próximo, centrado no ano 2030, e o futuro longo, centrado no ano 2070, em um trabalho prévio (Bravo et al., 2011). Nesse trabalho foram utilizadas as projeções de precipitação estimadas por Bravo et al. (2011) para alimentar um modelo hidrodinâmico que simula o comportamento do banhado do Taim.

4.2- Definição dos modelos climáticos utilizados

As estimativas das projeções de variáveis climáticas na região analisada foi feita utilizando o modelo MAGICC/SCENGEN, (*Model for the Assessment of Greenhouse gas Induced Climate Change/SCENario GENerator*) versão 5.3, que considera as principais diretrizes estabelecidas pelo Quarto Relatório de Avaliação do Grupo de Trabalho 1 (*Fourth Assessment Report, Working Group 1, AR4*) do IPCC.

O MAGICC/SCENGEN é baseado em um modelo acoplado de ciclo de gases e clima (MAGICC, Hulme et al., 1995) que gera dados de modificação na temperatura média global utilizados pelo SCENGEN para gerar cenários de mudanças climáticas cujos resultados são apresentados em uma grade de 2,5° x 2,5° que cobre a totalidade do planeta.

O MAGICC tem sido o principal modelo utilizado pelo IPCC para gerar projeções futuras de temperatura média global e nível médio do mar (Wigley, 2008). Baseado em cenários de emissões de gases do feito estufa e de modelos de circulação geral (MCGs), o MAGICC calcula projeções de concentração de gases de efeito estufa, temperatura média global e nível médio do mar. Os resultados de temperatura média global são utilizados pelo SCENGEN para produzir padrões espaciais de mudanças climáticas a partir de um banco de dados de resultados de MCGs e utilizando o método *pattern scaling* descrito em Santer et al (1990).

Nesse trabalho foram utilizadas as projeções de anomalias de precipitação média mensal na região analisada, relativas aos dois cenários de emissões previamente selecionados, simulados por 20 modelos climáticos. Os modelos climáticos utilizados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Modelos acoplados atmosfera-oceano de circulação geral utilizados no SCENGEN versão 5.3.

Nome SCENGEN	Pais	Nome	Instituição
BCCRBCM2	Noruega	Bergen Climate Model, version 2	Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR), Univ. of Bergen
CCSM--30	EU	Community Climate System Model, version 3.0	National Center for Atmospheric Research (NCAR)
CCCMA-31	Canada	Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis's	
CNRM-CM3	França	CNRM-CM3	Centre National de Recherches Météorologiques, Météo France
CSIRO-30	Australia	CSIRO Mark 3.0	CSIRO
MPIECH-5	Alemanha	ECHAM5/MPI-OM	Max Planck Institute for Meteorology
ECHO---G	Alemanha /Coreia	ECHO-G = ECHAM4 + HOPE-G	Meteorological Institute of the University of Bonn,

Nome SCENGEN	Pais	Nome	Instituição
			Institute of KMA and Model and Data Group
FGOALS1G	China	FGOALS1.0	Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences
GFDLCM20	EU	CM2.0 - AOGCM	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - NOAA
GFDLCM21	EU	CM2.0 - AOGCM	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory - NOAA
GIS--EH	EU	GISS ModelE-H	Goddard Institute for Space Studies (GISS), NASA
GIS--ER	EU	GISS ModelE-R	Goddard Institute for Space Studies (GISS), NASA
INMCM-30	Russia	INMCM3.0	Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Science
IPSL_CM4	França	IPSL-CM4	Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)
MIROC-HI	Japão	MIROC3.2 (Model for Interdisciplinary Research on Climate)	CCSR/NIES/FRCGC
MIROCMED	Japão	MIROC3.2 (Model for Interdisciplinary Research on Climate)	CCSR/NIES/FRCGC
MRI-232A	Japão	MRI-CGCM2.3.2	Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency
NCARPCM1	EU	Parallel Climate Model	National Center for Atmospheric Research NCAR
UKHADCM3	Inglaterra	HADCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research
UKHADGEM	Inglaterra	Hadley Centre Global Environmental Model, version 1	Hadley Centre for Climate Prediction and Research

4.3- Estimativa das projeções de anomalias de precipitação

Para cada um dos cenários de emissão de gases previamente definidos foram estimadas em um trabalho prévio (Bravo et al., 2011) as projeções de anomalias de precipitação média mensal em função dos 20 modelos de circulação geral, para dois futuros: o futuro próximo, centrado no ano 2030, e o futuro longo, centrado no ano 2070. A Figura 2 apresenta a localização da região de estudo e a célula da grade dos MCGs onde os resultados foram obtidos.

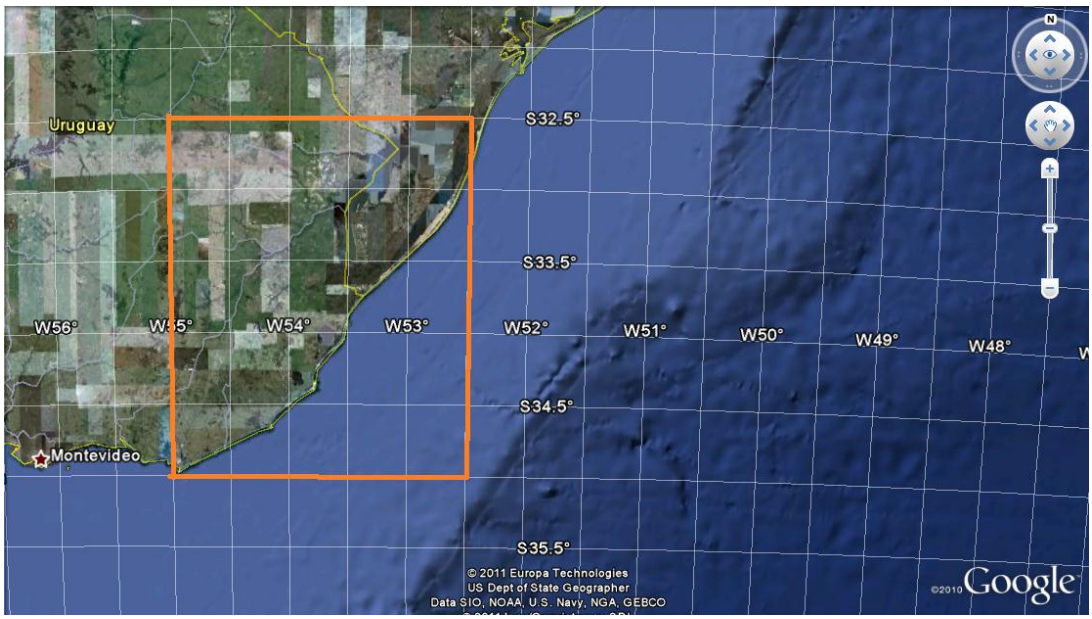

Figura 2 – Localização da região de estudo e célula da grade dos MCGs (na cor laranja) onde os resultados são obtidos.

4.4- Desempenho dos modelos climáticos representando o clima atual

Conforme discutido em outros trabalhos (por exemplo, Serrat-Capdevila et al., 2007), no conjunto de MCGs utilizados para produzir as projeções das variáveis no futuro, alguns modelos podem ser considerados mais ou menos adequados para a região de estudo, pois as deficiências próprias ou as simplificações existentes nas suas formulações podem não considerar adequadamente todos os fenômenos meteorológicos locais. Além disso, o modelo selecionado pode variar segundo qual seja a variável analisada na comparação, por exemplo, precipitação anual média, anomalias de precipitação anual, temperaturas médias mensais, etc.

Reichler e Kim (2008), Hagedorn et al. (2005) e Serrat-Capdevila et al. (2007) tem mostrado como as previsões de longo prazo, como aquelas tipicamente estimadas no contexto de mudança climática, obtidas por um conjunto de modelos, apresentam melhores resultados que aquelas obtidas com o uso de apenas aqueles modelos tradicionalmente considerados como os que melhor representam a climatologia do local. Entretanto, nesse trabalho é apresentada uma comparação das estatísticas dos resultados obtidos considerando os 20 modelos, com base em apenas aqueles considerados “melhores” e com base em apenas aqueles considerados “piores”.

A metodologia utilizada na definição dos modelos considerados “melhores” e “piores” na representação do clima da região foi apresentada por Wigley (2008) e consiste em:

1- Calcule diferentes medidas de desempenho para avaliar representação do clima atual.

2- Ordene os modelos em função de cada uma dessas medidas de desempenho.

3- Analisando cada medida de desempenho:

3.a- Os sete modelos que apresentaram os melhores valores recebem ranking igual a 1.

3.b- Os sete modelos que apresentaram os piores valores recebem ranking igual a -1.

3.c- Os restantes seis modelos recebem ranking igual a 0.

4- Para cada modelo, some os rankings atribuídos em função de cada medida de desempenho obtendo o ranking final.

5- O conjunto de "melhores" modelos é integrado pelos sete modelos que apresentaram os maiores valores de ranking final (item 4).

6- O conjunto de "piores" modelos é integrado pelos sete modelos que apresentaram os piores valores de ranking final (item 4).

A variável utilizada nesse trabalho para caracterizar o clima atual foi a precipitação anual. As medidas de desempenho analisadas foram: (1) Correlação; (2) Root Mean Square Error (RMSE) e (3) Bias. Os resultados da aplicação dessa metodologia no estudo de casa analisado são apresentados na Tabela 2, enquanto que o conjunto de melhores e piores modelos é apresentado na Tabela 3.

Tabela 2 – Desempenho dos modelos climáticos em representar a precipitação anual atual na região analisada.

modelo	CORREL	ranking	modelo	RMSE	ranking	modelo	BIAS	ranking
MIROC-HI	0.947	1	MPIECH-5	0.557	1	MPIECH-5	-0.413	1
MRI-232A	0.902	1	CCCMA-31	0.666	1	CCCMA-31	-0.608	1
UKHADGEM	0.791	1	UKHADGEM	0.845	1	UKHADGEM	-0.788	1
CCCMA-31	0.79	1	MIROC-HI	1.061	1	MIROC-HI	-1.051	1
ECHO---G	0.781	1	UKHADCM3	1.253	1	UKHADCM3	-1.207	1
CCSM--30	0.752	1	BCCRBCM2	1.316	1	BCCRBCM2	-1.229	1
MIROCMED	0.689	1	MIROCMED	1.448	1	NCARPCM1	-1.406	1
UKHADCM3	0.657	0	FGOALS1G	1.472	0	FGOALS1G	-1.411	0
GISS--EH	0.649	0	CCSM--30	1.482	0	MIROCMED	-1.411	0
MPIECH-5	0.573	0	NCARPCM1	1.504	0	CCSM--30	-1.453	0
BCCRBCM2	0.547	0	GFDLCM21	1.578	0	GFDLCM21	-1.501	0
FGOALS1G	0.469	0	GFDLCM20	1.645	0	CNRM-CM3	-1.55	0
CSIR0-30	0.437	0	CNRM-CM3	1.671	0	GFDLCM20	-1.557	0
CNRM-CM3	0.4	-1	CSIR0-30	1.8	-1	CSIR0-30	-1.756	-1
IPSL_CM4	0.352	-1	ECHO---G	1.836	-1	INMCM-30	-1.787	-1
GISS--ER	0.347	-1	INMCM-30	1.844	-1	ECHO---G	-1.813	-1
GFDLCM20	0.158	-1	MRI-232A	1.941	-1	MRI-232A	-1.922	-1
GFDLCM21	0.151	-1	GISS--EH	2.144	-1	IPSL_CM4	-2.091	-1
INMCM-30	0.046	-1	IPSL_CM4	2.144	-1	GISS--EH	-2.113	-1
NCARPCM1	-0.181	-1	GISS--ER	2.261	-1	GISS--ER	-2.202	-1

Tabela 3 – Ranking final do desempenho dos modelos em representar a precipitação anual atual. Em amarelo o conjunto de melhores modelos, em vermelho o conjunto de piores modelos.

modelo	Ranking final		modelo	Ranking final
CCCMA-31	3		ECHO---G	-1
MIROC-HI	3		MRI-232A	-1
UKHADGEM	3		CSIR0-30	-2
BCCRBCM2	2		GISS--EH	-2
MIROCMED	2		GISS--ER	-3
MPIECH-5	2		INMCM-30	-3
UKHADCM3	2		IPSL_CM4	-3

4.5- Estimativa das projeções de níveis d'água no banhado do Taim

A série histórica de precipitação, no período de 1960 a 2003, obtidas por Tassi (2008) foi perturbada em função dos valores das anomalias estimadas nos cenários de mudança climática. Isto é, todos os janeiros da série histórica de precipitação foram multiplicados por 1+ΔPjan , todos os fevereiros por 1+ΔPfev, sendo obtido como resultado uma nova série de precipitação, correspondente, por exemplo, aos resultados do modelo GCM-1, para um dos cenários de emissão e para um dos futuros analisados.

Com base nessa série histórica perturbada e mantendo as restantes variáveis climáticas em seus valores observados, a componente hidrodinâmica do modelo desenvolvido e ajustado satisfatoriamente na área de estudo por Villanueva (1997) foi utilizado para definir, ao longo do período de simulação de 44 anos, a série de níveis d'água esperados na região do banhado do Taim. Através dessa série de níveis é estimado o hidroperiodo associado a esse cenário de mudança climática. Esse procedimento foi repetido para todos os conjuntos de cenários de mudança climática, se obtendo um conjunto de curvas correspondentes a hidroperiodos, o qual permitirá a estimativa de uma medida das incertezas dos resultados.

A Figura 3 apresenta uma representação esquemática da metodologia utilizada neste item.

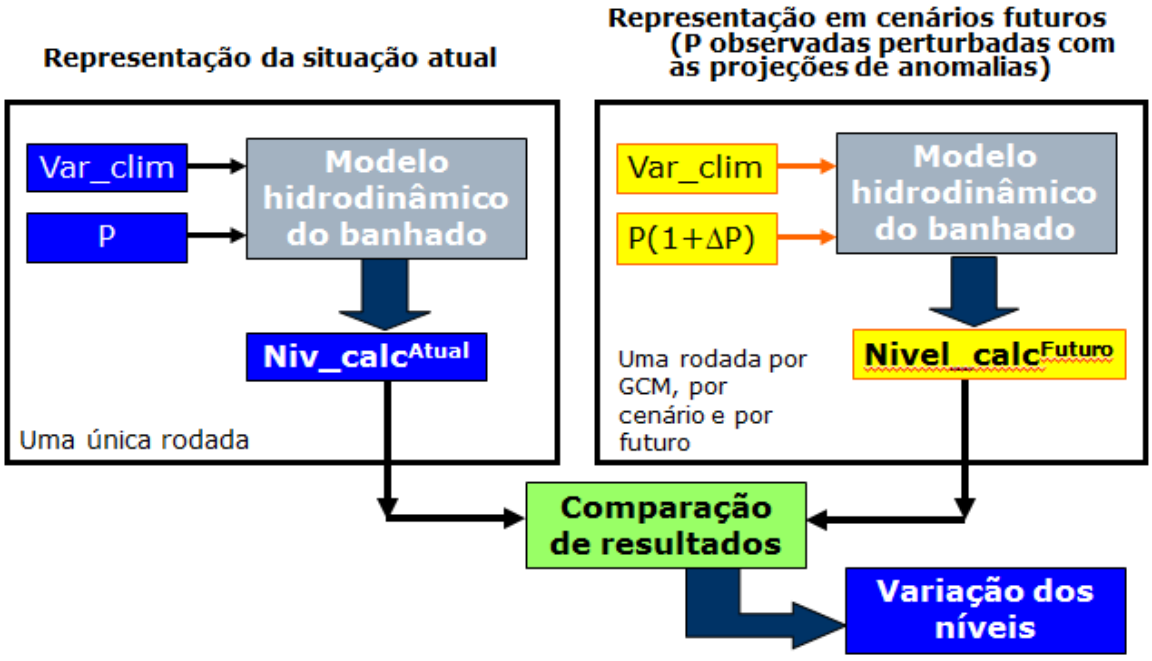

Figura 3 – Metodologia de estimativa dos níveis d'água futuro do banhado do Taim.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1- Projeções de anomalias de níveis d'água do banhado do Taim: Todos os modelos

As projeções da cota do nível médio d'água mensal no banhado do Taim (em metros) são apresentadas na Figura 4 para os dois cenários, A2 e B2, e para os dois futuros (valor médio em

intervalo de trinta anos centrado em 2030, no futuro próximo, e em 2070, no futuro longo), considerando os 20 modelos climáticos. Nesse conjunto de simulações foram utilizadas apenas as séries de precipitação perturbadas se mantendo as restantes variáveis em seus valores observados. Os resultados permitem uma visão preliminar do efeito das projeções de precipitação nos cenários de mudanças climáticas sobre os níveis do banhado do Taim.

Em termos gerais, os resultados mostram grandes anomalias projetadas, predominando as projeções de incremento do nível médio do banhado do Taim, mas com uma grande dispersão entre os resultados dos modelos climáticos, como pode ser observado ainda na Figura 5 à Figura 7.

Nos resultados se observa, no futuro próximo, pouca diferencia entre os cenários simulados, em termos das medianas e dos percentis das projeções do conjunto de modelos. No caso do futuro longo, as incertezas aumentam em ambos os cenários, mas com maior evidencia no cenário A2. As projeções no futuro longo também apresentam uma maior discrepância entre os resultados dos dois cenários, que a existente no futuro próximo.

Em todos os cenários e futuros avaliados, a mediana das projeções do conjunto de modelos resultou positiva, significando incrementos no valor da cota do nível médio d'água no banhado do Taim. No entanto a incerteza associada aos resultados é grande, conforme observado os valores do percentil 10 e do percentil 90, os que representam valores de anomalias negativas e positivas em todos os cenários e futuros avaliados. Nesse sentido, a incerteza nos resultados de anomalias da cota do nível d'água no banhado do Taim foi maior no futuro longo – como era esperado – devido às maiores antecedências das previsões, à alta não linearidade do clima e à propagação da incerteza associada aos modelos (estrutura e parâmetros) e às condições iniciais.

Para o cenário A2 e considerando o futuro próximo, as projeções de anomalias da cota do nível d'água em termos de mediana dos valores dos vinte MCGs se apresentaram no intervalo 0,05m a 0,10m. Este intervalo é muito similar ao obtido no cenário B2 (0,03m a 0,07m). De fato, as projeções destes dois cenários não diferem muito entre si no futuro próximo, mas as medianas das projeções do cenário A2 são um pouco superiores às correspondentes do cenário B2.

As projeções de anomalias para o futuro longo possuem também uma maior dispersão entre os resultados dos MCGs. Por exemplo, no mês de dezembro e no cenário A2, a mediana das projeções de anomalias no futuro próximo é 0,06m e os percentis 10 e 90 são iguais a -0,16m e 0,28m, respectivamente. Nesse mesmo cenário e mês, mas no futuro longo, a mediana das projeções de anomalias é 0,40m e os percentis 10 e 90 foram -0,35m e 1,28m, respectivamente.

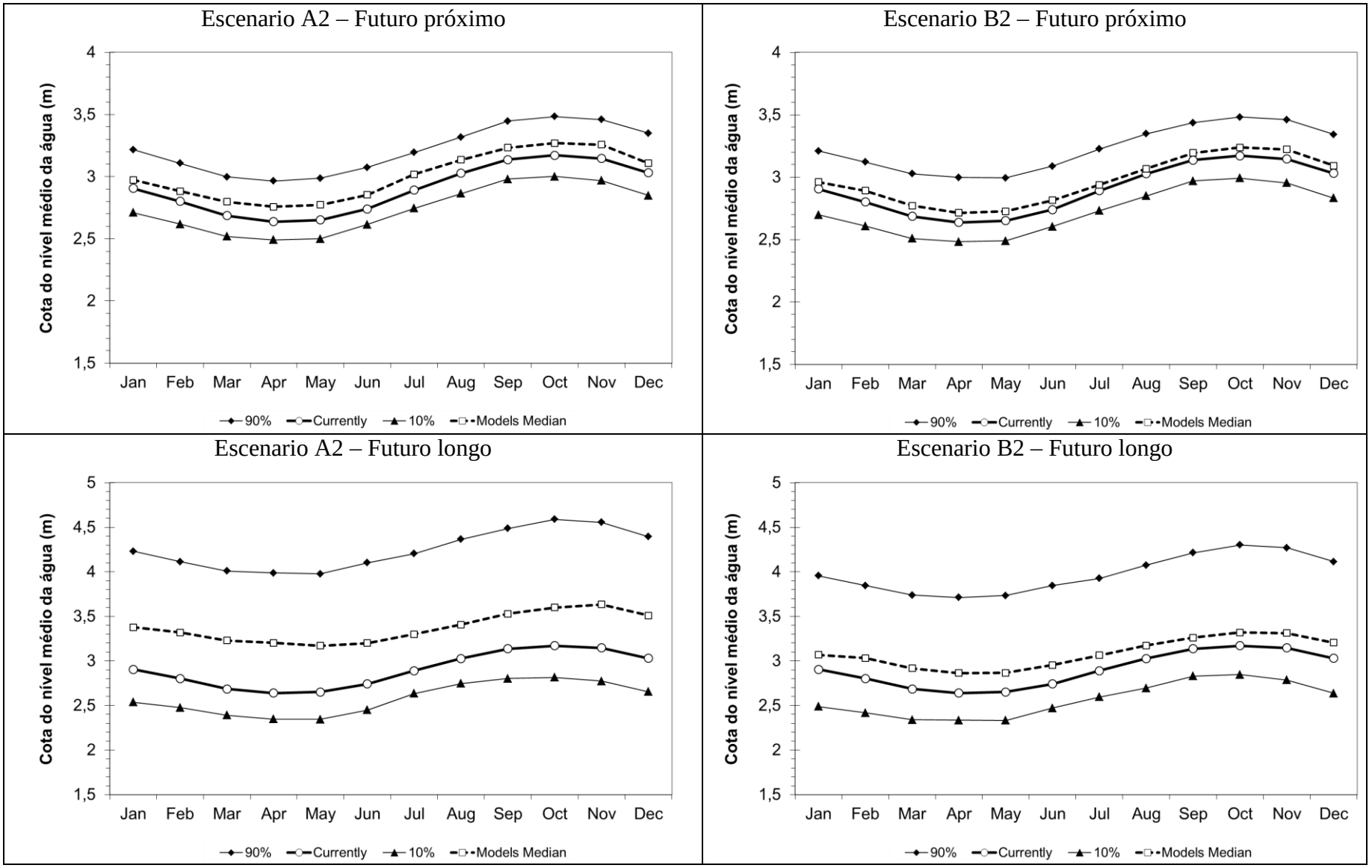

Figura 4 – Estatísticas das projeções mensais de cota do nível d'água no banhado do Taim (RS) nos cenários A2 e B2, para o futuro próximo (intervalo de 30 anos centrado em 2030) e para o futuro longo (intervalo de 30 anos centrado em 2070), considerando os 20 modelos climáticos.

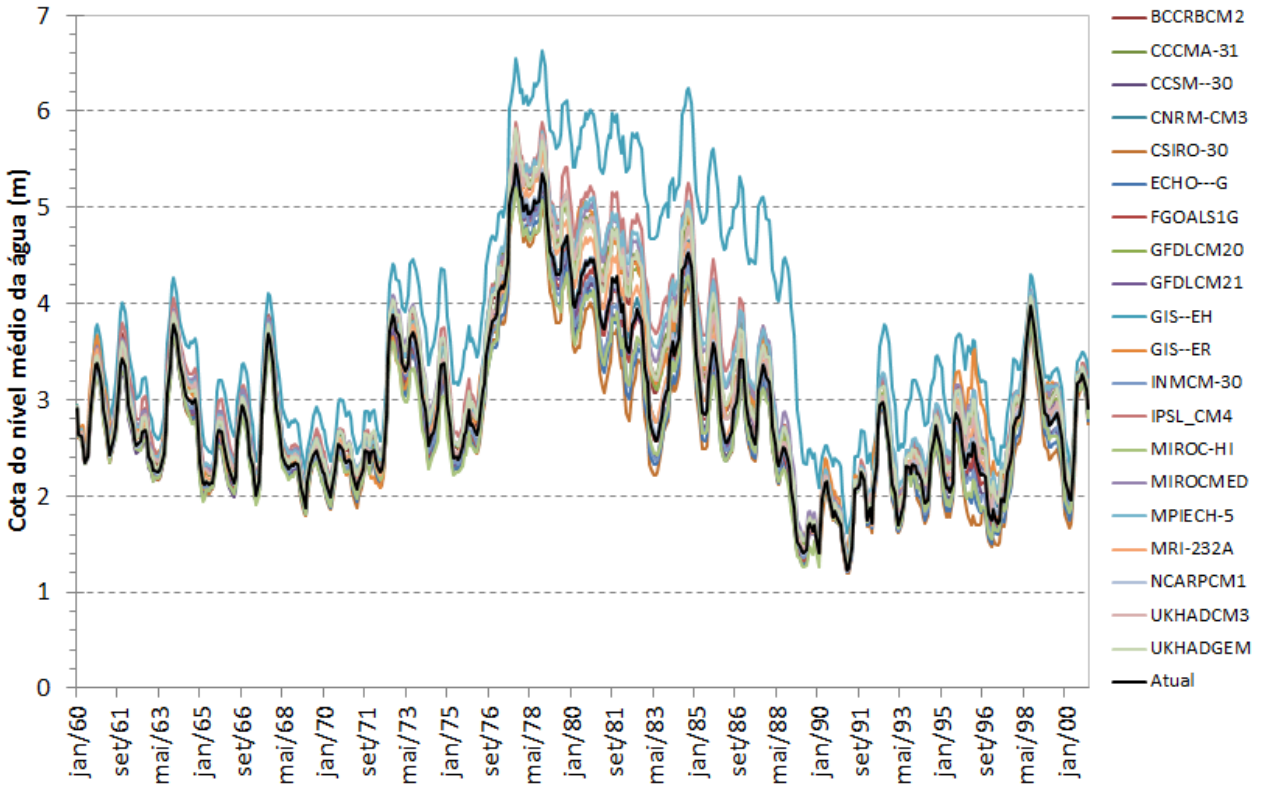

Figura 5 – Projeções mensais de cotas do nível d'água no banhado do Taim no cenário A2, futuro próximo, para os 20 modelos climáticos.

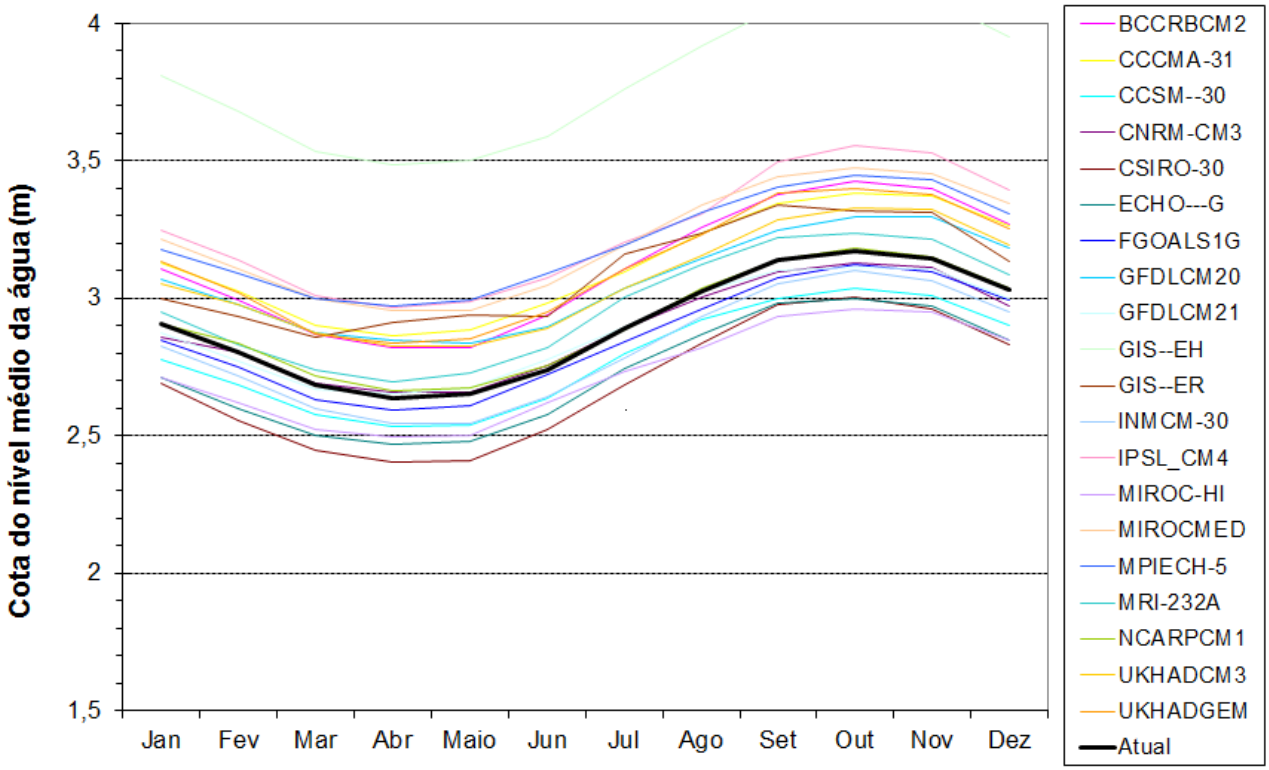

Figura 6 – Valores médios mensais das projeções de cota do nível médio d'água no banhado do Taim (hidroperiodo) cenário A2, futuro próximo, para os 20 modelos climáticos

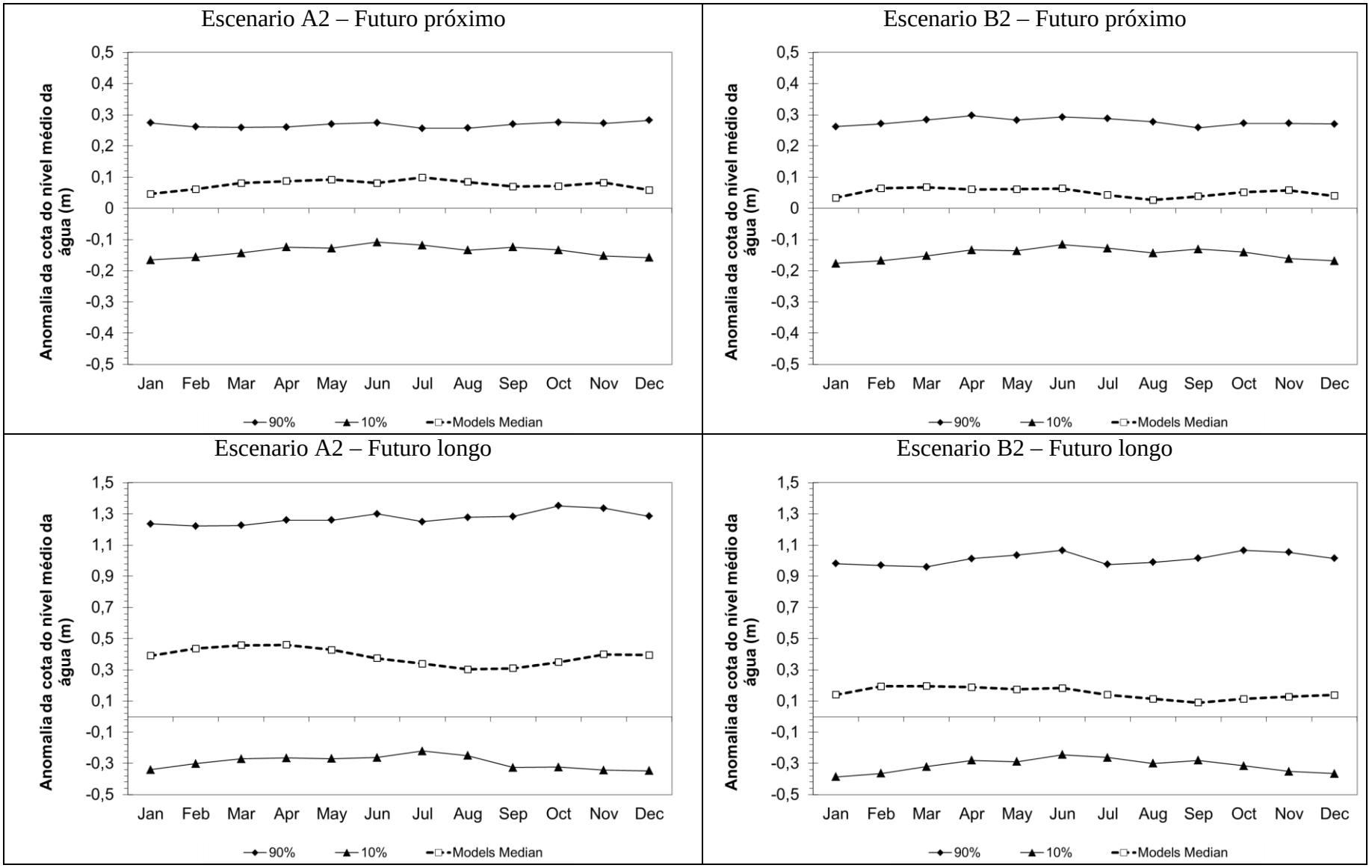

Figura 7 – Estatísticas das projeções mensais de anomalias da cota do nível d'água no banhado do Taim (RS) nos cenários A2 e B2, para o futuro próximo (intervalo de 30 anos centrado em 2030) e para o futuro longo (intervalo de 30 anos centrado em 2070), considerando os 20 modelos climáticos..

5.2- Projeções de anomalias de níveis d'água do banhado do Taim: melhores modelos

As projeções de anomalia da cota do nível médio d'água mensal no banhado do Taim (em metros) são apresentadas na Figura 8 para os dois cenários, A2 e B2, e para os dois futuros (valor médio em intervalo de trinta anos centrado em 2030, no futuro próximo, e em 2070, no futuro longo), considerando o conjunto de melhores modelos.

Em termos gerais, comparando aos resultados obtidos considerando todos os modelos, os resultados mostram maiores valores de mediana e menores incertezas nos resultados, predominando as projeções de incremento do nível médio do banhado do Taim.

Nos resultados se observa, no futuro próximo, pouca diferencia entre os cenários simulados, em termos das medianas e dos percentis das projeções do conjunto de modelos. No caso do futuro longo, as incertezas aumentam em ambos os cenários, mas com maior evidencia no cenário A2. As projeções no futuro longo também apresentam uma maior discrepância entre os resultados dos dois cenários, que a existente no futuro próximo.

Em todos os cenários e futuros avaliados, a mediana das projeções do conjunto de modelos resultou positiva, significando incrementos no valor da cota do nível médio d'água no banhado do Taim. Diferentemente dos valores o percentil 10 e do percentil 90 considerando todos os modelos, o percentil 10 e o percentil 90 estimados considerando apenas o conjunto de melhores modelos mostrou sempre valores positivos de anomalias em todos os cenários e futuros avaliados. Além disso, o valor da mediana do conjunto de melhores modelos resultou maior em todos os meses quando comparada ao valor da media dos valores mensais obtidos considerando os 20 modelos climáticos.

A incerteza nos resultados de anomalias da cota do nível d'água no banhado do Taim continuou sendo maior no futuro longo, mas considerando apenas o conjunto de melhores modelos resultou menor que considerando todos os modelos.

Para o cenário A2 e considerando o futuro próximo, as projeções de anomalias da cota do nível d'água em termos de mediana dos valores dos sete melhores MCGs se apresentaram no intervalo 0,19m a 0,24m. Este intervalo é muito similar ao obtido no cenário B2 (0,20m a 0,24m). De fato, as projeções destes dois cenários não diferem muito entre si no futuro próximo, mas as medianas das projeções do cenário A2 são um pouco superiores às correspondentes do cenário B2.

As projeções de anomalias para o futuro longo possuem também uma maior dispersão entre os resultados dos MCGs. Por exemplo, no mês de dezembro e no cenário A2, a mediana das projeções de anomalias no futuro próximo é 0,23m e os percentis 10 e 90 são iguais a 0,02m e 0,29m, respectivamente. Nesse mesmo cenário e mês, mas no futuro longo, a mediana das projeções de anomalias é 0,72m e os percentis 10 e 90 foram 0,57m e 1,07m, respectivamente.

5.3- Projeções de anomalias de níveis d'água do banhado do Taim: piores modelos

As projeções de anomalia da cota do nível médio d'água mensal no banhado do Taim (em metros) são apresentadas na Figura 9 para os dois cenários, A2 e B2, e para os dois futuros (valor médio em intervalo de trinta anos centrado em 2030, no futuro próximo, e em 2070, no futuro longo), considerando o conjunto de piores modelos.

Em termos gerais, comparando aos resultados obtidos considerando todos os modelos, os resultados mostram menores valores de mediana e maiores incertezas nos resultados, predominando as projeções de diminuição do nível médio do banhado do Taim.

Nos resultados se observa, no futuro próximo, grande diferencia entre os cenários simulados, em termos das medianas das projeções do conjunto de modelos. No caso do futuro longo, as incertezas aumentam em ambos os cenários (observe que a escala é diferente no eixo de ordenadas na Figura 7 e na Figura 9). As projeções no futuro longo também apresentam uma maior discrepância entre os resultados dos dois cenários, que a existente no futuro próximo.

Considerando apenas os resultados do conjunto de piores modelos se observou discrepância nos valores das medianas das projeções nos diferentes cenários, existindo uma tendência a aumento dos níveis no cenário A2, futuro próximo, e uma diminuição nos restantes cenários e futuros analisados.

A incerteza nos resultados de anomalias da cota do nível d'água no banhado do Taim continuou sendo maior no futuro longo, mas considerando apenas o conjunto de piores modelos resultou maior que considerando todos os modelos.

Para o cenário A2 e considerando o futuro próximo, as projeções de anomalias da cota do nível d'água em termos de mediana dos valores dos sete piores MCGs se apresentaram no intervalo 0,03m a 0,11m. Este intervalo é diferente ao obtido no cenário B2 (-0,07m a 0,00m).

As projeções de anomalias para o futuro longo possuem também uma maior dispersão entre os resultados dos MCGs. Por exemplo, no mês de dezembro e no cenário A2, a mediana das projeções de anomalias no futuro próximo é 0,05m e os percentis 10 e 90 são iguais a -0,19m e 0,58m, respectivamente. Nesse mesmo cenário e mês, mas no futuro longo, a mediana das projeções de anomalias é -0,14m e os percentis 10 e 90 foram -0,46m e 2,47m, respectivamente.

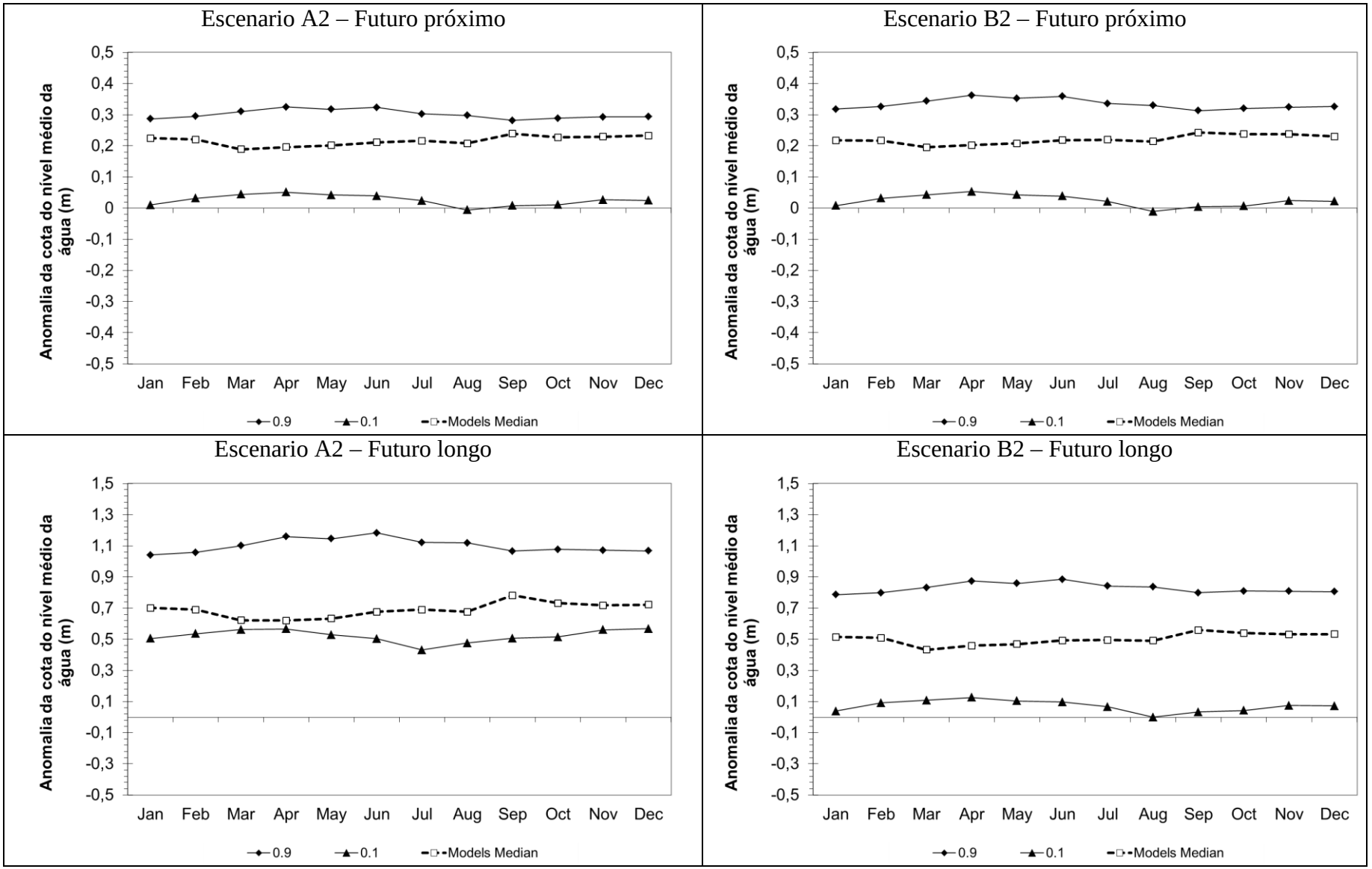

Figura 8 – Estatísticas das projeções mensais de anomalias da cota do nível d'água no banhado do Taim (RS) nos cenários A2 e B2, para o futuro próximo (intervalo de 30 anos centrado em 2030) e para o futuro longo (intervalo de 30 anos centrado em 2070), considerando o conjunto de melhores modelos climáticos.

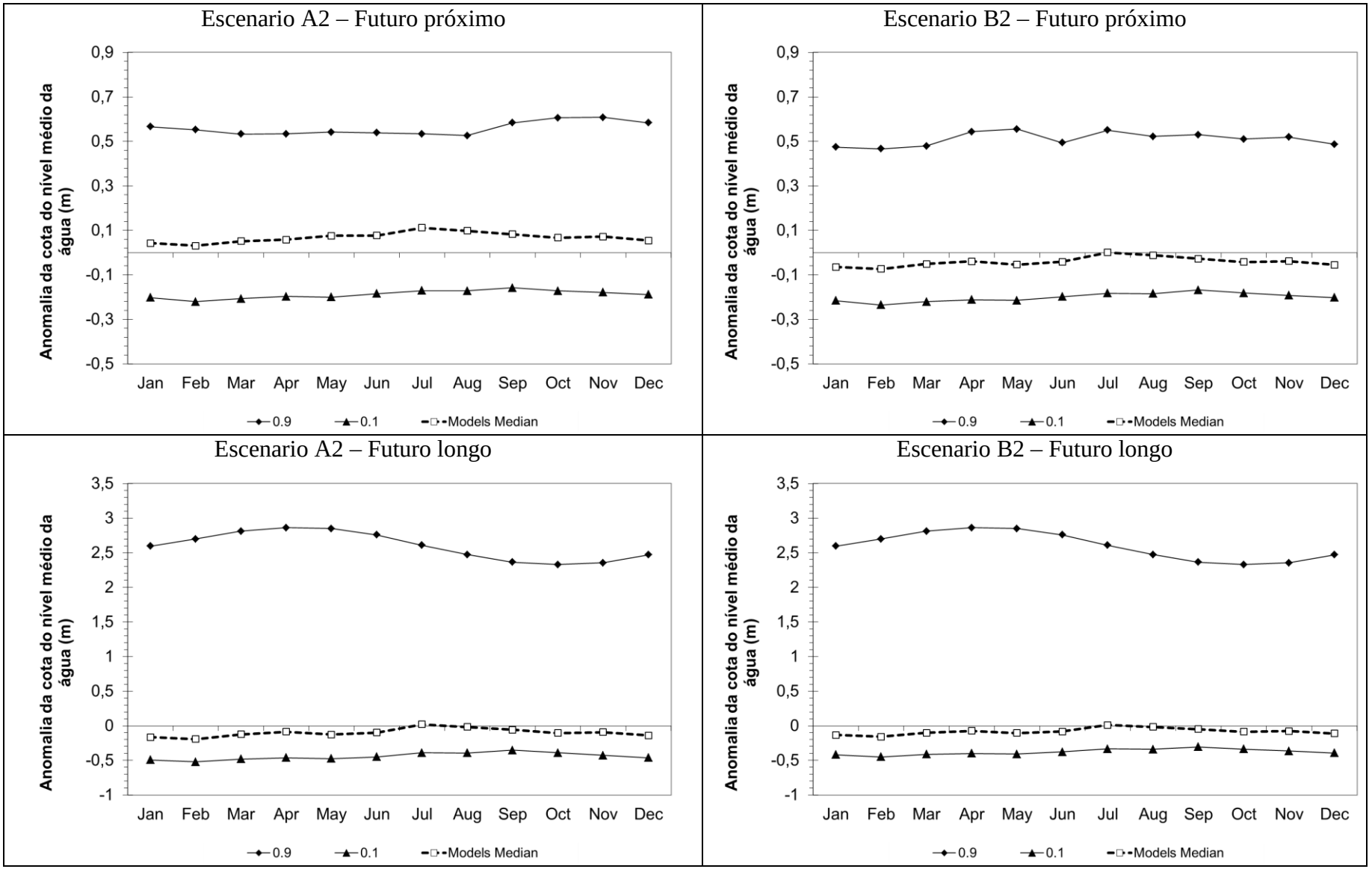

Figura 9 – Estatísticas das projeções mensais de anomalias da cota do nível d'água no banhado do Taim (RS) nos cenários A2 e B2, para o futuro próximo (intervalo de 30 anos centrado em 2030) e para o futuro longo (intervalo de 30 anos centrado em 2070), considerando o conjunto de piores modelos climáticos.

6. CONCLUSÕES

Nesse trabalho são apresentados os resultados das simulações de cenários de mudança climática na região do Sistema Hidrológico do Taim (SHT), considerando dois futuros: o futuro próximo, centrado no ano 2030, e um futuro mais longo, centrado no ano 2070. Os cenários avaliados foram o A2 e B2.

As projeções de anomalias de precipitação estimadas em um trabalho prévio foram utilizadas para perturbar a série histórica dessa variável. Posteriormente, a série perturbada foi utilizada para alimentar um modelo hidrodinâmico previamente ajustado para estimar os níveis d'água no banhado do Taim. Essas simulações permitiram estimar as projeções de alterações do hidroperiodo do banhado do Taim para os diferentes cenários de mudanças climáticas. Os resultados permitem uma visão preliminar do efeito das projeções de precipitação nos cenários de mudanças climáticas sobre os níveis do banhado do Taim.

Uma análise complementar foi ainda executada para avaliar a influência da escolha dos modelos climáticos nos resultados obtidos. Nesse sentido, as estatísticas dos resultados foram calculadas considerando os vinte modelos utilizados, considerando apenas os sete modelos que melhor representaram o clima atual da região e considerando apenas os sete modelos que pior representaram o clima atual da região.

Considerando todos os modelos, foram obtidos valores médios de anomalias do nível d'água do banhado do Taim de 0,04m a 0,13m no futuro próximo e de 0,12m a 0,56m no futuro longo. É importante ressaltar as incertezas associadas a essas projeções, em função da discrepância quanto à intensidade das anomalias estimadas.

A seleção de um conjunto de modelos dentre os vinte modelos climáticos para o calculo das estatísticas dos resultados mostrou uma grande influência nos resultados obtidos. Considerando o conjunto de modelos que melhor representou o clima atual da região, a tendência a aumento dos níveis do banhado do Taim foi mais evidente em todos os cenários e futuros analisados, ao mesmo tempo em que a faixa de incerteza dos resultados foi menor. O contrário aconteceu quando considerado o conjunto de modelos que pior representou o clima atual da região, com valores médios de anomalias que se apresentavam algumas vezes positivos e em outras vezes negativos, existindo ainda maiores faixas de incertezas nos resultados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e ao PELD/CNPq (Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração do Conselho nacional de desenvolvimento Científico e Tecnológico).

BIBLIOGRAFIA

AUMEN, N.G. (ed.). (2003). *"The role of flow in the Everglades – ridge and slough landscape"*. Science Coordination Team – South Florida Ecosystem Restoration Working Group, 62 p.

BRAVO, J.M.; MARQUES, D.M.; TASSI, R.; CARDOSO, A. (2011). "Avaliação de projeções de anomalias de temperatura e precipitação em cenários climáticos futuros na região do sistema hidrológico do Taim, RS". In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH.

CLYMO, R.S. et al. (1995). *"Conclusion: directions for research on wetlands in Britain"*. In: Hughes, J.M.R.; Heathwaite, L. (eds), Hydrology and hydrochemistry of British wetlands, John Wiley & Sons, c. 25, p. 467-478.

FRAGOSO, C.R. (2009). *"Modelagem tridimensional da estrutura trófica em ecossistemas aquáticos continentais rasos"*. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 201 pp.

GUASSELI, L.A. (2005). *"Avaliação da dinâmica da vegetação no banhado do Taim, RS"*. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 173 pp.

HAGEDORN, R., DOBLAS-REYES, F.J., PALMER, T.N. (2005). *"The rationale behind the success of multi-model ensembles in seasonal forecasting – I. Basic concept"*. Tellus 57A, pp. 219–233.

HULME, M., RAPER, S.C.B., WIGLEY, T.M.L. (1995). *"An integrated framework to address climate change (ESCAPE) and further developments of the global and regional climate modules (MAGICC)"*. Energy Police, v. 23(4/5), pp. 347-355.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2000). *"Special Report on Emissions Scenarios"*. Cambridge University Press.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). *"Climate Change 2007: The Scientific Basis-Contribution of Working Group 1 to the IPCC Fourth Assessment Report"*.

MARENGO, J.A. (2006). *"Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI"*. Série Biodiversidade, v. 26, Brasília: MMA, 212 pp.

MITSCH, W.J.; GOSSELINK, J.G. (1986). *"Wetlands"*. Van Nostrand Reinhold, New York.

MOOIJ, W.M.; DOMIS, L.N.S.; JANSE, J.H. (2009). *"Linking species- and ecosystem-level impacts of climate change in lakes with a complex and a minimal model"*. Ecological modeling, v. 220, pp. 3011-3020.

PAZ, A.R. (2003). *"Análise dos principais fatores intervenientes no comportamento hidrodinâmico do banhado do Taim (RS)"*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Porto Alegre. 155pp.

REICHLER, T., KIM, J. (2008). *"How Well do Coupled Models Simulate Today's Climate?"* Bulletin of American Meteorology Society, v. 89, pp. 303-311.

SANTER, B.D., WIGLEY, T.M.L., SCHLESINGER, M.E., MITCHELL, J.F.B. (1990). *"Developing Climate Scenarios from Equilibrium GCM Results"*. Max-Planck-Institut für Meteorologie Report No. 47, Hamburg, Germany, 29 pp.

SERRAT-CAPDEVILA, A., VALDES, J.B., PÉREZ, J.G., BAIRD, K., MATA, L.J., MADDOCK, T. (2007). *"Modeling climate change impacts – and uncertainty – on the hydrology of a riparian system: The San Pedro Basin (Arizona/Sonora)"*. Journal of Hydrology, v. 347, pp. 48-66.

TASSI, R. (2008). *"Gerenciamento ambiental de terras úmidas"*. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS. 241 pp.

VILLANUEVA, A.O.N. (1997). *"Simulação de áreas de inundação dinâmicas: canais compostos e wetlands"*. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS. 125 pp.

WIGLEY, T.M.L. (2008). *"MAGICC/SCENGEN 5.3: User Manual (version 2)"*. National Center for Atmospheric Research, Colorado, USA. 81 pp.