

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO
AMBIENTAL

**INCERTEZAS E IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE O REGIME DE VAZÕES
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUGUAI**

KATIUCIA NASCIMENTO ADAM

Tese apresentada à Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora.

ORIENTADOR: Dr. Walter Collischonn

Banca Examinadora:

Dra. Suzana Maria Gico Lima Montenegro	UFPE
Dr. Francisco Eliseu Aquino	UFRGS
Dra. Nilza Maria dos Reis Castro	UFRGS

Porto Alegre

Março, 2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por todo carinho e compreensão durante estes oito “longos” anos de pós-graduação. Em especial ao meu companheiro Gily Adam e minha adorada filha Giulia.

Agradeço infinitamente aos meus pais, Hivaldo e Cleide Nascimento, que sempre me apoiaram durante toda a vida escolar.

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), pela oportunidade de realizar este Doutorado e também a todos os docentes deste instituto que contribuíram para minha formação.

De forma especial agradeço ao professor Walter Collischonn, um grande orientador. Sempre indicando caminhos possíveis, levando em conta minhas qualidades e compreendendo minhas limitações. Obrigada professor pelo grande auxílio ao longo destes anos, por acreditar e confiar no meu trabalho e, por me ajudar nas etapas mais difíceis.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa Hidrologia de Grande Escala (HGE): Fernando Fan, Paulo Pontes, Mino Sorribas, Karen Quiroz, Margarita Pereira e Rodrigo Paiva. Agradeço a vocês pelo auxílio em questões técnicas possibilitando o desenvolvimento deste trabalho e também ao companheirismo.

Agradeço aos queridos amigos Mino Sorribas, Tirzah Melo e Anelise Huffner. Obrigada pelo apoio, incentivo e amizade.

OM seja força!

RESUMO

Mudanças climáticas podem afetar a distribuição espacial e temporal das variáveis hidrológicas, tendo como consequências alterações nos regimes de precipitação e vazão dos rios. Aumentos ou reduções no volume de escoamento de uma bacia hidrográfica podem, por exemplo, produzir danos aos ecossistemas, afetar a produção de alimentos, abastecimento de água, navegação e geração de energia. Atualmente buscam-se relações que permitam entender os processos de mudanças climáticas a fim avaliar os impactos e mitigá-los, assim como avaliar as incertezas inerentes ao processo de modelagem hidrológica de tais mudanças.

Neste contexto este trabalho apresenta uma metodologia de quantificação e análise de incertezas para estudos de mudanças climáticas, tomando como estudo de caso a bacia hidrográfica do Rio Uruguai (BHRU) com área aproximada de 110,000 Km². Para tanto três fontes de incerteza foram analisadas e comparadas: o modelo hidrológico, técnicas de remoção de viés e modelos climáticos.

O modelo hidrológico MGB-IPH foi avaliado quanto ao processo de parametrização, utilizando diferentes períodos de simulação para calibração: (i) Período de calibração 1 – MGB/P1: representando a série completa de observações de 1960-1990 com verificação no período de 1992-1999; (ii) Período de calibração 2 - MGB/P2: calibração em período seco e verificação de período de cheias (iii) Período de calibração 3 – MGB/P3: calibração em período característico de cheias e verificação de período de estiagem.

Três diferentes técnicas de remoção de viés foram aplicadas para analisar o grau de incerteza que a escolha de um determinado método de correção pode agregar ao resultado final: (i) RV1 - Técnica de Mapeamento Quantil-Quantil; (ii) RV2 - Técnica de Escalonamento Linear e (iii) RV3 - Técnica *Delta change*.

Os modelos climáticos globais (GMC's) foram analisados quanto a sua estrutura, comparando projeções de cinco diferentes modelos: MPEH5 (ECHAM5/MPI-OM), GFCM21 (GFDL-CM2.1), MRCGCM (MRI-CGCM2.3.2), HADCM3 (UKMO-HadCM3) e NCCCSM (CCSM3). Adicionalmente, também foram analisadas as projeções

climáticas de cinco diferentes versões do modelo climático regional (RCM) ETA/CPTEC: CT20, CT40, LOW, MID e HIGH.

Inicialmente os resultados das simulações provenientes de cada uma destas fontes foram comparados de maneira isolada e em seguida de maneira combinada. Portanto, a metodologia foi dividida em Etapa (1) e Etapa (2).

A Etapa (1) teve por objetivo responder a seguinte pergunta: Qual dentre as fontes de incerteza selecionadas agrega maior variação ao resultado final? Ou seja, qual destas fontes propaga maior incerteza em termos de impactos de mudanças climáticas na BHRU? Os resultados obtidos por cada uma das fontes de incerteza foram comparados em termos de anomalias de vazões médias de longo período (QMLP), máximas e mínimas anuais.

Na Etapa (2) foi realizada a análise total de incerteza, ou seja, a análise combinada dos resultados obtidos na Etapa (1). As anomalias de vazões foram apresentadas utilizando as curvas de distribuição acumulada (CDF's) e a incerteza total expressa pela diferença entre os percentis 5% e 95%.

Considerando os resultados obtidos para as vazões médias de longo período (QMLP), as fontes podem ser ordenadas de forma decrescente, em relação ao grau de incerteza que propagam: modelos climáticos globais > modelos climáticos regionais > técnicas de remoção de viés > modelo hidrológico.

Para as vazões extremas os RCM's apresentam as maiores variações de anomalias se comparadas às dos modelos hidrológicos e técnicas de remoção de viés, inclusive para ambos os extremos, máximos e mínimos. Esta variação se dá principalmente, pelos resultados de LOW e MID.

Estas informações podem ajudar os gestores e tomadores de decisão no adequado gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos sob condições de mudanças climáticas, assim como o entendimento da incerteza associada.

Palavras chaves: incertezas, mudanças climáticas, modelagem hidrológica, modelos climáticos, técnicas de remoção de viés.

ABSTRACT

Climate change can affect the spatial and temporal distribution of hydrological variables, with the consequences of changes in precipitation regimes and river flows. Increase or decrease the flow of rivers, for example, can cause damage to ecosystems, affecting food production, water supply, navigation and power generation. Currently seeking to relationships that allow understand climate change processes in order to assess the impacts and mitigate them, and assess the uncertainties inherent in hydrologic modeling process of such climate change.

This thesis aimed at the development of a methodology for quantification and analysis of uncertainties for climate change studies in hydrology , taking as a case study the basin of the Uruguay River (BHRU) with a drainage area near 110,000 km². For that three sources of uncertainty were analyzed and compared: the hydrologic model, bias removal techniques and climate models.

The hydrological model MGB-IPH was evaluated for parameterization, using different simulation periods for calibration: (i) MGB /P1: full range with calibration period (1960-1990) and validate (1992-1999); (ii) MGB / P2: calibrated in the period of dry and validated in the flood season (iii) MGB/P3: calibrated in the period of floods and validated in the dry season.

Three different bias correction methods were applied to analyze the degree of uncertainty that the choice of a particular method of correction can add to the final result: (i) RV1 - Quantil-Quantil Mapping; (ii) RV2 - Linear Scaling, and (iii) RV3 - Delta Change Technique.

Global climate models (GMC's) were analyzed for their structure, comparing projections of five different models: MPEH5 (ECHAM5/MPI-OM), GFCM21 (GFDL-CM2.1), MRCGCM (MRI-CGCM2.3.2), HADCM3 (UKMO-HadCM3) e NCCCSM (CCSM3). Additionally, climate projections from five different versions of the regional climate model (RCM) ETA / CPTEC were also analyzed: CT20, CT40, LOW, MID e HIGH.

Initially the simulation results from each of the sources of uncertainty were compared individually (single propagation) and then in a combined way (multi propagation). Therefore, the methodology was divided in Step (1) and Step (2).

Step (1) aimed to answer: Which of the selected sources of uncertainty adds more variation to the final result? Which of these sources propagates greater uncertainty in terms of impacts of climate change on BHRU? The results for each of the sources of uncertainty were compared in terms of long-term mean flow (QMLP), maximum and minimum annual flow.

In Step (2) total uncertainty analysis was performed, therefore the combined analysis of the results obtained in Step (1). The anomalies in discharge were presented using the cumulative distribution function (CDF's) and the total uncertainty expressed by the difference between the percentiles 5% and 95%.

Throughout the application of the proposed methodology it was concluded that: (i) for the extremes (maximum and minimum) annual discharges the largest source of uncertainty are the projections of the RCM's, followed by the the bias removal technique and finally the hydrological model; (ii) for the QMLP the largest source of uncertainty are followed global climate models, then the regional climate models.

This information can help managers and decision makers in the proper management and planning of water resources under climate change conditions, as well as the understanding of the associated uncertainty.

Keywords: uncertainty, climate change, hydrologic modeling, climate models, bias corrections.

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado aos meus pais Hivaldo e Cleide Nascimento.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA	2
3. OBJETIVOS	3
3. Referencial teórico	3
3.1. Aspectos Gerais de Mudanças Climáticas	3
3.2. Projeções de Mudanças Climáticas e os Cenários de Emissão de Gases do IPCC.....	6
3.3. Modelos Climáticos	8
3.3.1. Descrição Geral	8
3.3.2. Modelos Regionais	13
3.4. IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS	15
3.5. Modelagem Hidrológica dos Impactos de Mudanças Climáticas.....	17
3.6. MODELO HIDROLÓGICO MGB-IPH	20
3.6. INCERTEZAS EM ESTUDOS DE IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS	26
3.6.1. ASPECTOS GERAIS	26
3.6.2. Principais Fontes de Incerteza.....	28
3.6.2.1. Modelos Climáticos Globais e Regionais.....	29
3.6.2.2. Técnicas de Remoção de Viés	32
3.6.2.3. Modelo Hidrológico.....	35
4. METODOLOGIA.....	40
4.1. DESCRIÇÃO GERAL.....	40
4.2. ÁREA DE ESTUDO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUGUAI	41
4.3. ETAPA (1): COMPARAÇÃO E ANÁLISE DAS FONTES DE INCERTEZA	44
4.3.1. Modelagem Hidrológica	45
4.3.2. Remoção de Viés	47
4.3.3. Projeções Climáticas.....	51
4.3.3.1. Modelos Climáticos Globais	51
4.3.3.2. O Modelo Regional ETA-CPTEC	55
4.4. ETAPA (2): ANÁLISE DE INCERTEZA	59
5. RESULTADOS	62
5.1. Discretização da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai	62
5.2. Modelos Hidrológicos.....	73
5.2.1. O modelo MGB/P1	75

5.2.2 Os modelos MGB/P2 e MGB/P3.....	83
5.2.3 Modelagem hidrológica das projeções climáticas do CT40 pelos modelos MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3.....	86
5.3. Técnicas de Remoção de Viés	102
5.4. Modelos Climáticos Globais e o Modelo Regional ETA/CPTEC	117
5.5. Etapa (1) Comparação entre as Fontes de Incerteza	129
5.6. Etapa (2) Análise de Incertezas	144
6. CONCLUSÕES.....	155
7. RECOMENDAÇÕES.....	158
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159
ANEXO A.....	185
ANEXO B.....	193
ANEXO C.....	214
ANEXO D.....	216

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Concentração atmosférica de CO ₂ nos últimos 10.000 anos (painel) e desde 1750 (painel em destaque) em relação ao ano de 2005. Fonte: IPCC (2007).....	4
Figura 2 - Mudança de temperatura global (média e um desvio padrão, indicado com o sombreado) relativo a 1986-2005, projetada pelos GCM's do CMIP3 utilizando os cenários SRES (esquerda), e pelos GCM's do CMIP5 utilizando os RCPs (direita). O número de MCGs utilizados para cada cenário estão indicados entre parênteses. Fonte: Knutti e Sedláček (2012).	8
Figura 3 - Capacidade dos modelos em simular os padrões anuais de temperatura e precipitação médias, ilustrado pelos resultados das três fases mais recentes do CMIP (CMIP2, CMIP3 e CMIP5). Fonte: IPCC, 2013.....	10
Figura 4 - Média do ciclo sazonal para (a) temperatura em °C e (b) de precipitação em mm /dia.	12
Figura 5 - Projeções regionalizadas de clima nos biomas brasileiros da Amazônia, Cerrado, Caatinga, Pantanal, Mata Atlântica (setores Nordeste e Sul/Sudeste) e Pampa para os períodos de início (2011-2040), meados (2041-2070) e final (2071-2100) do século XXI, baseadas nos resultados científicos de modelagem climática global e regional. As regiões com diferentes cores no mapa indicam o domínio geográfico dos biomas. Fonte: PBMC (2013).	16
Figura 6 - Representação esquemática do modelo MGB-IPH (Fonte: Collischonn et al., 2007). 21	
Figura 7- Funções Densidade de probabilidade para os picos de vazão (topo), tempo de retorno das vazões de pico (meio) e vazões médias anuais (baixo), para diferentes projeções climáticas, e período de referencia 1961-1990. Bacia hidrográfica Chute-du-Diable no Canadá. AS PDF's são apresentadas para três horizontes de tempo 2020, 2050 and 2080 (Fonte: Minville et al, 2008).	28
Figura 8 - Exemplo de aplicação do teste diferencial split-sample em um modelo de hidrológico para simulação de vazões mensais no Rio Gers em Layrac, França. Fonte: Klemes (1986).	38
Figura 9 - Localização Bacia hidrográfica do Rio Uruguai e pontos de análise.	41
Figura 10– Esquema metodológico da análise de incerteza do modelo hidrológico	46
Figura 11 - Esquema metodológico da análise de incerteza da técnica de remoção de viés.	51
Figura 12 - Aumento de temperatura projetado pelo Modelo ETA/CPTec (40km) para o Brasil para século XXI. Adaptado de Marengo et al (2012).	56
Figura 13 - Relação entre as anomalias de temperatura (°C) e precipitação (mm/dia) projetadas para o Brasil pelo Modelo ETA para cada um dos horizontes de tempo futuros em relação ao período base (1961-1990). Fonte: Marengo et al., (2012).....	57
Figura 14 - Esquema metodológico da análise de incerteza da técnica de remoção de viés.....	59
Figura 15 - Esquema metodológico da Etapa (2).	60
Figura 16 - Divisão da bacia de estudo em 535 elementos de discretização denominados de minibacias.....	63
Figura 17- Mapa de tipos de solos na bacia do rio Uruguai.....	64
Figura 18- Mapa de classes de vegetação e tipos de usos da terra na bacia do rio Uruguai.....	65
Figura 19- Mapa de blocos (URH) da bacia do rio Uruguai.	66
Figura 20- Mapa de localização dos postos fluviométricos com dados em intervalo de tempo diário, disponíveis na base de dados da ANA.	68

Figura 21- Mapa de localização dos postos pluviométricos com dados em intervalo de tempo diário disponível na base de dados da ANA.	69
Figura 22- Temperatura Normal, calculada pelo INMET, nas estações utilizadas para a aplicação do modelo hidrológico na bacia do rio Uruguai.....	70
Figura 23- Velocidade do Vento Normal, calculada pelo INMET, nas estações utilizadas para a aplicação do modelo hidrológico na bacia do rio Uruguai.....	71
Figura 24- Pressão Atmosférica Normal, calculada pelo INMET, nas estações utilizadas para a aplicação do modelo hidrológico na bacia do rio Uruguai.....	71
Figura 25 - Umidade Relativa Normal, calculada pelo INMET, nas estações utilizadas para a aplicação do modelo hidrológico na bacia do rio Uruguai.....	72
Figura 26 - Insolação modelo hidrológico na bacia do rio Uruguai.....	72
Figura 27- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Pelotas Ponto Barra Grande.....	77
Figura 28 - Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Canoas Ponto Campos Novos.....	77
Figura 29- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Uruguai Ponto Itá...	77
Figura 30- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Passo Fundo Ponto Monjolinho.	78
Figura 31- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no Chapecó Ponto Quebra Queixo.	78
Figura 32- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Uruguai Ponto Itapiranga.	78
Figura 33 - Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Ijuí Ponto Passo São João.	79
Figura 34 - Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Pelotas.....	80
Figura 35- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Canoas. Campos Novos.....	80
Figura 36- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no Uruguai. Itá.....	81
Figura 37- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Passo Fundo. Monjolinho.	81
Figura 38- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Chapecó. Quebra Queixo.	81
Figura 39- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Uruguai. Itapiranga.	82
Figura 40- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Ijuí ponto Passo São João.	82
Figura 41– Médias Móveis de cinco anos para a série de vazão observada em Itapiranga.	83
Figura 42– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itapiranga (Período Atual).	86
Figura 43– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 1).....	87
Figura 44– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 2).....	87
Figura 45– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 3).....	88

Figura 46– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Período Atual).	88
Figura 47– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Futuro 1).	89
Figura 48– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Futuro 2).	89
Figura 49– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Futuro 3).	90
Figura 50– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Monjolinho (Futuro 2).	90
Figura 51– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Monjolinho (Futuro 3).	91
Figura 52– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Passo São João (Futuro 1).	91
Figura 53– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Passo São João (Futuro 3).	92
Figura 54– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Período atual).	92
Figura 55– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Futuro 1).	93
Figura 56– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Futuro 2).	93
Figura 57– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Futuro 3).	94
Figura 58– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itá (Futuro 3).	94
Figura 59– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 3).	95
Figura 60– Séries de vazões médias mensais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itá (Período Atual).	98
Figura 61– Séries de vazões médias mensais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itá (Futuro 1).	98
Figura 62– Séries de vazões médias mensais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itá (Futuro 2).	99
Figura 63– Séries de vazões médias mensais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itá (Futuro 3).	99
Figura 64– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga (Período Atual).	103
Figura 65– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 1).	103
Figura 66– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 2).	104
Figura 67– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 3).	104

Figura 68– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Quebra Queixo (Período Atual).....	105
Figura 69– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Campos Novos (Período Atual).	105
Figura 70– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Campos Novos (Futuro 1).	106
Figura 71– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Barra Grande (Período Atual).	106
Figura 72– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga (Período atual).....	107
Figura 73– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 1).....	107
Figura 74– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 2).....	108
Figura 75– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 3).....	108
Figura 76– Séries de vazões médias mensais obtidas por RV1, RV2 e RV3 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 1).	110
Figura 77– Séries de vazões médias mensais obtidas por RV1, RV2 e RV3 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 2).	111
Figura 78– Séries de vazões médias mensais obtidas por RV1, RV2 e RV3 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 3).	111
Figura 79– Variação das variáveis climáticas de CT40, LOW, MID, HIGH e CT20: radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e pressão atmosférica.	118
Figura 80– Variação das variáveis climáticas de GFCM, MPEH, MRCCG, HADCM, e NCCC: radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e pressão atmosférica.....	118
Figura 81- Mudanças previstas na precipitação na bacia hidrográfica do rio Uruguai a montante da sub-bacia Itaipiranga (Gráfico da esquerda: modelos regionais; Gráfico da direita: modelos globais).	119
Figura 82- Relação entre mudanças previstas na precipitação e na vazão média do rio Uruguai na sub-bacia Itaipiranga considerando diferentes modelos climáticos e diferentes períodos do futuro.	120
Figura 83 - Séries de vazões máximas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itaipiranga (Período Atual).	120
Figura 84 - Séries de vazões máximas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itaipiranga (Futuro 1).....	121
Figura 85 - Séries de vazões máximas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itaipiranga (Futuro 2).....	121
Figura 86 - Séries de vazões máximas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itaipiranga (Futuro 3).....	122
Figura 87 - Séries de vazões mínimas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itaipiranga (Período Atual).	122
Figura 88 - Séries de vazões mínimas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itaipiranga (Futuro 1).....	123

Figura 89 - Séries de vazões mínimas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 2).....	123
Figura 90 - Séries de vazões mínimas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 3).....	124
Figura 91- Vazões médias mensais na sub-bacia Itapiranga nas condições do período atual (linha preta) e nos três períodos do século XXI, considerando as projeções de mudanças climáticas das diferentes versões dos modelos regionais ETA/CPTEC.....	125
Figura 92 - Vazões médias mensais na sub-bacia Itapiranga nas condições do período atual (linha preta) e nos três períodos do século XXI, considerando as projeções de mudanças climáticas dos modelos globais.....	126
Figura 93– Comparação da variação de vazões ΔQ (%) na Sub-bacia Barra Grande: (A) vazões máximas $T_r = 2$ anos; (B) vazões mínimas $T_r = 2$ anos; (C) vazão média de longo período QMLP.	132
Figura 94– Comparação da variação de vazões ΔQ (%) na Sub-bacia Campos Novos: (A) vazões máximas $T_r = 2$ anos; (B) vazões mínimas $T_r = 2$ anos; (C) vazão média de longo período QMLP.	133
Figura 95 - Comparação da variação de vazões ΔQ (%) na Sub-bacia Itá: (A) vazões máximas $T_r = 2$ anos; (B) vazões mínimas $T_r = 2$ anos; (C) vazão média de longo período QMLP.....	134
Figura 96– Comparação da variação de vazões ΔQ (%) na Sub-bacia Monjolinho: (A) vazões máximas $T_r = 2$ anos; (B) vazões mínimas $T_r = 2$ anos; (C) vazão média de longo período QMLP.	135
Figura 97– Comparação da variação de vazões ΔQ (%) na Sub-bacia Quebra Queixo: (A) vazões máximas $T_r = 2$ anos; (B) vazões mínimas $T_r = 2$ anos; (C) vazão média de longo período QMLP.	136
Figura 98– Comparação da variação de vazões ΔQ (%) na Sub-bacia Itapiranga: (A) vazões máximas $T_r = 2$ anos; (B) vazões mínimas $T_r = 2$ anos; (C) vazão média de longo período QMLP.	137
Figura 99 – Comparação da variação de vazões ΔQ (%) na Sub-bacia Passo São João: (A) vazões máximas $T_r = 2$ anos; (B) vazões mínimas $T_r = 2$ anos; (C) vazão média de longo período QMLP.	138
Figura 100 – Curvas de probabilidade acumulada para as anomalias de vazões máximas ($Q_{m\acute{a}x}$), mínimas ($Q_{m\acute{i}n}$) e médias de longo período (QMLP) para os Futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Campos Novos. P5, P50, P95: percentis 5%, 50% e 95%. Incerteza: amplitude entre P5 e P95.	145
Figura 101– Curvas de probabilidade acumulada para as anomalias de vazões máximas ($Q_{m\acute{a}x}$), mínimas ($Q_{m\acute{i}n}$) e médias de longo período (QMLP) para os Futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Barra Grande. P5, P50, P95: percentis 5%, 50% e 95%. Incerteza: amplitude entre P5 e P95.....	146
Figura 102– Curvas de probabilidade acumulada para as anomalias de vazões máximas ($Q_{m\acute{a}x}$), mínimas ($Q_{m\acute{i}n}$) e médias de longo período (QMLP) para os Futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Itá. P5, P50, P95: percentis 5%, 50% e 95%. Incerteza: amplitude entre P5 e P95.	147
Figura 103– Curvas de probabilidade acumulada para as anomalias de vazões máximas ($Q_{m\acute{a}x}$), mínimas ($Q_{m\acute{i}n}$) e médias de longo período (QMLP) para os Futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Monjolinho. P5, P50, P95: percentis 5%, 50% e 95%. Incerteza: amplitude entre P5 e P95....	148

Figura 104– Curvas de probabilidade acumulada para as anomalias de vazões mínimas ($Q_{mín}$), máximas ($Q_{máx}$) e médias de longo período (QMLP) para os Futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Quebra Queixo. P5, P50, P95: percentis 5%, 50% e 95%. Incerteza: amplitude entre P5 e P95.	149
Figura 105 – Curvas de probabilidade acumulada para as anomalias de vazões máximas ($Q_{máx}$), mínimas ($Q_{mín}$) e médias de longo período (QMLP) para os Futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Itapiranga. P5, P50, P95: percentis 5%, 50% e 95%. Incerteza: amplitude entre P5 e P95.	150
Figura 106– Curvas de probabilidade acumulada para as anomalias de vazões máximas ($Q_{máx}$), mínimas ($Q_{mín}$) e médias de longo período (QMLP) para os Futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Passo São João. P5, P50, P95: percentis 5%, 50% e 95%. Incerteza: amplitude entre P5 e P95.	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros fixos do modelo MGB-IPH. Adaptado de Fan (2011).....	23
Tabela 2 - Parâmetros calibráveis do modelo MGB-IPH. Adaptado de Fan (2011).	24
Tabela 3 - Identificação dos pontos analisados na BHRU	42
Tabela 4- Resumo técnico dos modelos climáticos globais avaliados. Adaptado de Solomon et al. (2007).	54
Tabela 5 - Nomenclatura dos modelos globais e regionais de acordo com os períodos de tempo de simulados.	58
Tabela 6- Características das URH da bacia do rio Uruguai	66
Tabela 7- Estações climatológicas com dados de normais utilizadas.	70
Tabela 8- Valores de Albedo adotados para a bacia do rio Uruguai.....	73
Tabela 9- Valores de Índice de Área Foliar (IAF) adotados para a bacia do rio Uruguai.....	73
Tabela 10 - Valores da altura média das árvores adotados para a bacia do Uruguai.....	74
Tabela 11 - Valores da resistência superficial em boas condições de umidade do solo adotados para a bacia do Rio Uruguai.	74
Tabela 12 - Conjunto de parâmetros calibráveis do MGB/P1, definidos na calibração manual do modelo para a sub-bacia 6 (517_Itapiranga).	75
Tabela 13 - Medidas de desempenho nos diferentes pontos em análise no período de calibração (de 01/01/1960 até 31/12/1990).	75
Tabela 14 - Medidas de desempenho nos diferentes pontos analisados no período de verificação (de 01/01/1992 até 31/12/1999).	79
Tabela 15 - Medidas de desempenho nos diferentes pontos analisados no período de Calibração (01/01/1983 a 31/12/1987) do Modelo MBG/P2	84
Tabela 16 - Medidas de desempenho nos diferentes pontos analisados no período de Verificação (01/01/1976 a 31/12/1980) do Modelo MBG/P2	84
Tabela 17 - Medidas de desempenho nos diferentes pontos analisados no período de Calibração (01/01/1976 a 31/12/1980) do Modelo MGB/P3	85
Tabela 18- Medidas de desempenho nos diferentes pontos analisados no período de Verificação (01/01/1983 a 31/12/1987) do Modelo MGB/P3	85
Tabela 19– Sumário estatístico das séries de vazões máximas e mínimas anuais	96
Tabela 20– Sumário estatístico das séries de vazões médias anuais.....	100
Tabela 21– Sumário estatístico das séries de vazões máximas e mínimas anuais	109
Tabela 22– Sumário estatístico das séries de vazões médias anuais.....	112
Tabela 23 - Teste Kolmogorov-Smirnov para duas amostras. Comparação entre RV1 e RV2 para vazões Máximas ($Q_{m\acute{a}x}$) e mínimas ($Q_{m\acute{i}n}$) anuais.	115
Tabela 24– Sumário estatístico das séries de vazões máximas e mínimas anuais.	127
Tabela 25 – Sumário estatístico das séries de vazões médias anuais. Sub-bacia Itapiranga....	127
Tabela 26– Valores de vazões máximas (m^3/s) com período de retorno (T_r) de 2 anos nos quatro horizontes de tempo analisados e anomalias de vazão máximas (Δ) em % obtidas para cada fonte de incerteza e horizontes de tempo. Sub-bacia Itapiranga	130

1. INTRODUÇÃO

Atualmente buscam-se relações que permitam entender os processos de mudanças climáticas a fim de avaliar seus impactos e mitigá-los. No contexto de bacia hidrográfica, a modelagem hidrológica dos possíveis impactos de mudanças climáticas tem sido a metodologia mais aplicada. Esta abordagem envolve a utilização de cenários hipotéticos de emissão de gases de efeito estufa (GEE), projeções de clima por modelos climáticos globais (GCMs) e ou regionais (RCM's), técnicas de *downscaling* (transferência de informações de GCM's a escala regional), técnicas de remoção de viés e modelos hidrológicos. Neste contexto, as projeções climáticas, para um período atual e em diferentes horizontes de tempo no futuro, são simuladas pelo modelo hidrológico e o impacto é avaliado pela comparação entre tais séries.

Esta abordagem, no entanto, está associada a uma série de incertezas que se propagam, desde a suposição de comportamento das futuras gerações e emissão de gases do efeito estufa (cenários de emissão de GEE), aplicação de projeções de clima oriunda de modelos climáticos globais e ou regionais, técnicas de remoção de viés até a simulação com modelos hidrológicos.

Existe, portanto, um consenso emergente sobre a importância de avaliação e quantificação das fontes de incertezas inerentes a estudos de mudanças climáticas.

Conhecer e mensurar as incertezas permite obter uma visão consistente de como os resultados podem e devem ser interpretados. Embora a redução da incerteza em dados e modelos, obviamente, contribua para previsões mais confiáveis, a quantificação das incertezas é igualmente importante para aumentar a confiabilidade em estudos de mudanças climáticas.

Estudos em bacias hidrográficas brasileiras têm utilizado diferentes modelos climáticos globais para estimar os impactos de mudanças climáticas, no entanto poucos têm avaliado a influência das demais fontes de incertezas. Em âmbito internacional, várias pesquisas já evidenciam a importância da contribuição de outras fontes de incerteza, como modelo hidrológico, técnicas de remoção de viés e *downscaling*.

Neste contexto a presente tese propôs a quantificação das incertezas que envolvem a modelagem hidrológica de mudanças climáticas, tendo como estudo de caso, a Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai (BHRU), sob a hipótese de que: **através de uma metodologia de análise e quantificação de incertezas é possível verificar que tanto os modelos climáticos quanto o modelo hidrológico e a escolha de diferentes técnicas de remoção de viés agregam incertezas significativas ao estudo de mudanças climáticas.**

2. JUSTIFICATIVA

É possível que algumas incertezas possam ser reduzidas, através de melhorias de pesquisa ou de modelagem. Neste caso a quantificação e análise de fontes de incerteza pode permitir melhor investigação em áreas específicas onde a incerteza é grande, mas potencialmente redutíveis. Em casos onde as incertezas são irredutíveis sua quantificação é vital para facilitar uma abordagem baseada no risco para a tomada de decisão.

No contexto nacional, em estudos de incertezas e impactos de mudanças climáticas nos recursos hídricos, apenas um número reduzido de fontes de incerteza vêm sendo analisado. No que se refere ao regime de vazões, ainda não foi abordada uma metodologia que contemple a análise combinada de diferentes fontes, bem como a quantificação da influência de cada uma destas fontes propaga a modelagem hidrológica de mudanças climáticas.

Em relação à Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, possíveis mudanças climáticas podem ter impacto para a geração de energia hidrelétrica, produção de alimentos e aumento na frequência de eventos extremos. Dessa forma estudos de mudanças climáticas e seus possíveis impactos, bem como a avaliação das incertezas se faz necessária para adequado planejamento e minimização de impactos nesta área de estudo.

3. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma metodologia para quantificação e análise de incertezas em estudos de impactos de mudanças climáticas no regime de vazão, tomando como exemplo ou estudo de caso a Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai e tendo como foco as seguintes fontes de incerteza: modelos globais e regionais, técnicas de remoção de viés e modelo hidrológico.

Como objetivo específico este trabalho pretende quantificar a influência relativa a cada uma das fontes de incerteza e verificar qual dentre elas agrega maior variação ao resultado final.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Aspectos Gerais de Mudanças Climáticas

O sistema climático consiste de cinco componentes principais que interagem entre si: a atmosfera, a hidrosfera, a criosfera, a litosfera, e a biosfera. Este sistema modifica-se com o tempo pela influência de sua própria dinâmica interna e por causa de forçantes externas naturais e antropogênicas. Quando variações, deste sistema, permanecem constantes, estatisticamente significativas e persistindo por um extenso período, tipicamente de décadas ou mais, caracteriza-se uma mudança climática (IPCC, 2007; 2013).

Em um estado climático de equilíbrio, a energia solar global média absorvida pelo sistema da Terra é balanceada pela radiação média global de ondas longas (radiação infravermelha) que é emitida para o espaço, existindo assim um equilíbrio radiativo no topo da atmosfera. Desequilíbrios da radiação podem ocorrer a partir de processos naturais (erupções vulcânicas, mudanças na produção solar total, dentre outros) e influências humanas, como por exemplo, a queima de combustíveis fósseis e consequente aumento da concentração de gases do efeito estufa (GEE), como o CO₂.

Diferentes estudos têm relacionado o aumento de temperatura à concentração de CO₂ na atmosfera. De acordo com Marcott et al, (2013) no período pré-industrial

(1750) a concentração de CO₂ era de 275 ppm, passando para 350 ppm em 1988, o que estaria conferindo aumento de 1° C na temperatura média global de superfície. A Figura 1 mostra a evolução da concentração de CO₂ em ppm ao longo dos últimos 10.000 anos assim como sua correspondente forçante radiativa.

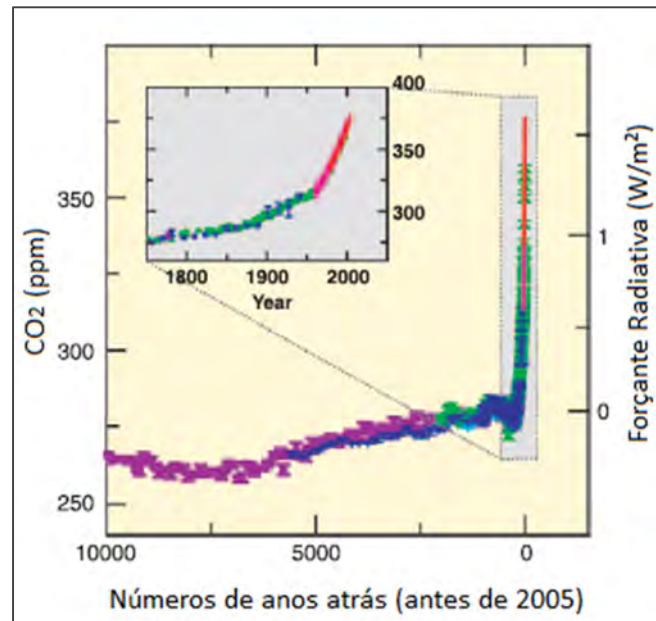


Figura 1 - Concentração atmosférica de CO₂ nos últimos 10.000 anos (painel) e desde 1750 (painel em destaque) em relação ao ano de 2005. Fonte: IPCC (2007).

Segundo Jalota et al. (2013), o nível de CO₂ na atmosfera do planeta é de 390 ppm com uma projeção de alcançar 700 ppm em diferentes cenários futuros de mudanças climáticas, enquanto que, nos últimos 100 anos, a temperatura média global se elevou em $0,74 \pm 0,18$ °C (Trenberth e Jones, 2007). Modelos de projeções climáticas apresentados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013) indicam que, sob um cenário mais pessimista, a temperatura da superfície da Terra poderá aumentar de 1,1 a 6,4 °C durante o século XXI. Segundo Olesen e Bindi (2002), espera-se que efeitos positivos destas mudanças sejam encontrados somente em países nórdicos.

Embora grande parte da comunidade científica aceite as evidências de que grande parte do aquecimento global nos últimos anos é uma resposta ao aumento nas concentrações de GEE na atmosfera, ainda existem lacunas sobre o tema que causam opiniões contraditórias sobre a influência antropogênica para a mudança climática, tais

como: flutuações naturais de temperatura e a relação de causa e efeito entre CO₂ e aumento de temperatura.

De acordo com Oreskes (2004), há um consenso entre a maioria dos cientistas de mudanças climáticas, baseado em boas evidências, de que o clima da Terra está sendo afetado pelas atividades humanas. Dessa forma, segundo a autora, a questão atual não é discutir se a mudança climática existe ou não, mas decidir como proceder a partir desta realidade.

Segundo Pielke Jr (2005), apesar de um grande número de pesquisadores estarem em consenso sobre a influência antrópica para o aumento de temperatura, há muitos detalhes sobre as interações climáticas que não são bem compreendidos, e que existem, portanto, amplas razões para a investigação continuada sobre o tema.

Beven (2011) em seu artigo intitulado "*I believe in climate change but how precautionary do we need to be in planning for the future?*" ressalta a importância do melhoramento dos atuais modelos climáticos. Segundo o autor, apesar de apresentarem grandes incertezas, os modelos climáticos e suas respectivas projeções de clima, são a principal ferramenta utilizada em estudos de análise dos possíveis impactos de mudanças climáticas. Beven lembra ainda que, no âmbito dos recursos hídricos, há outros fatores, como desmatamento, urbanização, intensificação da agricultura, que podem ser mais importantes, em escalas de tempo decadais, para a bacia hidrográfica do que uma possível mudança climática.

Existem grandes incertezas sobre a complexidade do clima global e sua resposta a perturbações externas. As forçantes climáticas representam perturbações impostas ao sistema climático global (Neeling, 2011), tendo origens naturais (mudanças na radiação solar e erupções vulcânicas) e antrópicas (alterações nas concentrações de gases do efeito estufa GEE e aerossóis). Forçantes positivas induzem a um aumento na temperatura média global na superfície, e as negativas induzem a uma redução. De acordo com IPCC (2014), os efeitos das atividades humanas devem ser vistos dentro do modelo da forçante radiativa global, que se refere à quantidade pela qual um fator altera o balanço de radiação no topo da atmosfera, expresso em unidades de W/m².

A magnitude da resposta da temperatura global à forçante climática depende dos feedbacks (retroalimentação) correspondentes. Os mecanismos de feedbacks atuam como controles internos do sistema climático e resultam de um acoplamento especial ou ajustamento entre dois ou mais subsistemas (Barry e Chorley, 2013).

Outra forma utilizada para avaliar a resposta climática à forçantes radiativas é o conceito de sensibilidade climática, que segundo IPCC (2014), representa a alteração do equilíbrio na média global anual da temperatura do ar superficial após uma duplicação no equivalente do dióxido de carbono atmosférico. Ou seja, sensibilidade climática é resposta para a seguinte pergunta: Quanto aumenta a temperatura quando se duplica a quantidade de CO₂?

A duplicação na concentração de CO₂ equivale a uma forçante radiativa de aproximadamente 4 W/m² (Barry e Chorley, 2013). Em resposta a essa duplicação a superfície e atmosfera se aqueceriam. Em um determinado ponto, o equilíbrio radiativo seria restaurado com uma nova e mais alta temperatura superficial. Estimativas da sensibilidade climática obtidas com a atual geração de modelos climáticos globais variam de 2,1 a 4,4 °C, com a melhor estimativa em 3.0 °C (Forster et al., 2013).

3.2 Projeções de Mudanças Climáticas e os Cenários de Emissão de Gases do IPCC.

Todo o processo de obtenção de futuras mudanças da temperatura global terrestre (e outras variáveis climáticas) inicia-se com a construção de cenários, daí a sua importância. Um cenário pode ser definido como uma descrição do futuro, baseando-se num conjunto de suposições, acerca de relações-chaves e mecanismos geradores, que devem ser coerentes e consistentes. Neste caso, os resultados são denominados projeções climáticas, que segundo IPCC (2014), é a resposta do sistema climático a um cenário de emissão e ou concentração de gases do efeito estufa e aerossóis, ou cenários de forçantes radiativas frequentemente baseadas em simulações de modelos climáticos.

Em 2007, em seu quarto relatório (AR4) sobre mudanças climáticas, O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) adotou um conjunto de cenários climáticos, conhecidos como cenários SRES (“Special Report on Emissions Scenarios”), que foram agrupados de acordo com quatro projeções diferentes de emissões de gases de efeito estufa para o futuro, relacionados com aspectos de desenvolvimento social, econômico e tecnológico, crescimento populacional, preocupação com o meio ambiente e diferenças regionais. Estes grupos de cenários são conhecidos como cenários A1, A1B, A2, B1 e B2. Também ocorrem variações destes grupos como os cenários A1T e A1F.

Resumidamente os cenários A2 e A1F representam uma perspectiva pessimista, com previsão de maior emissão de GEE na atmosfera ao longo das próximas décadas, enquanto os cenários B1, B2, e A1T representam uma perspectiva mais otimista, com menor emissão de GEE nas próximas décadas. Dentre estes conjuntos de cenários, o A1B (chamado de *business as usual* ou BAU) é o que tem sido investigado de forma mais ampla (BARRY E CHORLEY, 2013; NAKICENOVIC, 2000; WEHNER, 2013) e apresenta uma projeção de emissões de GEE intermediárias em relação aos demais cenários.

No quinto Relatório (AR5), publicado em 2014 pelo IPCC, foram estabelecidos novos cenários, os chamados RCP’s (Representative Concentration Pathways). Os RCP’s recebem nomes a partir dos níveis das forçantes radiativas, para o horizonte de tempo até o final deste século (2100) em relação ao ano de 1750. Assim, RCP-X implica em um cenário no qual a forçante radiativa de estabilização ou de pico ou ao final do século XXI corresponde a $X \text{ W/m}^2$ (SILVEIRA et al., 2013).

Em comparação a projeções das forçantes radiativas (RF) totais para o ano de 2100 os cenários RCP e SRES, as estimativas dos RCPs são mais abrangentes, no entanto há similaridades entre os grupos. A Figura 2 mostra a comparação entre o aumento de temperatura média global prevista pelos cenários SRES e RCPs.

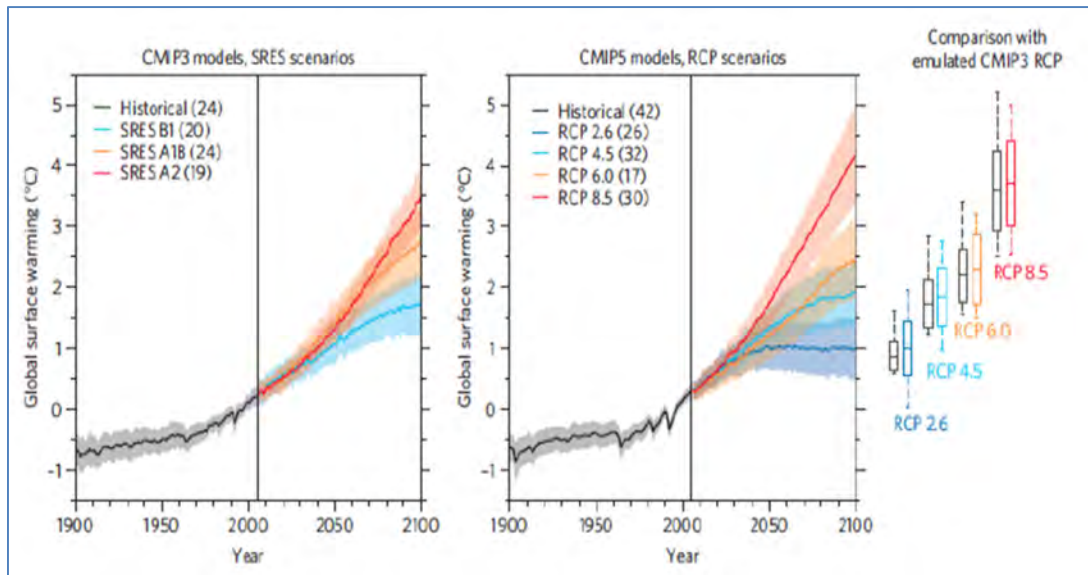


Figura 2 - Mudança de temperatura global (média e um desvio padrão, indicado com o sombreado) relativo a 1986-2005, projetada pelos GCM's do CMIP3 utilizando os cenários SRES (esquerda), e pelos GCM's do CMIP5 utilizando os RCPs (direita). O número de MCGs utilizados para cada cenário estão indicados entre parênteses. Fonte: Knutti e Sedláček (2012).

O cenário RCP4.5 está perto de SRES B1, RCP6 está perto de SRES A1B (mais depois de 2100 do que durante o século 21) e RCP8.5 é um pouco maior do que A2 em 2100 e perto do cenário SRES A1FI. RCP2.6 é menor do que qualquer um dos cenários SRES (Moss et al, 2010; Van Vuuren et al, 2011).

3.3. Modelos Climáticos

3.3.1. Descrição Geral

Os modelos climáticos são programas de computador extremamente sofisticados que simulam o sistema climático e suas complexas interações entre a atmosfera, oceano, superfície terrestre, neve, gelo e o ecossistema global, além de uma variedade de processos químicos e biológicos (IPCC, 2014). Nos Modelos de Circulação Geral (GCM), popularmente conhecidos como modelos climáticos globais, o sistema climático é descrito em termos de princípios físicos, químicos e biológicos através de uma série de equações que expressam estas leis.

Nos modelos de circulação geral, processos dinâmicos e termodinâmicos e as trocas de radiação e massa são modelados utilizando-se de cinco conjuntos básicos de equações (Barry e Chorley, 2013):

1. Equações tridimensionais do movimento, ou seja, conservação de momento;
2. Equação da continuidade (conservação de massa ou equação hidrodinâmica);
3. Equação da continuidade para vapor de água atmosférico (conservação do vapor de água);
4. Equação de conservação de energia, ou seja, equação termodinâmica derivada da primeira lei da termodinâmica; e
5. Equação de estado para a atmosfera.

Além destas, equações de conservação adicionais para outros constituintes atmosféricos, tais como aerossóis de enxofre, podem ser aplicadas em modelos mais complexos.

Os GCMs utilizados em pesquisas sobre o clima vão desde modelos simples de equilíbrio de energia a modelos mais complexos que exigem alto desempenho computacional. A escolha do modelo depende diretamente da questão científica a ser abordada (IPCC, 2013).

Os Modelos Acoplados de Circulação Geral da Atmosfera e Oceanos (AOGCM) têm tido grande ênfase dentre os modelos avaliados pelo IPCC. Sua principal função é entender e representar a dinâmica dos componentes físicos do sistema climático (atmosfera, oceano, terra e mar de gelo), gerando estimativas do clima futuro com base no aumento de gases do efeito estufa e aerossóis.

A fim de gerar confiança ao desempenho dos modelos climáticos globais, um projeto chamado Coupled Model Intercomparison Project (CMIP), foi implementado para avaliar e comparar modelos de vários centros de pesquisas climáticas ao redor do mundo. Esta avaliação é feita usando procedimentos comuns e dados padronizados, como por exemplo, a temperatura na superfície do mar, proporcionando assim uma ampla documentação sobre a estrutura dos modelos e os detalhes de suas parametrizações. Os modelos citados pelo quarto relatório de avaliação de mudanças climáticas do IPCC, o AR4, compreendem ao CMIP Fase 3 (CMIP3) enquanto que os modelos do AR5 compreendem ao CMIP fase 5 (CMIP5).

Os modelos climáticos atuais estão incorporando mais processos relevantes em comparação ao AR4, porém a confiança na representação destes processos continua fraca (IPCC, 2013). Apesar do progresso que tem sido feito, a incerteza científica sobre os detalhes de muitos processos permanece, como a representação de partículas de aerossóis e sua interação com nuvens e transferência radiativa.

Um exemplo das mudanças no desempenho dos modelos, ao longo do tempo, é mostrado na Figura 3. A figura mostra a correlação entre a temperatura observada e simulada (quadro superior) e precipitação (quadro inferior). Valores maiores indicam melhor correspondência entre padrões espaciais modelados e observados. Os pontos pretos indicam o coeficiente de correlação para os modelos individuais, e os pontos verdes indicam o valor médio.

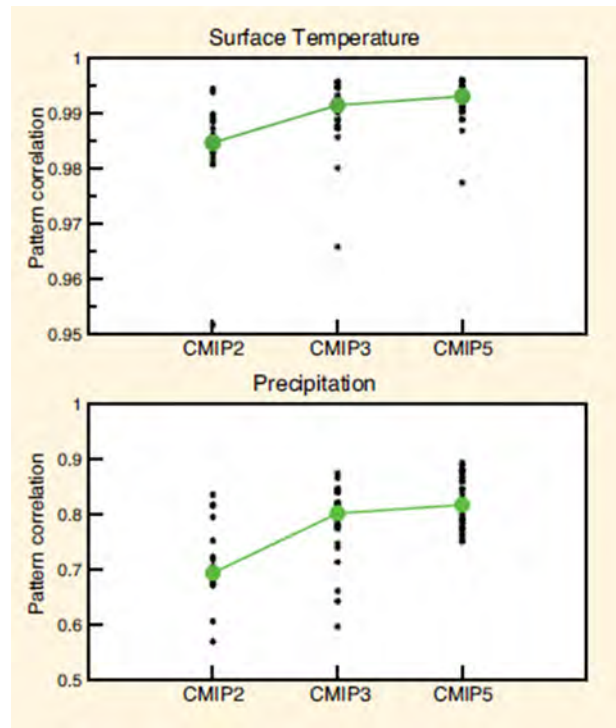


Figura 3 - Capacidade dos modelos em simular os padrões anuais de temperatura e precipitação médias, ilustrado pelos resultados das três fases mais recentes do CMIP (CMIP2, CMIP3 e CMIP5). Fonte: IPCC, 2013.

Observa-se que para os valores médios não houve grande avanço nos resultados do CMIP5 em relação ao CMIP3. Já em análise individual, se percebe que as incertezas entre as projeções dos modelos climáticos têm reduzido, principalmente para a variável temperatura. De acordo com o IPCC esta maior correlação entre os

resultados das projeções do CMIP5 mostra que há um avanço na qualidade das simulações dos modelos climáticos e que a incerteza tende a ser reduzida pela concordância entre as projeções dos diferentes modelos. No entanto, Pirtle et al. (2010) atentam para o fato de que a concordância entre os resultados de diferentes modelos climáticos só pode ser significativa e evidenciar redução de incertezas se estes modelos forem independentes entre si.

Outra comparação entre os modelos do CMIP3 e CMIP5 é mostrada na Figura 4 para ciclos sazonais de temperatura e precipitação em diferentes regiões.

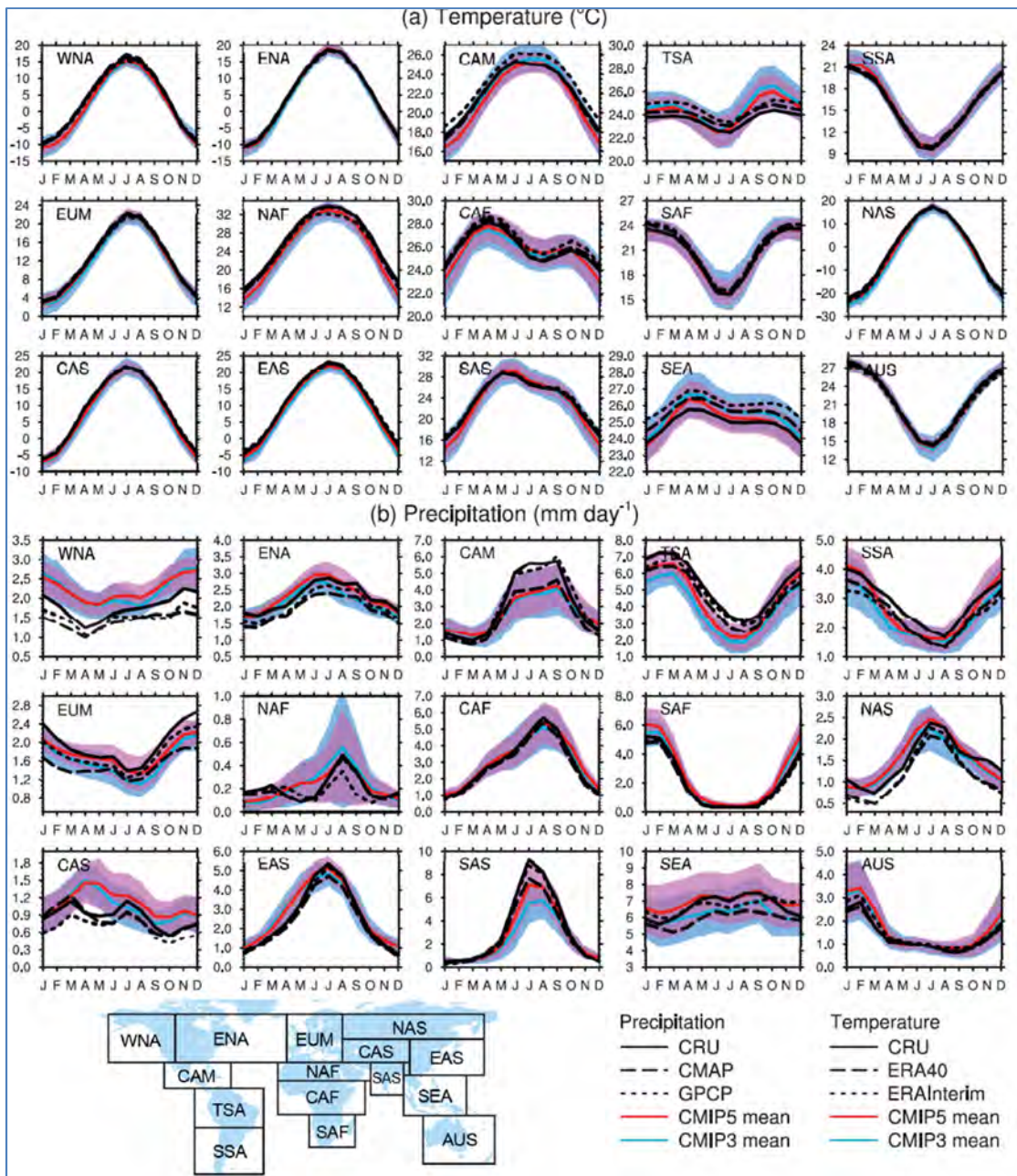


Figura 4 - Média do ciclo sazonal para (a) temperatura em °C e (b) de precipitação em mm /dia. A média é tomada para cada uma das regiões indicadas, ao longo do período 1980-1999. A linha vermelha representa a média dos mais de 45 modelos do CMIP5; a linha azul representa a média dos mais de 22 modelos CMIP3. O desvio padrão do respectivo conjunto de dados está indicado com sombreamento. Os diferentes estilos de linha em preto referem-se aos dados de observação e reanálise: Unidade de Pesquisa Climática (CRU) TS3.10, ECMWF 40 anos reanálise (ERA40) e ERA-Interim para a temperatura; CRU TS3.10.1, a Global Precipitation Climatology Projetos (GPCP) e CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP) para a precipitação. As 15 regiões mostradas são: Oeste da América do Norte (WNA), leste da América do Norte (ENA), América Central (CAM), South America (TSA), sul da América do Sul (SSA), da Europa e do Mediterrâneo (EUM), África do Norte (NAF), África Central (CAF), África do Sul (SAF), Norte da Ásia (NAS), Ásia Central (CAS), na Ásia Oriental (EAS), Sul da Ásia (SAS), Sudeste Asiático (SEA) e Austrália (AUS). Fonte: IPCC (2014).

A Figura 4 mostra que a simulação da temperatura é geralmente melhor do que da precipitação em termos de amplitude e fase do ciclo sazonal. A média entre os modelos está mais perto de observações que a maioria dos modelos individuais. A diferença sistemática entre os ensembles CMIP5 e CMIP3 é pequena na maioria das regiões. Para a América do Sul (SSA) as projeções dos diferentes grupos de modelos climáticos são bastante similares, tanto para temperatura quanto precipitação.

As projeções climáticas dos diferentes GCM's disponíveis são amplamente utilizadas em pesquisas científicas sobre impactos de mudanças climáticas e constituem a principal fonte de incerteza nestes estudos. Portanto, as avaliações das projeções climáticas simuladas por GCM's devem levar em consideração as limitações destes modelos.

3.3.2. Modelos Regionais

Para a avaliação das conseqüências regionais das mudanças climáticas têm sido desenvolvidos métodos de *downscaling*.

O termo *downscaling* refere-se às técnicas de transferência de informação meteorológica derivada dos GCM's (geralmente com resolução maior que 100 km) para as escalas menores ou regionais (resolução de 5 a 50 km). Diversas metodologias de *downscaling* vêm sendo utilizadas (e.g. Xu, 1999; Christensen et al 2007; Fowler et al, 2007; Bardossy e Pegran, 2012; Wilby and Fowler, 2010; Teutschbein et al., 2011; Winkler et al 2011 a,b).

As técnicas de *downscaling* podem ser enquadradas em duas abordagens distintas conceitualmente: *downscaling* estatístico e dinâmico.

Downscaling estatístico deriva da relação estatística ou empírica entre as variáveis simuladas pelo GCMs, chamados de preditores e variáveis hidrológicas locais, chamados preditantes (Mujumdar e Kumar, 2012). Diferentes técnicas de *downscaling* estatístico foram desenvolvidas ao longo da última década. Cada método geralmente encontra-se em uma das três grandes categorias: os métodos de regressão ou funções de transferência; geradores estocásticos de clima; e esquemas weather typing. Uma

revisão de técnicas de *downscaling* estatístico pode ser encontrada em Giorgi e Hewitson (2001), Prudhomme et al. (2002) e Fowler et al. (2007).

O *downscaling* dinâmico ou Modelos Climáticos Regionais (RCMs) são modelos numéricos semelhantes aos GCMs, mas com resolução mais fina, usando como dados iniciais e condições de contorno o resultado da simulação do GCM. Esta técnica consiste no aninhamento de um modelo regional atmosférico a um GCM, sendo o regional forçado unidirecionalmente em todo o domínio pelas informações geradas pelo GCM (Wilby and Fowler, 2010). Os RCMs incorporam características regionais como topografia, vegetação, solo e etc., não contidas ou simplificadas pelos modelos globais.

O tamanho do domínio e espaçamento da grade dos RCMs deve permitir maior desenvolvimento de circulações atmosféricas de mesoescala, como depressões e espaçamento da malha fina, e suficiente para capturar características topográficas e costeiras detalhadas, como a brisa do mar (Bhaskaran et al, 1996; Jones et al, 1995.). Além disso, a localização do domínio deve captar as circulações mais significativas que afetam o clima sobre a região de interesse, sendo a área de maior interesse localizada o mais remoto possível de zona de contorno lateral. Na prática, o tamanho do domínio e o espaçamento da grade são limitados por recursos computacionais (Pal et al., 2007).

A aplicação de modelo climático regional permite a avaliação de impactos em áreas menores, e a melhoria na resolução espacial permite a análise mais detalhada dos impactos locais. Apesar das incertezas envolvendo o processo de modelagem atmosférica e projeções climáticas, vários estudos acerca do uso de modelos climáticos regionais sugerem melhor desempenho nos resultados obtidos em comparação aos GCMs (e.g Kawazoe e Gutowski, 2013; Vautard et al., 2013).

Desde o AR4, a resolução dos RCMs tem aumentado de aproximadamente 50 km para 25 km (e.g., Christensen et al., 2007). No entanto, os RCMs são computacionalmente onerosos, demandam muito tempo de processamento, e não podem ser facilmente transferidos para novas regiões. Os resultados de modelos climáticos regionais também são sensíveis à escolha das condições iniciais.

No Brasil, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) vem trabalhando com modelos regionalizados, como, por exemplo, o Modelo Regional ETA/CPTEC, com resoluções de até 10km (MOURÃO et al, 2016).

3.4. IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS

Mudanças climáticas podem afetar a distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos, assim como a intensidade e frequência de eventos extremos (Huntington, 2006). Alterações no regime hidrológico de uma região como aumento ou redução da vazão dos rios, podem produzir danos aos ecossistemas, afetar a produção de alimentos, abastecimento de água, navegação e geração de energia.

O Quarto Relatório Científico do IPCC AR4 (Trenberth et al 2007, Meehl et al 2007) e o Relatório de Clima do INPE (Marengo et al. 2007, Ambrizzi et al. 2007) sugerem que as mudanças climáticas podem impactar nos totais de chuva e nos extremos hidrometeorológicos até o final do Século XXI na América do Sul.

Resultados das projeções regionalizadas de clima nos diferentes biomas do Brasil, para três horizontes de tempo do século XXI (2011-2040, 2041-2070 e 2071/2100) são apresentados na Figura 5. As projeções de mudanças na chuva e temperatura para os períodos de verão (Dezembro a Fevereiro – DJF) e inverno (Junho a Agosto – JJA) são representadas em valores de anomalias percentuais em relação ao clima atual. Dependendo do cenário futuro de aquecimento global, com baixa ou alta emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), tais valores podem respectivamente oscilar entre 5% e 20% em precipitação e 1°C e 5°C na temperatura.

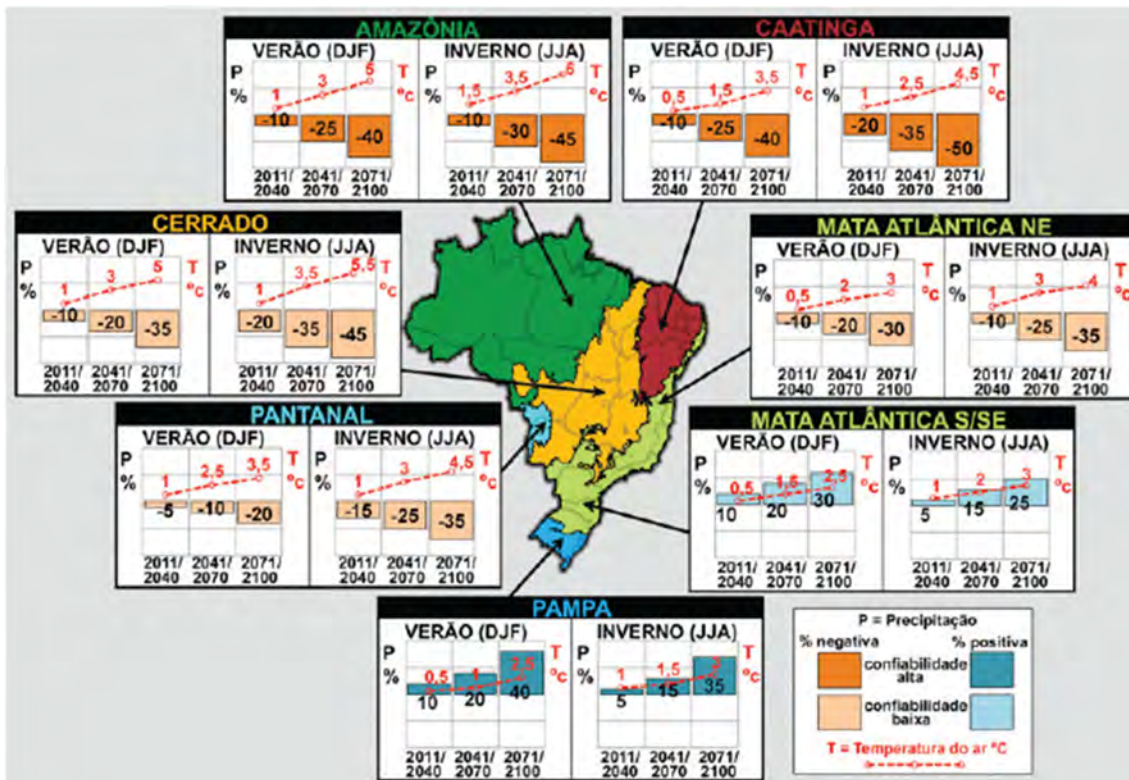


Figura 5 - Projeções regionalizadas de clima nos biomas brasileiros da Amazônia, Cerrado, Caatinga, Pantanal, Mata Atlântica (setores Nordeste e Sul/Sudeste) e Pampa para os períodos de início (2011-2040), meados (2041-2070) e final (2071-2100) do século XXI, baseadas nos resultados científicos de modelagem climática global e regional. As regiões com diferentes cores no mapa indicam o domínio geográfico dos biomas. Fonte: PBMC (2013).

De acordo com o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC (2013) no período até o ano de 2040, na região sul do Brasil, irão prevalecer condições de clima de 5% a 10% mais chuvoso e até 1°C mais quente, mantendo a tendência de aquecimento entre 1° e 1,5°C e intensidade das chuvas entre 15% e 20% até meados do século (2041-2070). No final do século (2071-2100) as projeções são mais agravantes com aumento de temperatura de 2,5° a 3°C e 35% a 40% de chuvas acima do normal.

Diferentes estudos indicam vulnerabilidade de bacias hidrográficas brasileiras em relação aos impactos de possíveis mudanças climáticas (e.g. Salazar et al. 2007; Marengo et al. 2007, Ambrizzi et al. 2007). O gerenciamento adequado dos recursos hídricos face às mudanças climáticas irá depender do conhecimento de sua disponibilidade e de como essa disponibilidade foi afetada por diferentes cenários.

Sendo assim, é necessário aprimorar os estudos já existentes, reduzindo a incerteza e aumentando o detalhamento da informação.

3.5. Modelagem Hidrológica dos Impactos de Mudanças Climáticas

Diferentes metodologias vêm sendo empregadas para estimar os impactos de mudanças climáticas sobre os recursos hídricos.

Segundo Mujumdar e Kumar (2012) o procedimento geral para estimar os impactos das mudanças climáticas sobre o comportamento hidrológico é o seguinte:

1. Determinar parâmetros de um modelo hidrológico para a bacia hidrográfica utilizando como dados de entrada variáveis observadas de clima e vazão, validando assim o uso do modelo;
2. Projetar, através do uso de GCMs e RCMs, variáveis de clima futuro para a região hidrográfica em estudo;
3. Simular as características hidrológicas da bacia sob as projeções de modelos climáticos; e
4. Comparar as simulações das projeções climáticas entre o período de referência e o período futuro.

Segundo o IPCC (2014), a maioria dos recentes estudos sobre impactos de mudanças climáticas em recursos hídricos tem utilizado, por exemplo, um número pequeno de cenários climáticos enquanto que o uso de conjuntos de projeções climáticas de modelos regionais e globais tem aumentado (e.g. Arnell, 2011; Arnell and Gosling, 2014; Gosling et al., 2010; Jackson et al., 2011; Kling et al., 2012; Olsson et al., 2011). Outros estudos têm desenvolvido distribuições de probabilidade de futuros impactos combinando resultados de múltiplas projeções climáticas e, às vezes, diferentes cenários de emissão (Brekke et al., 2009 a,b; Christerson et al., 2012; Liu et al., 2013). A aplicação de técnicas de remoção de viés aos dados projetados por GCMs e RCMs têm sido crescente (Piani et al, 2010;. van Pelt et al, 2009; Yang et al, 2010).

No contexto nacional diferentes abordagens têm sido aplicadas para avaliar o possível impacto de mudanças climáticas nos recursos hídricos. A maioria destes

estudos têm avaliado apenas as incertezas relacionadas à escolha dos modelos climáticos globais e cenários de emissão.

Tucci e Damiani (1994), utilizando o modelo hidrológico IPH2 e projeções de clima futuro obtidos de três modelos climáticos globais, analisaram os possíveis impactos de mudanças climáticas na bacia do rio Uruguai. Os resultados sugerem que a vazão média em diferentes partes da bacia do rio Uruguai pode sofrer aumento de 25% até redução de 15% entre 2040 e 2060.

Em estudo mais recente na bacia do rio Uruguai Adam e Collischonn (2013) utilizaram projeções climáticas de 20 GCMs e o modelo hidrológico MGB-IPH para avaliar as consequências de possíveis alterações da vazão do rio Ibicuí, maior tributário do rio Uruguai. De acordo com os resultados não existem previsões consistentes de aumento ou redução da vazão quando considerados os diversos modelos globais. Semelhante metodologia foi aplicada por Paiva e Collischonn (2010) ao avaliar o impacto de possíveis cenários de mudanças climáticas na bacia do rio Quaraí, localizada entre o sul do Brasil e a região nordeste do Uruguai. Os resultados apontam um aumento de vazão (em média 15% em 2050) para a bacia hidrográfica, porém há incertezas quanto às simulações dos diferentes modelos climáticos utilizados.

Nóbrega et al. (2010) em análise de incertezas das projeções de clima do futuro, na bacia do rio Grande, com base em projeções de seis modelos climáticos globais concluiu que há grande dependência entre os resultados obtidos e a escolha do GCM utilizado.

Bravo et al. (2013) analisaram os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre a hidrologia da bacia do rio Paraguai, que inclui o rio Paraguai e seus afluentes na região do Pantanal, numa área total de, aproximadamente, 600.000 km². Estes autores utilizaram dados climáticos de 20 modelos climáticos globais, que alimentaram um modelo hidrológico-hidrodinâmico descrito por Paz et al. (2010) e por Bravo et al. (2012), e observaram que aproximadamente metade dos modelos climáticos sugerem um aumento da precipitação e a outra metade dos modelos sugerem redução da precipitação.

Montenegro e Ragab (2012) analisaram as alterações na vazão do rio Tapacurá, (bacia hidrográfica com 470 km²), no estado de Pernambuco. Nesta metodologia o impacto da mudança climática foi investigado através da execução do modelo hidrológico DiCaSM (Ragab and Bromley, 2010). Para representar condições climáticas futuras foram simulados dois cenários: B1 e A2, respectivamente, baixo e alto índice de emissão de GEE. O primeiro, referente ao período de 2010 a 2039, considera um aumento de temperatura de 3°C, para os meses de outubro a março, e 2°C, para os meses de abril a setembro, e uma diminuição das precipitações, de 18% para o período entre outubro e março, e 1% para os meses de abril a setembro. O segundo cenário é referente ao período de 2040 a 2069, e simula para os meses de outubro a março um aumento de temperatura de 3°C e uma diminuição das precipitações de 28%, e para os meses entre abril e setembro, um aumento de temperatura de 2°C e uma diminuição das precipitações de 5%.

Ainda segundo Montenegro & Ragab (2012), os resultados do modelo hidrológico referente a esses cenários simulados apresentaram para o cenário B1, uma redução de 4,89%, 14,28% e 20,58% para os períodos de 2010-2039, 2040-2069 e 2070-2099 enquanto que para o cenário A2 aumento de 25,25%, 39,48% e 21,95% para os períodos 2010-2039, 2040- 2069 e 2070-2099.

Braga et al. (2013), analisaram as mudanças no regime de vazão do rio Paripama no nordeste brasileiro com projeções de um modelo climático regional. Os resultados não foram consistentes quanto ao sinal da variação do escoamento.

Tomasella et al. (2008), utilizando o modelo hidrológico MGB-IPH (Collischonn e Tucci, 2001) e o modelo climático regional ETA/CPTEC, analisaram o impacto das mudanças climáticas sobre as disponibilidades hídricas nas bacias dos rios Araguaia e Tocantins. Os resultados indicam que haveria uma redução de 20% na vazão média do rio Tocantins em Tucuruí no período de 2080 até 2099 se comparados ao período de 1970 a 1999.

Medeiros (2003) analisou a sensibilidade do escoamento superficial e da umidade do solo às mudanças climáticas na região semi-árida do Nordeste do Brasil (NEB). Cenários climáticos, baseados em resultados gerados por GCMs, foram usados

para traduzir as mudanças na temperatura e na precipitação do NEB às estimativas de escoamento superficial e umidade do solo. Simulações das mudanças climáticas foram executadas usando os parâmetros do modelo hidrológico. Os resultados indicam que reduções na precipitação e acréscimos na evapotranspiração potencial podem causar significativo impacto no balanço hídrico.

3.6. MODELO HIDROLÓGICO MGB-IPH

O modelo hidrológico de grandes bacias MGB-IPH, descrito em Collischonn (2001), é um modelo distribuído desenvolvido para aplicações em bacias hidrográficas com áreas tipicamente maiores que 10.000 km², sendo composto dos seguintes módulos: balanço de água no solo; evapotranspiração; escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo; e escoamento na rede de drenagem.

O MGB/IPH é um modelo distribuído no espaço, o que significa que a bacia hidrográfica é subdividida em unidades menores, definidas geomorfologicamente, denominadas minibacias. O tipo de vegetação e uso da terra dentro de cada minibacia é caracterizado dentro de uma ou mais classes utilizando a abordagem de Unidade de Resposta Hidrológica (URH). Uma URH é uma combinação única de tipo de solo e de uso da terra. Admite-se que uma dada URH tenha o mesmo comportamento hidrológico independentemente de onde esteja localizada dentro da bacia. Assim, o balanço hidrológico é calculado para cada URH de cada minibacia, e as vazões estimadas em cada URH são posteriormente somadas e propagadas até a rede de drenagem. A Figura 6 mostra a representação esquemática do modelo MGB-IPH.

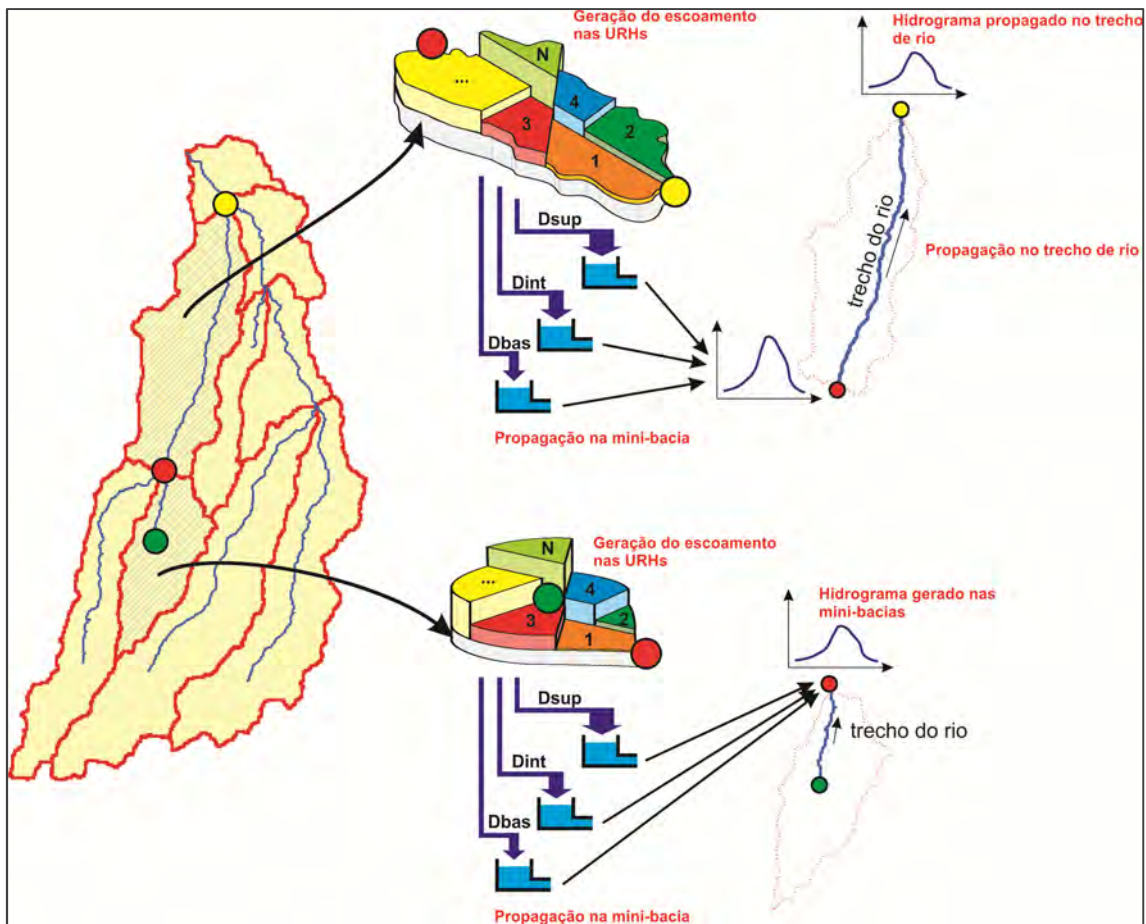


Figura 6 - Representação esquemática do modelo MGB-IPH (Fonte: Collischonn et al., 2007).

O modelo calcula a evaporação e transpiração pela equação de Penman – Monteith. Esta formulação tem uma forte base física, o que permite representar as alterações de evapotranspiração associadas às mudanças de uso do solo, embora para isso sejam necessários dados específicos para cada tipo de vegetação, que não estão normalmente disponíveis (Collischonn et. al., 2007).

A propagação nos trechos de rio utiliza o método de Muskingum-Cunge, que relaciona a vazão de saída de um trecho de rio em um intervalo de tempo qualquer, às vazões de entrada e saída no intervalo de tempo anterior e à vazão de entrada no intervalo atual. Os parâmetros do modelo Muskingum-Cunge são calculados com base nos dados de comprimento, declividade, rugosidade e largura média dos trechos de rio. O comprimento e a declividade são obtidos de mapas topográficos. A largura é obtida com base em uma relação com a área de drenagem válida para a bacia e a rugosidade é estimada com base em observações locais, fotografias e informações sobre material do leito.

O intervalo de tempo diário utilizado no modelo é subdividido em intervalos menores durante a propagação por Muskingun-Cunge na rede de drenagem, considerando o intervalo de tempo ideal para a propagação apresentar precisão no tempo viagem e no amortecimento do hidrograma.

A infiltração no solo e o escoamento superficial são determinados a partir de modelo baseado em uma relação probabilística entre umidade do solo e fração de área saturada (áreas onde a infiltração é nula), conforme utilizado por Todini (1996) e Moore e Clarke (1981). Os volumes de escoamento sub-superficial e subterrâneo são funções da umidade do solo. Os escoamentos superficial, subsuperficial e subterrâneo são propagados em nível de célula através de reservatórios lineares (TUCCI, 2005).

A maioria dos parâmetros é relacionada às características físicas da bacia, como topografia, tipo e cobertura vegetal do solo, e são obtidos via imagens de satélite, mapas digitalizados e modelo numérico do terreno (MNT).

Recentemente a integração do modelo MGB-IPH com Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitiu melhorar as etapas de pré e pós-processamento. Técnicas específicas de pré-processamento a partir de dados do relevo de Modelos Digitais de Elevação (MDE) foram desenvolvidas e testadas (Buarque et al., 2008; Buarque et al., 2009; Fan et al., 2010; Collischonn et al., 2010; Paz e Collischonn, 2008; Paz et al., 2008) e o modelo foi integrado a um software livre de SIG, facilitando a interpretação de resultados e as etapas de pós-processamento (Fan, 2011; Fan e Collischonn, 2012).

Por ter uma forte base física o modelo MGB-IPH é apropriado para ser utilizado em estudos de avaliação de impactos de mudanças no uso do solo ou mudanças climáticas. O MGB-IPH já foi aplicado com sucesso em estudos anteriores sobre impactos de mudanças climáticas em bacias hidrográficas, incluindo o rio Grande (Nóbrega et al. 2011) o rio Ibicuí, importante afluente do rio Uruguai (Adam, 2011), o rio Quaraí, entre o RS e o Uruguai (Paiva et al., 2010), e o rio Paraguai na região do Pantanal (Bravo et al., 2013).

Parâmetros do MGB/IPH

O modelo MGB-IPH possui uma série de parâmetros fixos e calibráveis que são definidos em diferentes etapas de sua aplicação.

Os parâmetros fixos (Tabela 1) são utilizados no cálculo da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith, estando assim associados com a vegetação existente em cada Unidades de Resposta Hidrológica (URH). Estes parâmetros podem ser estimados com auxílio de dados contidos na literatura (e.g. Shuttleworth, 1993; Collischonn, 2001), bem como em aplicações anteriores do modelo (e.g. Silva et al., 2007; Tucci et al., 2003; Collischonn, 2008; Ribeiro Neto, 2006; Paiva et al., 2011).

Tabela 1 - Parâmetros fixos do modelo MGB-IPH. Adaptado de Fan (2011).

Parâmetro Fixo	Descrição
Índice de Área Foliar (IAF)	O IAF expressa a relação entre a área das folhas de todas as plantas e da área de uma parcela de solo. É um parâmetro adimensional ($m^2.m^{-2}$) e que, em geral, pode ser medido ou estimado a partir de informações na bibliografia.
Albedo	O albedo é a parcela da radiação solar que é refletida ao atingir a superfície do solo, considerando sua cobertura vegetal.
Resistência Superficial	A resistência superficial representa a resistência ao fluxo de umidade do solo, através das plantas, até a atmosfera. Esta resistência é diferente para os diversos tipos de plantas e depende de variáveis ambientais como a umidade do solo, a temperatura do ar e a radiação recebida pela planta.
Altura do Dossel	A altura média da vegetação é utilizada no modelo hidrológico para estimar a resistência aerodinâmica, que atua no controle da evapotranspiração. Quanto maior a resistência aerodinâmica, menor é o fluxo de evapotranspiração. A resistência aerodinâmica é considerada menor em florestas, onde a altura média da vegetação é maior e intensifica a turbulência do vento.

Os parâmetros calibráveis (Tabela 2) estão associados às propriedades físicas das URHs, e são aqueles para os quais o modelo é mais sensível. Tais parâmetros podem ser alterados no processo de calibração validando assim o uso do modelo para determinada bacia hidrográfica.

Tabela 2 - Parâmetros calibráveis do modelo MGB-IPH. Adaptado de Fan (2011).

Parâmetro Calibrável	Descrição
Capacidade de Armazenamento do Solo (W_m)	Capacidade de armazenamento de água no solo.
Forma da relação entre armazenamento e saturação (b)	Parâmetro empírico que define a variabilidade da capacidade de armazenamento do solo em torno de W_m .
Vazão durante a estiagem (K_{bas})	Parâmetro que controla a vazão durante a estiagem. Valores mais altos implicam em maior escoamento subterrâneo.
Quantidade de água que esco subsuperficialmente (K_{int})	Parâmetro controla a quantidade de água da camada de solo que esco subsuperficialmente.
Forma da curva de redução da drenagem intermediária (XL)	Controla a forma da curva de redução da drenagem intermediária ou sub-superficial do solo.
Fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial (CAP)	Controla a possibilidade de retorno de água subterrânea para a camada de solo.
Armazenamento Residual (W_c)	Limita o armazenamento residual e subterrâneo.
Calibração da propagação superficial (CI)	Parâmetro para calibração da propagação superficial nas minibacias.
Calibração da propagação sub-superficial (CS)	Parâmetro para calibração da propagação subterrânea nas minibacias.
Retardo do reservatório subterrâneo (CB)	Parâmetro que representa o retardo do reservatório subterrâneo.
Vazão de Base (QB)	Parâmetro que representa o fluxo de base da minibacia.

Medidas de Desempenho

No procedimento de calibração são consideradas avaliações visuais subjetivas de ajuste dos hidrogramas e medidas de desempenho quantitativas, ou funções objetivo.

As medidas de desempenho consideradas na calibração são: o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe das vazões calculadas e observadas (ENS); o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões calculadas e observadas ($ENSLog$); e o erro relativo de volume total dos hidrogramas (ΔV). As medidas de desempenho são descritas a seguir de acordo com Paiva (2009):

- Coeficiente de Nash-Sutcliffe das vazões

O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe é uma forma de medir o quanto o modelo utilizado (MGB-IPH) é melhor do que um modelo alternativo cuja vazão calculada é sempre igual à média de longo termo no caso particular deste coeficiente. O valor é adimensional e pode variar entre $-\infty$ a 1. Valores próximos de 1 indicam que

o desempenho do modelo utilizado é bastante superior ao desempenho do modelo alternativo. Valores próximos de zero indicam que o modelo utilizado é tão ruim quanto o modelo alternativo. Valores positivos indicam que o modelo utilizado é melhor que o modelo alternativo. Valores negativos indicam que o modelo utilizado é pior que o modelo alternativo. Em geral, valores do coeficiente de Nash-Sutcliffe acima de 0,7 são considerados satisfatórios. Quando os dados são analisados em intervalo de tempo mensal podem ser esperados valores ainda mais altos deste coeficiente, porém quando os dados de entrada (especialmente a chuva) apresentam muitas falhas, ou pouca cobertura espacial, os valores deste coeficiente podem ser inferiores a 0,6.

O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe é calculado pela equação 1:

$$ENS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (QC_i - QO_i)^2}{\sum_{i=1}^N (QO_i - QOm)^2} \quad (1)$$

onde QC_i é a vazão calculada num intervalo de tempo i ; QO_i é a vazão observada neste mesmo intervalo de tempo; N é o número de intervalos de tempo; e QOm é a média das vazões observadas no período de N intervalos de tempo.

O coeficiente de Nash-Sutcliffe tem a tendência de dar mais valor a erros nos picos das vazões. Desta forma, ajustar o modelo apenas com o objetivo de maximizar o coeficiente de Nash-Sutcliffe pode resultar em um mau ajuste nos períodos de recessão, quando a vazão é mais baixa.

- Coeficiente de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões

O coeficiente de Nash-Sutcliffe pode ser utilizado com os dados de vazão ou com os dados de vazão transformados por algum procedimento, como a raiz quadrada, o inverso ou os logaritmos. O objetivo de calcular o coeficiente de eficiência usando os logaritmos das vazões é que desta forma se obtém uma medida de desempenho menos sensível aos picos e mais sensível aos períodos de recessão de vazão.

Da mesma forma que o coeficiente de Nash-Sutcliffe das vazões, o coeficiente de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões tem um valor adimensional que pode variar entre $-\infty$ e 1.

O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões é calculado pela equação 2:

$$ENSLog = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\text{Log}(QC_i) - \text{Log}(QO_i))^2}{\sum_{i=1}^N (\text{Log}(QO_i) - QOmLog)^2} \quad (2)$$

onde QC_i é a vazão calculada num intervalo de tempo i ; QO_i é a vazão observada neste mesmo intervalo de tempo; N é o número de intervalos de tempo; e $QOmLog$ é a média dos logaritmos das vazões observadas no período de N intervalos de tempo.

- Erro relativo de volume

O erro relativo de volume é uma forma de avaliar se existe um desvio sistemático de superestimativa ou subestimativa da vazão. O erro relativo de volume é adimensional, mas pode ser apresentado em termos percentuais. Um erro relativo de -20%, por exemplo, indica que o modelo hidrológico gera, ao longo de todo o período de simulação, uma vazão média 20% inferior à vazão observada. Idealmente os erros de volume deveriam se manter numa faixa de -10% a +10%, que pode ser considerada razoável em função das incertezas dos próprios dados medidos.

$$\Delta V = \frac{\sum_{i=1}^N QC_i - \sum_{i=1}^N QO_i}{\sum_{i=1}^N QO_i} \quad (3)$$

onde QC_i é a vazão calculada num intervalo de tempo i ; QO_i é a vazão observada neste mesmo intervalo de tempo; N é o número de intervalos de tempo.

3.6. INCERTEZAS EM ESTUDOS DE IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HÍDRICOS

3.6.1. ASPECTOS GERAIS

Diferentes estudos sobre impacto de mudanças climáticas nos recursos hídricos têm abordado a análise de incertezas, cujas categorias principais são: Incertezas sobre os cenários de emissões; Incertezas dos modelos climáticos; Incertezas quanto à técnica de downscaling; Incertezas da modelagem hidrológica (e.g. Bae et al., 2011; Brigode et al., 2013; Cunderlik et al., 2007; Wilby, 2005; Minville et al, 2008). Outros

trabalhados consideram ainda a influência da metodologia de análise de incerteza aplicada (Honti et. al, 2014).

Um dos objetivos de uma análise de incertezas é a obtenção de informações mais detalhadas que possam fornecer sua quantificação e magnitude. Em estudos de modelagem hidrológica de mudanças climáticas, as abordagens para a análise de incerteza estão relacionadas às fontes de incerteza e sua contribuição ao resultado final, neste caso à vazão simulada. Segundo Kay et al (2009) a análise de incerteza propagada por cada uma das fontes, pode ser avaliada individualmente (single propagation) ou em combinação com outras fontes (multi propagation).

De acordo com Webster e Sokolov (2000), a análise de incerteza possibilita a obtenção de informações mais detalhadas sobre a resposta hidrológica a mudanças climáticas incluindo a média, desvio padrão, níveis e intervalos de confiança (e.g. intervalos de 95%), e a probabilidade de exceder certo valor crítico, como vazões máximas ou mínimas. Esta informação pode ser codificada sob a forma de uma função de densidade de probabilidade (PDF) ou uma função de distribuição acumulada (CDF).

Minville et al. (2008) analisaram as incertezas dos impactos de mudanças climáticas na bacia hidrográfica Chute-du-Diable no Canadá, comparando cinco fontes de incerteza. Os resultados foram expressos sob a forma de curvas PDF's. A Figura 7 apresenta exemplo de análise de incertezas com uso de PDFs referentes à vazão de pico, o tempo de retorno e vazão média anual, para três horizontes de tempo, em comparação com o período de referencia (1960-1990).

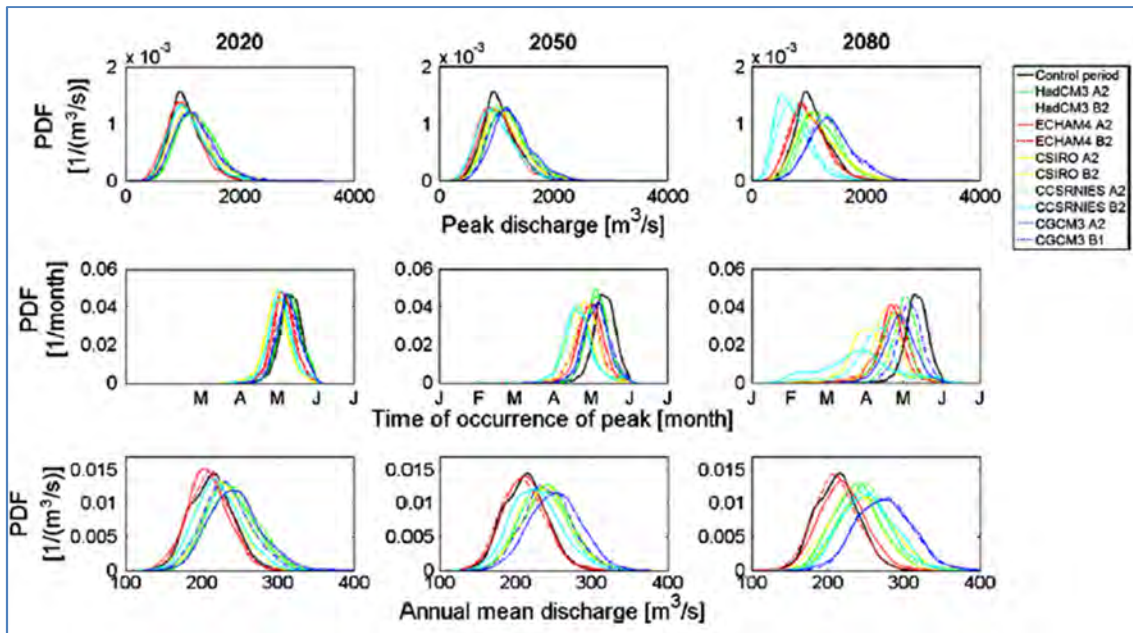


Figura 7- Funções Densidade de probabilidade para os picos de vazão (topo), tempo de retorno das vazões de pico (meio) e vazões médias anuais (baixo), para diferentes projeções climáticas, e período de referência 1961-1990. Bacia hidrográfica Chute-du-Diable no Canadá. AS PDF's são apresentadas para três horizontes de tempo 2020, 2050 and 2080 (Fonte: Minville et al, 2008).

As curvas PDFs são mostradas na Figura 9 para a vazão de pico (gráficos superiores), ocorrência mensal da vazão de pico (gráficos intermediários) e para a vazão média anual (gráficos inferiores). Os resultados mostram que a incerteza aumenta com o horizonte de tempo simulado. A variação da amplitude das curvas PDF's também apresenta a incerteza obtida pelos diferentes modelos analisados. No gráfico referente à ocorrência das vazões de pico, no horizonte de 2080, por exemplo, o modelo CCSRNIES apresenta a maior faixa de incerteza em relação aos demais.

3.6.2. Principais Fontes de Incerteza

Várias fontes de incerteza têm sido identificadas e quantificadas dentre os recentes estudos de impacto de mudanças climáticas nos recursos hídricos, tais como os cenários de emissão de GEE, variabilidade natural de sistema climático, modelos climáticos globais e ou regionais, modelos hidrológicos quanto a sua estrutura e parâmetros e técnicas de remoção de viés. No presente trabalho três fontes de incertezas foram comparadas e analisadas: modelos climáticos globais e regionais; técnicas de remoção de viés e modelo hidrológico.

3.6.2.1. Modelos Climáticos Globais e Regionais

Vários fatores contribuem para as incertezas nas simulações ou projeções climáticas, dentre eles destacam-se os processos de parametrização usados para representar alguma variável em termos de outros parâmetros conhecidos. As diferenças entre parametrizações são uma razão importante pela qual os resultados de modelos climáticos sejam diferentes (Lock et al., 2000; Lock, 2001, Karlsson et al, 2016).

Os processos físicos mais frequentemente parametrizados são a radiação, convecção e processos de formação de nuvens (e.g., Aravéquia e Quadros, 2003; Arakawa, 2004; Tang e Roberts, 2005; Yoshizaki et al., 2005; Collins, 2006; Jung et al., 2010).

A parametrização do efeito de radiação nos modelos está diretamente ligada à parametrização de nuvens. De acordo com Randal et al. (2007) as parametrizações de nuvens são baseados em teorias físicas que visam descrever as estatísticas do campo de nuvem sem descrever os elementos individuais. Segundo Iacobellis et al. (2003) parametrizações realistas de processos de nuvens são pré-requisito para uma simulação confiável do clima atual e futuro. A quantificação de nuvens e efeitos convectivos em modelos, e de interações aerossóis-nuvens, continua a ser um desafio.

Diversos centros de pesquisas sobre mudanças climáticas ao redor do mundo têm investido na melhoria de seus modelos, porém é evidente que algumas lacunas ainda precisam ser preenchidas para melhor confiabilidade dos resultados.

De acordo com Bloschl et al. (2007) e Bohm (2008) as incertezas em relação a projeções da variável precipitação tendem a aumentar em análises em âmbito regional e para eventos extremos.

Vários fatores contribuem para as incertezas nas simulações ou projeções de modelos climáticos, tais como: comportamento estocástico e não linear dos processos inerentes ao sistema climático (o que inclui as variações naturais do clima ou variabilidade interna), aspectos aleatórios das forçantes radiativas naturais e antropogênicas (e.g., erupções vulcânicas e emissões antrópicas de gases de efeito

estufa e aerossóis), feedbacks do sistema climático às forçantes, conhecimento insuficiente das condições iniciais e de fronteira do sistema climático como um todo, e incertezas inerentes aos modelos climáticos. Adicionalmente, as incertezas inerentes aos modelos climáticos são comumente subdivididas em: incertezas nas parametrizações físicas (parâmetros que controlam os processos físicos que ocorrem na escala sub-grade dos modelos, como exemplo, a mistura turbulenta na camada limite planetária), e incertezas estruturais advindas das escolhas feitas durante a codificação dos processos resolvidos pela grade do modelo (GIORGI, 2005; COLLINS, 2007; TEBALDI 2005; KNUTTI, 2008; KNUTTI et al., 2010 apud Torres, 2014).

Modelos construídos com diferentes configurações de grade ou parâmetros de entrada produzem diferentes magnitudes e padrões de mudanças climáticas. Assim, ao fazer modificações na representação dos processos de cada modelo global é possível que os vários modelos globais possam criar diferentes cenários climáticos no futuro para alguma variável como no caso de chuva e temperatura. A resolução do modelo também é importante. Alguns fenômenos ou aspectos do clima são representados com maior eficiência com modelos de alta resolução horizontal e ou vertical.

Assim como os modelos globais, erros dos RCMs estão diretamente relacionados a deficiências dos processos de parametrizações como a representação das interações entre os processos de convecção e superfície-atmosfera, camada limite planetária difusão horizontal, e microfísica de nuvens (Tjernström et al, 2008; Wyser et al, 2008; Lynn et al, 2009; Pfeiffer e Zangl , 2010; Axelsson et al, 2011; Crétat et al, 2012; Evans et al, 2012;. Roy et al, 2012; Solman e Pessacg, 2012). Além das questões relacionadas com a resolução espacial e complexidade do modelo, erros e incertezas, do downscaling, podem ser oriundos da técnica escolhida, aplicação de diferentes processos de parametrizações, escolha do domínio do modelo e aplicação de condições de contorno (Frost et al., 2011).

Zhang et al (2011) analisaram as incertezas do uso de 12 GCM's, sob três cenários de emissão de GEE, em estudos de mudanças climáticas no Rio Reno, Oklahoma, USA. Os resultados mostraram que a incerteza devido à GCMs foi maior fonte de incerteza em impactos hidrológicos.

Kay et al. (2009) investigaram a incerteza no impacto de mudanças climáticas, em termos de frequência das cheias, em duas bacias hidrográficas na Inglaterra. Seis diferentes fontes de incerteza foram analisadas, de maneira não combinada (single propagation): cenários de emissão de GEE; modelos climáticos globais (em termos de estrutura); downscaling dinâmico (RCM); modelo hidrológico, tanto quanto a estrutura quanto a parâmetros; e a variabilidade interna do sistema climático (avaliado pela aplicação de diferentes condições iniciais dos GCM's). Os autores mencionam também que, as demais fontes de incerteza analisadas tornam-se mais significativa se os resultados dos GCM's são omitidos, embora a incerteza a partir de fontes relacionadas com a projeção climática é maior do que a relativa às emissões de GEE ou modelagem hidrológica.

Wilby e Harris (2006) concluíram que as fontes de incerteza, analisadas em estudo para o rio Tamisa, devem ser classificados, quanto ao grau de incerteza, na seguinte ordem decrescente: modelos climáticos globais (GCMs) > método de downscaling > estrutura do modelo hidrológico > parâmetros do modelo hidrológico > cenário de emissões.

Já Simonovic e Li (2004) analisaram as incertezas dos impactos de mudanças climáticas sobre as vazões mínimas na bacia do Rio Vermelho, comparando diferentes modelos climáticos e cenários de emissão de GEE. As incertezas foram analisadas em termos de PDFs tendo como referência um índice de precipitação padronizada (SPI) descrito em Ghosh e Mujumdar, (2007). A estrutura dos modelos climáticos foi apontada como a maior fonte de incerteza. Conclusão semelhante é apresentada em outros diferentes estudos sobre incertezas em modelagem de mudanças climáticas (e.g., Arnell, 2003; Schulze et al., 2005; Döll and Zhang, 2010; Fung et al., 2011; Gosling et al, 2011; Knutti et al., 2010; Döll and Müller Schmied, 2012).

3.6.2.2 Técnicas de Remoção de Viés

Diferentes metodologias de remoção de viés (RV) têm sido desenvolvidas para aplicação em projeções de modelos climáticos em escala global e ou regional, tais como: Regressão linear múltipla (Hay e Clark, 2003), Métodos análogos (Moron et al., 2008), Mapeamento quantil-quantil (Wood et al., 2004; Sun et al., 2011; Piani et al., 2010), Mapeamento quantil quantil para uma distribuição gamma (Sharma et al., 2007; Teng et al., 2015); Correções não-lineares “power transformation” (Leander and Buishand, 2007; Leander et al., 2008); Escalonamento Linear (Lenderink et al., 2007), Método *Delta change* (Hay et al., 2000); *Variance scaling* (Chen et al., 2011b); *Local Intensity Scaling* (Schmidli et al., 2006).

Uma descrição detalhada sobre tais metodologias de remoção de viés pode ser encontrada em Themeßl et al., (2011) e Teng et al (2015).

Neste trabalho serão utilizadas três técnicas de remoção de viés: o Mapeamento Quantil-Quantil, Escalonamento Linear e *Delta Change*.

A técnica de Mapeamento Quantil-Quantil é baseada na comparação das funções cumulativas de probabilidade da variável observada e da variável estimada por um modelo climático no período atual e futuro (Bárdossy and Pegram, 2011). Segundo Maurer et al (2016), este método, relativamente, de simples aplicação, tem se mostrado bastante eficaz na remoção de vieses de projeções climáticas sendo amplamente utilizado em estudos sobre mudanças climáticas em escalas regional e global (Block et al, 2009; Boe et al, 2007; Déque et al, 2007; Ines e Hansen, 2006; Johnson e Sharma, 2011; Piani et al, 2010; Rojas et al, 2010; Sennikovs and Bethers, 2009).

O método de mapeamento quantil-quantil é também conhecido como ‘*probability mapping*’, ‘*statistical downscaling*’, ‘*histogram equalization*’ e ‘*distribution mapping*’. A principal desvantagem deste método é a suposição de que os vieses são estacionários e não mudam ao longo do tempo, uma vez que os algoritmos de correção e parâmetros obtidos para condições climáticas atuais são adotados para as séries climáticas futuras. Como observações do clima futuro são, pela sua natureza,

indisponíveis, é impossível verificar esta hipótese. Além disso, o desempenho do método depende se a precipitação observada e simulada segue a distribuição sugerida. Nenhum ajuste é feito quanto à estrutura temporal da ocorrência de precipitação diária.

A metodologia denominada Escalonamento linear (*Linear Scaling* – Lenderink et al., 2007) é baseada no cálculo de um coeficiente de correção a partir das diferenças entre as normais climatológicas observadas e estimadas pelos modelos climáticos no período atual. Esse mesmo coeficiente é posteriormente utilizado na remoção do viés nos períodos futuros. Apesar de ser utilizado em diferentes estudos (Teutschbein and Seibert, 2012; Teng et al, 2015) a técnica de escalonamento linear tende a valorizar eventos mais extremos da mesma forma que eventos mais comuns, já que ele multiplica toda a série por um mesmo valor de coeficiente mensal de correção, o que pode levar a limitações quanto à análise estatística das séries corrigidas.

A metodologia de *Delta Change* (Gellens e Roulin, 1998) é baseada no cálculo das anomalias entre os valores estimados pelos modelos climáticos no período atual e no período futuro. A idéia central deste método é não utilizar as séries de clima obtidas diretamente dos modelos climáticos regionais ou globais, e sim gerar uma nova série baseada no cálculo de anomalias (delta) entre as séries de clima atual e períodos futuros gerados pelo modelo climático (Johnson and Sharma, 2011; Mpelasoka and Chiew, 2009; Andréasson et al., 2004; Bosshard et al., 2011; Graham et al., 2007a, 2007b; Lettenmaier et al., 1999; Middelkoop et al., 2001; Moore et al., 2008; Shabalova et al., 2003). O valor da anomalia, ou delta, é posteriormente utilizado para perturbar a série observada da variável no período atual gerando a série perturbada a ser utilizada nos períodos futuros. Este método, apesar de amplamente utilizado, apresenta a desvantagem de ser limitado a estudo de vazões médias, portanto não aplicado à análise de valores extremos.

Muitos estudos têm comparado e avaliado diferentes métodos de remoção de viés, a maioria desses estudos investigaram o impacto da correção do viés nas variáveis precipitação e temperatura (Lafon et al, 2013; Gudmundsson et al., 2012; Berg et al. 2012; Gutjahr e Helnemann, 2013) apenas Teutschbein e Seibert (2012) e

Chen et al. (2013) testaram o efeito da remoção de viés na saída de modelos hidrológicos. No geral a técnica de mapeamento quantil quantil apresenta os melhores resultados de desempenho, em particular, para valores extremos (Themeßl et al., 2011).

Teutschbein e Seibert (2012) analisaram a incerteza de cinco diferentes técnicas de remoção de viés aplicadas a projeções de temperatura e precipitação de 11 RCM's, para o cenário A1B: escalonamento linear, mapeamento quantil-quantil, Correções não-lineares *power transformation*, *local intensity scaling*, e o método *delta change*. Além de avaliar os métodos de remoção de viés aplicados, este trabalho analisou a influência da aplicação combinada das diferentes técnicas de RV à modelagem hidrológica, em termos de vazão sazonal e vazões de pico. Os resultados indicaram que de todos os métodos testados, o mapeamento quantil-quantil apresentou melhor desempenho em termos de vazões extremas. Quanto às séries de vazões médias todos os métodos apresentaram bom desempenho, com destaque para o método *Delta change*.

Chen et al. (2013), compararam os resultados da aplicação de técnicas de remoção de viés às projeções de precipitação oriundas de modelos climáticos regionais para dez diferentes bacias hidrográficas localizadas na América do Norte. Seis métodos de remoção de viés foram analisados: escalonamento linear (LS), escalonamento da intensidade local (LOCI), correções de viés diários (DT), delta change (DC), mapeamento quantil-quantil baseado em uma distribuição empírica (QME) e mapeamento quantil-quantil baseado na distribuição gamma (QMG). As séries climáticas corrigidas foram simuladas pelo modelo hidrológico HSAMI, descrito em Fortin (2000), e os resultados analisados em termos de vazões mensais.

Este trabalho de Chen et al (2013) teve por objetivo responder os seguintes questionamentos: (1) qual a melhor técnica de remoção de viés para estudos de modelagem hidrológica?; (2) métodos de remoção de viés mais complexos e correção de frequências diárias são realmente necessários para a adequada reprodução de precipitação e modelagem hidrológica? e; (3) o desempenho dos métodos de remoção de viés são dependentes das características de bacias hidrográficas? Os resultados

mostraram que todos os métodos de correção de viés são capazes melhorar a precipitação simulada pelos modelos regionais utilizados, sendo o desempenho destas simulações dependentes da escolha de um método de correção. No geral os métodos DT, DC, QME, QMG apresentam melhores desempenho em relação a LS e LOCI. A correção da frequência diária é importante para as séries de projeção climáticas, no entanto bem menos significativas para simulações hidrológicas. Os resultados indicam ainda que métodos de correção de viés devem ser validados com base em séries históricas. Caso tal validação não seja possível, estudos de modelagem hidrológica devem confiar em métodos mais simples que utilizam séries temporais para a correção, como por exemplo, o método *delta change*.

3.6.2.3. Modelo Hidrológico

Segundo Brigode et. al, (2013) as fontes comuns de incerteza na modelagem hidrológica em condições estacionárias (em termos de condições climáticas e ou características físicas) incluem erros na estrutura do modelo, problemas no processo de calibração, e erros nos dados utilizados para a calibração. Em condições não estacionárias, como em estudos de mudanças climáticas, incertezas adicionais, como a instabilidade de parâmetros, podem ocorrer devido às possíveis alterações nas características físicas e de captação nos processos dominantes. Em ambos os casos, os erros de estrutura do modelo e a estabilidade de seus parâmetros são consideradas como as duas principais fontes de incerteza na etapa de modelagem hidrológica.

Erros decorrentes da estrutura do modelo são normalmente avaliados através da comparação dos resultados de diferentes modelos chuva-vazão (Wilby e Harris, 2006; Refsgaard et al., 2006; Jiang et al, 2007; Najafi et al, 2011; Bae et al, 2011).

As incertezas dos parâmetros do modelo hidrológico decorrem das possíveis alterações nas características físicas da bacia e dos processos dominantes têm sido amplamente investigados e foram propostos vários métodos para quantificar a incerteza associada (e.g. Matott et al., 2009; Ludwig et al., 2009).

Bastola et al. (2011) tentaram quantificar as incertezas oriundas dos parâmetros e estrutura do modelo hidrológico, combinando vários cenários de emissões e GCMs, quatro modelos conceituais chuva-vazão e dois métodos de avaliação de incerteza dos parâmetros (Generalized Likelihood Uncertainty Estimation and Bayesian Model Averaging). Os autores concluíram que a contribuição da incerteza do modelo hidrológico é extremamente alta e deve, portanto, ser considerada rotineiramente em estudos desta natureza.

Escarião et al (2012), avaliaram a influência do modelo hidrológico nos deflúvios superficiais na bacia hidrográfica do rio Piancó (região semiárida do nordeste brasileiro), quando aplicado a cenários de mudanças climáticas. Tais cenários foram construídos considerando variações de 1°C a 4°C nos dados de temperatura, as quais foram refletidas nos dados de evapotranspiração potencial, e alterações variando de -20% a +20% nos dados históricos de precipitação pluviométrica, formando conjuntos de dados de entrada para os modelos utilizados. Quatro modelos matemáticos de diferentes classes foram usados para simular o processo de transformação de chuva em vazão: um modelo hidrológico empírico estatístico, um modelo hidrológico conceitual concentrado, um modelo hidrológico conceitual distribuído e um modelo em rede neural artificial. Os resultados mostraram que há diferenças nas vazões simuladas pelos modelos, tanto em nível anual quanto em nível mensal e que as mudanças percentuais da vazão média são muito mais sensíveis às alterações de precipitação do que às alterações de temperatura. De maneira geral, os resultados indicam que a escolha do modelo hidrológico influencia diretamente os resultados de simulação dos escoamentos hídricos, quando a região é submetida a cenários de mudanças climáticas, devendo, portanto, ser considerado como mais uma incerteza nos estudos hidrológicos de mudanças climáticas.

Wilby (2005) investigou três aspectos da incerteza associada ao modelo hidrológico conceitual CATCHMOD (Wilby et al. 1994; Davis, 2001) no contexto da avaliação do impacto da mudança climática no Rio Tamisa: (1) o grau de estabilidade dos parâmetros quanto à variabilidade climática; (2) o período de calibração escolhido dentro da série total de registros históricos. Neste caso o modelo hidrológico foi calibrado em dois períodos, um de cheias e outro de estiagem. As projeções de clima

de RCM's foram então simuladas e comparadas entre si; (3) Conceito de equifinalidade e as incertezas obtidas por diferentes conjuntos de parâmetros aplicados ao modelo hidrológico. O autor concluiu que as incertezas do modelo hidrológico podem ser significativas em estudos de modelagem hidrológica de mudanças climáticas tanto quanto às demais variáveis analisadas.

Outros autores também investigaram a dependência dos parâmetros do modelo sobre as características do período de registo utilizado para calibração (e.g. Jung et al, 2012), a fim de avaliar a habilidade do modelo hidrológico em condições não-estacionárias. Neste contexto a metodologia '*diferencial split-sample*' introduzida por Klemeš (1986) vem sendo aplicada.

Segundo Xu (1999) o método *Diferencial Split-Sample* consiste em um sistema de teste, onde dois períodos contrastantes, como de cheias e estiagens, são identificados dentro do período total de dados observados disponíveis no processo de calibração. Se o modelo se destina a simular vazões sob condições climáticas de cheias, então ele deve ser calibrado em um período de estiagem e validado no período de cheias. Por outro lado, se o modelo se destina a simular condições futuras de estiagens, o inverso deve ser feito. Diante deste método o modelo deve demonstrar habilidade em executar condições climáticas contrastantes.

De acordo com Klemes (1986), a aplicação deste teste tem sua importância demonstrada na Figura 8, que ilustra o perigo potencial do uso de um modelo hidrológico em estudos envolvendo mudanças climáticas, sem submetê-lo a um teste como o '*diferencial split-sample*'.

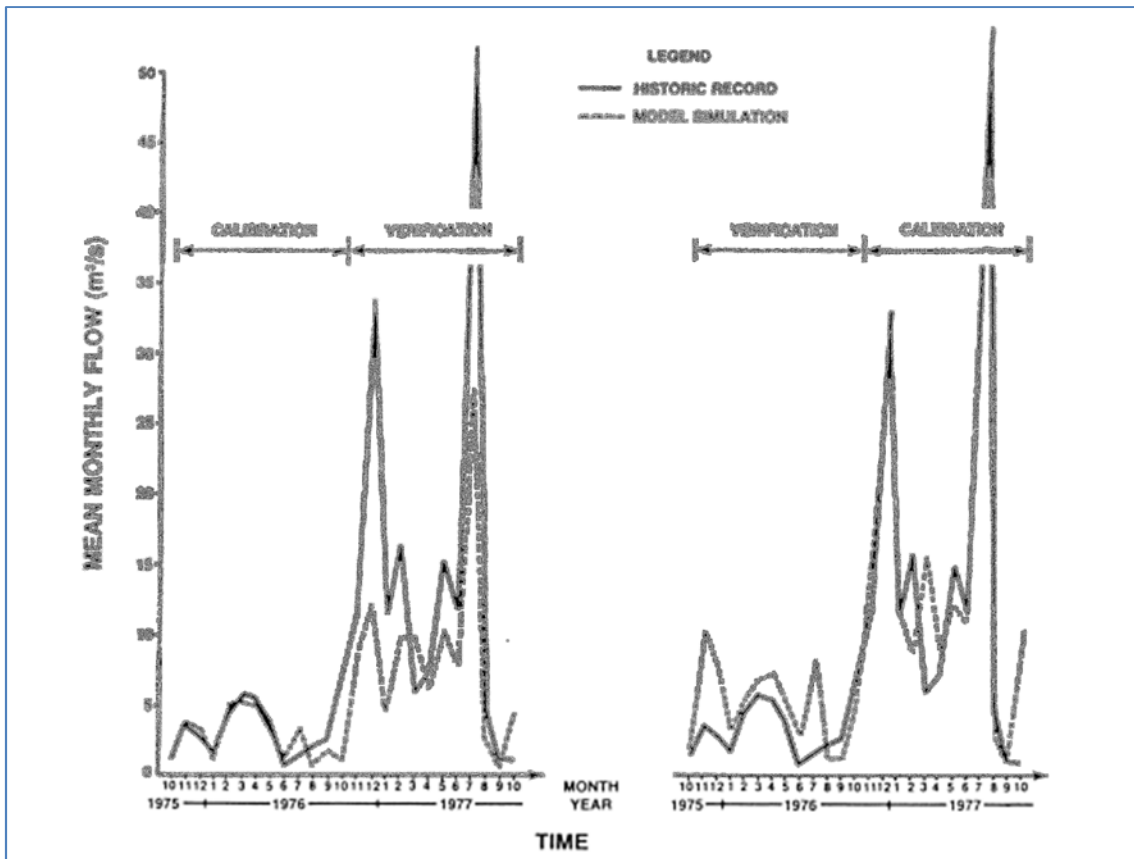


Figura 8 - Exemplo de aplicação do teste diferencial split-sample em um modelo de hidrológico para simulação de vazões mensais no Rio Gers em Layrac, França. Fonte: Klemes (1986).

A Figura 8 apresenta a série histórica de vazões médias mensais e os períodos identificados como característicos de cheias e estiagens.

Merz et al. (2011) aplicaram o teste *diferencial split-sample* em um conjunto de bacias na Áustria e descobriram que os parâmetros do modelo hidrológico que controlam os processos de neve e umidade do solo estão relacionados com as condições climáticas referentes ao período de calibração. Logo, o desempenho do modelo é afetado se a calibração e os períodos de verificação diferem substancialmente.

Este teste também foi aplicado por Brigode et al, (2013) e Görgen et al., (2010) para quantificar incertezas devido aos parâmetros de modelos hidrológicos em uma perspectiva de mudança climática em bacias hidrográficas localizadas da França. Vaze et al. (2010) também aplicaram esta metodologia em diferentes sub-bacias no sudeste da Austrália, verificando que o desempenho, dos quatro modelos hidrológicos

utilizados, é relativamente dependente das condições climáticas do período de calibração.

Outras aplicações e variações do teste diferencial split-sample podem ser encontradas na literatura (e.g. em de Vos et al., 2010; Luo et al., 2011; Singh et al., 2011; Prudhomme e Daviés, 2009; Niel et al., 2003; Le Lay et al., 2007).

Chen et al. (2011b) mostraram em uma bacia canadense que as escolhas dos GCMs e técnicas de redução de escala são as maiores fontes de incerteza nas estimativas de previsão hidrológica, seguido dos cenários de emissões de GEE, estruturas de modelos hidrológicos e por fim o conjunto de parâmetros utilizados no modelo hidrológico.

Teng et al. (2012), em estudos de incerteza em bacias hidrográficas do sudeste australiano, também concluíram que as incertezas decorrentes de diferentes GCM's (15 modelos no total) são bem maiores que as incertezas decorrentes da aplicação de cinco modelos hidrológicos analisados. Resultado semelhante foi encontrado por Arnell (2011), em estudos sobre incertezas entre a relação de projeções climáticas e respectivas respostas hidrológicas em bacias hidrográficas do Reino Unido, mostrou que a incerteza na resposta entre os padrões do modelo climático é consideravelmente maior do que a incerteza do processo de parametrização do modelo hidrológico.

4. METODOLOGIA

4.1. DESCRIÇÃO GERAL

Neste trabalho é proposta uma metodologia de análise de incerteza em estudos de mudanças climáticas na bacia hidrográfica do Rio Uruguai (BHRU), com foco no regime de vazão. Nesta abordagem três fontes de incerteza foram analisadas: o modelo hidrológico, os modelos climáticos (globais e regionais) e as técnicas de remoção de viés.

O modelo hidrológico MGB/IPH foi avaliado quanto às incertezas oriundas do processo de parametrização aplicando-se diferentes períodos de calibração. Esta abordagem permite analisar as incertezas associadas à modelagem hidrológica em condições de não estacionariedade, como no contexto de mudanças climáticas.

Três diferentes técnicas de remoção de viés são aplicadas para analisar o grau de incerteza que a escolha de um determinado método de correção pode agregar ao resultado final.

Os modelos climáticos foram analisados quanto a sua estrutura, comparando projeções de cinco diferentes modelos globais e cinco diferentes versões do modelo regional ETA/CPTEC.

Inicialmente os resultados das simulações provenientes de cada uma destas fontes foram comparados entre si, a fim de mensurar o grau de incerteza inserido por cada uma delas ao resultado final. Posteriormente foi realizada a quantificação total da incerteza, combinando os resultados gerados pelas diferentes fontes. Dessa maneira, a metodologia é dividida em duas etapas principais: Etapa (1): Comparação e análise das fontes de incerteza e; Etapa (2): análise total da incerteza.

A seguir estas etapas são descritas assim como a área de estudo.

4.2. ÁREA DE ESTUDO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUGUAI

O rio Uruguai possui 2200 km de extensão e se origina da confluência dos rios Pelotas e Canoas, entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Os principais afluentes são os rios do Peixe, Passo Fundo, Chapecó, da Várzea, Ijuí, Piratini, e Ibicuí.

Neste trabalho, a bacia hidrográfica do rio Uruguai (BHRU) foi delimitada desde as cabeceiras dos rios Pelotas e Canoas até a confluência com o rio Ijuí (inclusive), totalizando uma área de drenagem de 110000 km². Abrangendo os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, esta região apresenta grande importância para o país em função das atividades agro-industriais desenvolvidas e do seu potencial hidrelétrico.

A Figura 9 apresenta a localização da região de estudo assim como os pontos de análise. Estes pontos, onde foram gerados os resultados de vazões, correspondem ao exutório de cada uma das sete sub-bacias delimitadas neste estudo.

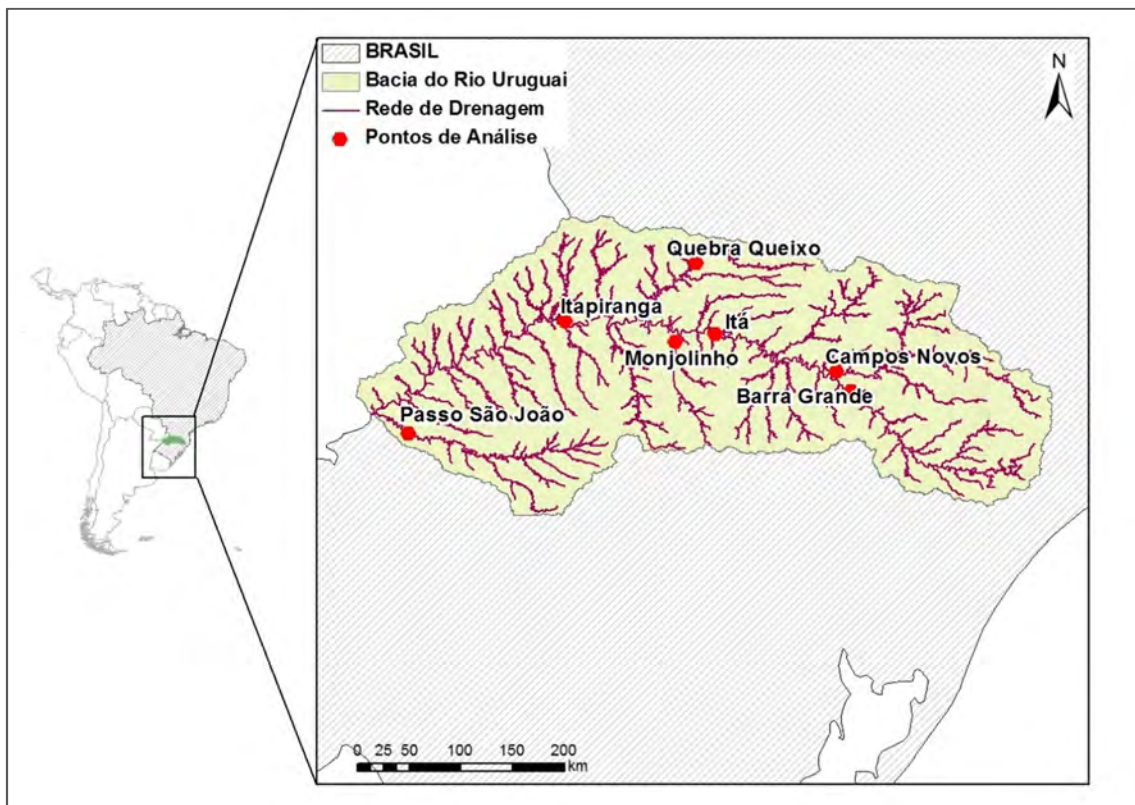


Figura 9 - Localização Bacia hidrográfica do Rio Uruguai e pontos de análise.

Na Tabela 3 é apresentada a localização de cada ponto e características das respectivas sub-bacias.

Tabela 3 - Identificação dos pontos analisados na BHRU

Cód/Sub-bacia	Lat	Long	Rio	Área Drenagem (km ²)
215/Barra Grande	-27.776	-51.195	Pelotas	12016
216/Campos Novos	-27.604	-51.327	Canoas	14100
092/Itá	-27.277	-52.382	Uruguai	38440
220/Monjolinho	-27.345	-52.731	Passo Fundo	3754
286/Quebra Queixo	-26.656	-52.546	Chapecó	2670
292/Itapiranga	-27.163	-53.683	Uruguai	72146
103/Passo São João	-28.139	-55.049	Ijuí	9541

Segundo relatório da ANA (2013), os principais usos consuntivos da água na região da BHRU, destinam-se ao abastecimento humano, atividades industriais, pecuária e agricultura (irrigação). Quanto a usos não-consuntivos, destaca-se a geração de energia hidrelétrica, com potencial aproveitado de 13,6 GW, correspondendo a 11,2 % da capacidade total instalada no país.

O alto potencial hidrelétrico da BHRU é garantido por um intenso gradiente de relevo, com altitudes variando entre, aproximadamente, 1800 m e menos de 100 m.

Atualmente existem sete grandes barragens em operação na Bacia do Rio Uruguai: as usinas hidrelétricas (UHE's) Itá e Machadinho, localizadas no rio Uruguai; as UHE's Passo Fundo e Monjolinho, no rio Passo Fundo; Barra Grande, no rio Pelotas; Campos Novos, no rio Canoas e Foz do Chapecó, no rio Chapecó.

Além das usinas hidrelétricas em operação, existem outras em planejamento para a BHRU: UHE's São Roque e Garibaldi, rio Uruguai; UHE's Passo São João e Passo São José, rio Ijuí; UHE's São Roque e Garibaldi, no rio Canoas; e UHE's Pai Querê, no rio Pelotas.

Destaca-se ainda, como UHE's em planejamento para a região, o Complexo Hidrelétrico binacional, Brasil e Argentina, Garabi-Panambi com estimativa de geração de energia de 2.200 MW.

Quanto à caracterização de solos, a BHRU apresenta as seguintes classes: latossolos e argissolos; cambissolos, neossolo, gleissolos (RADAMBRASIL, 1982). No contexto hidrológico, latossolos e argissolos possuem baixo potencial de escoamento

uma vez que são solos profundos e bem drenados, já as demais classes citadas, por terem características de solo raso, tem alto potencial de escoamento.

Em relação ao uso do solo, predominam na BHRU, as áreas de agricultura, pastagem e campos, sendo as áreas de floresta restritas às encostas de maior declividade, próximas à rede de drenagem.

O clima na Região da BHRU é temperado. Durante a maior parte do ano, há a influência da Massa Tropical Atlântica sobre as temperaturas. No inverno, entretanto, a Massa Polar Atlântica assume importância na definição do clima, sendo sua intensidade e inter-relação com a massa Tropical variáveis a cada ano, gerando ora invernos com temperaturas baixas durante grande parte da estação, ora grandes variações climáticas, com contrastes térmicos. No verão, pode haver a influência da Massa Equatorial Continental, principalmente nas áreas mais ao norte da bacia (FGV, 1998).

A distribuição interanual das chuvas é regular, porém com alguma elevação no período de maio a setembro, coincidindo com o inverno. Nas sub-bacias da RHRU as precipitações médias anuais variam entre os 1450 mm e 2200 mm, com gradiente no sentido sul norte.

A disponibilidade hídrica natural da BHRU é muito influenciada por importantes variações espaciais e temporais de alguns dos parâmetros climáticos, como o regime pluviométrico, o que se reflete nas atividades desenvolvidas na região.

Eventos críticos são frequentes na região e atingem, principalmente, as populações ao longo do rio Uruguai e de alguns dos seus afluentes. Segundo a ANA (2013), no período de 2003 a 2012, 242 municípios da BHRU decretaram Situação de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP) devido a enchentes, alagamentos, enxurradas e inundações e 26 municípios decretaram SE ou ECP por secas e estiagens.

4.3. ETAPA (1): COMPARAÇÃO E ANÁLISE DAS FONTES DE INCERTEZA

Esta etapa tem por objetivo responder a seguinte pergunta: Qual dentre as fontes de incerteza selecionadas agrega maior variação ao resultado final? Ou seja, qual destas fontes propaga maior incerteza em termos de impactos de mudanças climáticas na BHRU?

Para tanto as séries futuras de vazão resultantes da simulação de cada uma das fontes de incerteza foram comparadas entre si em termos de anomalia (período futuro em relação ao período atual) para as séries de vazões médias, máximas e mínimas anuais.

Inicialmente são analisadas as séries de vazões obtidas por cada fonte isoladamente, ou seja, comparação entre as séries de vazão obtidas pelos modelos hidrológicos; em seguida as séries obtidas pela aplicação das diferentes técnicas de remoção de viés e, por fim, as séries obtidas a partir das projeções dos modelos climáticos. Tais séries de vazões foram apresentadas em termos de médias mensais, máximas e mínimas anuais em cada período de tempo (**Atual**: 1960 a 1990; **Fut 1**: 2011 a 2040; **Fut 2**: 2041 a 2070 e **Fut 3**: 2071 a 2100). Também são apresentados sumários estatísticos com percentis 5% e 95%, mediana e variância.

A conclusão da Etapa (1) consiste na comparação paralela entre as fontes de incerteza, ou seja, resultados do modelo hidrológico comparados com resultados da remoção de viés e modelos climáticos. Esta análise é feita em termos de anomalias de vazão. Para as vazões médias foi avaliada a média de longo período (QMLP). Para os extremos, as vazões máximas e mínimas anuais com período de retorno de 2 anos, obtidos pelo ajuste de Distribuição Gumbel para máximos e mínimos (Katz et al, 2002; Naghettini e Pinto, 2007), respectivamente. As anomalias são geradas para três horizontes de tempo futuros (Fut 1, Fut 2 e Fut 3).

Para que esta comparação seja possível, ao se analisar uma determinada fonte de incerteza as demais devem permanecer fixas, já que a interação entre a totalidade de possibilidades é analisada na Etapa (2).

A seguir, apresenta-se uma descrição detalhada da metodologia aplicada para a geração de diferentes séries de vazões relativas a cada uma das fontes de incertezas.

4.3.1. Modelagem Hidrológica

A modelagem hidrológica da BHRU, tanto das séries de vazões observadas quanto das séries simuladas (obtidas de projeções climáticas), foi realizada com o modelo hidrológico MGB/IPH.

A análise das modificações das vazões está baseada na comparação dos resultados da modelagem hidrológica em diferentes períodos de tempo. Estas diferenças nas séries de vazões simuladas são utilizadas para caracterizar e quantificar os possíveis impactos de mudanças climáticas na BHRU considerando as diferentes fontes de incerteza abordadas neste trabalho.

Inicialmente, este modelo foi calibrado com base em registros históricos de clima e vazão, ou seja, utilizando dados de entrada observados, a fim de representar o comportamento hidrológico da BHRU. Esta primeira calibração do modelo, com parâmetros ajustados ao período de 1960-1990, foi identificada dentro da metodologia, como MGB/P1.

Como fonte de incerteza o modelo MGB/IPH foi analisado quanto ao processo de parametrização de acordo com o método “*diferencial split-sample*” descrito por Klemes (1986) e seguido por Wilby (2005), como já descrito no item 3.6.2.3 deste trabalho.

Neste contexto, para cada uma das sete sub-bacia descrita no item 4.2, os parâmetros foram ajustados com diferentes valores, correspondentes ao período selecionado para a calibração. Três períodos foram estabelecidos: (i) Período de calibração 1 – MGB/P1: representando a série completa de observações de 1960-1990 com verificação no período de 1992-1999; (ii) Período de calibração 2 - MGB/P2: calibração em período seco e verificação de período de cheias (iii) Período de calibração 3 – MGB/P3: calibração em período característico de cheias e verificação de período de estiagem.

É importante ressaltar que apenas os parâmetros calibráveis foram alterados para o ajuste de MGB/P2 e MGB/P3. Os parâmetros fixos permanecem inalterados e iguais aos utilizados em MGB/P1.

A escolha dos períodos contrastantes (seca e estiagem) foi realizada de acordo com as características do hidrograma observado, período de 1960 a 1990, a partir da avaliação de médias móveis de cinco anos. Neste caso foi considerado como período úmido ou de cheias a sequência de cinco anos em que as vazões medidas se mantêm acima da média móvel e do contrário, o período seco. O regime hidrológico da BRHU apresenta bastante similaridade entre as sub-bacias analisadas e, portanto, o período de estiagem (1976-1980) e cheias (1983- 1987) escolhido é o mesmo para cada sub-bacia em questão.

Dentro da Etapa (1), os modelos MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 são calibrados e testados em distintos períodos de calibração e verificação, tendo como objetivo mensurar a capacidade do modelo em representar os regimes de vazão em situações distintas ao período para o qual foi calibrado, neste caso em especial, bacias sob impacto de mudanças climáticas, onde as séries futuras tendem a não seguir uma estacionariedade. A magnitude da variação obtida pela escolha de cada um destes modelos foi mensurada simulando, após calibração e verificação, as projeções de clima, neste caso as do modelo CT40 e RV1, como mostra a Figura 10.

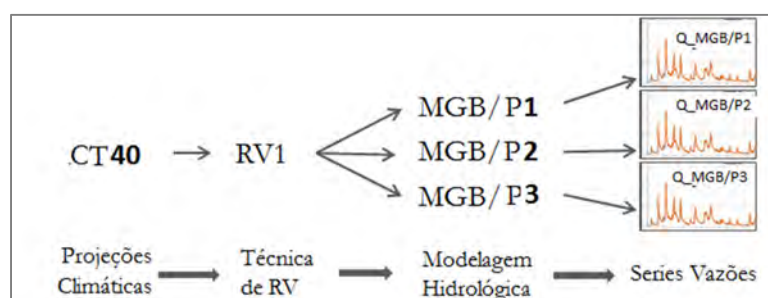


Figura 10– Esquema metodológico da análise de incerteza do modelo hidrológico

As séries de vazões máximas anuais são simuladas para os períodos Atual: 1960 a 1990; Fut 1: 2011 a 2040; Fut 2: 2041 a 2070 e Fut 3: 2071 a 2100.

4.3.2. Remoção de Viés

Em estudos de impactos de mudanças climáticas em bacias hidrográficas, as variáveis climáticas são projetadas por GCMs e ou RCMs que não conseguem representar perfeitamente o clima do presente e futuro, ou seja, seus resultados apresentam erros. Estes erros (viéses) são sistemáticos e causados por uma imperfeita conceptualização dos fenômenos e processos que governam o clima e pela influência da discretização espacial dos modelos (Teutschbein e Seibert, 2012). Nesse sentido técnicas de remoção de viéses são empregadas para corrigir as variáveis climatológicas, evitando que erros intrínsecos aos modelos climáticos sejam propagados para a modelagem hidrológica.

Neste trabalho três metodologias diferentes foram aplicadas para a remoção de viéses dos modelos climáticos. Tais métodos foram escolhidos por serem de fácil aplicação e usualmente utilizados em estudos de modelagem hidrológica de mudanças climáticas. A seguir uma breve descrição de tais técnicas de RV:

(a) Mapeamento quantil-quantil

A metodologia de remoção de viés denominada Mapeamento quantil-quantil (Bárdossy and Pegram, 2011) é baseada na comparação das funções cumulativas de probabilidade (curvas que mostram a probabilidade da variável ser menor ou igual a um determinado valor) da variável observada e da variável estimada por um modelo climático no período atual e futuro.

O método aplicado seguiu o procedimento descrito a seguir, tendo como exemplo a variável precipitação:

1. Os dados diários do modelo climático, em cada ponto de grade, de cada mês do ano, são agrupados e então, estimadas as funções cumulativas de probabilidade no período atual. Dessa forma, 12 funções cumulativas de probabilidade são estimadas, uma para cada mês do ano.
2. Os dados diários do modelo climático, de cada mês do ano, são agrupados e estimadas as funções cumulativas de probabilidade nos períodos futuros.

3. Os dados diários observados, de cada mês do ano, são agrupados e estimadas as funções cumulativas de probabilidade.
4. Procedimento de remoção de viés no período atual: para cada valor diário da série da variável analisada, pertencente ao mês do ano para o qual foram estimadas as funções cumulativas de probabilidade, é identificado o valor da probabilidade acumulada na série do modelo climático. Posteriormente, o valor diário corrigido é igual ao valor observado que apresenta o mesmo valor de probabilidade acumulada.
5. Procedimento de remoção de viés no período futuro: para cada valor diário da série futura da variável analisada, pertencente ao mês do ano para o qual foram estimadas as funções cumulativas de probabilidade, é identificado o valor da probabilidade acumulada na série atual do modelo climático. Posteriormente, o valor diário corrigido no período futuro é igual ao valor observado que apresenta o mesmo valor de probabilidade acumulada.

O método de Mapeamento Quantil-Quantil foi aplicado, nesta tese, às projeções dos modelos climáticos da seguinte forma:

Remoção de Viés 1 (RV1): conjunto de projeções do modelo ETA/CPTEC corrigidas da maneira seguinte: séries de precipitação corrigidas pela técnica de mapeamento quantil-quantil, sendo as demais variáveis climatológicas corrigidas por escalonamento linear. Aplicada aos modelos regionais CT20, CT40, LOW, MID e HIGH para o período atual, Futuro 1, 2 e 3.

(b) Escalonamento Linear

A metodologia de remoção de viés denominada Escalonamento linear (Linear Scaling – Lenderink et al., 2007) é baseada no cálculo de um coeficiente de correção a partir das diferenças entre as normais climatológicas observadas e estimadas pelos modelos climáticos no período atual. Esse mesmo coeficiente é posteriormente utilizado na remoção do viés nos períodos futuros.

O método aplicado seguiu o procedimento descrito a seguir:

1. Cálculo dos valores das normais climatológicas a partir da série temporal estimada pelo modelo climático no período atual.
2. Cálculo dos valores das normais climatológicas a partir dos valores observados.
3. Estimativa do coeficiente de correção: quociente entre os valores das normais climatológicas observadas e os valores das normais climatológicas a partir dos modelos climáticos. Isto resultou em um coeficiente de correção para cada mês do ano.
4. Remoção do viés da série temporal da variável climatológica: multiplicação dos valores diários da série pelos coeficientes estimados em 3. Isto é, todos os valores diários do mês de Janeiro são multiplicados pelo coeficiente de correção de Janeiro, todos os valores diários do mês de Fevereiro são multiplicados pelo coeficiente de correção de fevereiro, este procedimento é repetido até todos os dados estarem corrigidos.

O método foi aplicado para cada uma das variáveis climatológicas: precipitação, temperatura, pressão atmosférica em superfície, umidade relativa do ar, vento em superfície e radiação de onda curta incidente em superfície. Neste trabalho aplicado às projeções dos modelos climáticos da seguinte forma:

Remoção de Viés 2 (RV2): conjunto de projeções do modelo ETA/CPTEC corrigidas da maneira seguinte: séries de precipitação e demais variáveis climatológicas corrigidas pela técnica de escalonamento linear, aplicada aos modelos regionais CT20, CT40, LOW, MID e HIGH para o período atual, Futuro 1, 2 e 3.

(c) **Delta Change** (Gellens e Roulin, 1998), baseada no cálculo das anomalias entre os valores estimados pelos modelos climáticos no período atual e no período futuro. O valor da anomalia é posteriormente utilizado para perturbar a série observada da variável no período atual gerando a série corrigida a ser utilizada nos períodos futuros. O procedimento seguinte foi aplicado às projeções climáticas utilizadas neste trabalho:

1. Cálculo dos valores das normais climatológicas a partir da série temporal estimada pelo modelo climático no período atual.
2. Cálculo dos valores das normais climatológicas a partir da série temporal estimada pelo modelo climático nos períodos futuros.

3. Estimativa da diferença (delta): quociente entre os valores das normais climatológicas nos períodos futuros e os valores das normais climatológicas no período atual. Isto resultou em delta para cada mês do ano. Tem uma diferença entre o calculo de chuva e temperatura. Para a variável temperatura delta é calculado pela diferença entre as séries atual e futura.
4. Obtenção da série temporal da variável climatológica nos períodos futuros: multiplicação dos valores diários da série de dados observados no período atual pelas taxas de câmbio estimadas em 3. Isto é, todos os valores diários do mês de Janeiro são multiplicados pela taxa de câmbio de Janeiro, todos os valores diários do mês de Fevereiro são multiplicados pela taxa de câmbio de fevereiro, este procedimento é repetido até todos os dados observados fossem perturbados pelas taxas de câmbio.

Para a aplicação do método de Delta change neste trabalho a série CTRL do modelo ETA-40 período atual foi utilizada como a série de referência. O método Delta change foi aplicado da seguinte maneira:

Remoção de Viés 3 (RV3): conjunto de projeções do modelo ETA/CPTEC corrigidas pelo método delta change, neste caso esta técnica foi aplicada a todas as variáveis (normais climatológicas e precipitação) dos modelos regionais CT20, CT40, LOW, MID e HIGH. O período de referência utilizado foi o ETA_ATUAL gerando séries para Futuros 1, 2 e 3.

Dessa forma, na etapa (1), a análise de variação máxima obtida pela aplicação de cada uma das técnicas de remoção de viés foi obtida com as projeções do modelo CT40 (período atual, futuros 1, ,2 e 3) e o modelo MGB/P1 (Figura 11).

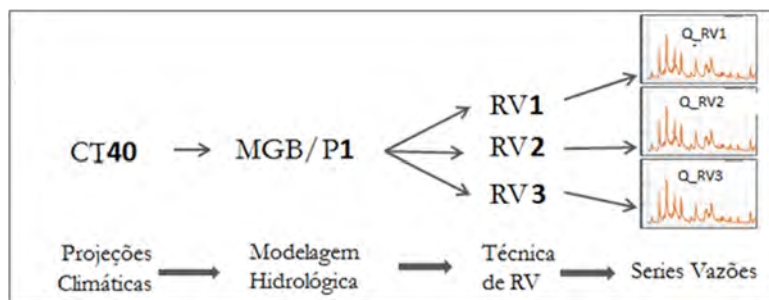


Figura 11 - Esquema metodológico da análise de incerteza da técnica de remoção de viés.

4.3.3. Projeções Climáticas

4.3.3.1. Modelos Climáticos Globais

Neste trabalho a avaliação de impactos de mudanças climáticas na Bacia do Rio Uruguai fará uso de projeções de modelos globais e regionais para diferentes variáveis climáticas de interesse, como temperatura e precipitação. Tais projeções do clima futuro foram disponibilizadas pelo Projeto de Pesquisa “Efeitos de Mudanças Climáticas no Regime Hidrológico de Bacias Hidrográficas e na Energia Assegurada de Aproveitamentos Hidrelétricos”.

O objetivo principal desse projeto é quantificar as possíveis alterações de energias asseguradas das usinas hidrelétricas do Sistema Interligado Nacional de grandes bacias hidrográficas do Brasil, considerando projeções de mudanças climáticas de modelos atmosféricos integradas com modelos hidrológicos distribuídos de grande escala para geração de vazões afluentes.

Cinco modelos globais, resumidamente descritos a seguir, foram selecionados do CMIP3: NCCSM (CCSM3), MPEH5 (ECHAM5/MPI-OM), GFCM21 (GFDL-CM2.1), MRGCM (MRI-CGCM2.3.2) e HADCM3 (UKMO-HadCM3).

NCCSM (CCSM3): O modelo CCSM (Community Climate System Model) é um modelo climático global integrado por quatro modelos geofísicos que simulam simultaneamente os sistemas superfície (Community Land Model - CLM), atmosfera (Community Atmosphere Model - CAM), mar-gelo (Community Sea-Ice Model - CSIM) e oceano (Parallel Ocean Program - POP) e estão interligados por um acoplador central (Verteinstein et al., 2004);

MPEH5 (ECHAM5/MPI-OM): a quinta versão deste modelo é a mais recente dos modelos ECHAM. Comparado com o seu predecessor ECHAM4, é mais flexível e devido às modificações realizadas no seu código, ele produz simulações climáticas significativamente diferentes das versões anteriores. O modelo é composto por um núcleo dinâmico espectral, um esquema de transporte advectivo de traços para os componentes da água (sólido, líquido e vapor) e substâncias químicas, um sistema de parametrização física que envolve esquemas de radiação de onda curta e longa, estratificação de nuvens, difusão horizontal e vertical, processos na superfície da Terra, entre outros (Roeckner et al., 2003);

GFCM21 (GFDL-CM2.1): Este modelo foi desenvolvido para simular mais realisticamente uma faixa de fenômenos de flutuações de escala diurna e temporais (eventos extremos) em escala sinóptica para o clima ao longo de séculos. Da mesma forma, este modelo é composto por outros modelos (atmosfera, superfície, oceano e mar-gelo) interligados por um acoplador central. O modelo CM2.1 incorpora várias mudanças com relação à versão anterior CM2.0, que visam reduzir o viés das simulações, como, por exemplo, na componente da superfície terrestre, a evaporação é suprimida quando o solo está congelado a uma profundidade maior que 30 cm (Delworth et al., 2006);

MRCGCM (MRI-CGCM2.3.2): este modelo foi desenvolvido para ser capaz de examinar mudanças climáticas transientes associadas às forçantes antropogênicas tais como a emissão de gases do efeito estufa e aerossóis de sulfato. O modelo já apresentou bons desempenhos para simulações dos fenômenos ENSO (El Niño e Southern Oscillation), as monções asiáticas de verão, entre outros. É também um exemplo de modelo global acoplado (Yukimoto et al., 2001);

HADCM3 (UKMO-HadCM3): Este é um dos modelos mais utilizados nas previsões e análises emitidas pelos Terceiro e Quarto Relatórios do IPCC. Foi o primeiro modelo a não necessitar de ajustes artificiais de fluxos de calor e água para obtenção de boas simulações. Foi desenvolvido para produzir simulações por períodos de mil anos. É composto por duas componentes: modelo atmosférico (HadCM3) e o modelo

oceânico (que inclui o modelo mar-gelo). As simulações são feitas para anos de 360 dias, 30 dias cada mês (Gordon et al., 2000).

Os modelos MPEH5, MRCGCM, GFCM21 e HADCM3, foram selecionados de acordo com metodologia proposta por Cavalcanti (2011). Tal metodologia leva em consideração a capacidade do modelo em simular corretamente os padrões de chuva observados na América do Sul adotando os seguintes critérios:

1. Aderência da simulação 1980-2000 com a climatologia de chuvas no Brasil;
2. Uso de soluções numéricas diferentes, como volumes finitos e grades ajustáveis; e
3. Uso de alta resolução espacial nos submodelos oceânicos e atmosféricos;

O modelo NCCCSM foi também incluído neste projeto por ter uma melhor resolução espacial nos oceanos, o que potencialmente teria um impacto positivo visto que o papel dos oceanos na memória climática do planeta é imprescindível. Este modelo também apresenta adequada resolução atmosférica.

A Tabela 4 resume as características técnicas destes modelos como o método de solução numérico empregado e resolução espacial.

Tabela 4- Resumo técnico dos modelos climáticos globais avaliados. Adaptado de Solomon et al. (2007).

Sigla	Pais	Instituição	Resolução Atmosférica (lat/long)	Resolução Oceânica (lat/long)	Tipo de Grade
NCCCSM (CCSM3)	EU	National Center for Atmospheric Research (NCAR)	1.4° x 1.4° L(26) T(85)	0.3-1° x 1° L(40)	Espectral
MPEH5 (ECHAM5/MPI-OM)	Alemanha	Max Planck Institute for Meteorology	1.9° x 1.9° L(31) T(63)	1.5° x 1.5° L(40)	Espectral
GFCM21 (GFDL-CM2.1)	EU	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory – NOAA	2.0° x 2.5° L(24) T(63)	1.4° x 0.9° L(29)	Volumes Finitos
MRCGCM (MRI-CGCM2.3.2)	Japão	Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency	2.8° x 2.8° L(30) T(42)	2.5° x 2.0° L(23)	Espectral
HADCM3 (UKMO-HadCM3)	Inglaterra	Hadley Centre for Climate Prediction and Research	2.5° x 3.75° L(19) T(63)	1.25° x 1.25° L(20)	Espectral

Pela Tabela 4 se observa que apenas o modelo climático GFCM21 possui grades do tipo volumes finitos, enquanto os demais são do tipo método espectral.

As equações de fluidos planetário, usadas em modelos climáticos, podem ser discretizadas usando tanto método de volumes finitos, diferenças finitas e método espectral. Para diferenças finitas, uma grade regular é imposta sobre a atmosfera. O modelo mais simples usaria um espaçamento da grade angular constante, ou seja, uma grade de latitude/longitude o que evidentemente cria problemas nos pólos onde o espaçamento de grade tende a zero. Neste sentido, é mais interessante usar grades não regulares. Um exemplo destas grades são as discretizações que usam volumes finitos com grades não retangulares.

Os modelos espectrais usam uma base de funções harmônicas esféricas para projetar as equações primitivas. Assim, eles geralmente usam uma grade gaussiana, por causa da facilidade da transformação matemática do espaço “espectral” para de ponto grade sobre a superfície do planeta.

4.3.3.2 O Modelo Regional ETA-CPTEC

Além dos modelos climáticos globais supracitados, no presente trabalho foi utilizado o Modelo Regional ETA-CPTEC. Este RCM (downscaling dinâmico) é resultado da parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Centro Meteorológico Inglês Hadley Centre (Met Office Hadley Centre MOHC) que ofereceu os cenários climáticos globais com resolução temporal suficiente para rodar o modelo regional brasileiro ETA-CPTEC. Por meio desta cooperação entre o INPE e o MOHC foram preparados e disponibilizados conjuntos de dados de fronteiras do modelo globais inglês HadCM3, para o clima do presente (1961-1990) e do futuro (2010-2100).

No Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), o ETA gera operacionalmente previsões de tempo, previsões sazonais (CHOU et al., 2005), além de projeções de cenários de mudanças climáticas (CHOU et al., 2011 e MARENGO et al., 2012), em diferentes resoluções horizontais.

As variáveis atmosféricas utilizadas para alimentar o modelo ETA são: umidade específica do ar, temperatura potencial do ar, pressão atmosférica à superfície terrestre e vento horizontal. Estas variáveis estão distribuídas em uma grade de malha regular com resolução de 2,5° na latitude por 3,75° na longitude, na horizontal, e 19 níveis na vertical. O modelo possui todos os esquemas de parametrização de processos físicos comuns em modelos atmosféricos operacionais.

A elaboração dos ensembles deste RCM foi baseada em múltiplas alterações nos parâmetros do GCM HadCM3. Collins et al. (2006), introduziram alterações, ou perturbações, nos valores de 29 parâmetros do modelo HadCM3, gerando 17 diferentes versões do modelo HadCM3. As 17 versões correspondem a uma versão em que os parâmetros não foram perturbados, denominada de membro controle, e 16 versões em que os parâmetros foram perturbados.

De acordo com Chou et al. (2014), a partir dos 17 membros do conjunto original criado pela equipe do Hadley Centre, o INPE selecionou um subconjunto de quatro membros do HadCM3 para servir de condição de contorno ao modelo regional do ETA-CPTEC, sendo que foram utilizados o membro controle e mais três outros membros. Estes três membros foram escolhidos de forma a representar a

adequadamente toda a faixa de incerteza dos 17 membros originais, em termos de aumento da temperatura média global. Os três membros selecionados podem ser denominados de Alta Sensibilidade (Membro High); Média Sensibilidade (Membro Midd) e Baixa Sensibilidade (Membro Low), de acordo com o aumento da temperatura média global ao longo do século XXI. O *ensemble* de quatro membros utilizados no presente projeto de pesquisa é completado pelo membro controle (Membro Ctrl).

Cada um dos quatro membros do modelo HadCM3 foi utilizado como condição de contorno para as rodadas do modelo ETA CPTEC com resolução espacial de 40 km (ETA 40). Outra versão com resolução de 20 km (ETA 20) também foi utilizada para o membro controle. Para ambas as resoluções o cenário de emissão de GEE selecionado foi o A1B. A Figura 12 apresenta o aumento de temperatura projetado pelo Modelo ETA 40 para o Brasil durante o século XXI. A Figura 13 apresenta a relação entre as anomalias de temperatura e precipitação projetadas para o Brasil pelo Modelo ETA em três períodos futuros (2011-2040; 2041-2070 e 2071-2100) em relação ao período base (1961-1990).

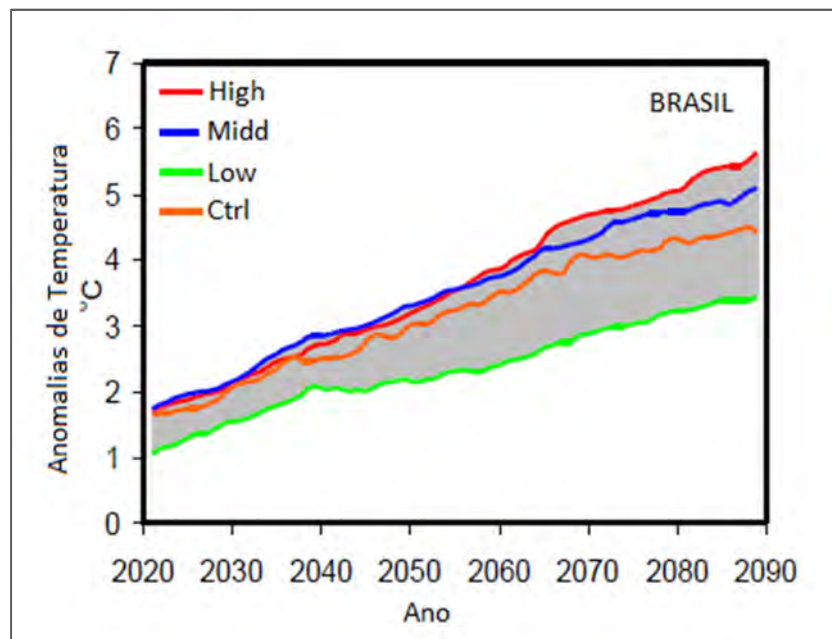


Figura 12 - Aumento de temperatura projetado pelo Modelo ETA/CPTEC (40km) para o Brasil para século XXI. Adaptado de Marengo et al (2012).

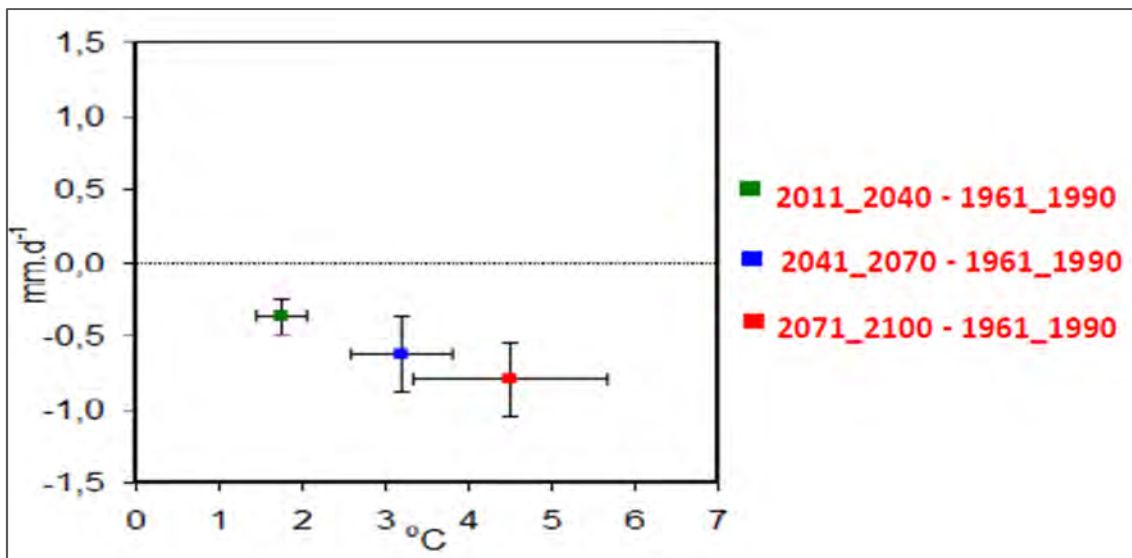


Figura 13 - Relação entre as anomalias de temperatura (°C) e precipitação (mm/dia) projetadas para o Brasil pelo Modelo ETA para cada um dos horizontes de tempo futuros em relação ao período base (1961-1990). Fonte: Marengo et al., (2012).

Em todas as simulações dos modelos climáticos globais e regionais, o período de 1961 a 1990 foi utilizado para representar o clima atual. O período de 2011 a 2100, que representa o clima do futuro no século XXI, foi dividido em três subintervalos de 30 anos cada (Futuro 1: 2011-2040; Futuro 2: 2041-2070; Futuro 3: 2071-2100).

Todas as rodadas de modelos climáticos foram obtidas considerando o cenário de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) A1B.

As projeções de cinco diferentes versões do modelo climático regional ETA/CPTEC são aqui consideradas como diferentes modelos regionais, sendo quatro de resolução igual a 40 km e um com resolução de 20 km.

A partir do modelo ETA/CPTEC dados diários das seguintes variáveis foram gerados: temperatura a 2 metros acima da superfície terrestre (°C); temperatura do ponto de orvalho a 2 metros acima da superfície terrestre (°C); pressão atmosférica à superfície terrestre (hPa); precipitação total (mm); vento a 10 m (m.s-1); e radiação média de onda curta incidente à superfície terrestre (W.m-2).

Estas variáveis foram disponibilizadas em cinco conjuntos: quatro membros do modelo Eta 40 km, denominadas High, Low, Medium, e Control, de acordo com o a

sensibilidade do clima em cada membro das rodadas do modelo global HadCM3 e uma rodada do modelo Eta 20km, obtida a partir do membro controle do modelo HadCM3.

A Tabela 5 apresenta resumidamente os modelos utilizados para simulação hidrológica na BHRU em condições de mudanças climáticas.

Tabela 5 - Nomenclatura dos modelos globais e regionais de acordo com os períodos de tempo de simulados.

Modelo	Período de tempo			
	1961 a 1990	2011 a 2040	2041 a 2070	2071 a 2100
NCCC	NCCC_atual	NCCC_Fut1	NCCC_Fut2	NCCC_Fut3
HADC	HADC_atual	HADC_Fut1	HADC_Fut2	HADC_Fut3
GFCM	GFCM_atual	GFCM_Fut1	GFCM_Fut2	GFCM_Fut3
MRCG	MRCG_atual	MRCG_Fut1	MRCG_Fut2	MRCG_Fut3
MPEH	MPEH_atual	MPEH_Fut1	MPEH_Fut2	MPEH_Fut3
CT20	CT20_atual	CT20_Fut1	CT20_Fut2	CT20_Fut3
CT40	CT40_atual	CT40_Fut1	CT40_Fut2	CT40_Fut3
LOW	LOW_atual	LOW_Fut1	LOW_Fut2	LOW_Fut3
MID	MID_atual	MID_Fut1	MID_Fut2	MID_Fut3
HIGH	HIGH_atual	HIGH_Fut1	HIGH_Fut2	HIGH_Fut3

No contexto da Etapa (1), para a avaliação das variações obtidas com os diferentes GCM's, foi utilizada a seguinte combinação: MGB/P1, RV3 e GCM's (NCCC, HADC, GFCM, MRCG e MPEH). As séries obtidas pelos modelos globais representam valores de médias mensais, logo não podem ser usadas para a análise de vazões extremas (Hirabayashi et al., 2008), assim como a aplicação das técnicas de remoção de viés RV1 e RV2. Portanto, as séries dos GCM's foram avaliadas apenas em termos de QMLP.

No caso dos RCM's foi utilizada a combinação: MGB/P1, RV1, CT20, CT40, LOW, MID e HIGH (para vazões máximas e mínimas) e MGB/P1, RV3, CT20, CT40, LOW, MID e HIGH (para as vazões médias).

O esquema metodológico utilizado para análise de incerteza dos modelos climáticos é apresentado na Figura 14.

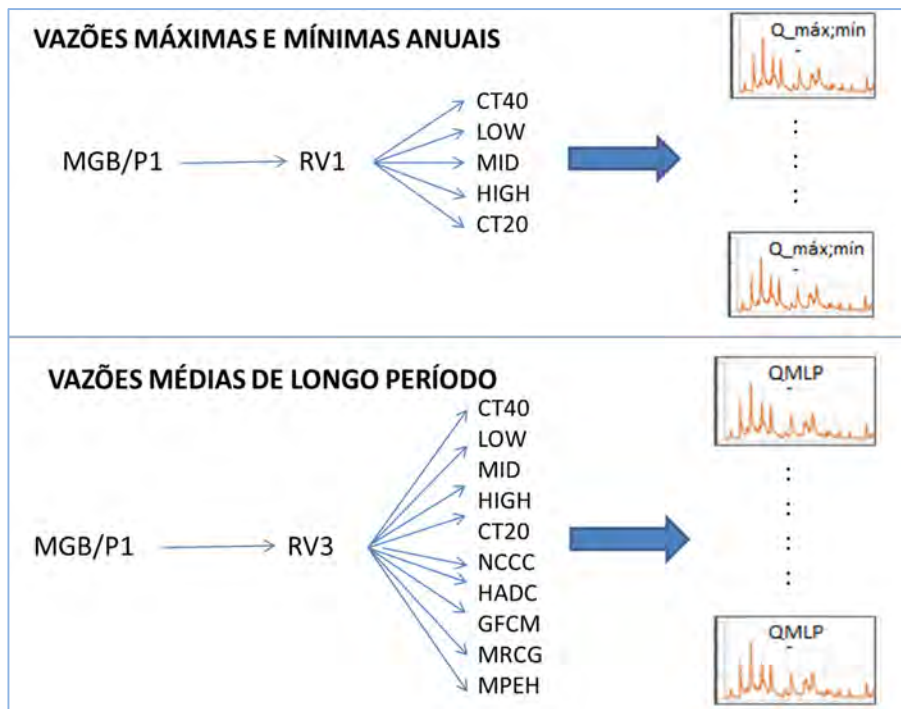


Figura 14 - Esquema metodológico da análise de incerteza da técnica de remoção de viés

4.4. ETAPA (2): ANÁLISE DE INCERTEZA

Esta etapa foi realizada pela interação entre as fontes de incertezas apresentadas na Etapa (1), cujo objetivo foi mensurar, por comparação de variação máxima, o grau de incerteza que cada uma destas fontes pode propagar ao resultado final. Na etapa anterior as fontes de incerteza são analisadas individualmente, variando suas possibilidades de ocorrência enquanto as demais fontes permaneceram fixas. Dessa forma não foram exploradas todas as possibilidades para o conjunto de informações disponíveis.

O resultado de cada uma das possíveis combinações entre as fontes de incerteza são consideradas hipóteses de como a vazão na BHRU poderá ocorrer no futuro. Logo na Etapa (2), todas essas hipóteses são combinadas para avaliar a incerteza total inserida pelas diferentes fontes a modelagem hidrológica de mudanças climáticas na BHRU. A Figura 15 ilustra o esquema metodológico da Etapa (2), onde cada hidrograma gerado é resultado de determinada combinação entre as fontes de incerteza (modelos climáticos globais e regionais - MC x modelos hidrológicos - MH x técnicas de remoção de viés - RV). A partir destes hidrogramas, obtidos para cada horizonte de tempo, as vazões de interesse são selecionadas. Neste caso as anomalias

de QMLP, máximas e mínimas anuais com tempo de retorno de dois anos. E em seguida a geração da curva de probabilidade acumulada (CDF).

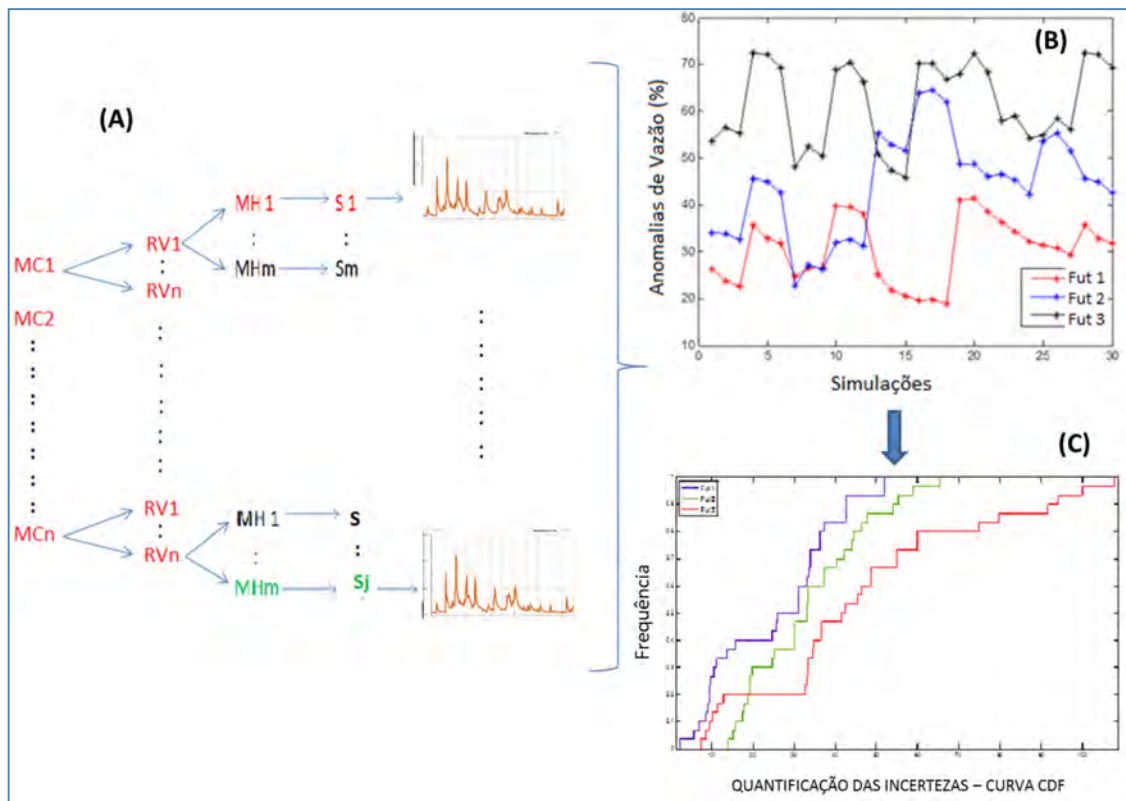


Figura 15 - Esquema metodológico da Etapa (2).

Figura 15 (A): todas as hipóteses simuladas para as diferentes fontes de incerteza são combinadas e seus resultados apresentados para hidrogramas de vazões máximas, mínimas e médias anuais. Para as vazões máximas e mínimas anuais foram realizadas 30 simulações combinando os cinco modelos climáticos (CT20, CT 40, LOW, MID, HIGH), duas técnicas de remoção de viés (RV1, RV2) e três modelos hidrológicos (MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3). No caso das QMLP foram realizadas 60 simulações. Neste caso são considerados também os modelos globais e a técnica de remoção de viés *delta change*. (CT20, CT 40, LOW, MID, HIGH, NCCC, HADC, MPEH, GFCM NRCG) x (RV1, RV2, RV3) x (MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3).

Figura 15 (B): representa a construção das séries de anomalias de vazões em relação ao período atual. Para cada horizonte de tempo analisado, de cada simulação realizada foram estimadas as vazões máximas e mínimas com período de retorno (TR)

de 2 anos, de acordo com a distribuição de Gumbel. Com os valores estimados, foram calculadas as anomalias de vazão em relação ao período atual. Para as vazões médias, as anomalias foram estimadas em termos de vazões médias de longo período (QMLP). Dessa forma foram geradas séries com 30 valores anuais (anomalia ΔQ) para cada horizonte de tempo futuro (FUT1, FUT2 e FUT3) representativas da combinação de todas as fontes de incertezas analisadas.

Figura 15 (C): os resultados em termos de anomalias de vazões (trinta valores para cada horizonte de tempo futuro) são apresentados em forma de curvas de distribuição acumulada (CDF), sendo a incerteza representada pela diferença entre os percentis 5% e 95%.

A curva de probabilidade acumulada é uma representação visual de uma função de distribuição cumulativa, que é a probabilidade que uma variável tem de ser menor ou igual a um valor especificado. Uma vez que ela é uma função cumulativa, a função de distribuição representa a soma das probabilidades que a variável tem de ser para qualquer um dos valores menores do que o indicado (Naghetini e Pinto, 2007).

Com base nos resultados obtidos através da metodologia proposta pelas etapas (1) e (2) é possível verificar como as fontes de incertezas selecionadas contribuem para a totalidade de incertezas da modelagem hidrológica de mudanças climáticas na BHRU. Esta metodologia permite também analisar a magnitude da incerteza total e obter informações mais detalhadas sobre a resposta hidrológica a mudanças climáticas incluindo a mediana, variância, níveis e intervalos de confiança (e.g. intervalos de 95%). Consequentemente, atendendo aos objetivos propostos neste trabalho.

5. RESULTADOS

Neste item os resultados são apresentados da seguinte forma:

1. Discretização da área de estudo;
2. Resultados Etapa (1)
 - a. Modelagem Hidrológica: comparação entre as séries de vazões obtidas a partir dos modelos MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3;
 - b. Técnicas de Remoção de Viés: Comparação entre as séries de vazões obtidas a partir de RV1, RV2 e RV3;
 - c. Modelos Climáticos: comparação entre as séries de vazões obtidas pelos modelos climáticos regionais e globais CT40, LOW, MID, HIGH, CT20, NCCC, HADC, GFCM, MRCG e MPEH.
 - d. Resultados Etapa (1): Comparação entre os resultados obtidos a partir de (a), (b) e (c) em termos de anomalias de vazões.
3. Resultados Etapa (2): análise de incerteza considerando a combinação de todas as simulações realizadas.

5.1. Discretização da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai

Neste trabalho a BHRU foi delimitada desde as cabeceiras dos rios Pelotas e Canoas até a confluência com o rio Ijuí (inclusive), totalizando uma área de drenagem de 110000 km². Como mencionado no item Metodologia, a área total da BHRU (Figura 11) foi dividida em sete sub-bacias, sendo seus exutórios localizados nos principais rios da área em estudo e correspondentes o todo trecho de rio que contribui para o ponto em análise (o exutório de cada sub-bacia).

A discretização da bacia do rio Uruguai foi realizada utilizando dados do MDE do SRTM e a localização dos pontos de referência (exutórios das sub-bacias).

A rede de drenagem foi definida a partir do MDE usando procedimentos de SIG, sendo adotado um valor de área de cabeceira (início do rio) igual a 115 km². Como resultado foi criada uma rede de drenagem composta por cerca de 535 trechos de rios. Uma vez definida a rede de drenagem, foram delimitadas as bacias de contribuição

correspondentes a cada trecho de rio, denominadas minibacias (Fan et. al,2010;2011). A Figura 16 apresenta o resultado final da divisão da bacia de estudo, a qual gerou um total de 535 minibacias.

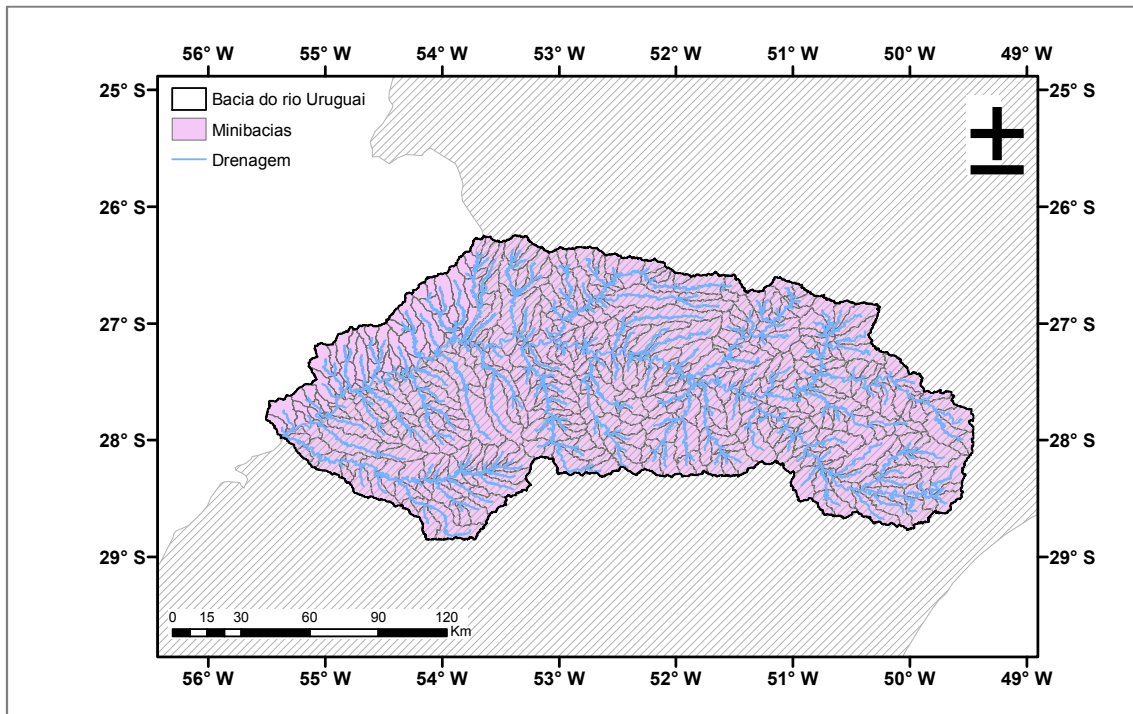


Figura 16 - Divisão da bacia de estudo em 535 elementos de discretização denominados de minibacias.

O mapa de tipos de solos da bacia do rio Uruguai foi definido com base nos mapas produzidos pelo Projeto RADAMBRASIL.

O mapa de tipos de solo é utilizado na simulação do modelo hidrológico MGB-IPH, num cruzamento com os dados de uso e ocupação da terra. Para a aplicação no modelo hidrológico, os tipos de solos foram agrupados em 3 classes, de acordo com o comportamento hidrológico esperado: solos profundos; solos rasos e água.

Observa-se na Figura 17 que a maior parte da área da bacia do rio Uruguai apresenta solos profundos dos seguintes tipos: latossolos e argissolos. Os solos rasos identificam as classes de cambissolos e neossolo, gleissolos.

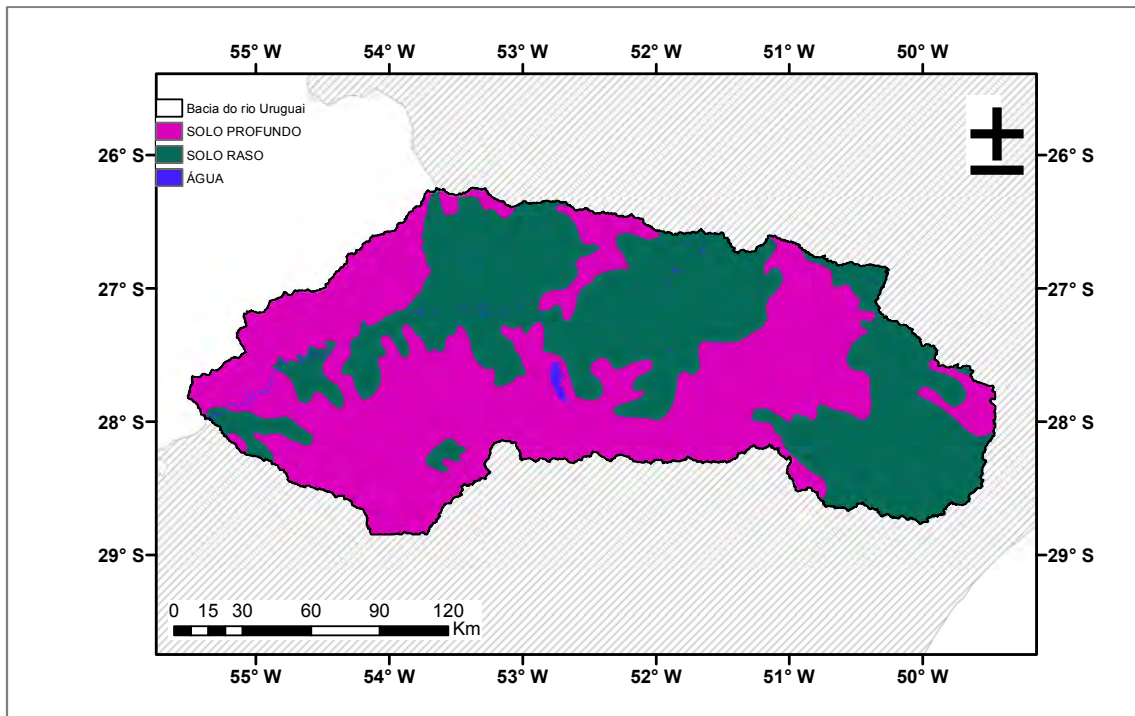


Figura 17- Mapa de tipos de solos na bacia do rio Uruguai.

O mapa de tipos de vegetação e classes de uso da terra foi obtido do Mapa de Vegetação de América do Sul (“A Vegetation Map of South America”), desenvolvido por Eva et al. (2002).

Maior detalhamento da construção dos blocos de vegetação e usos do solo pode ser visto em Fan et al. (2015).

A Figura 18 apresenta o mapa de tipos de vegetação na bacia do rio Uruguai, com classes de vegetação simplificadas.

No presente tema, com base em observações locais e estudo do mapa a legenda gerada no trabalho original foi condensada em quatro itens para a aplicação no modelo hidrológico, a saber: agricultura e pastos; campos, cerrados e estepes; florestas e água. Observa-se que predominam as áreas de agricultura, pastagem e campos. As áreas de floresta estão restritas aos trechos em torno da rede de drenagem.

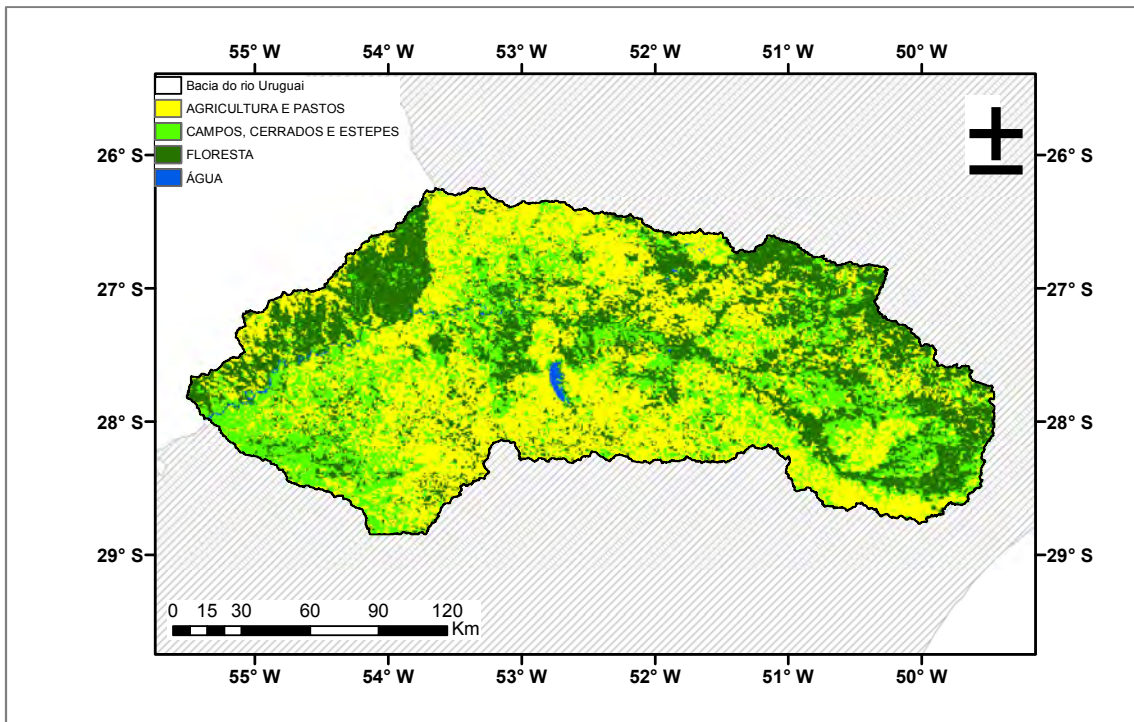


Figura 18- Mapa de classes de vegetação e tipos de usos da terra na bacia do rio Uruguai

A Figura 19 apresenta o mapa de blocos gerado para a bacia do rio Uruguai, resultado da uma combinação das informações dos mapas de solos e de vegetação, gerando um mapa de classes de comportamento hidrológico, chamado mapa de blocos. Este mapa servirá como entrada no modelo hidrológico e servirá para formação de URH.

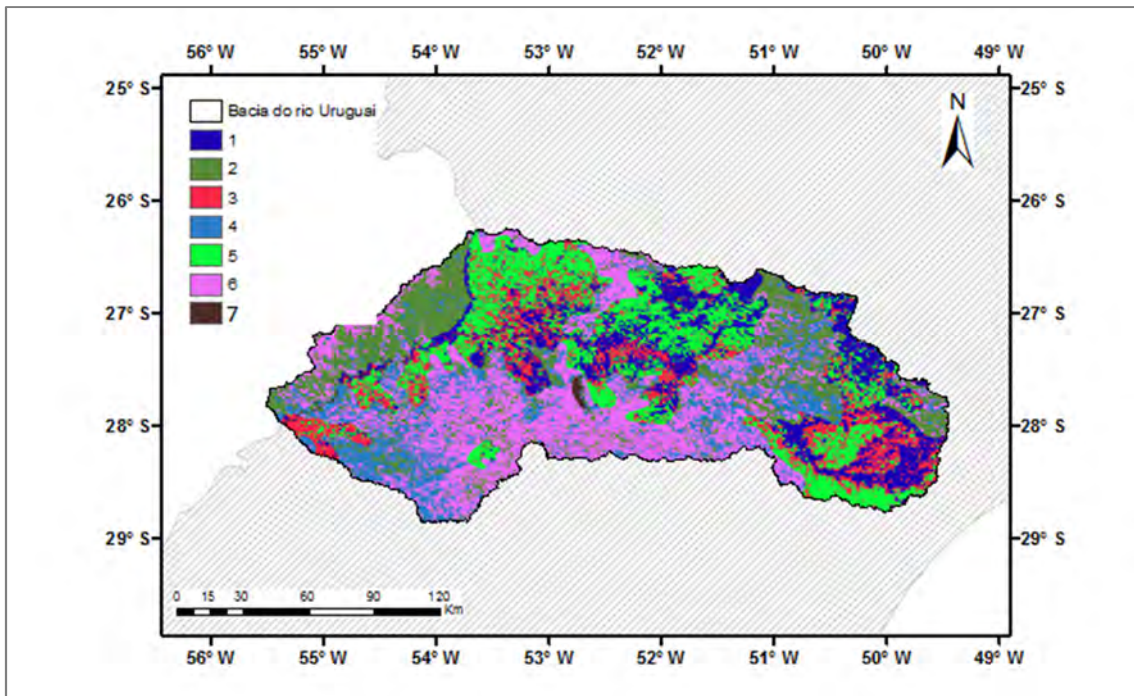


Figura 19- Mapa de blocos (URH) da bacia do rio Uruguai.

O tipo de vegetação e uso da terra dentro de cada minibacia é categorizado dentro de uma ou mais classes de acordo com a escolha do usuário, utilizando a abordagem de URH. Uma URH é uma combinação única de tipo de solo e de uso da terra. Admite-se que uma dada URH tenha o mesmo comportamento hidrológico independentemente de onde esteja localizada dentro da bacia. A Tabela 6 mostra as características de cada uma das URHs na bacia do rio Uruguai.

Tabela 6- Características das URH da bacia do rio Uruguai

Ordem	URH	Descrição
1	FL_RASO	Floresta em solo raso
2	FL_FUNDO	Floresta em solo profundo
3	CP_RASO	Campos, cerrados e estepes em solo raso
4	CP_FUNDO	Campos, cerrados e estepes em solo profundo
5	AGR_RASO	Agricultura e pastos em solo raso
6	AGR_FUNDO	Agricultura e pastos em solo profundo
7	ÁGUA	Água

Dados hidrológicos

Dados observados da Agência Nacional de Águas - ANA

Os dados diários de estações fluviométricas e pluviométricos utilizados para a modelagem da bacia hidrográfica foram obtidos no sistema Hidroweb mantido pela ANA, disponíveis em <http://hidroweb.ana.gov.br/>.

Ao total foram obtidos os dados de vazão de 33 postos fluviométricos. A Figura 20 apresenta a localização destas estações na região da bacia do rio Uruguai.

Os dados de vazão obtidos apresentaram disponibilidade temporal variada. Alguns apresentam boa disponibilidade de dados entre os anos de 1960 e 1990, e outros apresentaram períodos pequenos de dados disponíveis.

Dados de Vazão Natural

Para a bacia do rio Uruguai as séries de vazão obtidas no banco de dados Hidroweb foram utilizadas apenas para a calibração inicial, a fim de se ter uma avaliação preliminar dos parâmetros e comparar possíveis erros existentes nos dados de vazão mensal natural.

Os dados de vazão natural correspondem às vazões que teriam sido observadas nos locais analisados caso não existissem usos consuntivos da água nem reservatórios em operação a montante. Como já mencionado, os dados utilizados nesta tese são provenientes do projeto de pesquisa “Efeitos das Mudanças Climáticas na Geração de energia Elétrica” que teve como objetivo a avaliação de impactos de mudanças climáticas em bacias hidrográficas onde estão localizadas as usinas hidrelétricas (em operação ou planejadas) do SIN. Portanto, nesta tese também são utilizados os dados de vazões naturais.

Tais vazões foram obtidas diretamente do banco de dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Neste trabalho os exutórios de cada sub-bacia representam uma usina hidrelétrica (UHE) prevista ou em operação de onde são extraídos os dados de vazão. Estas usinas são coincidentes com as estações fluviométricas do banco de dados hidroweb - ANA.

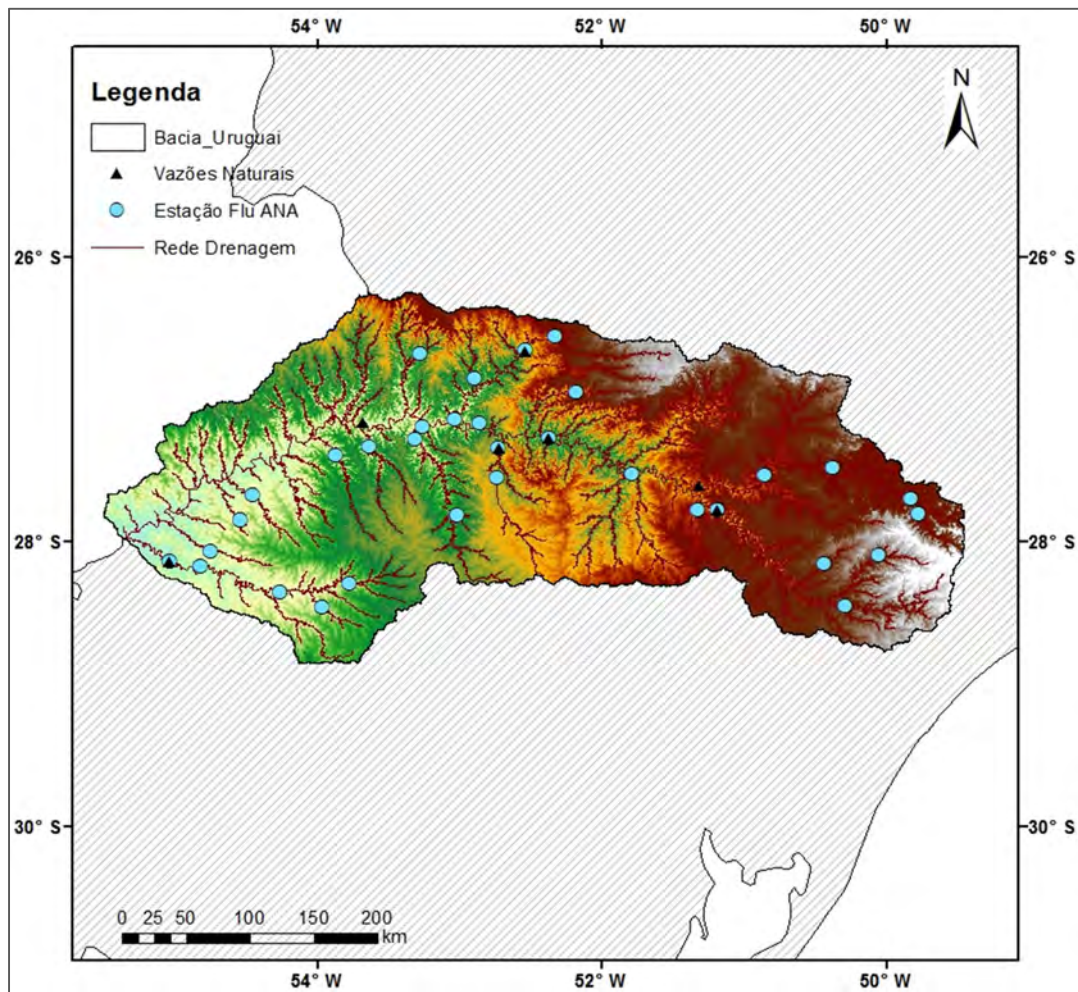


Figura 20- Mapa de localização dos postos fluviométricos com dados em intervalo de tempo diário, disponíveis na base de dados da ANA.

Com relação aos dados de precipitação, foram obtidas as informações de 123 postos pluviométricos. A Figura 21 apresenta a localização destas estações pluviométricas que constam da base de dados da ANA, na região da BHRU.

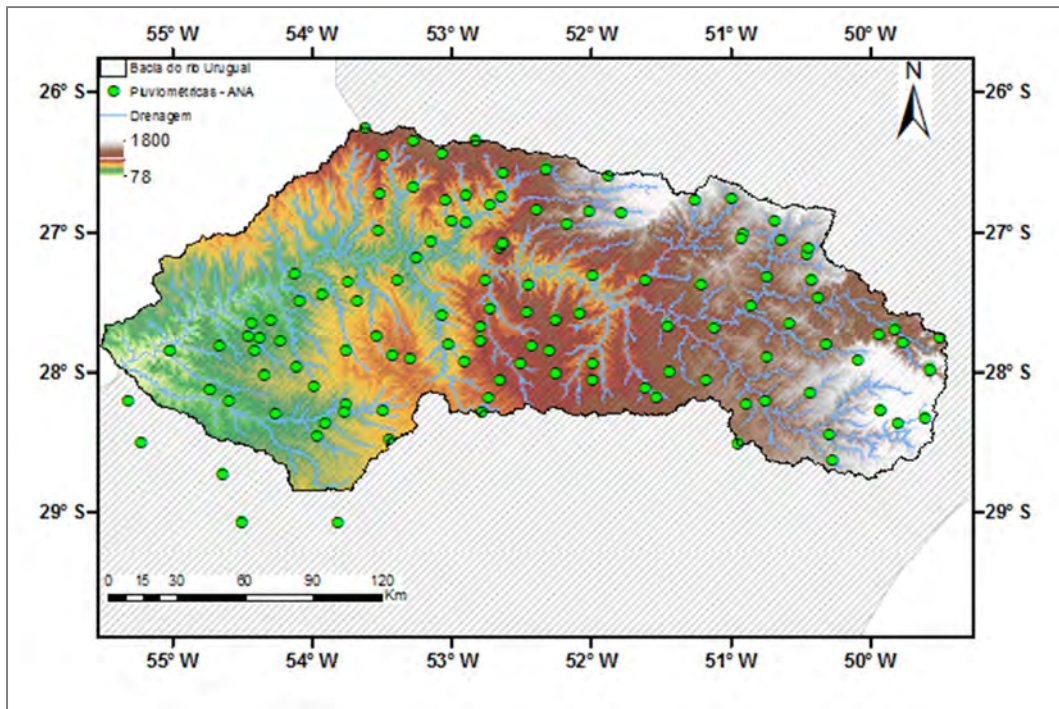


Figura 21- Mapa de localização dos postos pluviométricos com dados em intervalo de tempo diário disponível na base de dados da ANA.

Com base na disponibilidade temporal dos dados fluviométricos (dados de vazões naturais) e de dados de chuva para a bacia hidrográfica em questão, o período escolhido para a calibração do modelo hidrológico MGB-IPH foi de 1960 a 1990.

Dados meteorológicos

Os dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pressão atmosférica e insolação, utilizados para calcular a evapotranspiração nas unidades de resposta hidrológica foram obtidos de estações meteorológicas mantidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.

Nesta tese foram utilizadas, como fonte de dados meteorológicos, as normais climatológicas mensais publicadas pelo INMET, sendo selecionadas 13 estações climáticas com dados na região da bacia do rio Uruguai.

A Tabela 7 sumariza as estações com dados de normais utilizadas na simulação da bacia hidrográfica.

Tabela 7- Estações climatológicas com dados de normais utilizadas.

	Nome da Estação	Latitude	Longitude	Código da Estação
1	Lages	-27.808	-50.328	00083891
2	Iraí	-27.183	-53.233	00083881
3	Lagoa Vermelha	-28.217	-51.500	00083916
4	Campos Novos	-27.383	-51.215	00083887
5	Marcelino Ramos	-27.45	-51.916	00083885
6	Palmeira das Missões	-27.883	-53.433	00083880
7	Passo Fundo	-28.217	-52.400	00083914
8	Vacaria	-28.550	-50.700	00083918
9	Chapecó	-27.117	-52.617	00083883
10	São Joaquim	-28.300	-49.933	00083920
11	Xanxerê	-26.850	-52.400	00083858
12	Santo Ângelo	-28.300	-54.250	00083909
13	Cruz Alta	-28.633	-53.600	00083912

Da Figura 22 a Figura 26, são apresentadas as curvas das Normais Climatológicas das estações do INMET, utilizadas na simulação hidrológica da bacia estudada. Estas normais representam as médias climáticas mensais em toda a área da bacia.

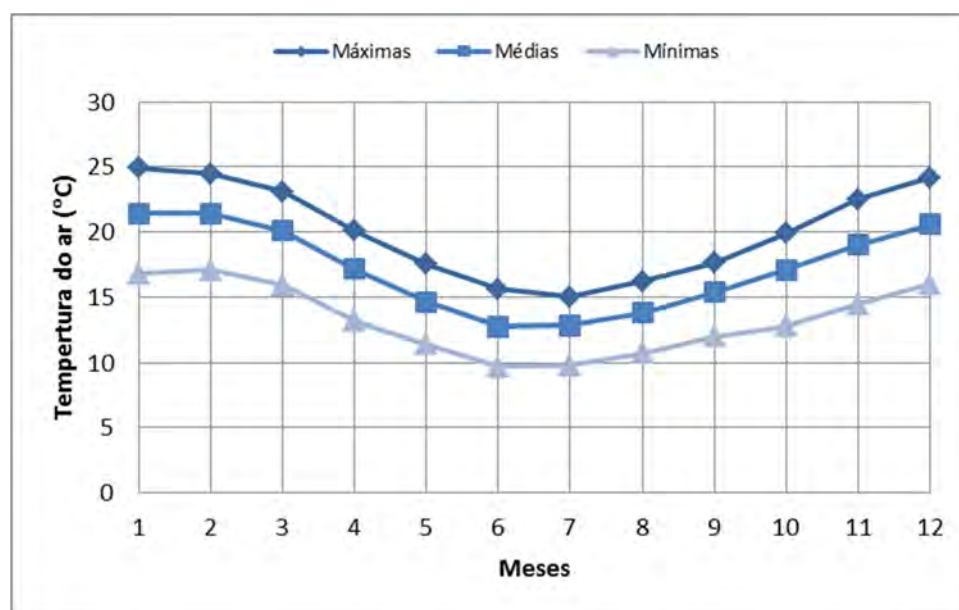


Figura 22- Temperatura Normal, calculada pelo INMET, nas estações utilizadas para a aplicação do modelo hidrológico na bacia do rio Uruguai.

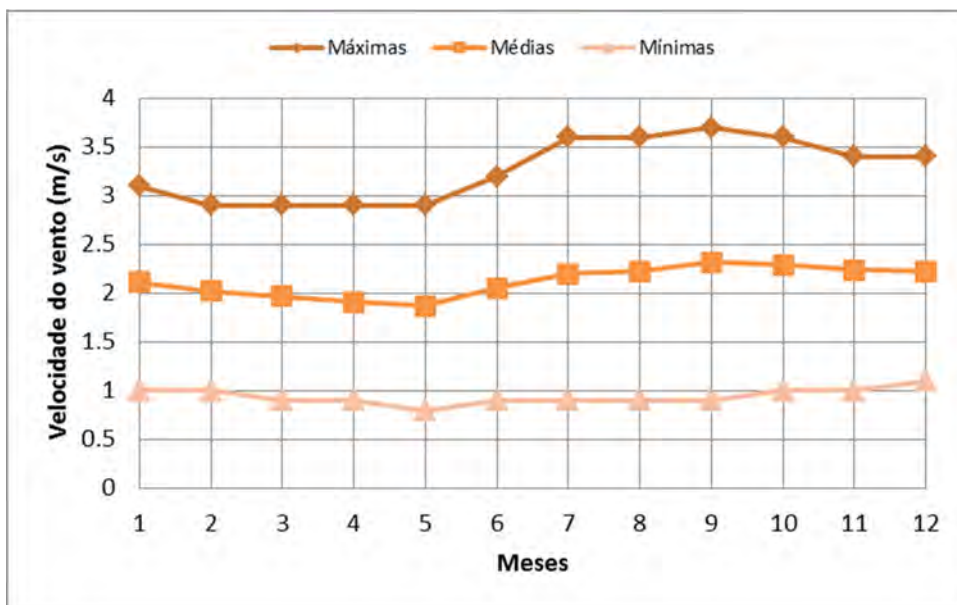


Figura 23- Velocidade do Vento Normal, calculada pelo INMET, nas estações utilizadas para a aplicação do modelo hidrológico na bacia do rio Uruguai.

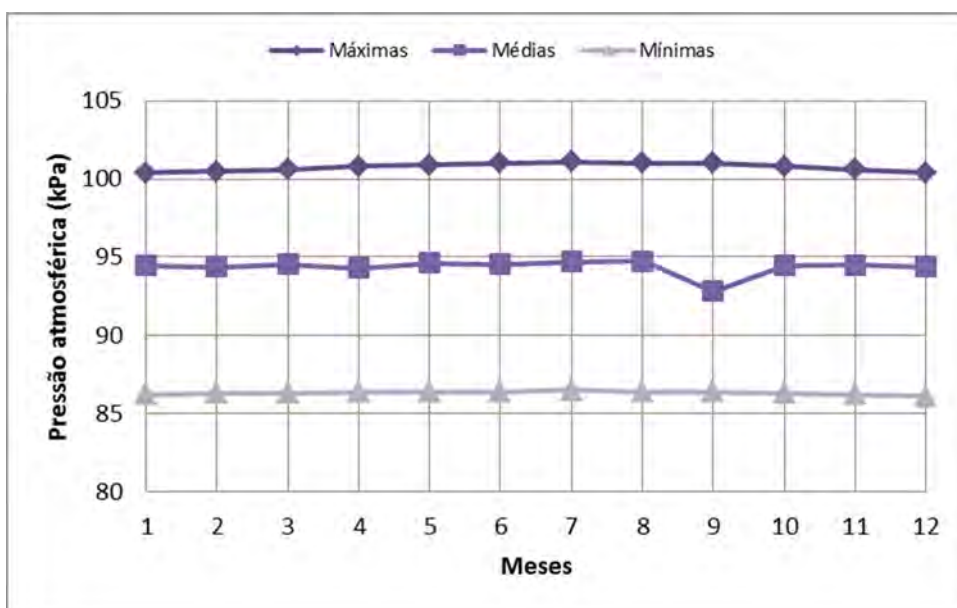


Figura 24- Pressão Atmosférica Normal, calculada pelo INMET, nas estações utilizadas para a aplicação do modelo hidrológico na bacia do rio Uruguai.

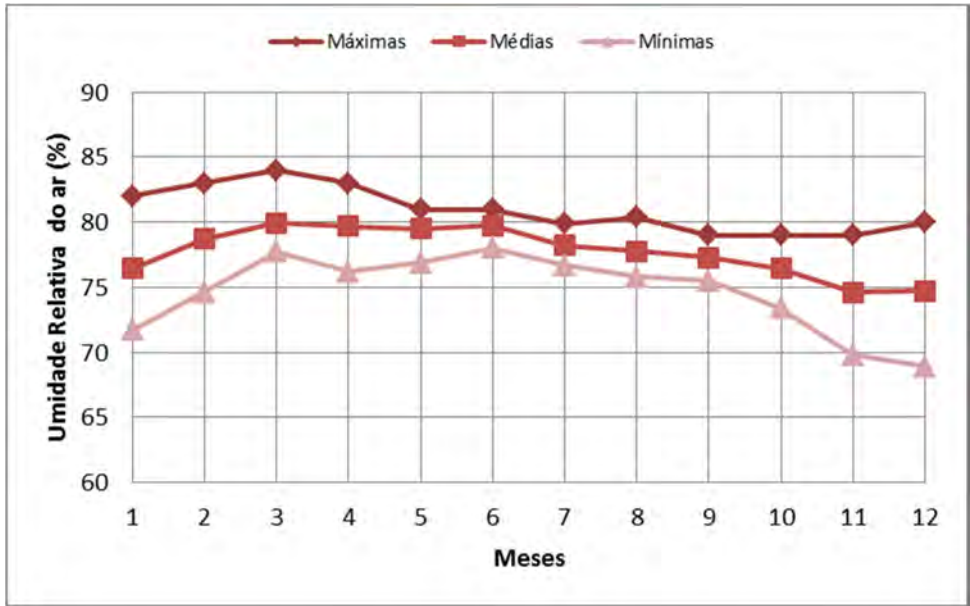


Figura 25 - Umidade Relativa Normal, calculada pelo INMET, nas estações utilizadas para a aplicação do modelo hidrológico na bacia do rio Uruguai.

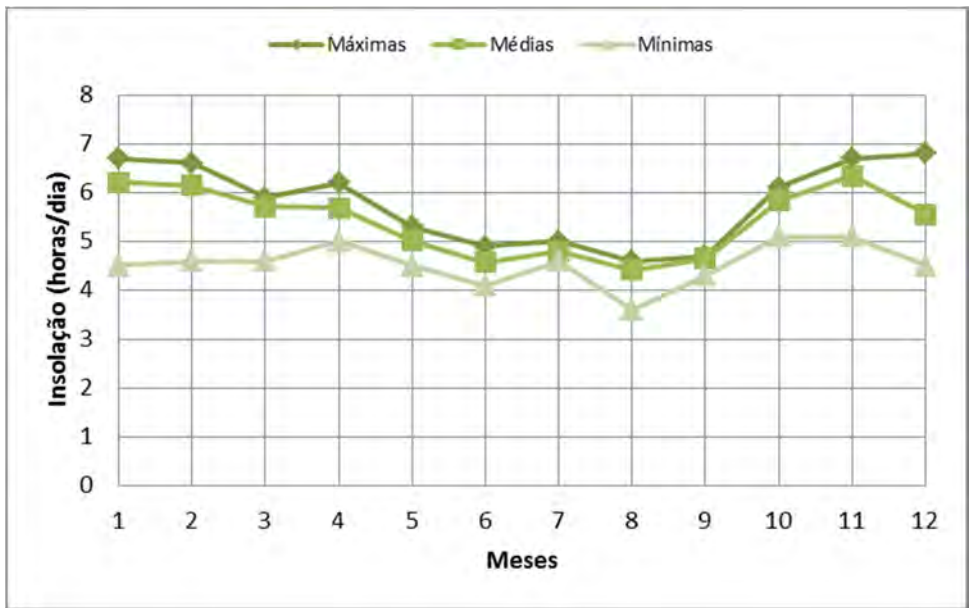


Figura 26 - Insolação modelo hidrológico na bacia do rio Uruguai.

5.2. Modelos Hidrológicos

Definição dos parâmetros modelo hidrológico MGB/IPH

Parâmetros Fixos

Os parâmetros fixos do modelo hidrológico foram estimados com auxílio de dados da literatura (ex. Shuttleworth, 1993; Collischonn, 2001) e do conhecimento dos tipos de vegetação existentes na bacia. Da Tabela 8 a Tabela 11 são apresentados os valores adotados para os parâmetros fixos na bacia do rio Uruguai. Estes conjuntos de parâmetros fixos foram utilizados pelos modelos MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3. Logo, tais parâmetros, permaneceram inalterados durante toda a modelagem hidrológica da BHRU, inclusive na etapa de avaliação de incertezas no modelo.

Tabela 8- Valores de Albedo adotados para a bacia do rio Uruguai.

UHR	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
2	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
3	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
4	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
5	0.2	0.2	0.2	0.21	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.22	0.21
6	0.2	0.2	0.2	0.21	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.22	0.21
7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela 9- Valores de Índice de Área Foliar (IAF) adotados para a bacia do rio Uruguai.

UHR	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
3	3	3	2	2	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2	3
4	3	3	2	2	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2	2	3
5	4	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	3
6	4	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	3
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabela 10 - Valores da altura média das árvores adotados para a bacia do Uruguai.

UHR	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
5	0.6	0.6	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.3
6	0.6	0.6	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.3
7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela 11 - Valores da resistência superficial em boas condições de umidade do solo adotados para a bacia do Rio Uruguai.

UHR	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
2	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
3	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
4	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
5	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
6	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Parâmetros Calibráveis

Os parâmetros modificados conforme a seleção de diferentes períodos de calibração para MGB/P1, MGB/P2; MGB/P3 são os parâmetros calibráveis.

Os parâmetros calibráveis do modelo hidrológico MGB-IPH, foram associados às propriedades físicas das URHs. Dada a abordagem do modelo MGB-IPH ser baseada em URHs, foram ajustados diferentes conjuntos de parâmetros, cada um associado a uma determinada URH, cujos valores buscaram refletir seu comportamento hidrológico.

No item a seguir são apresentados os resultados da calibração e verificação dos modelos MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 para cada ponto da área de estudo.

5.2.1 O modelo MGB/P1

Resultados da Calibração e Verificação MGB/P1

Este modelo foi calibrado com dados observados de 01/01/1960 a 31/12/1990. O período de verificação compreende aos dados observados de 01/01/1992 a 31/12/1999. Na Tabela 12 são apresentados, como exemplo, os valores finais da calibração no ponto Itapiranga, localizado no rio Uruguai.

Tabela 12 - Conjunto de parâmetros calibráveis do MGB/P1, definidos na calibração manual do modelo para a sub-bacia 6 (517_Itapiranga).

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
1	150	0.10	0.50	7.20	0.6	0	0.10
2	200	0.10	0.50	7.20	0.6	0	0.10
3	100	0.10	0.50	7.20	0.6	0	0.10
4	150	0.10	0.50	7.20	0.6	0	0.10
5	80	0.10	0.50	7.20	0.6	0	0.10
6	100	0.10	0.50	7.20	0.6	0	0.10
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.00
CS	14						
CI	90						
CB	50000						
Qesp	0.010						

No Anexo A desta tese, são apresentados todos os valores de parâmetros calibráveis, ajustados para os modelos MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3, em cada ponto analisado na BHRU.

A Tabela 13 apresenta as medidas de desempenho, obtidas para a simulação das vazões mensais, do modelo no período de calibração em cada um dos pontos analisados.

Tabela 13 - Medidas de desempenho nos diferentes pontos em análise no período de calibração (de 01/01/1960 até 31/12/1990).

Cód.	Nome	ENS	ENSlog	ΔV
215	Barra Grande	0.90	0.88	2.2
216	Campos Novos	0.92	0.86	1.69
92	Itá	0.94	0.91	-2.28
220	Monjolinho	0.92	0.88	1.66
286	Quebra Queixo	0.81	0.70	5.19
292	Itapiranga	0.95	0.91	-0.28
103	Passo São João	0.90	0.87	-2.47

Quanto aos resultados das medidas de desempenho, os índices de Nash-Sutcliffe (ENS) das vazões variaram entre 0.81 e 0.95. Já os resultados para o coeficiente de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões variam entre 0.70 e 0.91. Isso indica que a simulação hidrológica está representando bem os dados observados, inclusive em períodos de vazões mais baixas. Os erros de volume foram baixos, variando na faixa de -2.47% a 5.187%, e não apresentaram tendência sistemática de superestimativa ou subestimativa. Os resultados da calibração são considerados satisfatórios em todos os pontos de interesse.

Da Figura 27 a Figura 33, são apresentados os hidrogramas resultantes da calibração do modelo hidrológico para as vazões médias mensais.

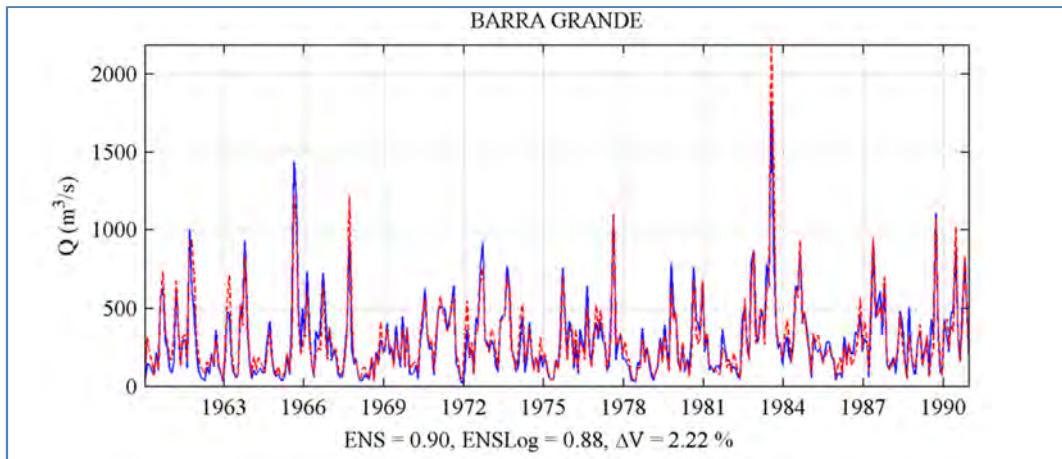


Figura 27- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Pelotas Ponto Barra Grande.

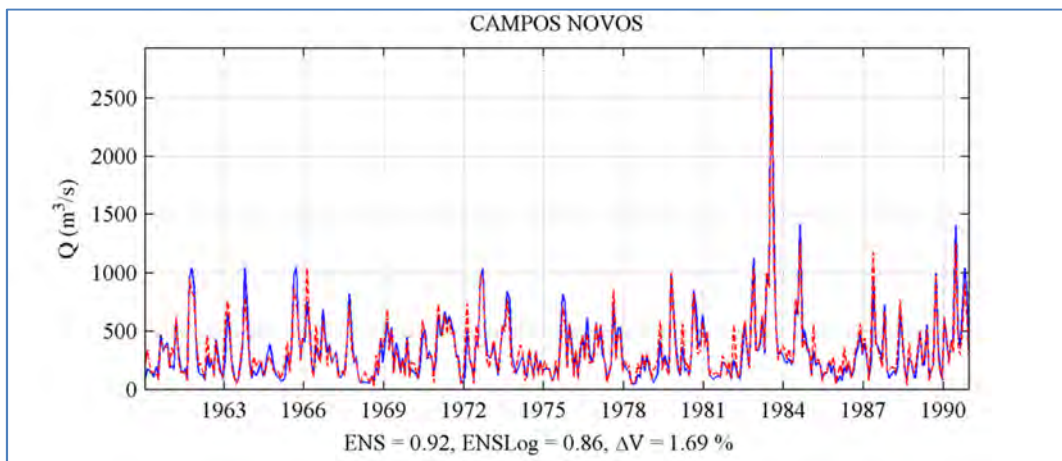


Figura 28 - Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Canoas Ponto Campos Novos.

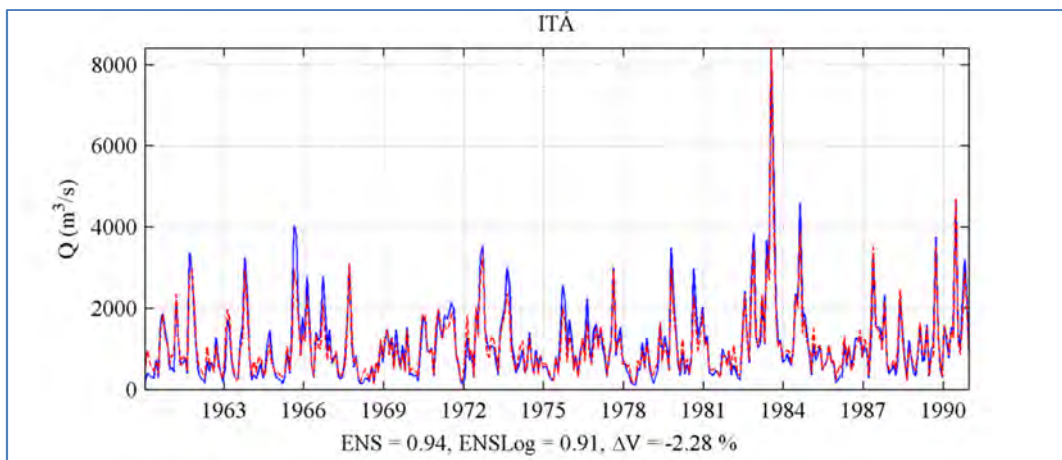


Figura 29- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Uruguai Ponto Itá.

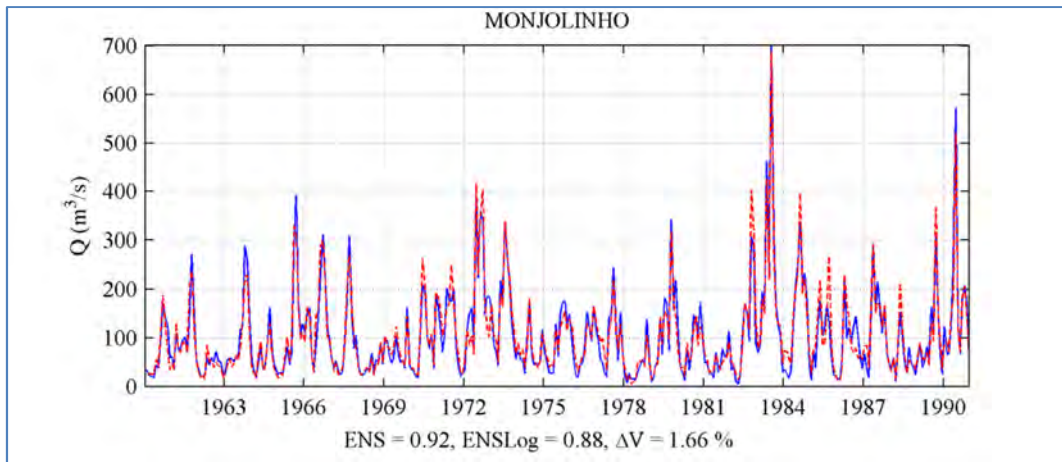


Figura 30- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Passo Fundo Ponto Monjolinho.

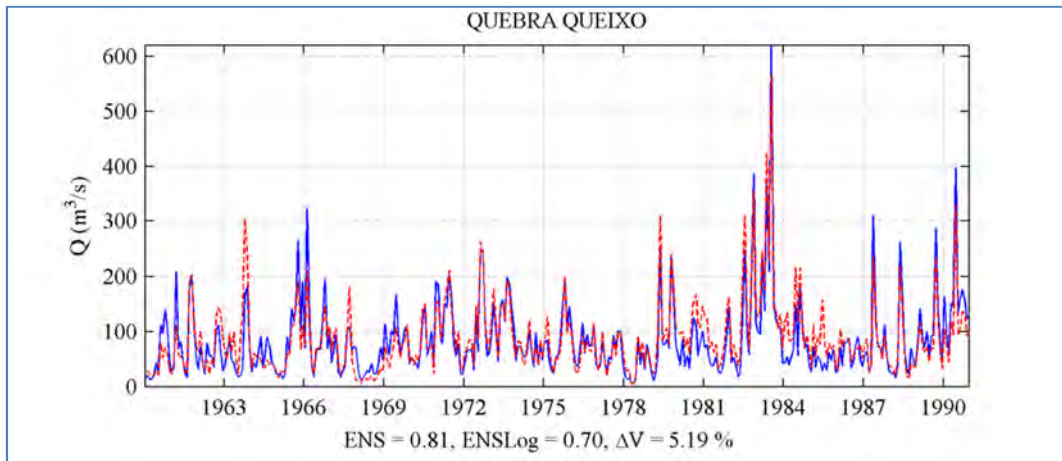


Figura 31- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no Chapecó Ponto Quebra Queixo.

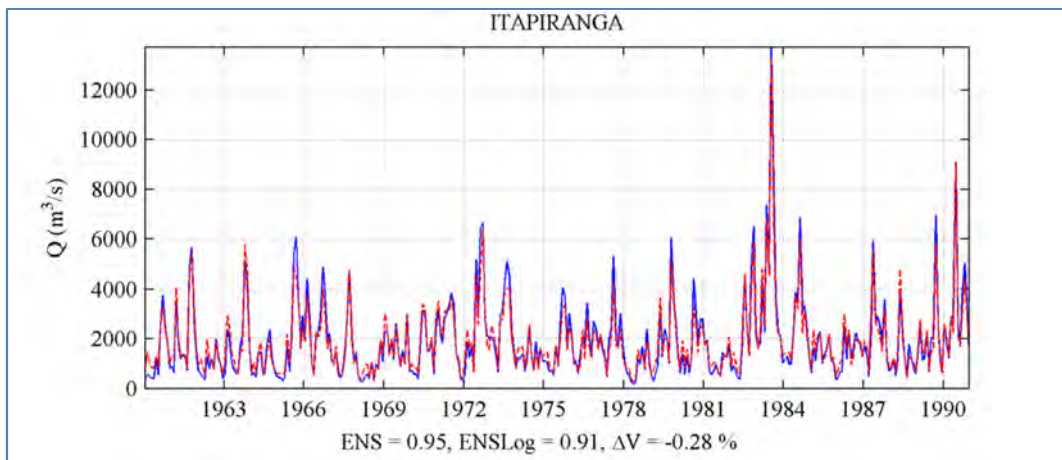


Figura 32- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Uruguai Ponto Itapiranga.

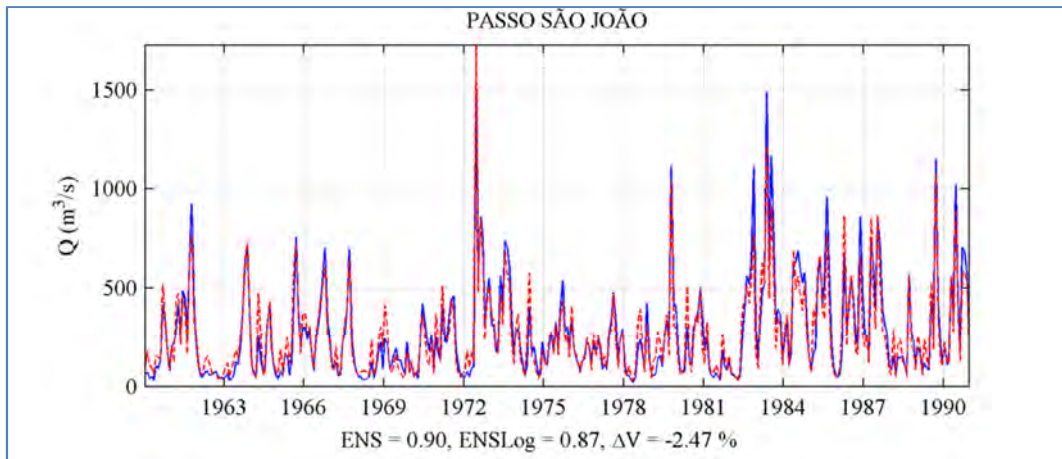


Figura 33 - Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Ijuí Ponto Passo São João.

Como mencionado anteriormente, a etapa de verificação do modelo MGB/P1 na BHRU foi realizada com dados do período de Janeiro de 1992 a dezembro de 1999.

A Tabela 14 apresenta as medidas de desempenho do modelo resultante da verificação, para as sub-bacias de cada sub-bacia.

Tabela 14 - Medidas de desempenho nos diferentes pontos analisados no período de verificação (de 01/01/1992 até 31/12/1999).

Cód.	Nome	ENS	ENSlog	ΔV
215	Barra Grande	0.90	0.91	3.7
216	Campos Novos	0.93	0.88	5.3
92	Itá	0.95	0.95	8.1
220	Monjolinho	0.84	0.85	-9.5
286	Quebra Queixo	0.80	0.65	-17.8
292	Itapiranga	0.95	0.95	2.5
103	Passo São João	0.89	0.80	-5.1

Os coeficientes de eficiência de Nash-Sutcliffe (ENS) das vazões variaram entre 0.80 e 0.95. O coeficiente de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões (ENSLog) apresentou valores entre 0.65 e 0.95. Os erros de volume variam entre -17.8% e +8.1%.

As maiores diferenças foram encontradas para os pontos Monjolinho e Quebra Queixo. Este último localizado no rio Chapecó, tem uma área de drenagem relativamente pequena, respectivamente de 3754km² e 2670 km², o que pode ter influenciado no baixo desempenho. Os resultados obtidos no ponto Quebra Queixo

apresentaram desde a etapa de calibração o menor valor para o coeficiente de Nash-Sutcliffe dos logaritmos e Nash-Sutcliffe, respectivamente 0.70 e 0.81, e do erro de volume (+ 5.2%). Esta é uma sub-bacia de cabeceira com poucos dados pluviométricos, o que justifica o erro de volume obtido na verificação. Contudo, as diferenças entre a modelagem do período de calibração e verificação são aceitáveis.

Os resultados da verificação, para cada uma das sub-bacias do rio Uruguai, são apresentados da Figura 33 a Figura 40.

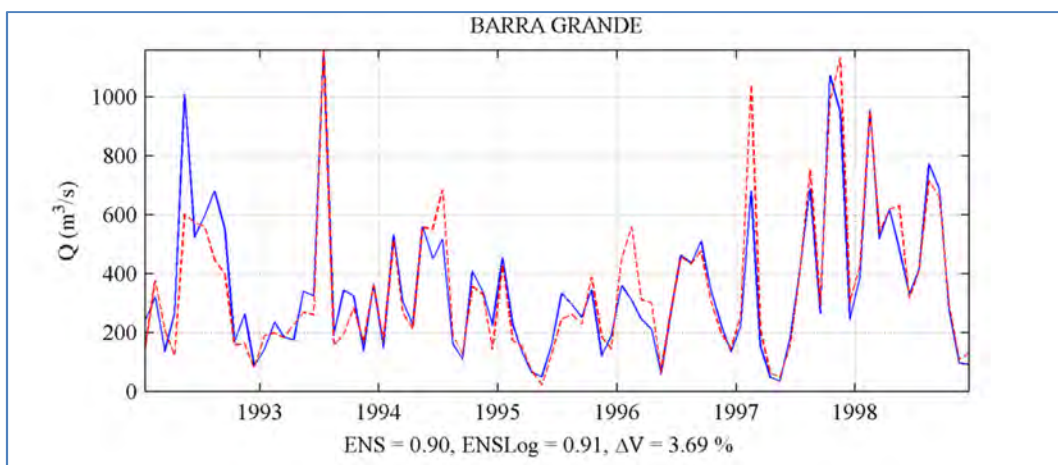


Figura 34 - Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Pelotas. Barra Grande.

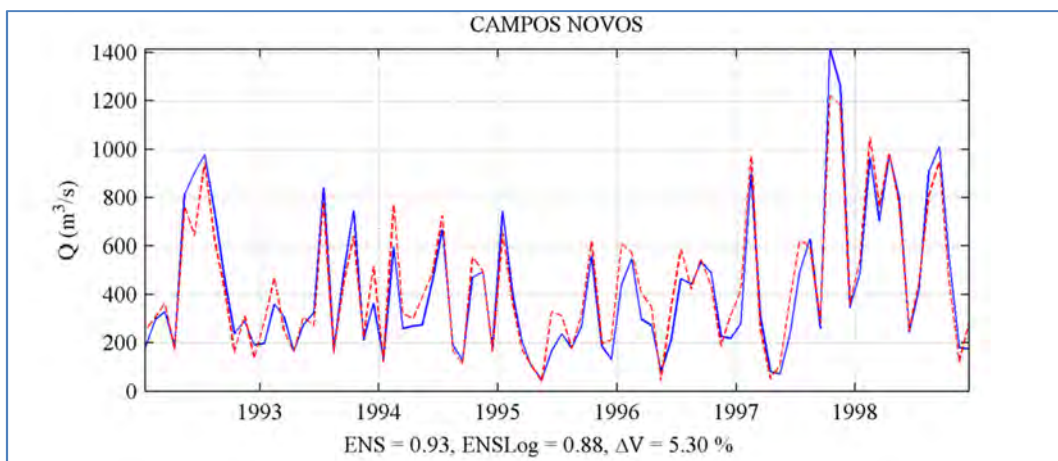


Figura 35- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Canoas. Campos Novos.

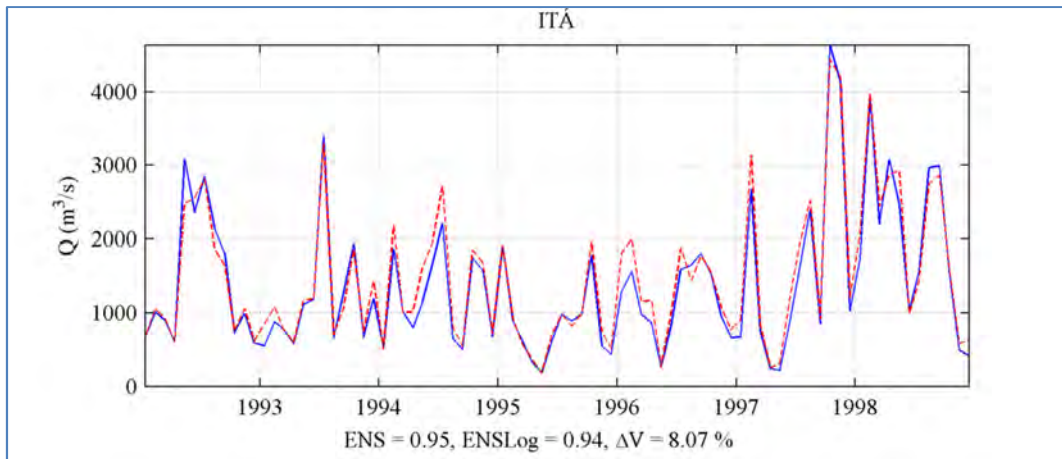


Figura 36- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no Uruguai. Itá.

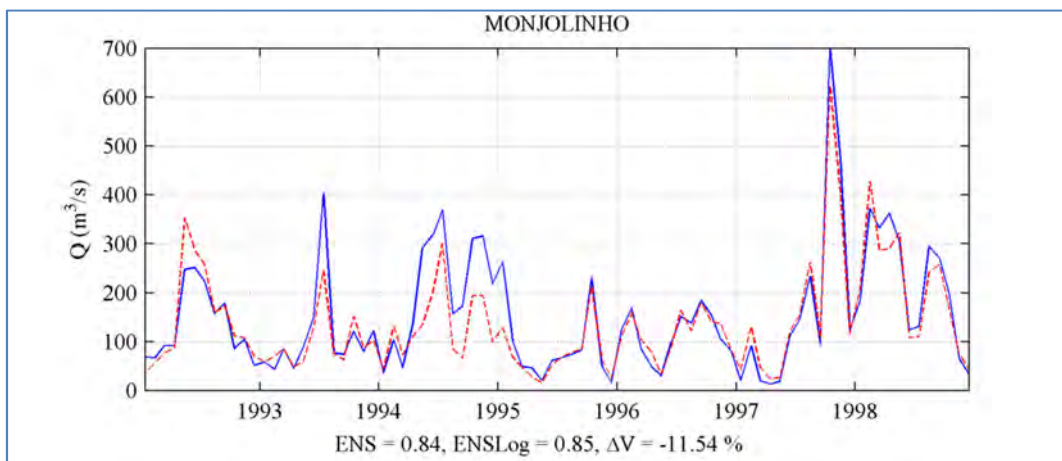


Figura 37- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Passo Fundo. Monjolinho.

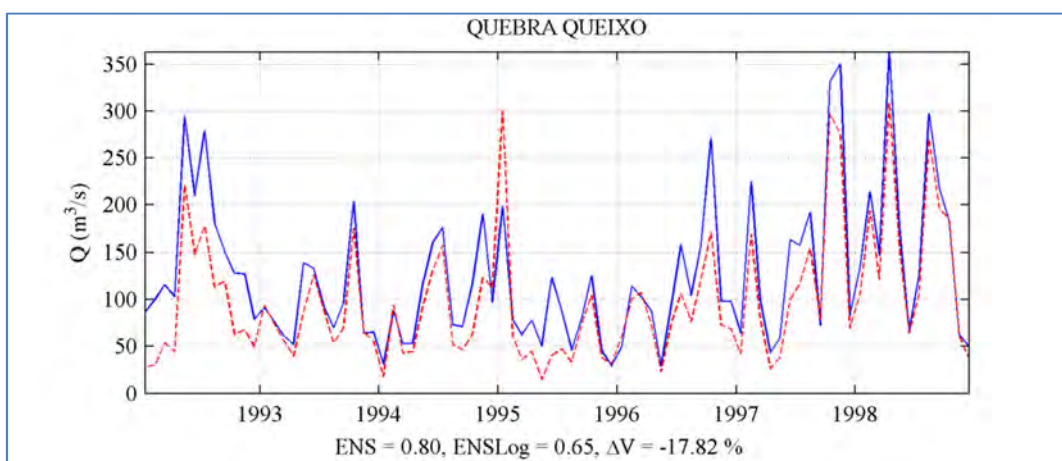


Figura 38- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Chapecó. Quebra Queixo.

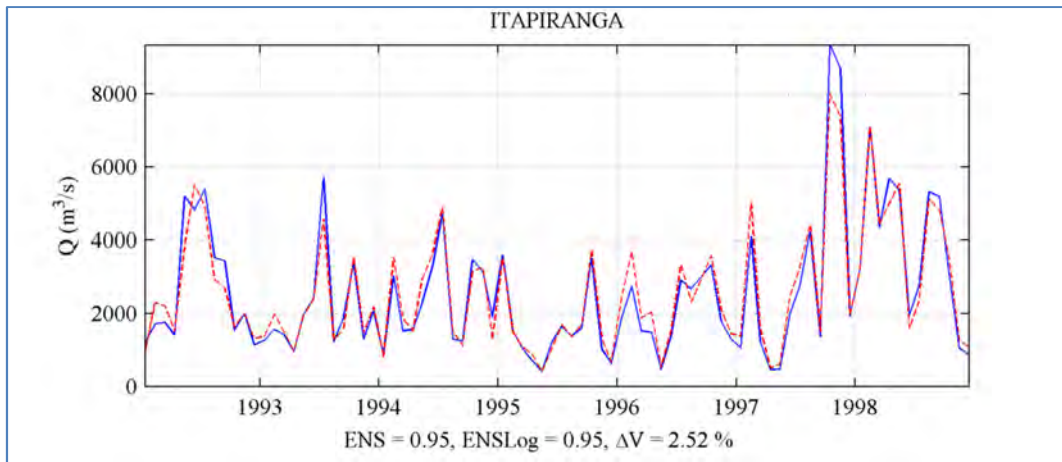


Figura 39- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Uruguai. Itapiranga.

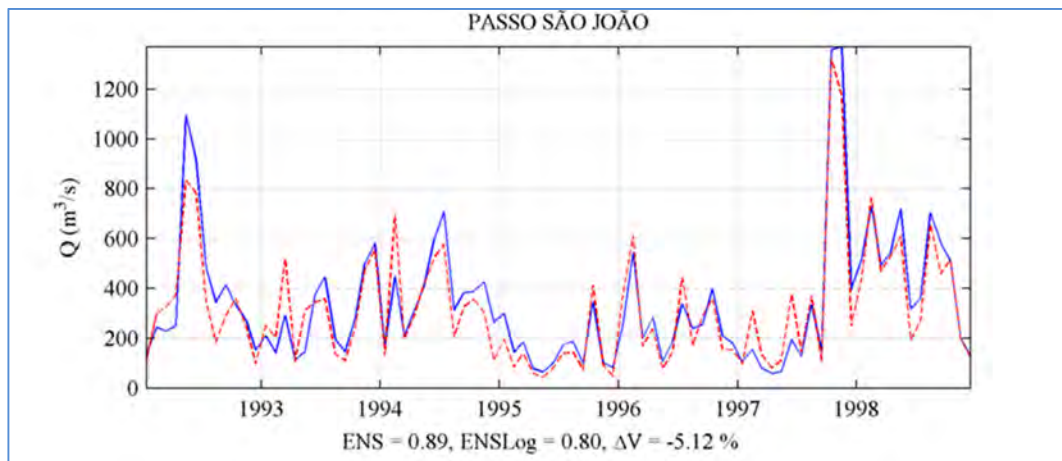


Figura 40- Hidrogramas simulados (vermelho) e observados (azul) no rio Ijuí ponto Passo São João.

Com base nos resultados de calibração e verificação pode-se considerar que o modelo MGB/P1 representa adequadamente o comportamento hidrológico da bacia do rio Uruguai. A conclusão desta etapa de calibração e verificação do modelo é essencial para a sequência da metodologia, visto que a análise isolada das demais fontes de incerteza, como proposto na Etapa (1) da metodologia, foram realizadas com o MGB/P1.

5.2.2 Os modelos MGB/P2 e MGB/P3

O MGB/P2 corresponde ao modelo cujo conjunto de parâmetros calibráveis foi ajustado para um período de cheias identificado na série histórica da BHRU. Já o MGB/P3 corresponde ao modelo cujo conjunto de parâmetros calibráveis foi ajustado para um período de estiagem. Tais períodos de cheias e estiagem foram selecionados a partir da análise das médias móveis de cinco anos da série total de vazões (1960 a 1990). A Figura 41 apresenta a série de média móvel de cinco anos para o Ponto Itapiranga.

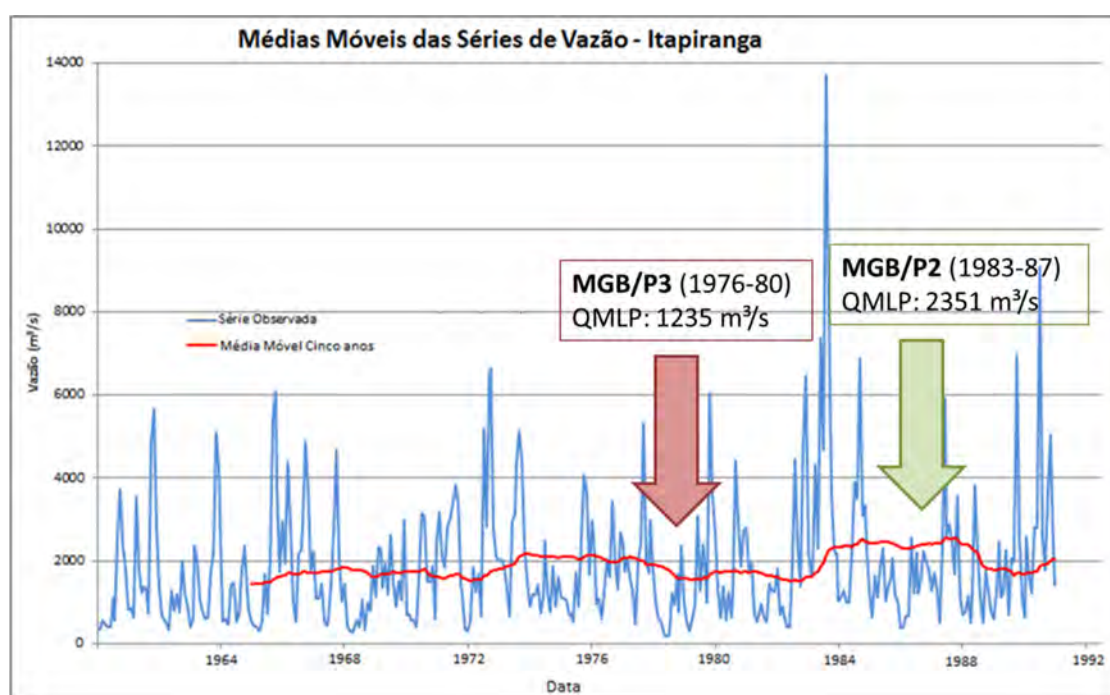


Figura 41– Médias Móveis de cinco anos para a série de vazão observada em Itapiranga.

Na Figura 41 observa-se que no período de 1983 a 1989 ocorreram os maiores eventos de cheia na BHRU, incluindo a cheia de 1983 (Reckziegel, 2007; Reckziegel e Robaina, 2007) que causou inundações em diferentes municípios que margeiam o Rio Uruguai. Em contrapartida o período referente aos anos de 1976 a 1982, são de acordo, com a média móvel, indicados como característico de estiagem.

A vazão média de longo período (QMLP), na sub-bacia Itapiranga, para o período de 1960 a 1990 é de 1242 m³/s. Para o período de cheias (1983 a 1987) a

QMLP é de 2351 m³/s enquanto que no período de estiagens esta vazão é de 1235 m³/s.

O comportamento hidrológico observado para o posto Itapiranga também ocorre nos demais pontos analisados. Dessa forma, para as sete sub-bacias em estudo, foram selecionados os seguintes períodos de cheias e estiagens, respectivamente, os anos de 1983 a 1987; e 1976 a 1980.

O Modelo MGB/P2 tem, portanto o período de calibração compreendido entre 01/01/1983 a 31/12/1987 e verificação entre 01/01/1976 a 31/12/1980. Enquanto que o Modelo MGB/P3 foi calibrado para o período de 01/01/1976 a 31/12/1980 e verificado no período de 01/01/1983 a 31/12/1987.

Nas Tabelas 15 e 16 são apresentados, respectivamente os resultados das medidas de desempenho obtidas com a calibração manual e verificação do Modelo MGB/P2 para cada ponto analisado.

Tabela 15 - Medidas de desempenho nos diferentes pontos analisados no período de Calibração (01/01/1983 a 31/12/1987) do Modelo MBG/P2

Cód.	Nome	ENS	ENSlog	ΔV
215	Barra Grande	0.90	0.85	4.52
216	Campos Novos	0.92	0.89	7.34
92	Itá	0.95	0.91	2.15
220	Monjolinho	0.81	0.75	6.05
286	Quebra Queixo	0.42	0.59	25.3
292	Itapiranga	0.93	0.88	1.44
103	Passo São João	0.72	0.71	-0.49

Tabela 16 - Medidas de desempenho nos diferentes pontos analisados no período de Verificação (01/01/1976 a 31/12/1980) do Modelo MBG/P2

Cód.	Nome	ENS	ENSlog	ΔV
215	Barra Grande	0.89	0.89	-1.97
216	Campos Novos	0.91	0.88	1.26
92	Itá	0.92	0.91	-3.63
220	Monjolinho	0.86	0.82	-5.25
286	Quebra Queixo	0.70	0.71	20.56
292	Itapiranga	0.89	0.81	-4.76
103	Passo São João	0.71	0.53	18.24

Nas Tabelas 17 e 18 são apresentados, respectivamente os resultados das medidas de desempenho obtidas com a calibração manual e verificação do Modelo MGB/P3 para cada ponto analisado.

Tabela 17 - Medidas de desempenho nos diferentes pontos analisados no período de Calibração (01/01/1976 a 31/12/1980) do Modelo MGB/P3

Cód.	Nome	ENS	ENSlog	ΔV
215	Barra Grande	0.91	0.91	-1.31
216	Campos Novos	0.91	0.87	1.29
92	Itá	0.93	0.91	-2.37
220	Monjolinho	0.88	0.83	-1.57
286	Quebra Queixo	0.75	0.79	17.54
292	Itapiranga	0.89	0.87	-0.55
103	Passo São João	0.58	0.62	-4.39

Tabela 18- Medidas de desempenho nos diferentes pontos analisados no período de Verificação (01/01/1983 a 31/12/1987) do Modelo MGB/P3

Cód.	Nome	ENS	ENSlog	ΔV
215	Barra Grande	0.89	0.87	4.77
216	Campos Novos	0.91	0.88	7.30
92	Itá	0.95	0.90	3.08
220	Monjolinho	0.82	0.75	8.33
286	Quebra Queixo	0.43	0.49	28.37
292	Itapiranga	0.923	0.85	4.95
103	Passo São João	0.61	0.69	-11.18

A Tabela 15 mostra que as medidas de desempenho obtidas para o MGB/P2 são satisfatórias, com exceção do ponto Quebra Queixo que apresenta valores baixos para ENS e ENSlog e elevado erro de volume. Duas justificativas são possíveis para este baixo desempenho: a sub-bacia Quebra Queixo tem a menor área de drenagem em relação às demais; e é uma sub-bacia de cabeceira com poucos dados de precipitação. Esta última justificativa é perfeitamente cabível considerando que o modelo MGB/P2 foi calibrado para o período de cheias, logo o ajuste de dados simulados e observados não consegue acompanhar os picos do hidrograma gerando um alto erro de volume. Na Tabela 16, onde são mostrados os resultados obtidos para o período de estiagens aos coeficientes da sub-bacia Quebra Queixo apresentam melhoras para ENS e ENSlog, porém o erro de volume continua alto.

As medidas de desempenho encontradas para o modelo MGB/P3 (Tabela 17) apresentam, para a calibração, valores de ENS entre 0,748 e 0,927; ENSlog entre 0,793 e 0,91; ΔV entre -4,396 e 17,536. Para a verificação as medidas de desempenho apresentam valores de ENS entre 0,748 e 0,927; ENSlog entre 0,793 e 0,91; ΔV entre -4,396 e 17,536.

No geral observa-se que a sub-bacia Passo São João demonstrou maior sensibilidade em relação à variação do conjunto de parâmetros calibráveis em relação às demais. A sub-bacia Quebra Queixo apresenta melhor desempenho quando calibradas em período de estiagem, por razões já mencionadas.

Os conjuntos de parâmetros ajustados para os modelos MGB/P2 e MGB/P3 encontram-se no Anexo A desta tese.

5.2.3 Modelagem hidrológica das projeções climáticas do CT40 pelos modelos MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3

Este item mostra os resultados das diferentes séries de vazões obtidas como resultado da aplicação dos modelos MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 à simulação das projeções climáticas do modelo regional CT40. As séries de vazão são analisadas para cada horizonte de tempo (Período atual, Futuro 1, 2 e 3) em termos de vazões máximas anuais, mínimas anuais e médias mensais.

Da Figura 42 a Figura 45 são apresentadas as séries de vazões máximas anuais para a sub-bacia Itapiranga.

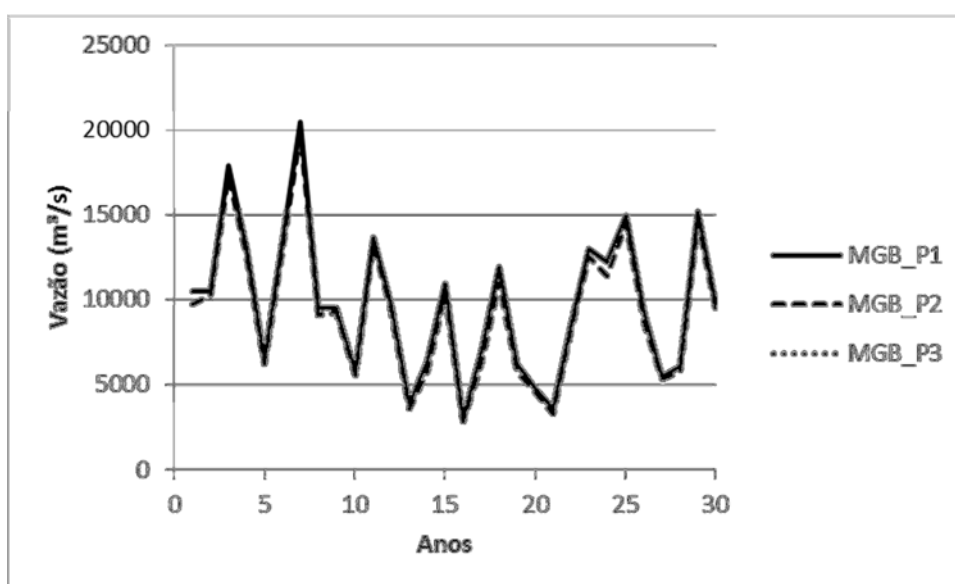


Figura 42– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itapiranga (Período Atual).

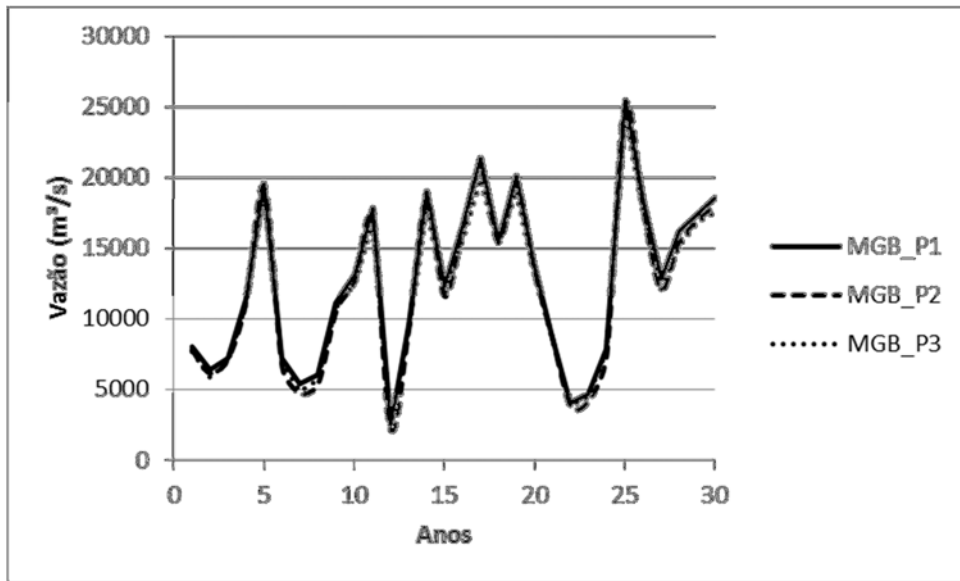


Figura 43– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 1).

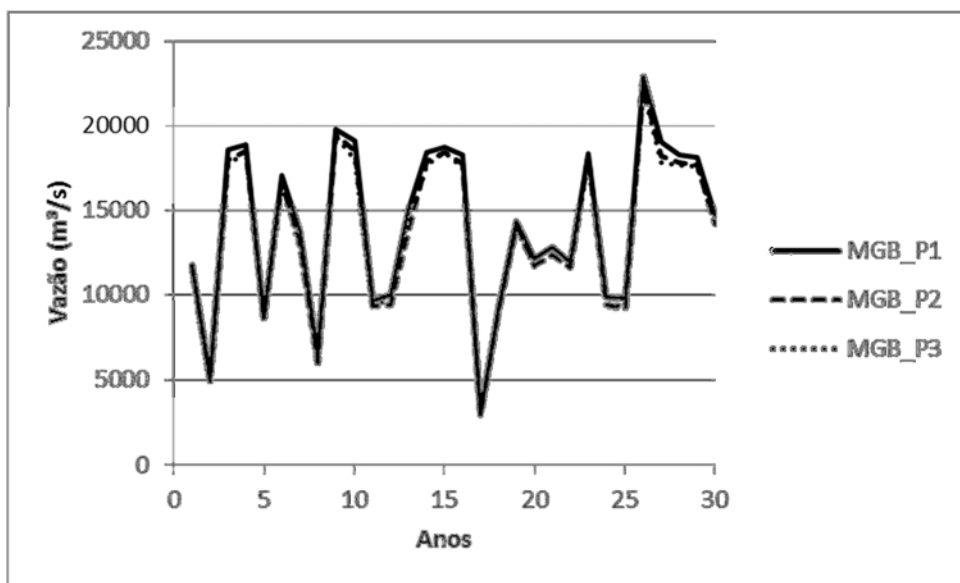


Figura 44– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 2).

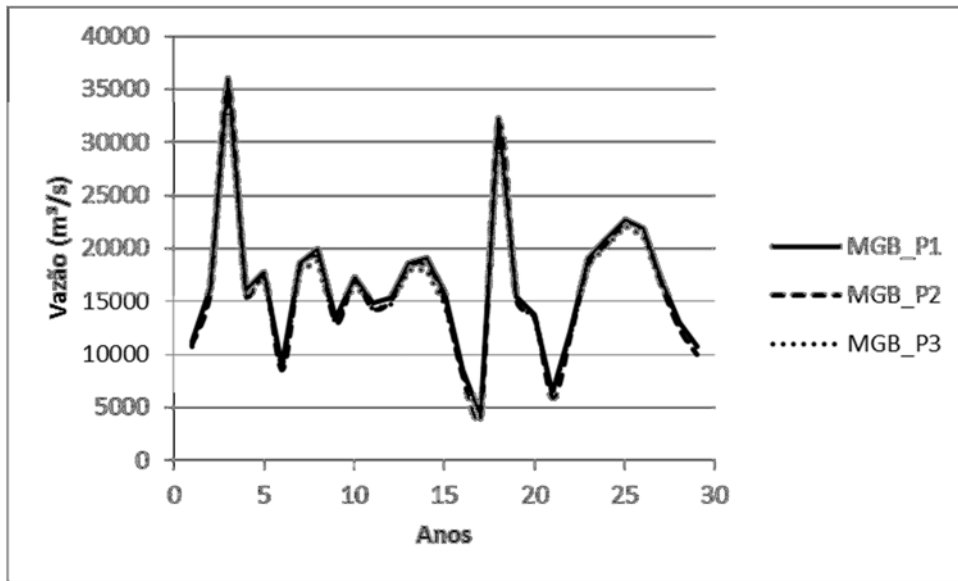


Figura 45– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 3).

De acordo com as Figuras 42 a 45 é possível verificar que as diferenças entre as séries de vazões máximas são muito pequenas. Este quadro é similar para as sub-bacias de Campos Novos, Itá e Quebra Queixo.

Para as sub-bacias Barra Grande, Monjolinho e Passo são João as diferenças são maiores. Da Figura 46 a Figura 49, são apresentados os resultados para sub-bacia Barra Grande.

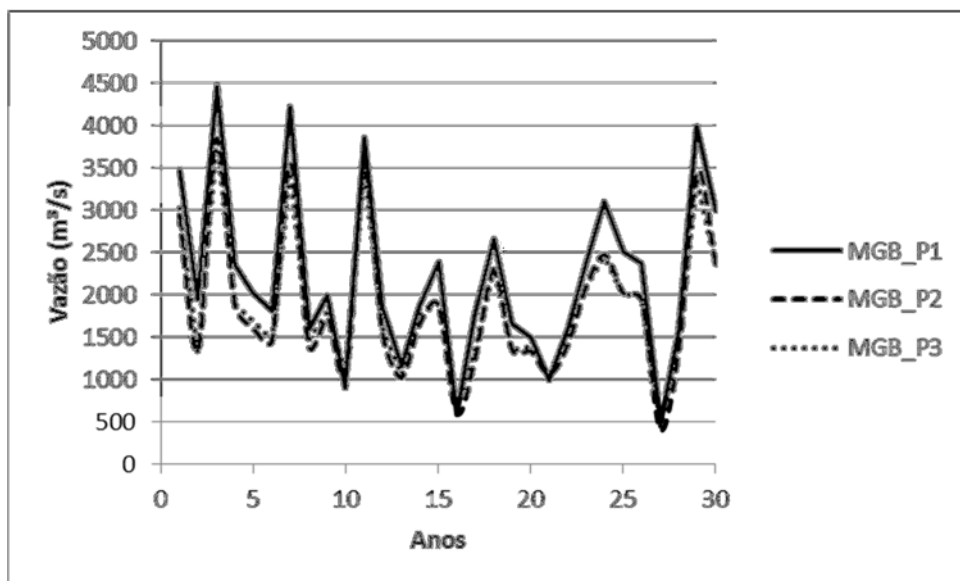


Figura 46– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Período Atual).

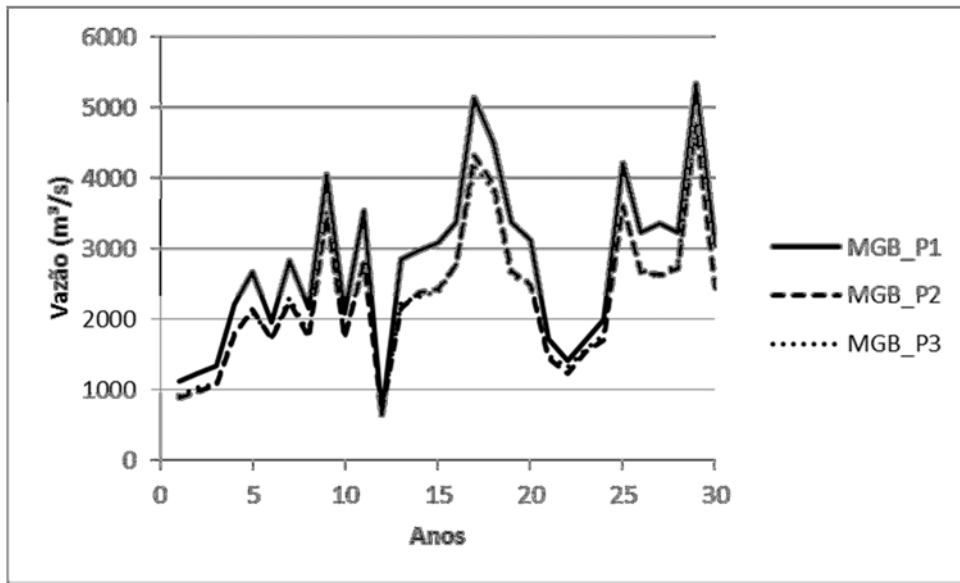


Figura 47– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Futuro 1).

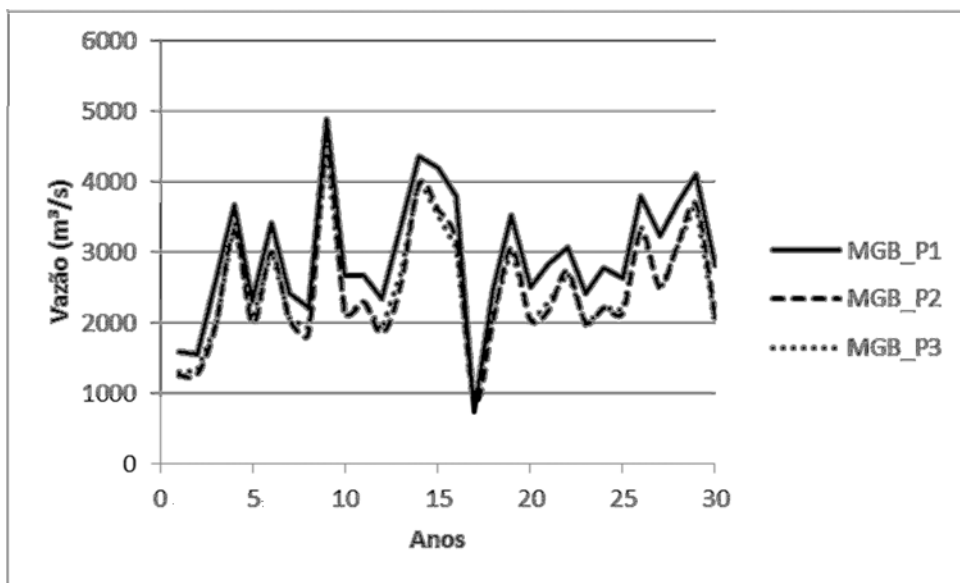


Figura 48– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Futuro 2).

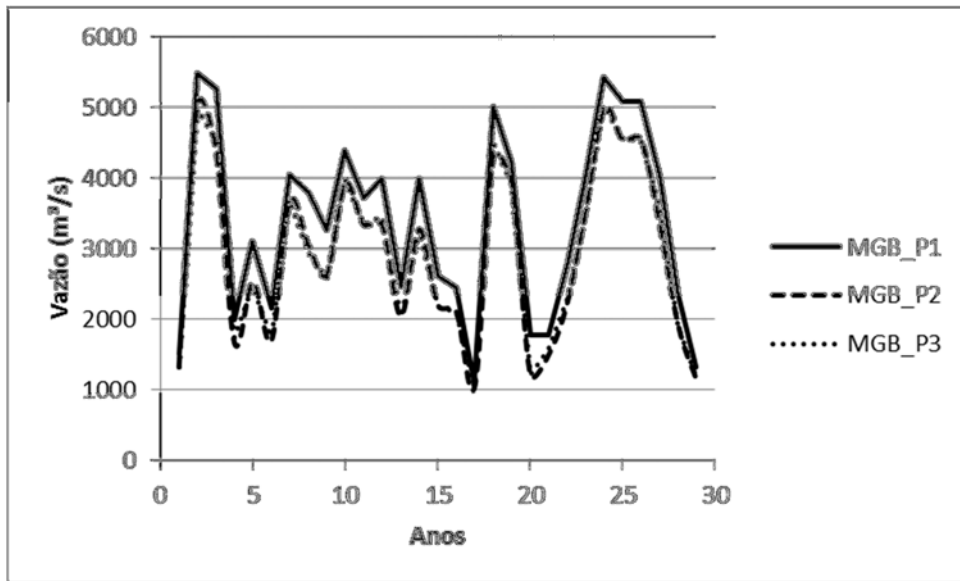


Figura 49– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Futuro 3).

Nas Figuras 46 a 49 se observa que existem diferenças de magnitude entre as séries. As vazões máximas oriundas de MGB/P2 e MGB/P3 se afastam de MGB/P1, porém são bastante próximas entre si. As diferenças entre as séries de MGB/P2 e MGB/P3 ocorrem para as sub-bacias Monjolinho e Passo São João, porém não na totalidade do horizonte de tempo simulado, e sim em apenas alguns intervalos (Figura 50 a Figura 53).

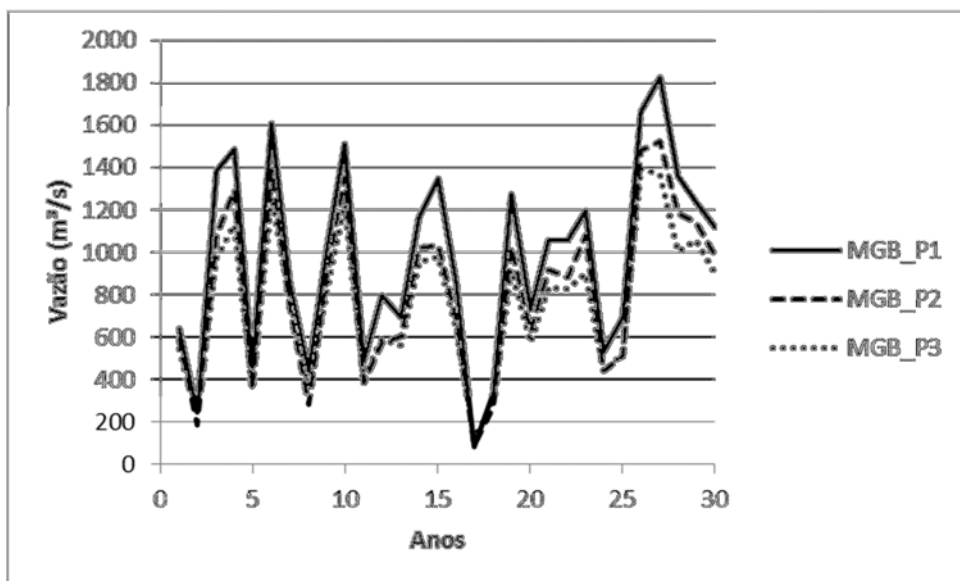


Figura 50– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Monjolinho (Futuro 2).

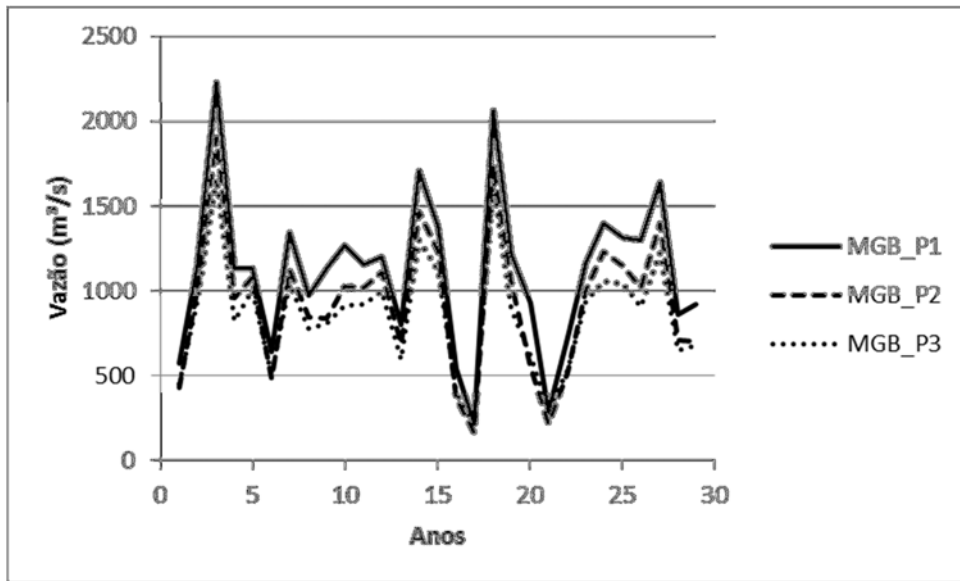


Figura 51– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Monjolinho (Futuro 3).

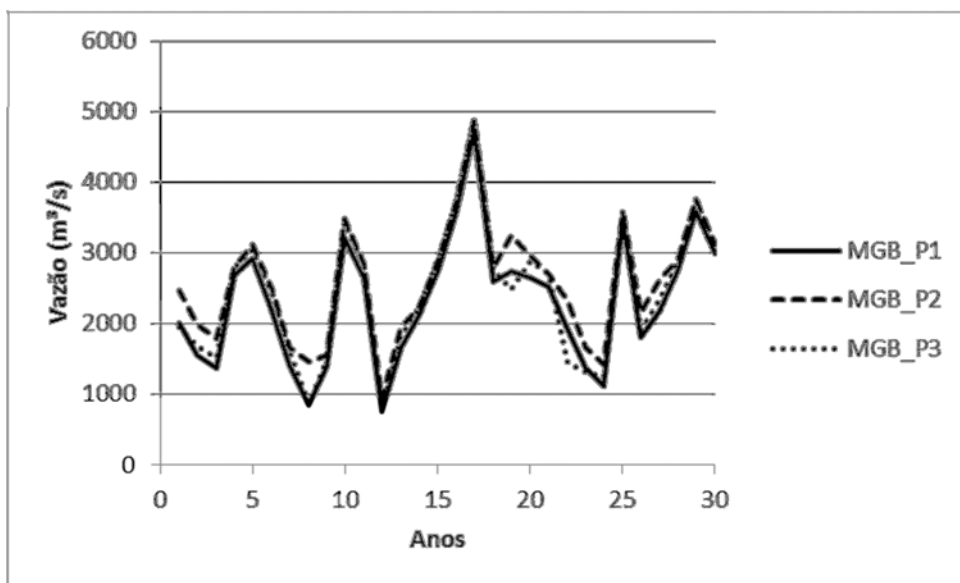


Figura 52– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Passo São João (Futuro 1).

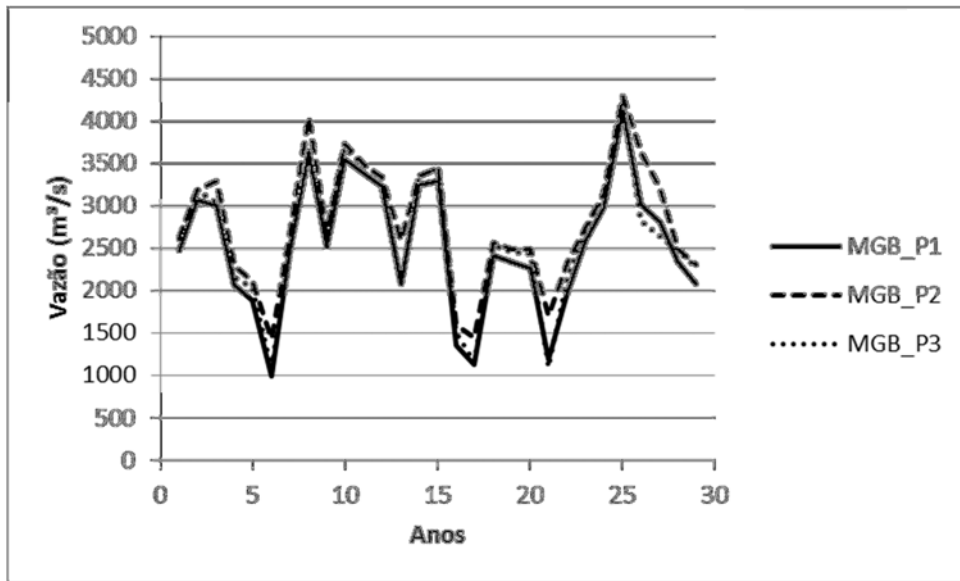


Figura 53– Séries de vazões máximas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Passo São João (Futuro 3).

As diferenças entre as séries de MGB/P2 e MGB/P3 são maiores para as vazões mínimas como mostram as Figuras 54 a Figura 57, como exemplo da sub-bacia Barra Grande.

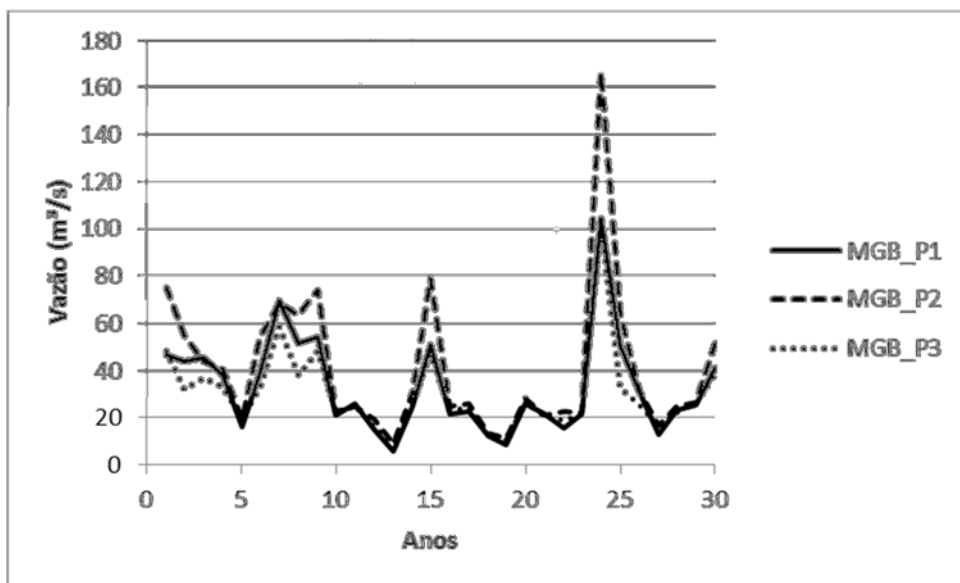


Figura 54– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Período atual).

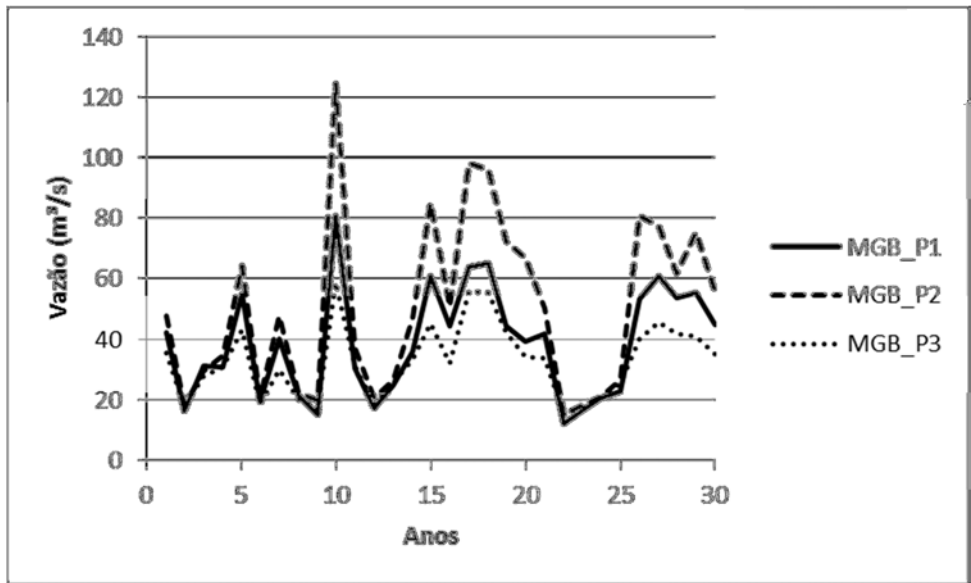


Figura 55– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Futuro 1).

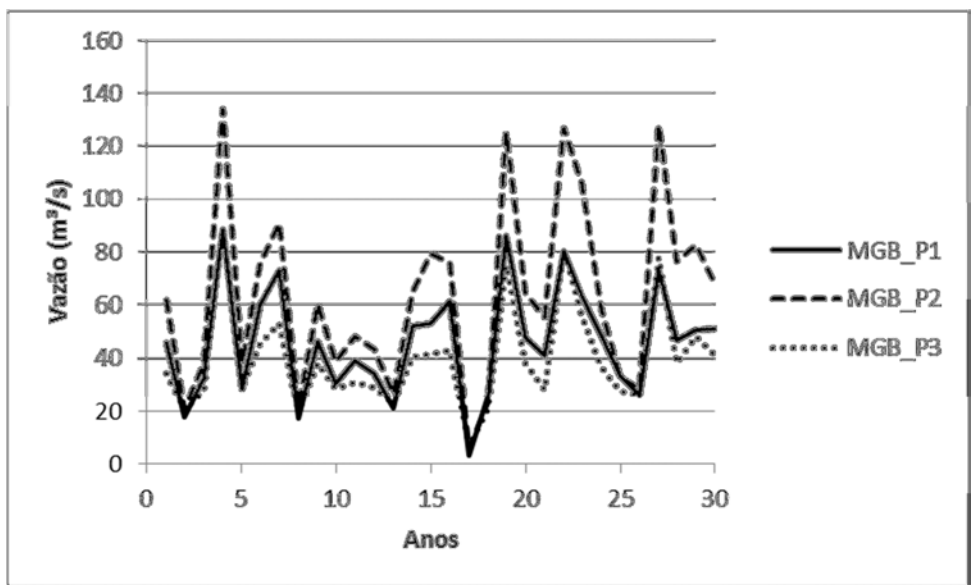


Figura 56– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Futuro 2).

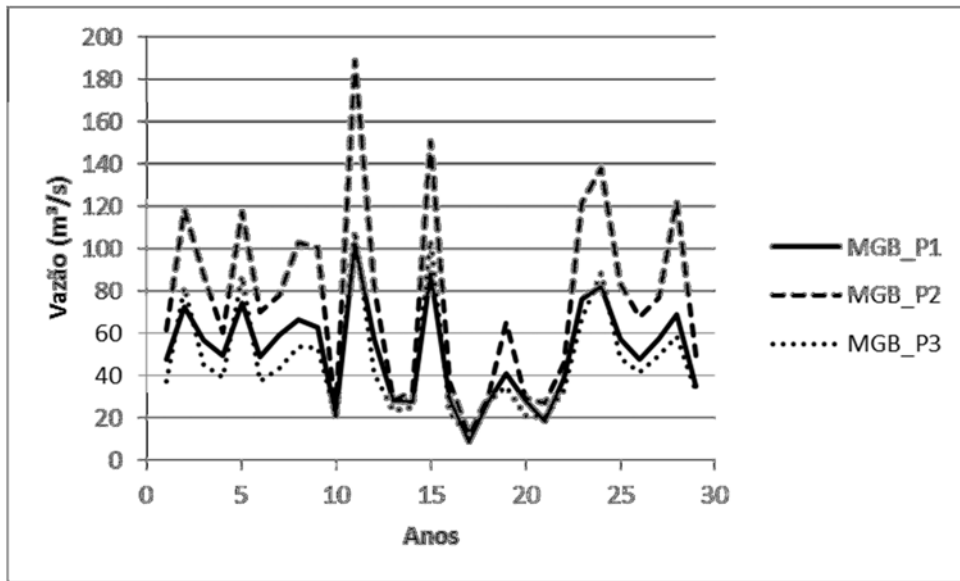


Figura 57– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Barra Grande (Futuro 3).

Em relação às vazões mínimas, estas demonstram maior sensibilidade ao modelo hidrológico aplicado, apresentando variações de magnitude, inclusive, entre as séries de MGB/P2 e MGB/P3, o que em geral ocorre para todas as sub-bacias analisadas. As diferenças entre as séries são suavizadas nos pontos localizados no Rio Uruguai Itá e Itapiranga (Figura 58 e Figura 59), sub-bacias que apresentam as maiores áreas de drenagem.

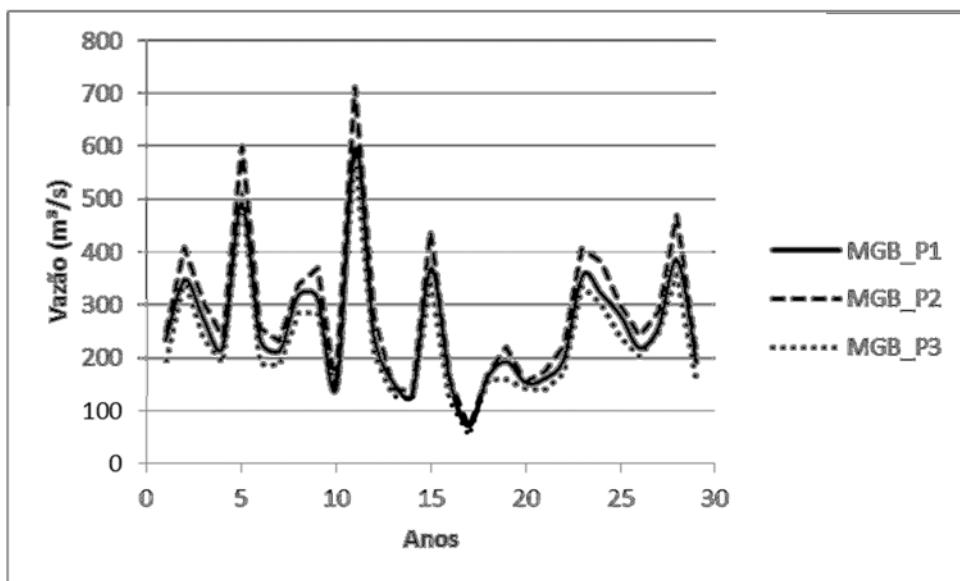


Figura 58– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itá (Futuro 3).

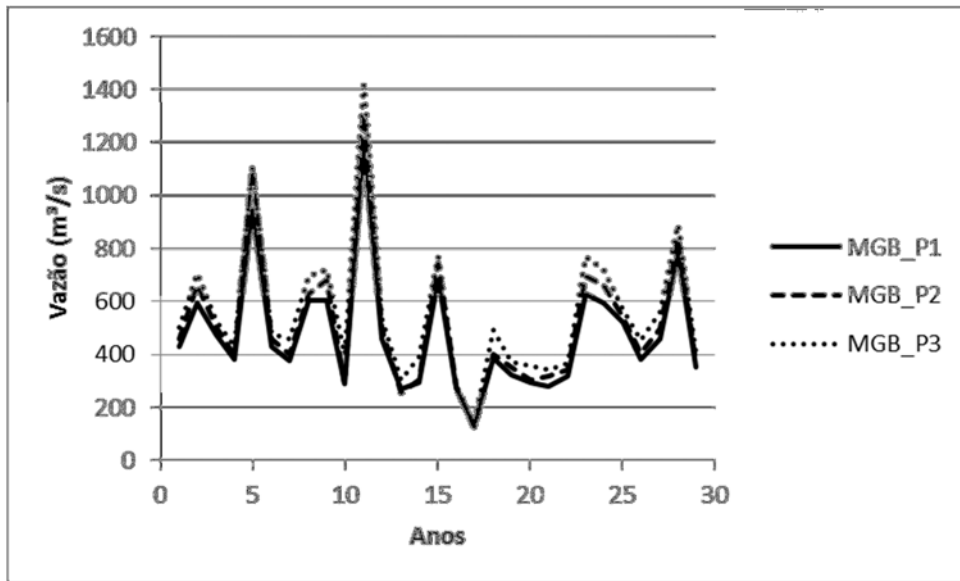


Figura 59– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 3).

A Tabela 19 apresenta as estatísticas das séries de vazões máximas e mínimas obtidas com os diferentes modelos hidrológicos em cada sub-bacia da BHRU.

Tabela 19– Sumário estatístico das séries de vazões máximas e mínimas anuais

Estatística	Atual	Fut 1	Fut2	Fut3	Atual	Fut1	Fut2	Fut 3
Vazões Máximas Anuais				Vazões Mínimas Anuais				
Barra Grande MGB/P1								
P5%	541	909	1191	1218	12.64	13.86	17.38	
Med	1964	2909	2788	3714	25.52	39.70	46.56	
P 95%	4339	5230	4617	5349	86.85	72.89	87.08	
Var	1065325	1357555	803414	1777496	399.26	329.21	398.47	
Barra Grande MGB/P2								
P5%	516	786	1099	1094	12.23	16.76	18.56	
Med	1635	2306	2194	3048	27.23	47.90	61.21	
P 95%	3692	4531	4163	4779	122.62	111.17	131.02	
Var	746600	997100	666534	1517321	977.02	832.19	1176.81	
Barra Grande MGB/P3								
P5%	543	821	1124	1114	10.09	16.23	17.35	
Med	1729	2303	2238	2934	25.59	32.57	37.26	
P 95%	3687	4478	4262	4811	79.66	57.25	84.60	
Var	724718	950393	682049	1549500	316.83	149.00	361.85	
Campos Novos MGB/P1								
P5%	652	1109	1064	1604	8.52	10.65	10.62	
Med	2293	3146	3364	3841	25.52	34.61	40.50	
P 95%	4310	5248	5242	6975	76.13	82.63	77.19	
Var	889285	1731449	1304744	2130397	393.87	396.12	336.15	
Campos Novos MGB/P2								
P5%	585	939	961	1480	10.70	14.41	13.05	
Med	2218	3207	3507	3995	28.12	42.25	50.02	
P 95%	4443	5476	5470	7262	100.94	97.43	99.42	
Var	1040054	2131883	1570332	2479302	690.74	551.60	533.74	
Campos Novos MGB/P3								
P5%	592	936	970	1494	6.90	10.82	9.54	
Med	2230	3215	3515	4004	21.17	32.39	40.29	
P 95%	4446	5484	5479	7277	85.72	86.03	85.71	
Var	1038269	2132544	1567793	2481842	568.19	453.36	418.35	
Itá MGB/P1								
P5%	1957	2662	2693	4140	54.18	75.93	77.68	
Med	6208	9223	9486	11208	138.84	206.33	223.16	
P 95%	13200	15625	14933	21090	371.77	417.89	415.95	
Var	8292471	15409320	10869087	18095182	8253.99	9297.63	8113.75	
Itá MGB/P2								
P5%	1710	2323	2407	3778	48.99	71.60	75.03	
Med	5677	8556	9134	11071	145.11	214.68	238.88	
P 95%	12665	15192	14716	20748	428.34	456.05	486.66	
Var	7906178	15422274	11182581	18406391	11957.99	12135.69	12359.07	
Itá MGB/P3								
P5%	1872	2462	2533	3903	39.19	61.95	64.18	
Med	5843	8634	9166	11116	119.91	178.94	192.55	
P 95%	12594	15068	14849	21023	345.10	369.15	422.12	
Var	7565350	14880068	10923176	18412507	8122.15	8004.36	8429.38	
Monjolinho MGB/P1								
P5%	139	103	172	248	2.42	1.17	2.94	
Med	561	917	1032	1151	5.00	9.54	15.48	
P 95%	1818	1841	1745	2156	40.23	42.85	43.73	
Var	238841	243516	206943	208361	131.81	157.31	154.58	
Monjolinho MGB/P2								
P5%	98	91	142	191	3.46	5.00	4.55	
Med	423	670	884	1006	6.00	8.00	11.93	
P 95%	1559	1551	1503	1830	37.83	44.12	41.52	
Var	180750	182805	162728	172435	99.50	129.05	139.15	
Monjolinho MGB/P3								
P5%	150	136	185	250	2.01	2.60	3.36	
Med	461	670	822	903	5.00	5.59	8.40	
P 95%	1398	1376	1378	1651	32.78	35.44	33.01	
Var	124772	127535	116881	120722	85.83	88.96	92.95	
Quebra Queixo MGB/P1								
P5%	218	174	308	287	2.23	1.76	2.74	
Med	660	758	992	1078	6.04	8.19	6.81	
P 95%	1234	1716	1625	2282	27.02	28.06	27.92	
Var	102921	212160	136059	250839	44.41	59.55	51.44	
Quebra Queixo MGB/P2								

P5%	192	139	270	285	3.69	1.56	1.95
Med	767	837	1071	1172	8.03	12.09	10.88
P 95%	1347	1782	1648	2356	36.33	35.69	35.25
Var	123463	227003	142478	255379	82.49	130.59	79.55
Quebra Queixo MGB/P3							
P5%	192	139	270	285	2.58	2.57	2.42
Med	767	837	1071	1172	7.88	12.53	10.88
P 95%	1347	1782	1648	2356	36.33	38.90	35.25
Var	123463	227003	142478	255379	90.09	150.89	81.46
Itapiranga MGB/P1							
P5%	3360	3356	4239	5290	93.09	136.19	131.04
Med	9561	12593	14558	16031	266.60	357.95	425.32
P 95%	19154	23426	21354	34372	694.38	900.53	889.85
Var	18351689	36094803	24943289	44492232	28418.68	49032.85	36487.14
Itapiranga MGB/P2							
P5%	3102	3132	4013	5047	88.16	134.12	129.88
Med	9274	11870	13940	15682	259.47	362.29	434.61
P 95%	18550	22758	20906	33614	776.72	940.96	984.93
Var	17525805	35258674	24175553	43319591	35812.77	56586.09	46401.75
Itapiranga MGB/P3							
P5%	3269	3271	4011	5078	95.54	165.52	156.89
Med	9118	11912	14045	15375	325.86	421.30	476.39
P 95%	18215	22302	20730	33437	824.23	991.96	1084.18
Var	16447138	32994401	23242076	42549761	37931.08	59881.11	53735.68
Passo São João MGB/P1							
P5%	551	805	768	1058	15.16	20.79	24.47
Med	1652	2355	2224	2472	42.03	52.07	54.61
P 95%	3719	4149	5062	3906	101.48	123.25	106.00
Var	801789	825222	1227112	613558	736.29	704.68	468.49
Passo São João MGB/P2							
P5%	946	1202	1184	1438	11.90	16.35	18.47
Med	1950	2661	2520	2636	26.23	34.09	32.59
P 95%	3863	4313	5143	4184	58.65	79.21	65.87
Var	663351	726339	1068389	555017	389.88	253.38	169.47
Passo São João MGB/P3							
P5%	406	832	561	1087	8.86	12.26	14.62
Med	1865	2456	2318	2611	21.92	29.67	30.08
P 95%	3882	4311	5151	4003	64.41	84.58	70.57
Var	911098	907416	1346616	617742	457.77	376.74	219.36

P5%: percentil 5%; P95%: percentil 95%; Med: mediana; Var: variância.

Quanto às vazões médias mensais as diferenças entre as séries não são significativas, em termos das diferenças obtidas entre as séries de vazões simuladas, como mostram as Figuras 60 a 63, para a sub-bacia Itá. Este comportamento é semelhante para os demais pontos analisados com exceção da sub-bacia Passo São João que apresenta diferenças entre as séries obtidas.

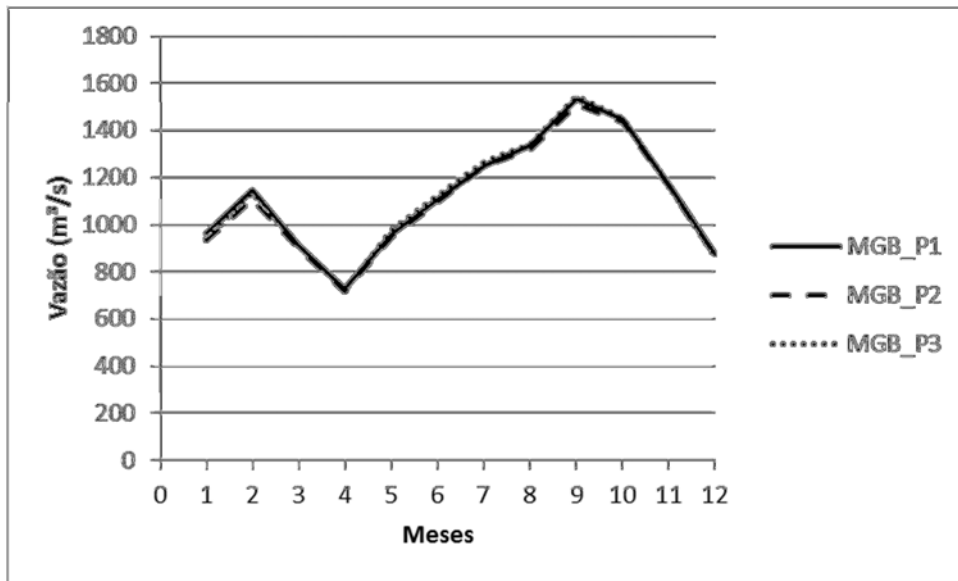


Figura 60– Séries de vazões médias mensais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itá (Período Atual).

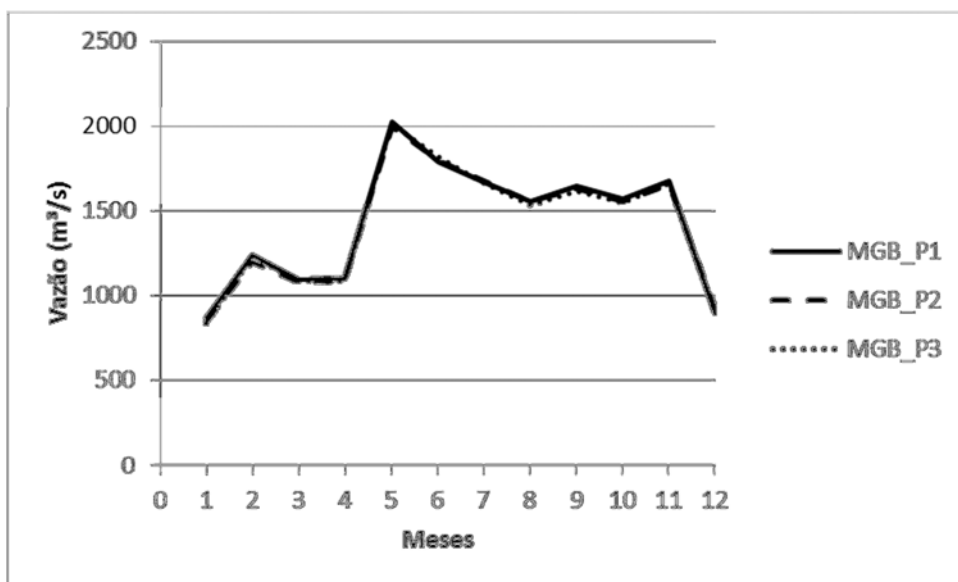


Figura 61– Séries de vazões médias mensais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itá (Futuro 1).

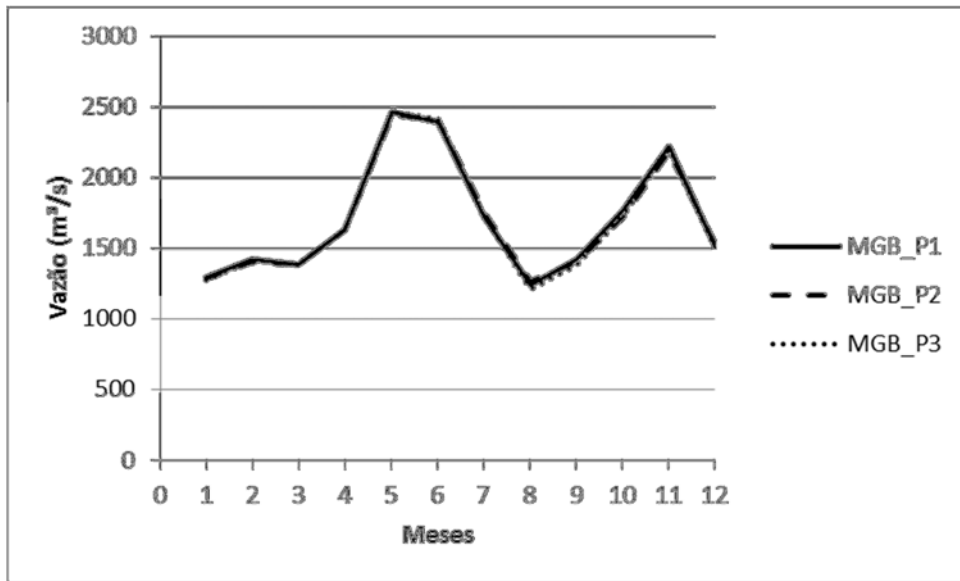


Figura 62– Séries de vazões médias mensais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itá (Futuro 2).

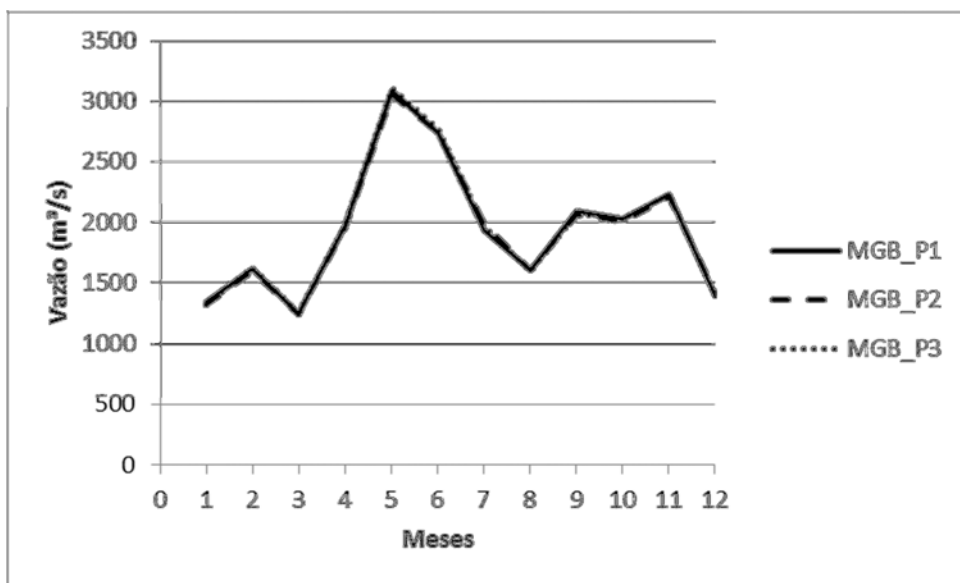


Figura 63– Séries de vazões médias mensais obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3 na sub-bacia Itá (Futuro 3).

A Tabela 20 apresenta as estatísticas das séries de vazões médias anuais obtidas com os diferentes modelos hidrológicos em cada sub-bacia da BHRU.

Tabela 20– Sumário estatístico das séries de vazões médias anuais.

Estatística	Atual	Fut 1	Fut2	Fut3
Barra Grande MGB/P1				
P5%	17.24	143.21	121.94	114.06
Med	289.38	436.11	503.90	622.98
P 95%	642.19	717.30	761.25	766.66
Var	26411.95	31531.93	31333.91	44030.90
Barra Grande MGB/P2				
P5%	17.24	142.51	116.70	116.12
Med	290.95	435.08	501.38	626.96
P 95%	638.69	718.61	752.20	757.33
Var	26124.24	31914.30	31043.13	43226.45
Barra Grande MGB/P3				
P5%	17.24	138.12	120.17	114.92
Med	288.51	437.98	505.75	627.61
P 95%	643.36	718.30	759.46	758.64
Var	26670.53	31956.01	31367.13	43815.11
Campos Novos MGB/P1				
P5%	134.89	161.01	202.81	233.12
Med	328.22	469.57	564.95	707.88
P 95%	715.95	797.73	826.22	881.38
Var	25367.84	37953.81	37590.02	44983.81
Campos Novos MGB/P2				
P5%	119.41	146.13	188.97	220.94
Med	319.74	462.53	559.07	697.90
P 95%	714.87	796.24	826.26	878.06
Var	26607.06	39368.46	38815.93	46046.40
Campos Novos MGB/P3				
P5%	119.89	145.68	189.22	220.58
Med	320.08	462.49	559.05	698.44
P 95%	714.72	796.06	826.54	878.08
Var	26558.96	39371.24	38851.83	46080.02
Itá MGB/P1				
P5%	375.97	472.51	565.68	687.50
Med	1111.14	1489.47	1857.43	2175.71
P 95%	2463.20	2559.20	2792.18	2825.75
Var	314667.78	409011.81	410170.33	475395.43
Itá MGB/P2				
P5%	347.59	455.66	538.60	675.05
Med	1100.53	1484.96	1855.22	2172.54
P 95%	2460.48	2559.50	2784.00	2841.06
Var	320468.15	416008.13	415950.72	478125.23
Itá MGB/P3				
P5%	360.47	464.35	552.30	688.33
Med	1113.81	1494.24	1861.82	2186.18
P 95%	2471.09	2565.06	2800.22	2839.98
Var	318794.30	413687.43	415972.04	478096.92
Monjolinho MGB/P1				
P5%	21.80	20.38	31.26	48.11
Med	110.13	126.58	146.74	198.63
P 95%	276.94	233.25	288.70	262.67
Var	4779.73	4325.80	4839.64	4511.33
Monjolinho MGB/P2				
P5%	17.94	17.36	27.63	45.56
Med	103.94	124.35	144.28	192.12
P 95%	277.40	232.47	284.28	262.25
Var	4962.24	4497.63	4919.64	4582.33
Monjolinho MGB/P3				
P5%	22.90	22.06	31.93	49.31
Med	110.54	126.58	147.02	197.83
P 95%	277.80	232.59	285.53	262.02
Var	4764.55	4277.58	4727.06	4475.94

Quebra Queixo MGB/P1				
P5%	25.90	25.56	35.20	42.91
Med	86.88	102.68	121.46	135.93
P 95%	188.61	199.91	224.84	243.79
Var	1927.66	2648.84	2903.98	2712.48
Quebra Queixo MGB/P2				
P5%	23.82	22.89	32.50	41.48
Med	85.92	103.63	121.19	137.39
P 95%	189.06	200.38	225.80	242.97
Var	1972.46	2699.39	2968.99	2745.39
Quebra Queixo MGB/P3				
P5%	23.82	22.89	32.50	41.48
Med	85.92	103.63	121.19	137.39
P 95%	189.06	200.38	225.80	242.97
Var	1972.46	2699.39	2968.99	2745.39
Itapiranga MGB/P1				
P5%	634.33	752.74	906.68	1123.69
Med	1995.10	2495.28	3080.51	3674.75
P 95%	4489.43	4379.31	4963.72	5104.48
Var	1043150.9	1239223.8	1297301.3	1331890.6
Itapiranga MGB/P2				
P5%	599.52	731.13	873.57	1106.84
Med	1979.60	2488.23	3074.69	3669.54
P 95%	4487.33	4375.82	4954.10	5118.75
Var	1057122.4	1255622.2	1310382.9	1340034.3
Itapiranga MGB/P3				
P5%	686.63	823.44	954.41	1200.49
Med	2051.00	2554.36	3137.70	3728.58
P 95%	4521.65	4412.91	4989.18	5154.48
Var	1020906.3	1216601.8	1274604.9	1311810.2
Passo São João MGB/P1				
P5%	85.90	111.23	108.44	134.88
Med	235.96	313.69	336.65	411.27
P 95%	658.26	628.82	696.42	619.60
Var	25984.65	21098.95	25915.95	18761.26
Passo São João MGB/P2				
P5%	109.63	139.71	136.24	176.04
Med	268.03	334.99	362.33	440.49
P 95%	671.47	656.56	724.94	634.62
Var	24902.98	20555.37	24953.88	17717.15
Passo São João MGB/P3				
P5%	53.95	71.48	73.08	101.31
Med	211.28	291.25	321.68	396.18
P 95%	649.75	622.77	687.23	606.95
Var	29056.85	23948.64	28561.85	20337.35

P5%: percentil 5%; P95%: percentil 95%; Med: mediana; Var: variância.

Com base nos resultados apresentados neste item (5.2.4) tem-se, como conclusão preliminar, que:

- Para as séries de vazões máximas anuais, não ocorreram grandes variações entre as séries de MGB/P2 e MGB/P3. Tais séries são similares entre si apresentando diferenças de magnitude em relação à série de MGB/P1. Neste caso, é possível que o período (em quantidades de anos) utilizado para o ajuste do modelo seja mais impactante ao resultado final do que o ajuste em períodos de diferentes características hidrológicas (cheias e estiagem).

- As séries de vazões mínimas anuais apresentam maior sensibilidade ao conjunto de parâmetros utilizado em cada um dos modelos hidrológicos se comparadas às vazões máximas.
- Para as séries de vazões médias anuais os resultados obtidos pelos três modelos hidrológicos são bastante similares.
- Para a sub-bacia Passo São João as diferenças entre as séries de vazões médias anuais é um pouco maior. O modelo MGB/P3 apresenta maior variação se comparado com os demais (Tabela 20). No entanto esta variação, dependendo da aplicação, pode ou não ser considerada expressiva, e neste caso, levando a necessidade de adoção de diferentes modelos hidrológicos.

5.3. Técnicas de Remoção de Viés

Este item mostra os resultados das diferentes séries de vazões obtidas como resultado da aplicação de RV1, RV2 e RV3 à simulação das projeções climáticas do modelo regional CT40. Neste caso o modelo hidrológico utilizado foi o MGB/P1.

As séries de vazões diárias obtidas foram avaliadas quanto às vazões máximas e mínimas quando utilizados os métodos RV1 e RV2. As séries de vazões médias anuais são analisadas comparando os três métodos de remoção de viés utilizados para cada horizonte de tempo (Período atual, Futuro 1, 2 e 3).

Da Figura 64 a Figura 67 são apresentadas as séries de vazões máximas anuais para a sub-bacia Itapiranga.

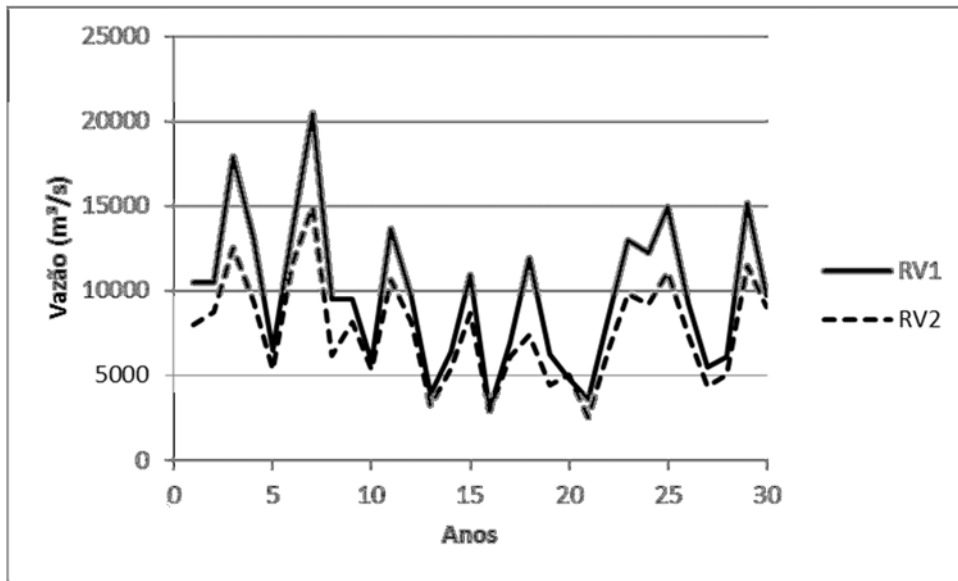


Figura 64– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga (Período Atual).

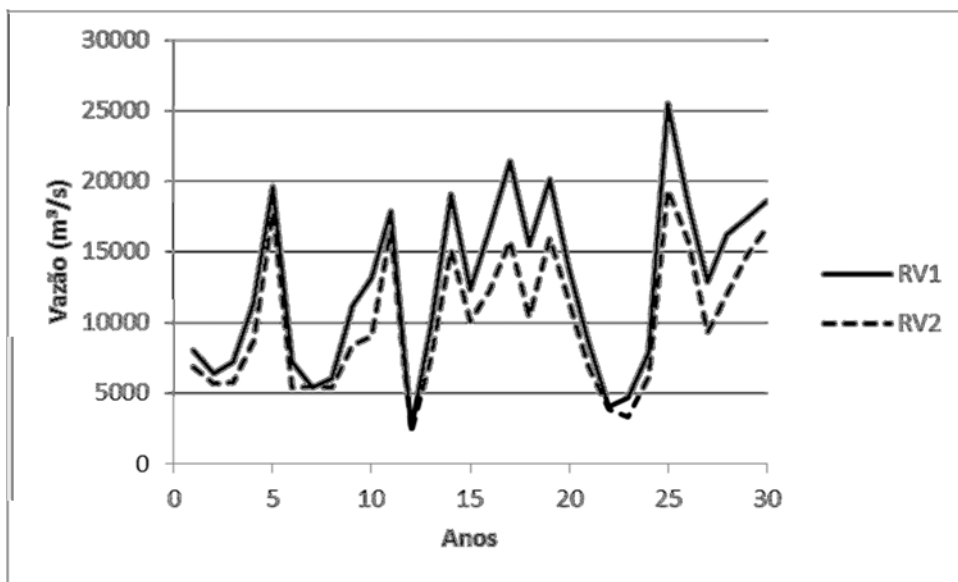


Figura 65– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 1).

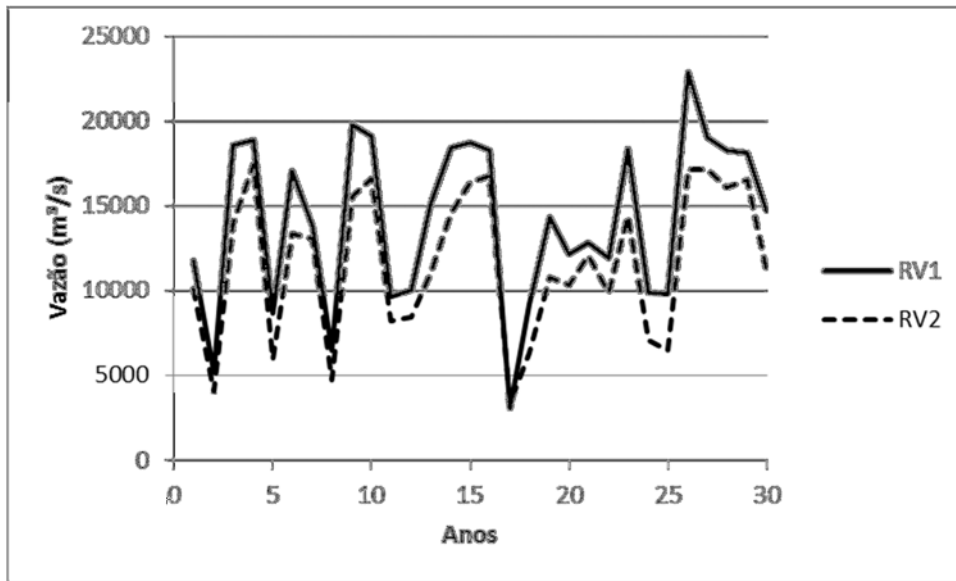


Figura 66– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itaipiranga (Futuro 2).

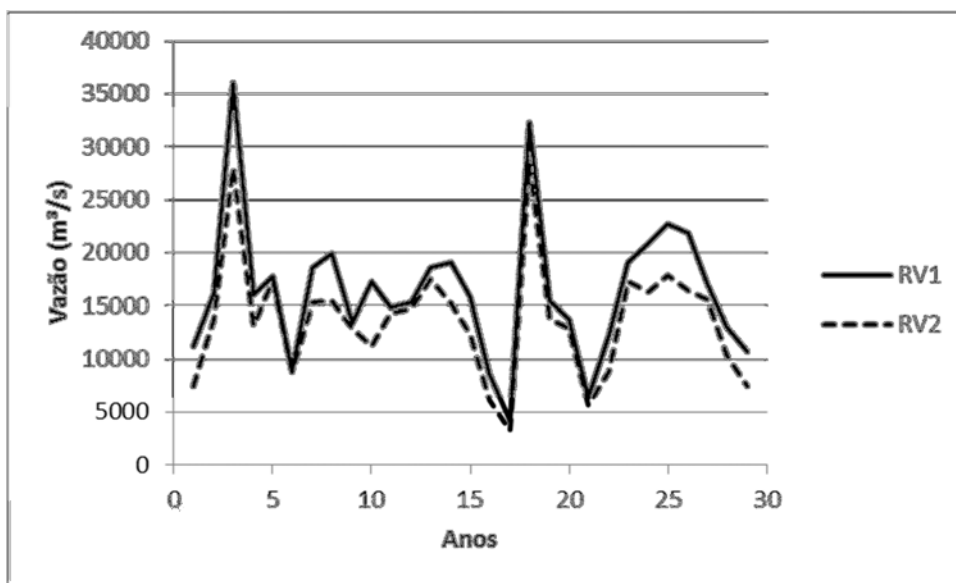


Figura 67– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itaipiranga (Futuro 3).

Observa-se que ocorrem diferenças de magnitude entre as séries geradas pelo método de RV1 (Quantil-Quantil) e RV2 (Escalonamento Linear). O método RV1 apresenta os maiores valores de vazão. Isto acontece por que este método valoriza mais as correções de valores extremos de precipitação, logo a diferença entre os valores observados e simulados é maior com base na distância entre as curvas de probabilidades acumuladas. O método RV2 tende a valorizar eventos mais extremos da

mesma forma que eventos mais comuns, já que ele multiplica toda a série por um mesmo valor de coeficiente mensal de correção.

Para toda a área da BHRU ocorreram diferenças entre as séries de máximas anuais, com variações significativas em determinados pontos e intervalos de tempo (Figura 68 a Figura 71).

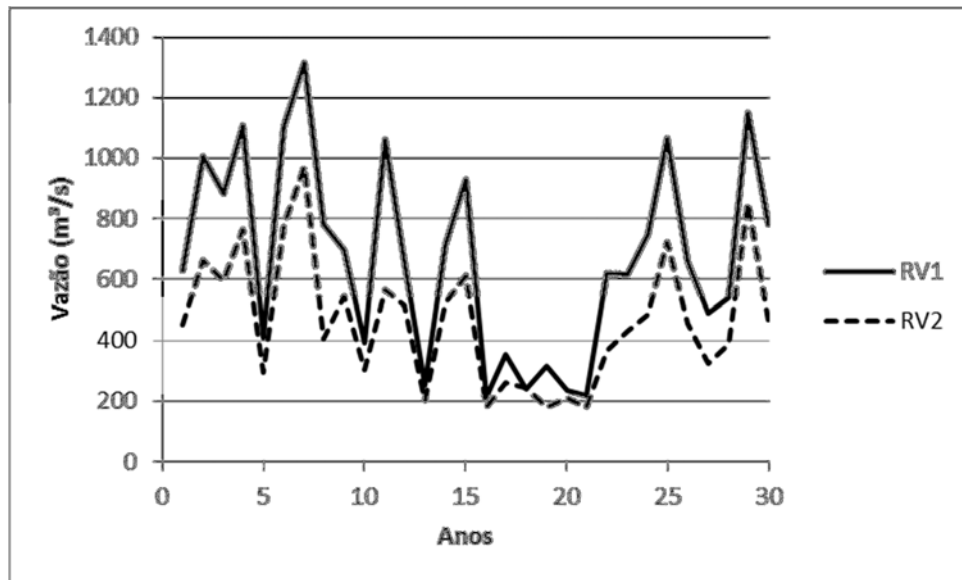


Figura 68– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Quebra Queixo (Período Atual).

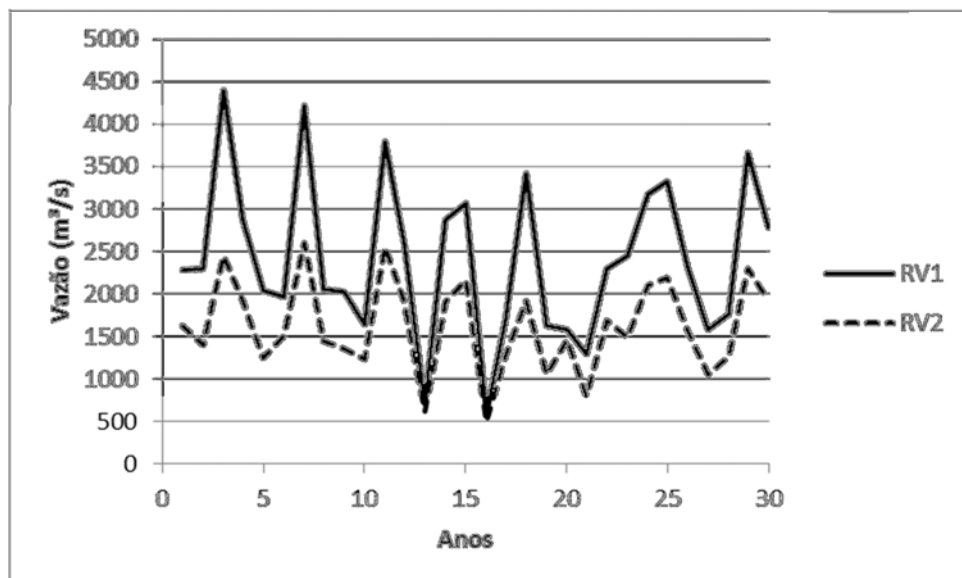


Figura 69– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Campos Novos (Período Atual).

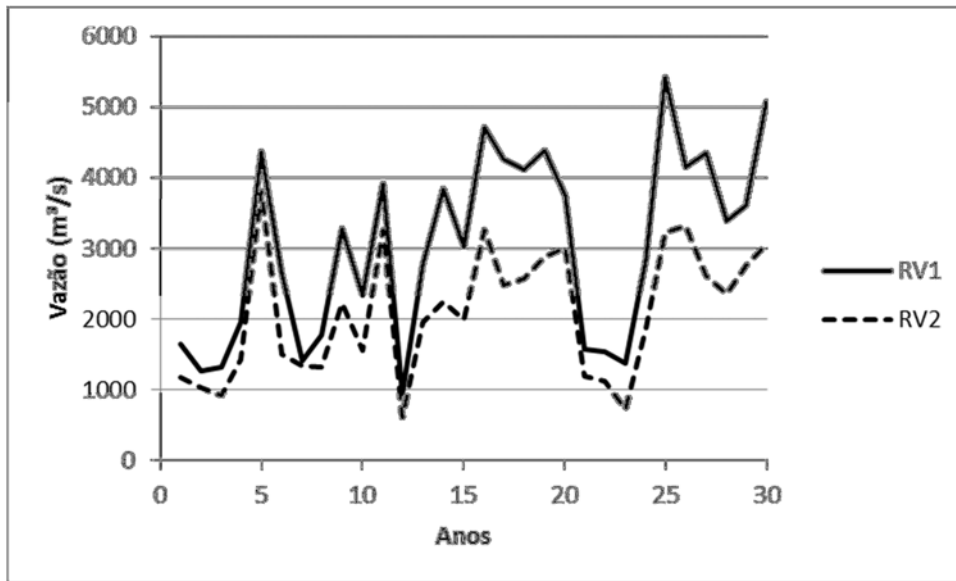


Figura 70– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Campos Novos (Futuro 1).

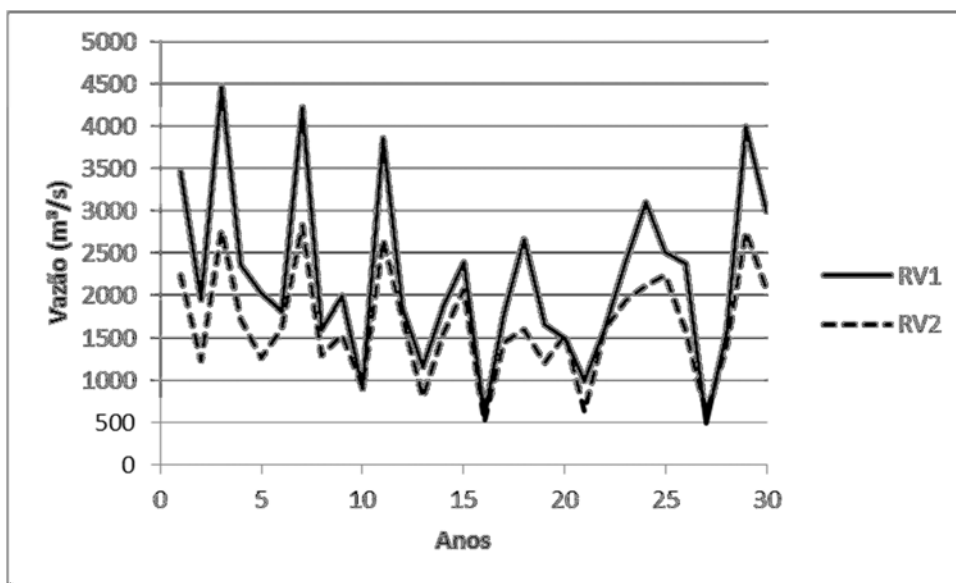


Figura 71– Séries de vazões máximas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Barra Grande (Período Atual).

Para as vazões mínimas as diferenças encontradas entre as séries de vazões aparentemente são irrelevantes (Figura 72 a Figura 75).

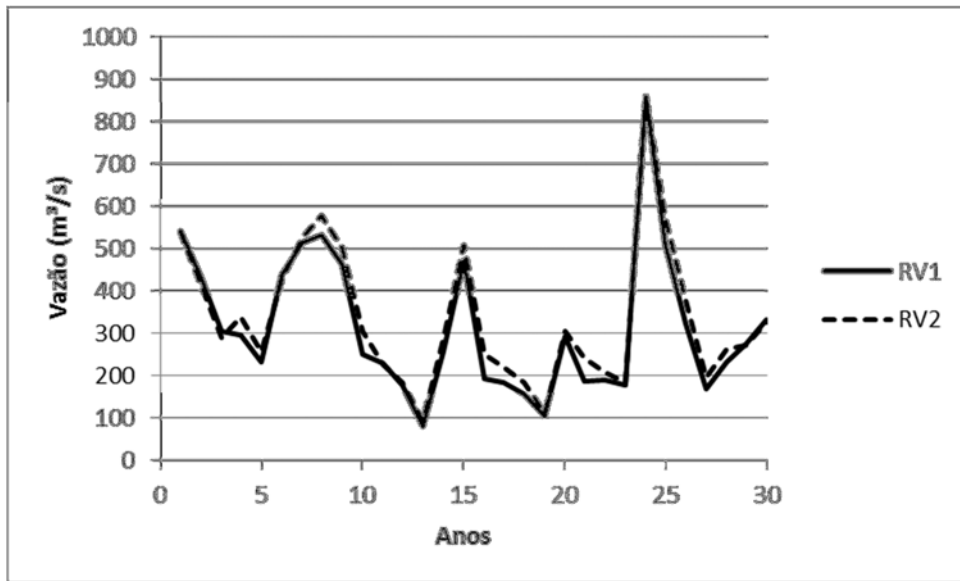


Figura 72– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga (Período atual).

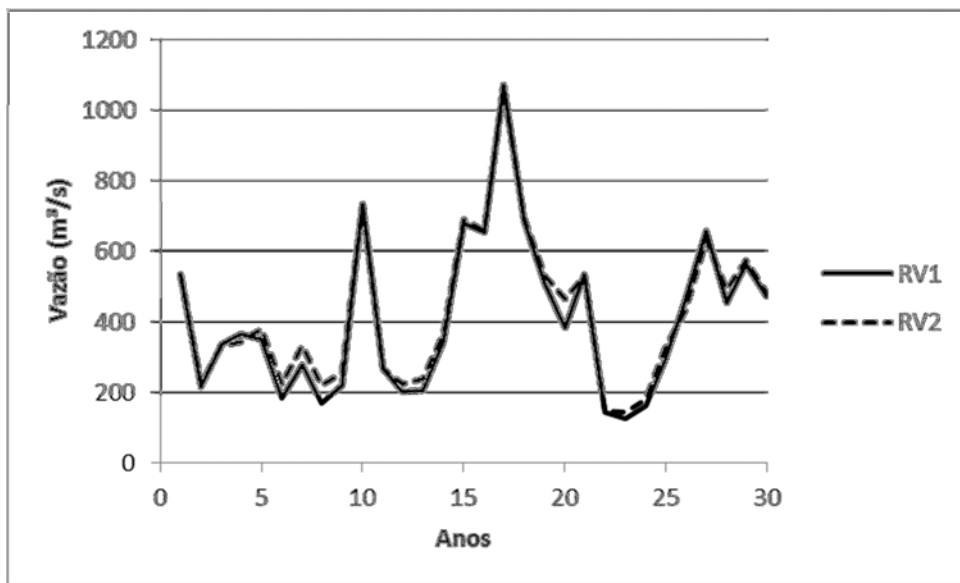


Figura 73– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 1).

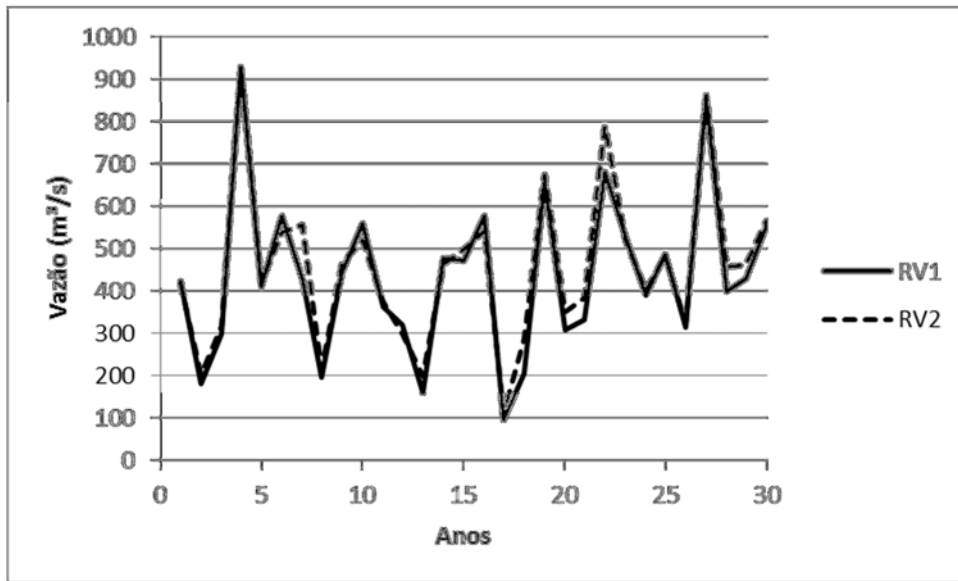


Figura 74– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 2).

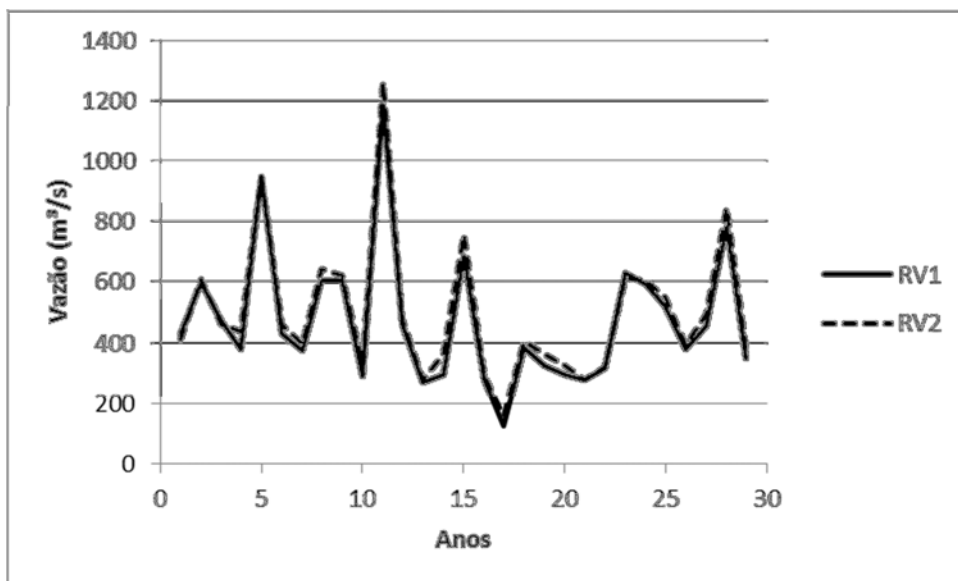


Figura 75– Séries de vazões mínimas anuais obtidas por RV1 e RV2 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 3).

O mesmo resultado mostrado para sub-bacia Itapiranga foi encontrado também nos demais pontos analisados, indicando que a variabilidade espacial da BHRU não exerceu influência sobre o resultado final. Na Tabela 21 é apresentado o sumário estatístico das séries de vazões máximas e mínimas anuais obtidas.

Tabela 21– Sumário estatístico das séries de vazões máximas e mínimas anuais

Estadística	Atual	Fut 1	Fut2	Fut3	Atual	Fut1	Fut2	Fut 3
Vazões Máximas Anuais				Vazões Mínimas Anuais				
Barra Grande RV1								
P5%	540.74	908.70	1191.19	1218.34	12.64	13.86	17.38	19.82
Med	1964.28	2909.06	2788.02	3713.84	25.52	39.70	46.56	49.15
P 95%	4339.48	5230.44	4617.24	5348.90	86.85	72.89	87.08	95.66
Var	1065324.9	1357554.7	803413.9	1777496.3	399.26	329.21	398.47	481.19
Barra Grande RV2								
P5%	620.80	1123.67	1391.36	1132.15	11.29	17.64	23.29	21.91
Med	1595.67	2333.13	2249.73	3020.84	32.95	44.55	51.97	54.23
P 95%	2761.08	3570.48	3581.11	4176.74	67.83	71.25	87.20	91.36
Var	402777.9	694875.3	562646	1048099	416.90	349.30	471.87	536.95
Campos Novos RV1								
P5%	651.78	1109.34	1063.81	1603.50	8.52	10.65	10.62	12.27
Med	2293.40	3146.17	3363.54	3840.56	25.52	34.61	40.50	43.89
P 95%	4309.92	5248.40	5241.87	6974.60	76.13	82.63	77.19	84.37
Var	889284.9	1731448.6	1304743.8	2130397.0	393.87	396.12	336.15	384.52
Campos Novos RV2								
P5%	690.86	803.34	964.47	1438.45	13.42	16.24	22.20	21.38
Med	1543.44	2113.31	2548.83	2706.75	29.69	35.80	40.88	48.51
P 95%	2508.53	3294.02	3888.43	4916.34	67.89	69.98	74.02	78.03
Var	294885.5	811712.6	822172.6	1497275	404.86	393.93	316.59	454.79
Itá RV1								
P5%	1956.70	2661.93	2693.28	4139.97	54.18	75.93	77.68	99.96
Med	6207.51	9223.40	9485.69	11207.65	138.84	206.33	223.16	231.79
P 95%	13199.81	15625.19	14932.50	21089.54	371.77	417.89	415.95	548.14
Var	8292471.1	15409320.1	10869087.4	18095181.9	8253.99	9297.63	8113.75	12816.88
Itá RV2								
P5%	1848.37	2616.27	2743.98	4499.25	79.45	90.67	120.63	149.11
Med	4681.08	7077.83	7668.598	9505.778	162.51	210.89	223.52	247.45
P 95%	8473.54	10797.96	11541.95	14649.26	314.32	380.43	398.93	476.88
Var	3495252	8435931	8055430	12010241	8592.08	8689.98	7518.13	12351.98
Monjolinho RV1								
P5%	138.89	103.21	171.75	247.55	2.42	3.17	2.94	3.75
Med	560.87	917.10	1032.29	1150.72	5.00	9.54	15.48	15.74
P 95%	1817.92	1840.79	1744.97	2155.62	40.23	42.85	43.73	55.25
Var	238841.0	243516.4	206943.3	208360.9	131.81	157.31	154.58	214.75
Monjolinho RV2								
P5%	151.88	102.458	220.55	300.26	3.58	4.00	3.47	5.13
Med	443.518	734.598	784.505	963.29	5.52	9.55	16.92	16.47
P 95%	1215.928	1365.92	1275.31	1628.88	28.10	37.30	42.30	46.48
Var	137616.3	163047.5	143701.8	150078.6	132.48	137.26	156.02	214.35
Quebra Queixo RV1								
P5%	217.94	173.51	307.74	286.69	2.23	1.76	2.74	3.81
Med	659.84	758.11	992.47	1078.15	6.04	8.19	6.81	7.73
P 95%	1234.36	1715.57	1625.05	2282.28	27.02	28.06	27.92	36.98
Var	102921.1	212159.9	136058.5	250839.4	44.41	59.55	51.44	80.21
Quebra Queixo RV2								
P5%	180.38	195.573	288.70	321.48	1.32	3.17	4.03	4.59
Med	453.53	571.74	925.60	985.41	7.09	8.74	8.26	8.78
P 95%	825.293	1364.17	1444.41	1926.65	19.85	25.55	25.08	26.57
Var	45831.17	191025.1	137192.1	254657.2	49.63	61.08	55.03	88.91
Itapiranga RV1								
P5%	3359.94	3355.54	4239.06	5290.32	93.09	136.19	131.04	197.60
Med	9561.46	12593.42	14558.37	16031.37	266.60	357.95	425.32	430.93
P 95%	19154.36	23425.87	21353.69	34372.02	694.38	900.53	889.85	1076.49
Var	18351688.6	36094803.4	24943288.6	44492231.6	28418.68	49032.85	36487.14	49915.43
Itapiranga RV2								
P5%	3034.11	3568.75	4392.40	5811.60	142.46	161.99	200.55	279.35
Med	7718.071	9181.21	11661.29	13805.55	288.21	371.86	457.91	437.23
P 95%	12129.89	17381.01	17155.55	23917.65	573.81	712.89	832.86	905.68
Var	9218316	23609660	19530763	31581539	27951.99	44923.69	35236.91	53061.13
Passo São João RV1								
P5%	551.45	805.10	767.80	1057.69	15.16	20.79	24.47	24.23
Med	1652.49	2354.77	2224.24	2471.87	42.03	52.07	54.61	62.54
P 95%	3719.49	4149.16	5062.29	3905.72	101.48	123.25	106.00	131.52

Var	801788.8	825222.4	1227112.2	613558.1	736.29	704.68	468.49	703.94
Passo São João RV2								
P5%	608.58	752.82	894.87	962.17	20.54	26.62	29.37	35.62
Med	1352.62	1745.042	1699.43	2113.37	42.73	54.38	56.71	64.33
P 95%	2771.382	3386.22	3087.08	3248.48	71.38	118.98	103.18	108.27
Var	692390.7	700401.9	666319.5	515056.7	588.07	733.46	478.11	602.82

P5%: percentil 5%; P95%: percentil 95%; Med: mediana; Var: variância.

As vazões médias também foram avaliadas. Para cada horizonte de tempo (30 anos) foram calculadas as médias mensais, aspecto importante para cálculo de disponibilidade hídrica total e sazonalidade em bacias hidrográficas.

Como já descrito, o período tido como o de Referência para geração das séries a partir de RV3 foi o período atual do modelo CT40, logo não é possível analisar o período atual, mas apenas os períodos futuros. Na Figura 76 a Figura 78, são apresentados os resultados em termos de vazões médias mensais para a sub-bacia Itapiranga, para FUT1, FUT2 e FUT3.

A Tabela 22 apresenta o sumário estatístico para todos os intervalos de tempo, em termos de vazões médias anuais (RV1, RV2 e RV3).

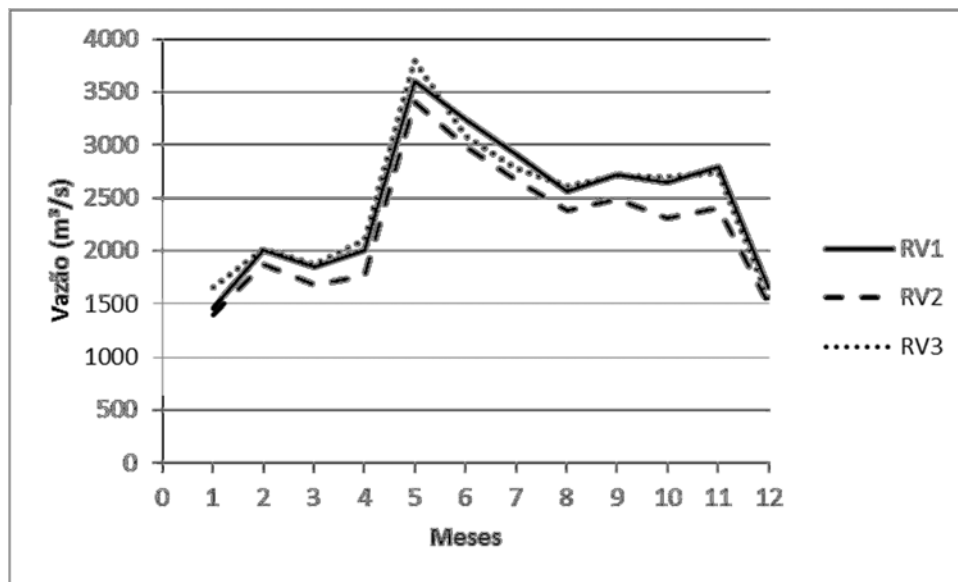


Figura 76– Séries de vazões médias mensais obtidas por RV1, RV2 e RV3 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 1).

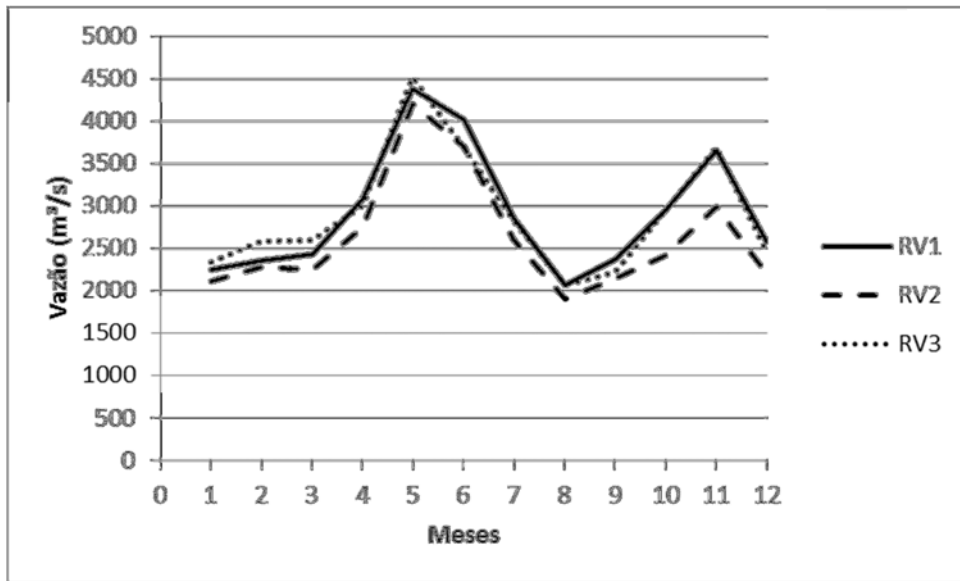


Figura 77– Séries de vazões médias mensais obtidas por RV1, RV2 e RV3 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 2).

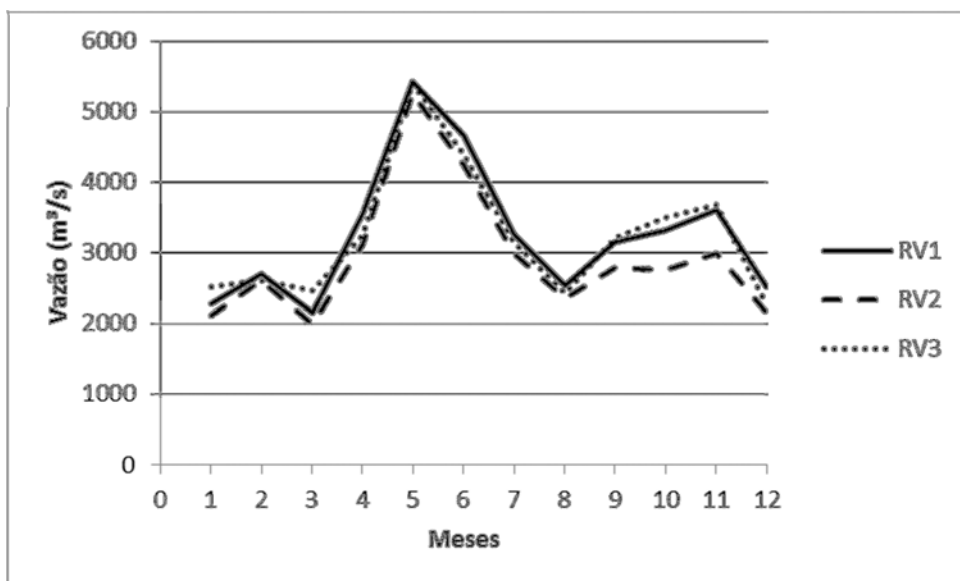


Figura 78– Séries de vazões médias mensais obtidas por RV1, RV2 e RV3 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 3).

Tabela 22– Sumário estatístico das séries de vazões médias anuais.

Estadística	Atual	Fut 1	Fut2	Fut3
Barra Grande RV1				
P5%	170.64	143.21	121.94	114.06
Med	436.13	436.11	503.90	622.98
P 95%	692.84	717.30	761.25	766.66
Var	31515.84	31531.93	31333.91	44030.90
Barra Grande RV2				
P5%	170.49	142.51	116.70	116.12
Med	409.06	435.08	501.38	626.96
P 95%	592.34	718.61	752.20	757.33
Var	21449.86	31914.30	31043.13	43226.45
Barra Grande RV3				
P5%	-	155.67	199.39	222.22
Med	-	390.95	454.41	497.12
P 95%	-	738.49	826.04	972.14
Var	-	38501.59	44683.53	56817.50
Campos Novos RV1				
P5%	134.89	161.01	202.81	233.12
Med	328.22	469.57	564.95	707.88
P 95%	715.95	797.73	826.22	881.38
Var	25367.84	37953.81	37590.02	44983.81
Campos Novos RV2				
P5%	148.98	154.95	195.41	212.44
Med	294.43	409.31	476.91	587.48
P 95%	590.75	664.95	686.35	733.89
Var	14020.66	22818.12	23751.18	27964.89
Campos Novos RV3				
P5%	-	203.24	276.68	311.62
Med	-	401.96	486.79	566.73
P 95%	-	802.04	909.63	1095.90
Var	-	41467.68	49689.35	62931.93
Itá RV1				
P5%	375.97	472.51	565.68	687.50
Med	1111.14	1489.47	1857.43	2175.71
P 95%	2463.20	2559.20	2792.18	2825.75
Var	314667.78	409011.81	410170.33	475395.43
Itá RV2				
P5%	410.02	471.79	563.89	645.91
Med	1002.43	1361.79	1614.47	1943.58
P 95%	2111.40	2220.06	2395.75	2483.93
Var	201244.79	273454.96	287975.19	329231.29
Itá RV3				
P5%	-	597.81	808.57	914.23
Med	-	1378.65	1609.57	1844.85
P 95%	-	2632.58	2904.29	3464.85
Var	-	499543.31	590583.57	745774.29
Monjolinho RV1				
P5%	21.80	20.38	31.26	48.11
Med	110.13	126.58	146.74	198.63
P 95%	276.94	233.25	288.70	262.67
Var	4779.73	4325.80	4839.64	4511.33
Monjolinho RV2				
P5%	25.37	24.73	33.22	48.32
Med	104.12	118.16	142.84	178.53
P 95%	241.84	213.45	252.18	237.20
Var	3379.60	3222.98	3554.00	3362.35
Monjolinho RV3				
P5%	-	40.92	61.87	66.22
Med	-	129.33	158.34	170.88
P 95%	-	262.97	290.90	325.98
Var	-	6607.78	7946.50	9514.92
Quebra Queixo RV1				
P5%	25.90	25.56	35.20	42.91
Med	86.88	102.68	121.46	135.93
P 95%	188.61	199.91	224.84	243.79
Var	1927.66	2648.84	2903.98	2712.48
Quebra Queixo RV2				
P5%	29.87	28.48	39.378	45.29

Med	77.95	96.878	120.028	134.22
P 95%	168.595	181.088	205.558	225.04
Var	1383.32	2000.168	2253.63	2186.75
Quebra Queixo RV3				
P5%	-	43.04	59.19	64.06
Med	-	104.48	125.13	132.46
P 95%	-	193.18	214.55	248.22
Var	-	2566.15	2871.28	3656.71
Itapiranga RV1				
P5%	634.33	752.74	906.68	1123.69
Med	1995.10	2495.28	3080.51	3674.75
P 95%	4489.43	4379.31	4963.72	5104.48
Var	1043150.9	1239223.8	1297301.3	1331890.6
Itapiranga RV2				
P5%	682.993	757.09	918.27	1077.45
Med	1772.406	2293.01	2810.26	3253.345
P 95%	3888.084	3876.46	4315.22	4535.12
Var	701759.9	865749.1	930681	954888.9
Itapiranga RV3				
P5%	-	1085.14	1445.34	1588.90
Med	-	2409.08	2787.43	3183.91
P 95%	-	4651.01	5073.03	5869.51
Var	-	1533735.6	1776252.9	2259531.8
Passo São João RV1				
P5%	85.90	111.23	108.44	134.88
Med	235.96	313.69	336.65	411.27
P 95%	658.26	628.82	696.42	619.60
Var	25984.65	21098.95	25915.95	18761.26
Passo São João RV2				
P5%	87.60493	101.7581	108.252	133.0406
Med	201.5003	286.9719	306.6241	372.1097
P 95%	556.6054	540.3891	595.6832	525.6954
Var	18105.99	15183.63	17043.85	13145.57
Passo São João RV3				
P5%	-	107.70	132.09	150.81
Med	-	287.66	322.93	351.80
P 95%	-	630.43	677.54	744.18
Var	-	37097.31	41863.75	49951.13

P5%: percentil 5%; P95%: percentil 95%; Med: mediana; Var: variância.

A partir das análises visuais dos hidrogramas gerados como resultado da aplicação de diferentes técnicas de RV e também do sumário estatístico apresentado nas Tabelas 21 e 22, observa-se que as séries de vazões extremas podem ser mais afetadas pelo método de remoção de viés aplicado do que as séries de vazões médias. No entanto, apesar de tal diferença observada nas séries obtidas, é importante avaliar o quão significativas são estas variações. Neste caso um teste de hipóteses deve ser aplicado.

A partir da aplicação de um teste de hipóteses é possível concluir se a diferença entre as séries é estatisticamente significativa ou não, e pode auxiliar o tomador de decisões na análise de relevância em usar uma ou outra técnica de remoção de viés, de acordo com o estudo a que se destina sua aplicação.

Como as diferenças percebidas nos gráficos apresentados são de magnitude das vazões (não foram observadas diferenças nas sazonalidades das séries) um teste de hipótese foi aplicado para analisar os resultados provenientes de RV1 e RV2, em termos de vazões máximas e mínimas anuais. Neste caso o teste de hipótese Kolmogorov-Smirnov (KS) para duas amostras (Lehmann, 2006).

O método KS compara as curvas de probabilidade acumulada e visa a concordância entre dois conjuntos de valores amostrais. Se as distribuições acumuladas são “diferentes” ou “distantes” uma da outra em qualquer ponto, isto sugere que as amostras provenham de populações também distintas. Assim um desvio grande pode levar a rejeição da hipótese de nulidade ($H=0$) sob determinado grau de significância (α). O teste KS toma a maior destas diferenças em módulo, entre as séries, que é denominada de desvio máximo e é anotada por D. Neste trabalho foi utilizado um grau de significância (α) de 0,05%.

A Tabela 23 apresenta o resultado do teste de KS para as séries de vazões máximas e mínimas anuais obtidas por RV1 e RV2, onde o valor de h representa a aceitação ($h=0$) ou rejeição ($h=1$) da hipótese nula. Os valores de $h=1$ foram destacados em negrito na tabela para facilitar a visualização.

O teste KS fornece o parâmetro valor de prova (p-value ou significância), que pode ser interpretado como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula (H_0). Quanto menor for o p, menor é a consistência entre os dados e a hipótese nula. Então, a regra de decisão adotada é: (i) se $p \leq \alpha$, rejeita-se H_0 ; (ii) se $p > \alpha$, não se rejeita H_0 . A variável D é a estatística do teste e representa a maior distância em termos de probabilidade, encontrada entre as curvas acumuladas em análise. D e p se relacionam da seguinte maneira: quando p é pequeno D é grande, dessa forma o valor de p representa o risco em rejeitar a hipótese nula.

Tabela 23 - Teste Kolmogorov-Smirnov para duas amostras. Comparação entre RV1 e RV2 para vazões Máximas (Q_{máx}) e mínimas (Q_{mín}) anuais.

Sub-bacia Barra Grande					
Q _{máx}	h*	Atual	Fut1	Fut2	Fut3
		1	0	1	0
	p	0.05	0.05	0.01	0.38
	D	0.43	0.33	0.40	0.28
Q _{mín}	h	0	0	0	0
	p	0.34	0.54	0.54	0.93
	D	0.23	0.20	0.20	0.14
Sub-bacia Campos Novos					
Q _{máx}	h* <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td>	1	1	1	1
	p	0.03	0.03	0.02	0.02
	D	0.47	0.43	0.50	0.48
Q _{mín}	h	0	0	0	0
	p	0.54	0.94	0.54	0.32
	D	0.20	0.13	0.20	0.24
Sub-bacia Itá					
Q _{máx}	h* <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td>	0	1	1	1
	p	0.04	0.03	0.01	0.02
	D	0.33	0.37	0.40	0.38
Q _{mín}	h	0	0	0	0
	p	0.54	0.54	0.76	0.93
	D	0.20	0.20	0.17	0.14
Sub-bacia Monjolinho					
Q _{máx}	h* <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td>	0	1	0	1
	p	0.54	0.03	0.54	0.01
	D	0.20	0.37	0.20	0.41
Q _{mín}	h	0	0	0	0
	p	0.94	1.00	0.94	0.93
	D	0.13	0.10	0.13	0.14
Sub-bacia Quebra Queixo					
Q _{máx}	h	1	0	1	0
	p	0.02	0.34	0.03	0.51
	D	0.43	0.23	0.37	0.21
Q _{mín}	h	0	0	0	0
	p	0.54	0.94	0.94	0.51
	D	0.20	0.13	0.13	0.21
Sub-bacia Itapiranga					
Q _{máx}	h	0	0	1	0
	p	0.06	0.34	0.03	0.18
	D	0.33	0.23	0.37	0.28
Q _{mín}	h	0	0	0	0
	p	0.76	0.76	0.94	0.93
	D	0.17	0.17	0.13	0.14
Sub-bacia Passo São João					
Q _{máx}	h	0	0	0	0
	p	0.54	0.11	0.11	0.10
	D	0.20	0.30	0.30	0.31
Q _{mín}	h	0	0	0	0
	p	0.94	0.94	0.54	0.93
	D	0.13	0.13	0.20	0.14

*h é o resultado do teste (H₀ = ambas as amostras vêm da mesma distribuição; h = 1, rejeitar H₀; h = 0, nenhuma evidência estatística para rejeitar H₀); p é o valor P e D é a estatística do teste.

Analisando os valores da Tabela 23 percebe-se que para as vazões anuais mínimas a hipótese nula ($h=0$) é aceita em todos os pontos analisados, indicando que não há evidência estatística suficiente para afirmar que a hipótese nula é falsa, ou seja, que existem diferenças significativas entre as séries corrigidas por ambos os métodos de RV. Este fato é refletido também pelo valor p muito alto, indicando que não é seguro rejeitar a hipótese nula sem que se cometa um erro muito grande.

A hipótese nula foi rejeitada ($h=1$) apenas para as séries de vazões máximas em alguns locais e em distintos períodos de tempo. Na sub-bacia Campos Novos os KS Teste indicou que a aplicação de RV1 e RV2 resulta em vazões anuais distintas entre si, para todos os horizontes de tempo. Na Sub-bacia Barra Grande a hipótese nula foi rejeitada para os períodos Atual e Fut 2, e neste caso observa-se que os valores de p são baixos e bastante próximos ao nível de significância estabelecidos pelo teste ($\alpha=0,05$). O mesmo ocorre na sub-bacia Quebra Queixo (período Atual), Monjolinho (Fut1 e Fut3) e Itapiranga (Fut2). Este valor baixo de p indica que o risco em rejeitar $h=1$ é pequeno, logo, poder-se-ia considerar para estes casos, que as diferenças são significativas. A aplicação de um nível de significância $\alpha=0,10$, por exemplo, faria com que mais casos rejeitassem a hipótese nula ($h=1$).

É importante ressaltar que o teste KS é bastante conservador sendo que as rejeições da hipótese nula acontecem quando as diferenças entre as séries são expressivamente grandes, ou seja, o teste não rejeita a hipótese nula para pequenas diferenças entre as séries. No caso da Tabela 23 isso é refletido pelo valor de (D) que representa a máxima distância entre as distribuições testadas. Nos casos de rejeição da hipótese, este valor é sempre muito grande. Como as séries analisadas contam extremos anuais de trinta anos (trinta valores de vazões máximas ou mínimas) a aplicação de um teste conservador se faz necessário. Isso também justifica a aplicação de um nível de significância de $\alpha=0,05$.

Com base nos resultados apresentados neste item (5.3):

- As séries de vazões máximas anuais mostraram maior sensibilidade à técnica de remoção de viés utilizada. Em algumas das sub-bacias analisadas estas diferenças, em termos de magnitude, podem ser expressivas.

- Observa-se que ocorrem diferenças de magnitude entre as séries geradas pelo método de RV1 (Quantil-Quantil) e RV2 (Escalonamento Linear). O método RV1 apresenta os maiores valores de vazão. Isto acontece por que este método valoriza mais as correções quando os valores de chuva são mais extremos e a diferença entre os valores observados e simulados é maior, com base na distância entre as curvas de probabilidades acumuladas. Já o método RV2 do escalonamento linear tende a valorizar eventos mais extremos da mesma forma que eventos mais comuns, já que ele multiplica toda a série por um mesmo valor de coeficiente mensal de correção.
- As séries de vazões mínimas anuais apresentaram pouca diferença entre as séries obtidas (RV1 e RV2).
- Para as séries de vazões médias os resultados mostram poucas diferenças entre as séries obtidas pelos três métodos de RV utilizadas. Neste caso, além de RV1 e RV2 foi também acrescentado o conjunto RV3. Este último refere-se à técnica de delta change, que não permite aplicação às séries de vazões máximas e mínimas, pois o delta change usa a série do período atual projetada para o futuro, e assim as cheias e secas são, na verdade, uma repetição modificada das cheias e secas do período atual.

5.4. Modelos Climáticos Globais e o Modelo Regional ETA/CPTEC

Neste item o modelo MGB/P1 foi utilizado para a geração de séries de vazões usando como informação de entrada os dados das variáveis precipitação, vento, radiação solar, temperatura em superfície, pressão e umidade atmosférica provindos dos modelos climáticos CT20, CT40, LOW, MID, HIGH, GFCM, MPEH, MRCG, HADC, e NCCC.

Em função da grande quantidade de dados resultantes deste item do trabalho, os resultados mostrados aqui se referem à sub-bacia Itapiranga. O anexo B contém os gráficos para os demais pontos analisados, enquanto que o Anexo C apresenta o sumário estatístico, em termos de vazões máximas, mínimas e médias anuais.

A Figura 79 representa a variação das variáveis climáticas, obtidas pelo modelo regional, consideradas nas simulações além da precipitação: radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e pressão atmosférica.

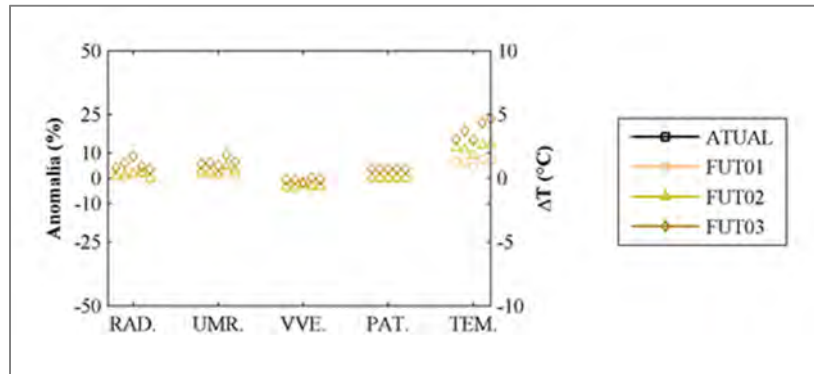


Figura 79– Variação das variáveis climáticas de CT40, LOW, MID, HIGH e CT20: radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e pressão atmosférica.

A Figura 80 representa a variação das variáveis climáticas, obtidas pelos modelos globais, consideradas nas simulações além da precipitação: radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e pressão atmosférica.

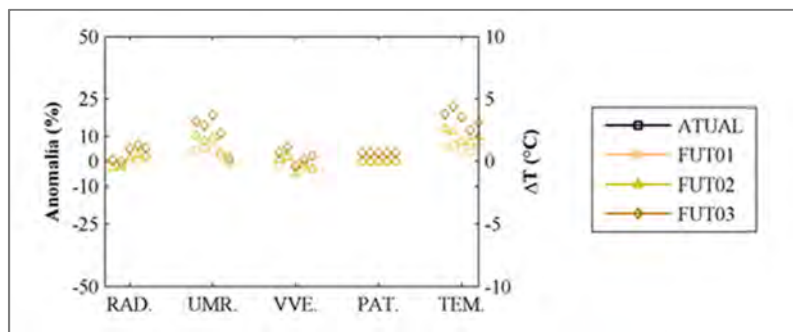


Figura 80– Variação das variáveis climáticas de GFCM, MPEH, MRCG, HADCM, e NCCC: radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e pressão atmosférica.

A Figura 81 apresenta as mudanças na precipitação média anual, em termos de anomalias em relação ao período atual, projetadas por diferentes modelos climáticos em diferentes períodos de tempo. O gráfico da esquerda refere-se aos resultados dos RCM's e o da direita apresenta os resultados dos GCM's.

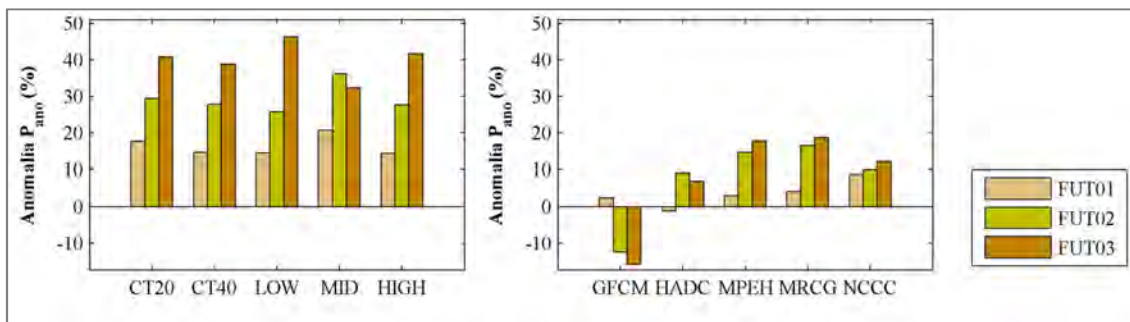


Figura 81- Mudanças previstas na precipitação na bacia hidrográfica do rio Uruguai a montante da sub-bacia Itaipiranga (Gráfico da esquerda: modelos regionais; Gráfico da direita: modelos globais).

Observa-se, na Figura 81, que todas as versões do modelo regional prevêem que a precipitação deverá aumentar, chegando a valores de anomalias maiores que 40%, em geral, crescendo com o tempo, ao longo do século XXI. Quanto aos modelos globais não é observada a mesma concordância entre os resultados, sendo o modelo GFCM o mais divergente. Este modelo sugere que ocorrerá um pequeno aumento da precipitação na sub-bacia Itaipiranga no Futuro1 seguido de uma redução de mais de 10% na precipitação tanto no Futuro 2 como no Futuro 3. Os outros modelos globais sugerem que a precipitação na BHRU deverá aumentar ao longo do século XXI, em relação ao clima atual, entretanto, nenhum dos modelos globais prevê uma alteração tão grande como os previstos pelo modelo regional, chegando no máximo a 20% de anomalia.

A sensibilidade da BHRU em relação ao aumento de chuvas é apresentada na Figura 82. Este gráfico mostra, para cada modelo climático e para cada período do futuro, a relação entre a variação relativa de precipitação e a variação relativa da vazão média.

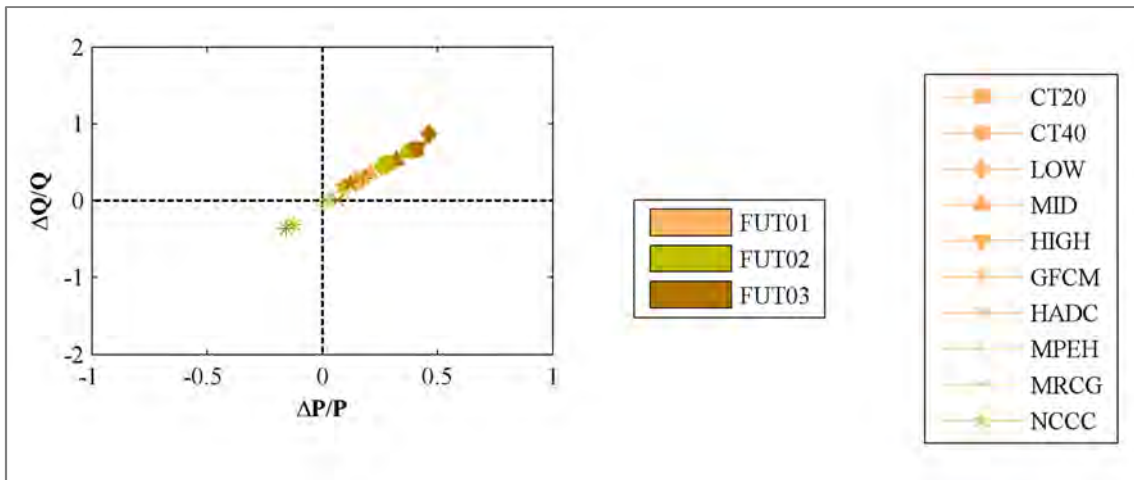


Figura 82- Relação entre mudanças previstas na precipitação e na vazão média do rio Uruguai na sub-bacia Itapiranga considerando diferentes modelos climáticos e diferentes períodos do futuro.

Da Figura 83 à Figura 86, são apresentadas as vazões máximas anuais para a sub-bacia Itapiranga, enquanto que na Figura 87 a Figura 90, são apresentadas as séries de mínimas anuais.

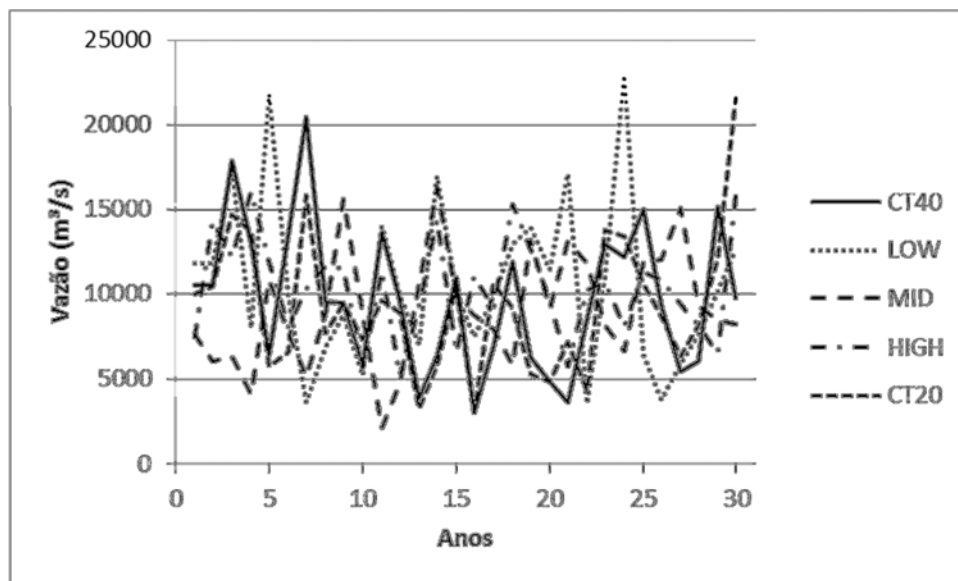


Figura 83 - Séries de vazões máximas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itapiranga (Período Atual).

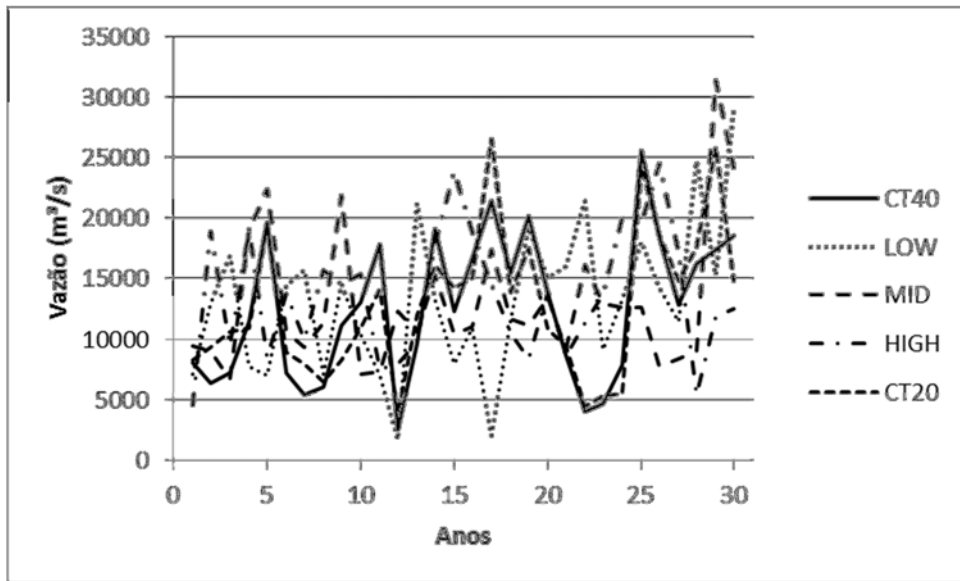


Figura 84 - Séries de vazões máximas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 1).

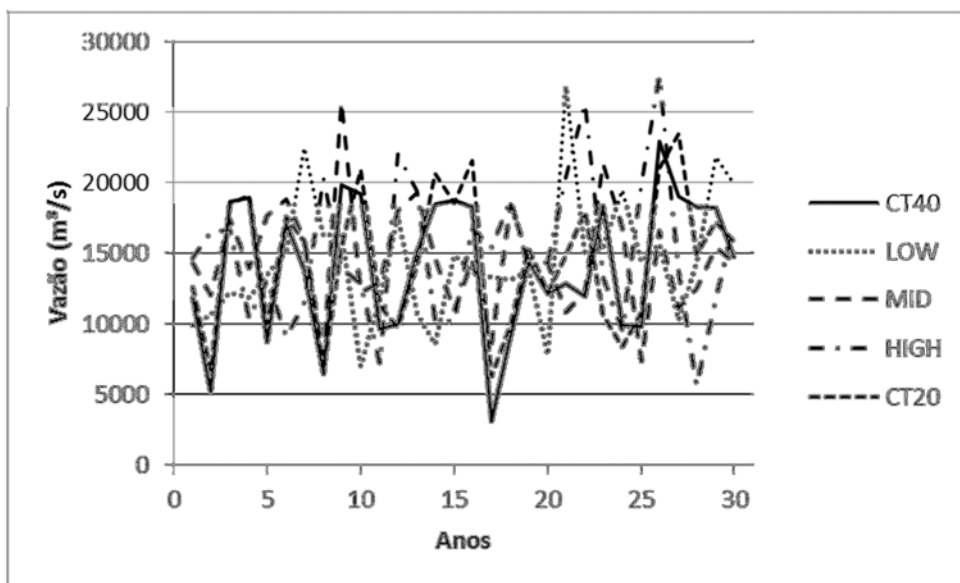


Figura 85 - Séries de vazões máximas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 2).

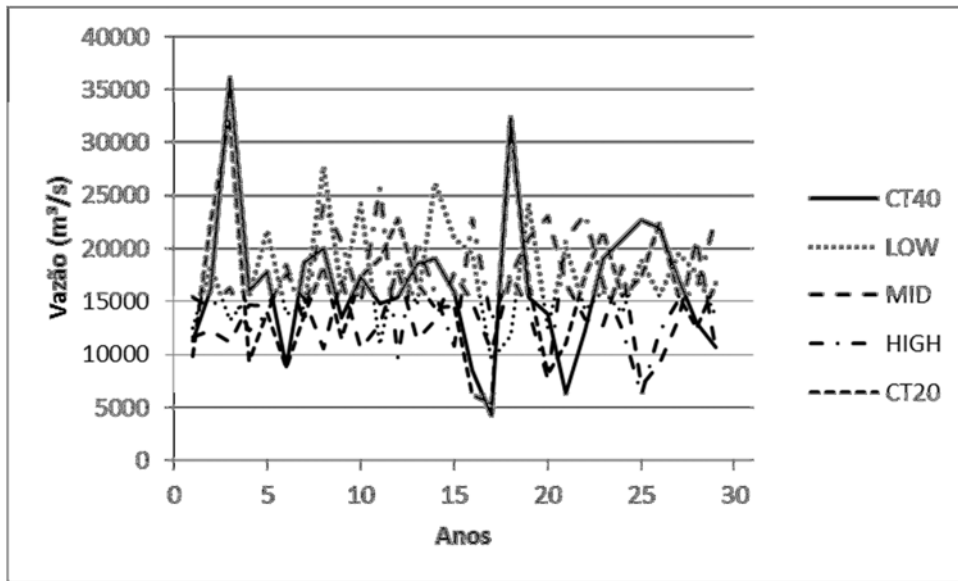


Figura 86 - Séries de vazões máximas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 3).

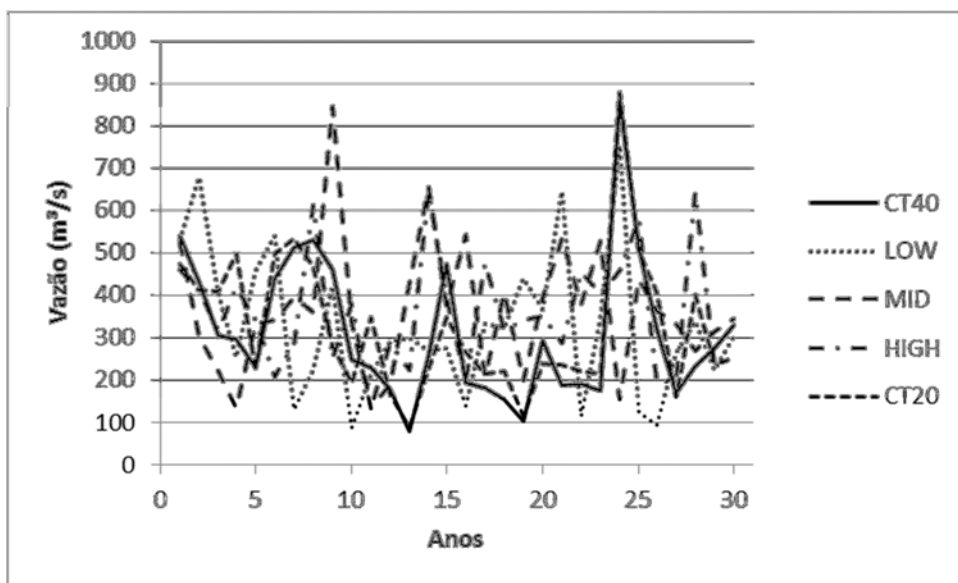


Figura 87 - Séries de vazões mínimas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itapiranga (Período Atual).

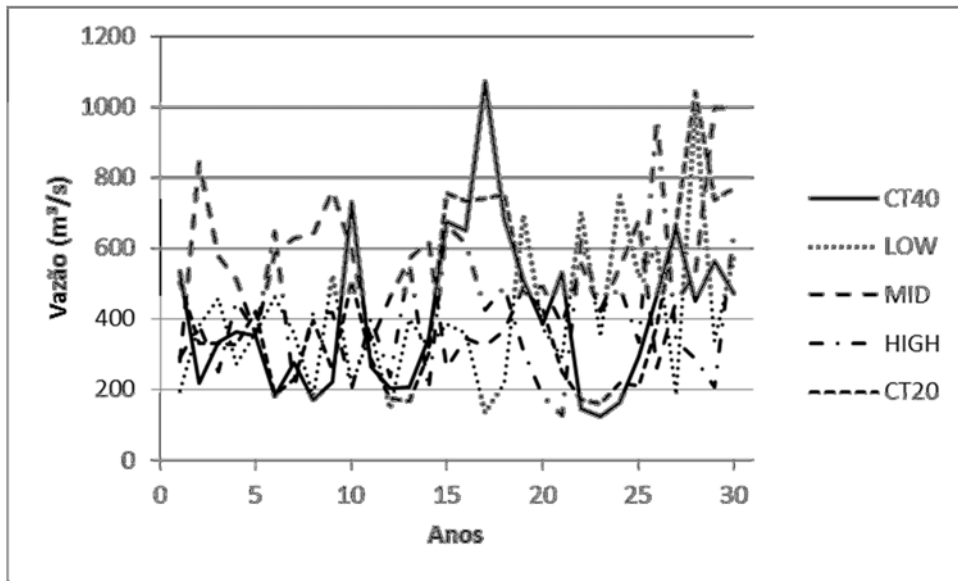


Figura 88 - Séries de vazões mínimas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 1).

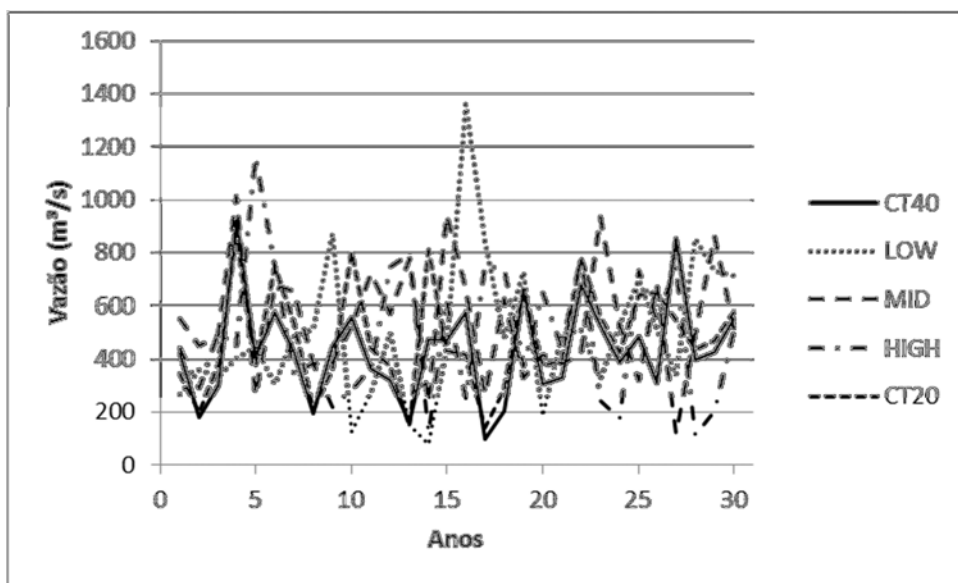


Figura 89 - Séries de vazões mínimas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 2).

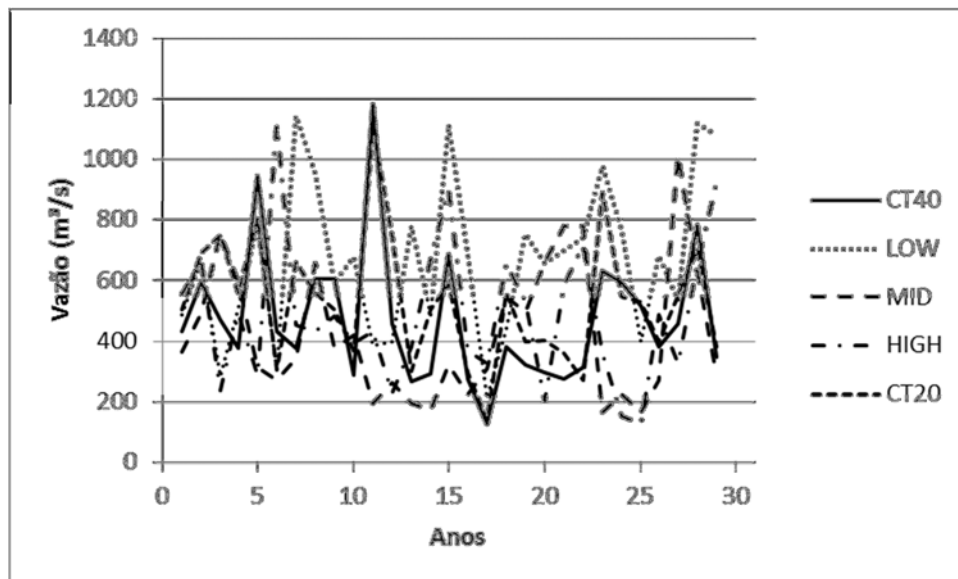


Figura 90 - Séries de vazões mínimas anuais obtidas por CT40, LOW, MID, HIGH e CT20 na sub-bacia Itapiranga (Futuro 3).

A Figura 91 apresenta os resultados das projeções de alterações de vazão do rio Uruguai na UHE Itapiranga em termos de vazões médias mensais obtidas com base nas projeções de mudanças climáticas do modelo regional Eta. Observa-se que, em todas as versões do modelo ETA (CT20, CT40, MID, HIGH e LOW) é prevista uma alteração do regime hidrológico, com o surgimento de um regime bi-modal, com um máximo em maio e outro máximo em novembro.

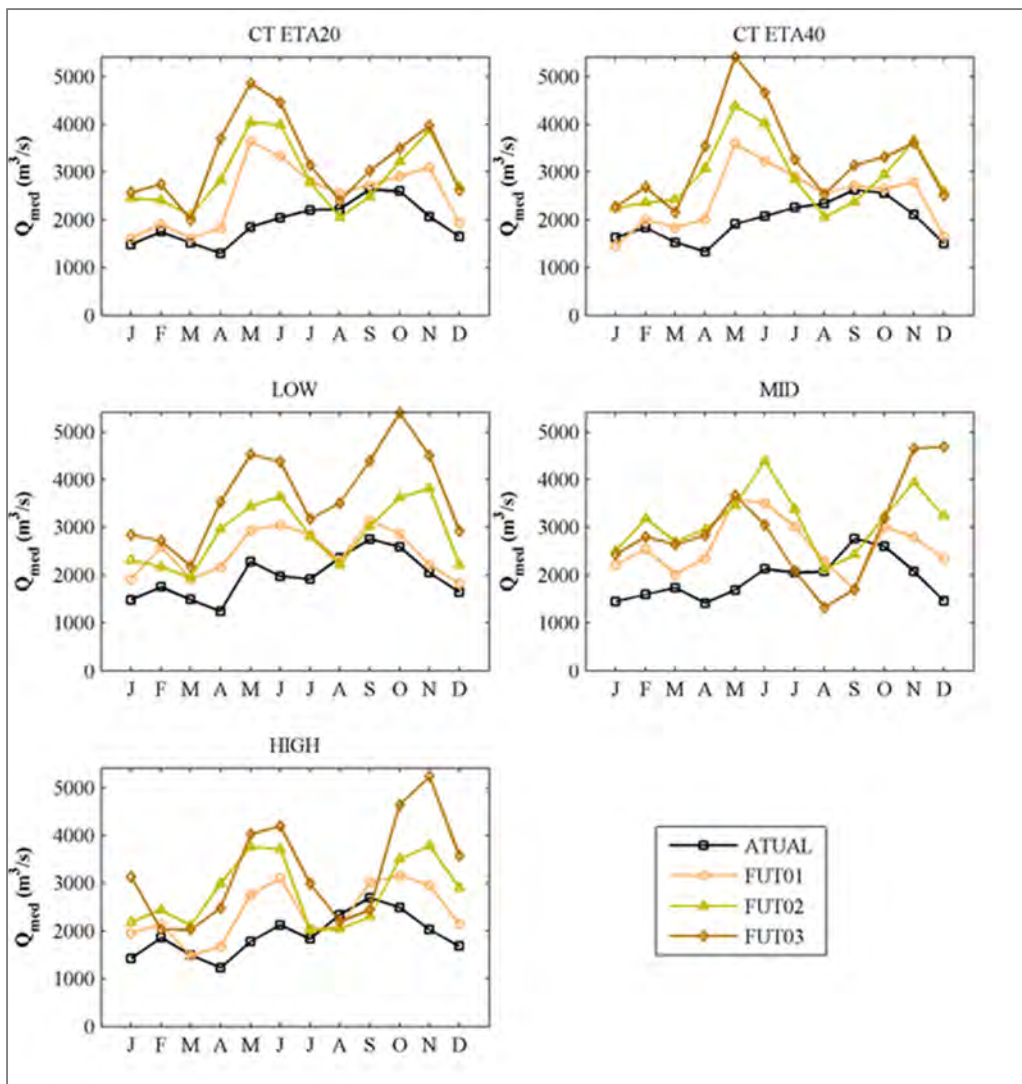


Figura 91- Vazões médias mensais na sub-bacia Itapiranga nas condições do período atual (linha preta) e nos três períodos do século XXI, considerando as projeções de mudanças climáticas das diferentes versões dos modelos regionais ETA/CPTEC.

A Figura 92 apresenta os resultados das projeções de alterações de vazão na sub-bacia Itapiranga em termos de vazões médias mensais obtidas com base nas projeções de mudanças climáticas dos modelos globais. Observa-se que existe uma maior dispersão entre os resultados no caso dos diferentes modelos globais, com alguns modelos sugerindo redução da vazão no inverno (GFCM) e outros sugerindo o contrário (MRCG). Um aspecto importante é que, embora três dos cinco modelos globais sugiram que a vazão média vai aumentar, este aumento deverá ocorrer naqueles meses que já apresentam vazões médias mais altas. Os meses de verão,

quando as vazões médias mensais são mais baixas, deverão permanecer sem alteração.

Observa-se, também, que os modelos globais não prevêem o surgimento de um regime bi-modal, como as diferentes versões do modelo ETA/CPTEC.

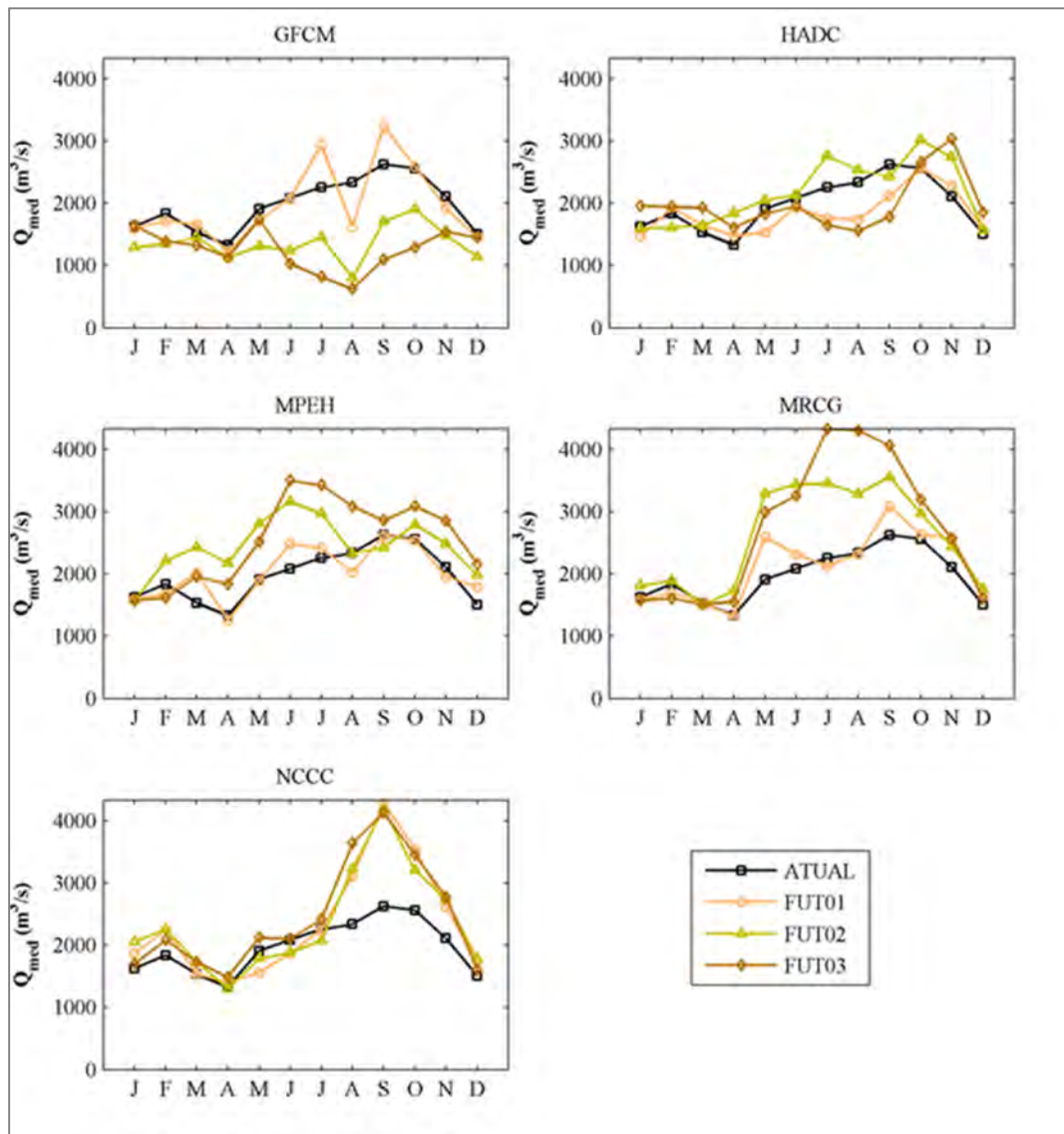


Figura 92 - Vazões médias mensais na sub-bacia Itapiranga nas condições do período atual (linha preta) e nos três períodos do século XXI, considerando as projeções de mudanças climáticas dos modelos globais.

A Tabela 25 apresenta o sumário estatístico das vazões máximas e mínimas anuais. As séries de médias anuais são apresentadas na Tabela 26.

Tabela 24– Sumário estatístico das séries de vazões máximas e mínimas anuais.
Sub-bacia Itapiranga

Estadística	Atual	Fut 1	Fut2	Fut3	Atual	Fut1	Fut2	Fut 3
Vazões Máximas Anuais				Vazões Mínimas Anuais				
Itapiranga CT40								
P5%	3359.94	3355.54	4239.06	5290.32	93.09	136.19	131.04	197.60
Med	9561.46	12593.42	14558.37	16031.37	266.60	357.95	425.32	430.93
P 95%	19154.36	23425.87	21353.69	34372.02	694.38	900.53	889.85	1076.49
Var	18351688.6	36094803.4	24943288	4449223	28418.68	49032.85	36487.14	49915.43
Itapiranga LOW								
P5%	3731.7	4241.555	8125.088	11230.79	103.91	161.55	137.34	292.21
Med	10006.03	13246.09	14018.23	15927.4	302.64	362.46	481.33	678.21
P 95%	19987.37	23343.02	22184.26	25363.14	602.08	729.81	864.67	1117.15
Var	2443728	38253519	19682339	21602711	29647.39	39487.61	73000.94	68111.36
Itapiranga MID								
P5%	4414.86	7217.82	8155.29	9581.99	143.85	269.42	244.58	168.40
Med	8799.95	11250.47	14377.44	13367.59	352.40	518.43	520.14	343.52
P 95%	15357.04	23432.45	20534.86	20905.44	608.53	901.93	940.66	778.49
Var	11690724	33002333	16006474	14835184	24462.82	37216.95	49868.37	51145.58
Itapiranga HIGH								
P5%	5723.078	6340.091	8034.833	8447.913	204.75	193.16	149.56	173.04
Med	10486.88	13715.25	14159.64	15367.83	337.14	382.58	426.64	426.25
P 95%	15620.63	22283.41	24158.04	23798.92	598.81	584.68	718.46	896.32
Var	8967813	27126385	26308959	24477978	16488.42	26498.6	47907.3	46370.3
Itapiranga CT20								
P5%	3704.95	4831.533	6705.736	6992.717	135.81	169.14	169.68	281.21
Med	9041.674	11421.66	15047.95	15516.68	259.37	356.77	433.54	531.10
P 95%	15351.71	25204.83	21309.74	27690.41	520.44	766.12	805.13	857.15
Var	16637902	36482417	23196499	41046582	26648.65	57177.37	39241.58	43421.85

P5%: percentil 5%; P95%: percentil 95%; Med: mediana; Var: variância.

Tabela 25 – Sumário estatístico das séries de vazões médias anuais. Sub-bacia Itapiranga

Estadística	Atual	Fut1	Fut2	Fut3
Itapiranga CT40				
P5%	104.99	170.61	230.42	213.10
Med	289.38	436.11	503.90	622.98
P 95%	549.57	687.19	719.88	767.41
Var	22816.5	31531.9	28945.0	40121.1
Itapiranga LOW				
P5%	130.31	144.03	201.03	328.77
Med	308.42	377.30	476.44	562.71
P 95%	529.71	602.86	682.91	790.75
Var	16717.5	22366.8	27889.3	18328.5
Itapiranga MID				
P5%	129.80	241.79	368.88	284.33
Med	282.73	442.11	496.31	529.29
P 95%	554.95	606.36	709.78	678.64
Var	16363.5	13171.4	20443.7	18196.5
Itapiranga HIGH				
P5%	191.57	169.42	226.64	259.32
Med	286.37	404.05	435.46	522.34
P 95%	421.66	582.51	728.66	849.13
Var	7031.9	17768.1	25106.1	34402.5
Itapiranga CT20				
P5%	143.13	163.45	204.71	285.74
Med	286.85	411.55	493.62	496.03
P 95%	490.96	649.03	736.21	843.35
Var	16705.9	26016.8	27942.3	33164.6
Itapiranga GFCM				
P5%	-	506.85	326.33	291.73
Med	-	1144.48	751.33	662.75
P 95%	-	2242.53	1526.97	1305.84
Var	-	337742.32	181306.07	147577.88
Itapiranga HADC				
P5%	-	423.99	499.86	487.28
Med	-	990.42	1213.79	1032.72
P 95%	-	1934.55	2372.12	2050.20

Var	-	263281.72	389663.53	307502.19
Itapiranga MPEH				
P5%	-	492.98	639.95	675.88
Med	-	1148.67	1429.72	1464.69
P 95%	-	2225.37	2667.52	2885.49
Var	-	340079.71	471873.39	563948.11
Itapiranga MRCG				
P5%	-	494.87	615.61	645.55
Med	-	1167.03	1502.87	1561.97
P 95%	-	2225.71	2769.93	3053.38
Var	-	356415.36	520945.92	635401.18
Itapiranga NCCC				
P5%	-	546.28	552.95	537.49
Med	-	1274.26	1270.33	1257.22
P 95%	-	2465.17	2460.15	2613.43
Var	-	385702.85	391321.93	463100.64

P5%: percentil 5%; P95%: percentil 95%; Med: mediana; Var: variância.

Com base nos resultados apresentados neste item (5.4):

- No geral os resultados apresentados para a sub-bacia Itapiranga são similares aos dos demais pontos analisados, com variações de magnitude, mas não em relação ao sinal da variação.
- Os modelos regionais apresentam variações positivas de vazão, em geral crescentes com o horizonte de tempo analisado. Isto ocorre em todos os pontos analisados na BHRU.
- Os modelos globais apresentam variações positivas e negativas, aumentando a faixa de incerteza das predições de vazões médias.
- As diferenças encontradas entre as séries de CT40 e CT20 são pequenas, principalmente em relação às vazões médias. Neste caso o aumento de resolução do modelo não influenciou o resultado final.
- Apesar das diferenças de magnitude entre as séries de máximas e mínimas obtidas, os modelos regionais concordam entre si quanto ao sinal da mudança, neste caso positiva. Já os modelos globais são divergentes entre si (quanto ao sinal da variação), aumentando a faixa de incerteza das séries de vazões médias.

5.5. Etapa (1) Comparação entre as Fontes de Incerteza

Este item é a conclusão da Etapa (1), cujo objetivo é comparar as fontes de incerteza.

Como mencionado na descrição metodológica, as séries de vazão foram analisadas em termos de anomalias em relação ao período de referência (período atual). As séries de médias foram calculadas em termos de vazões médias de longo período (QMLP), máximas e mínimas com tempo de retorno de dois anos utilizando a distribuição Gumbel para máximos e mínimos.

A Tabela 26 apresenta os resultados, na sub-bacia Itapiranga, para o período atual e os períodos de 2011-2040 (Fut1), 2041-2070 (Fut2) e 2071-2100 (Fut3) para cada uma das fontes de incerteza. Também estão apresentadas as anomalias previstas até o fim do século. Como os modelos globais foram obtidos a partir das séries diárias do modelo CT40, as variações foram obtidas em comparação com o período atual deste último. As tabelas de resultados para as demais sub-bacias são apresentadas no Anexo D.

Tabela 26– Valores de vazões máximas (m³/s) com período de retorno (Tr) de 2 anos nos quatro horizontes de tempo analisados e anomalias de vazão máximas (Δ) em % obtidas para cada fonte de incerteza e horizontes de tempo. Sub-bacia Itapiranga

Fonte Incerteza	Atual	Fut1	Fut2	Fut3	Δ^* (Fut1)	Δ (Fut2)	Δ (Fut3)
Itapiranga $\Delta Q_{m\acute{a}x}$ (%)							
MGB/P1	9047.61	11631.51	13320.7	15354.64	28.56	47.23	69.71
MGB/P2	2195.69	2813.87	3201.312	3802.354	28.15	45.80	73.17
MGB/P3	2206.33	2822.352	3212.266	3811.548	27.92	45.60	72.75
RV1	9047.61	11631.51	13320.7	15354.64	28.56	47.23	69.71
RV2	7122.79	9334.127	10916.34	12780.52	31.04	53.26	79.43
CT40	9047.61	11631.51	13320.7	15354.64	28.56	47.23	69.71
LOW	9853.79	12176.03	13698.54	16323.89	23.57	39.02	65.66
MID	8586.92	12095.86	14010.5	13740.25	40.86	63.16	60.02
HIGH	9859.21	12728.58	14181.94	15258.84	29.10	43.85	54.76
CT20	8624.20	11858.57	13791.06	14881.21	37.50	59.91	72.55
Itapiranga $\Delta Q_{m\acute{i}n}$ (%)							
MGB/P1	340.74	444.61	465.53	510.16	30.48	36.63	49.72
MGB/P2	43.74	47.72	51.95	59.75	17.08	18.76	36.58
MGB/P3	35.25	38.73	42.05	50.23	16.86	19.28	42.49
RV1	340.74	444.61	465.53	510.16	30.48	36.63	49.72
RV2	361.39	457.64	484.53	536.87	26.63	34.07	48.55
CT40	340.74	444.61	465.54	510.16	30.48	36.63	49.72
LOW	357.78	436.61	539.264	709.44	22.03	50.72	98.28
MID	391.81	560.72	576.994	460.93	43.11	47.26	17.64
HIGH	373.13	412.72	493.75	493.09	10.61	23.32	32.15
CT20	351.25	470.26	511.89	564.85	33.88	45.73	60.81
Itapiranga ΔQ_{MLP} (%)							
MGB/P1	1979.23	2452.263	2915.72	3261.71	23.90	47.32	64.79
MGB/P2	1960.77	2438.59	2906.52	3254.38	24.37	48.23	65.97
MGB/P3	2034.63	2492.98	2955.51	3320.03	22.53	45.26	63.17
RV1	1979.22	2452.27	2915.72	3261.71	23.90	47.32	64.79
RV2	1790.59	2237.12	2626.07	2945.05	24.94	46.66	64.47
RV3	1979.22	2465.44	2912.11	3237.71	24.56	47.13	63.58
CT40	1979.22	2452.26	2915.72	3261.71	23.90	47.32	64.79
LOW	303.11	388.57	438.93	555.66	28.19	44.81	83.32
MID	1923.63	2618.55	3131.46	2924.20	36.13	62.78	52.02
HIGH	1920.03	2376.13	2814.89	3249.15	23.75	46.60	69.22
CT20	1945.08	2500.02	2910.95	3250.09	28.53	49.66	67.09
GFCM	1979.22	1980.65	1355.58	1257.76	0.14	-31.46	-36.41
HADC	1979.22	1836.35	2161.27	1981.15	-7.15	9.27	0.1671
MPEH	1979.22	2023.12	2447.36	2540.02	2.29	23.74	28.421
MRCG	1979.22	2125.78	2597.39	2715.072	7.48	31.33	37.271
NRCCC	1979.22	2335.81	2354.12	2436.52	18.09	19.03	23.191

Δ^* variação de vazão em relação ao período de referência (Atual)

De acordo com a Tabela 26 se observa que, as anomalias de vazões máximas apresentam pequenas variações em relação aos modelos hidrológicos, sendo que MGB/P1 e MGB/P2 apresentam resultados bastante similares entre si, como já apresentado no item 5.2.4. Quanto à técnica de remoção de viés empregada, as vazões máximas mostraram maior sensibilidade diferenças de variações, em torno de 10% para o Futuro 3. Já para os modelos regionais as diferenças entre o maior e menor valor obtido de anomalias foi de aproximadamente 18%.

Para as anomalias de vazões mínimas os modelos hidrológicos apresentaram maior variação do que para as séries de máximas, além do que houve um distanciamento entre os valores obtidos por MGB/P2 e MGB/P3, que representam períodos climáticos contrastantes. O MGB/P2 (parâmetros calibrados para o período de cheias) apresenta os menores valores de anomalia.

Para as vazões mínimas a técnica de remoção de viés empregada teve pouca influência no resultado final. As diferenças de variações entre as séries são da ordem de 1,3% (Fut3). Já para os modelos regionais as diferenças entre as anomalias obtidas cresceu, ainda mais em comparação às séries de máxima, aumentando a incerteza. O modelo LOW apresenta resultados de anomalia para o Futuro 3 em relação ao atual de aproximadamente 98% e o modelo MID de 18%.

Em relação às QMLP as incertezas aumentam em função dos resultados de modelos globais que além da magnitude das vazões diferem em relação ao sinal da mudança. O modelo GFCM, por exemplo, apresenta valores negativos de anomalias. A incerteza que os modelos globais conferem aos resultados finais é bem maior do que a dos modelos regionais. Os modelos LOW e MID, assim como nas séries de máximas e mínimas, são os mais divergentes entre os modelos regionais.

Os valores de anomalias da Tabela 26 foram dispostos em forma de gráfico e foram apresentados para cada uma das sub-bacias analisadas.

Nas Figuras 93 a Figura 99 são apresentados os gráficos das anomalias das vazões máximas ($T_r = 2$ anos), mínimas ($T_r = 2$ anos) e QMLP para cada uma das sub-bacias analisadas nos períodos de tempo Futuro 1, 2 e 3 (Fut1, Fut2 e Fut3).

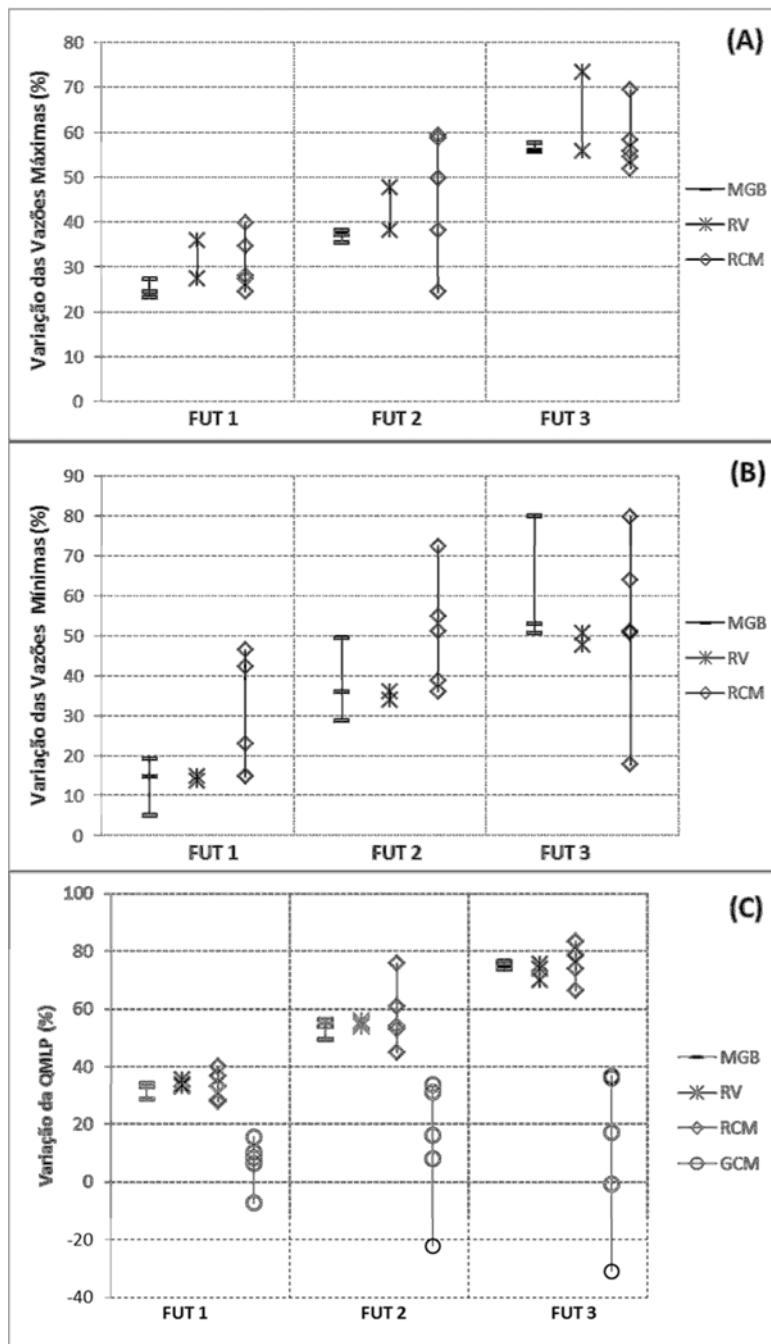


Figura 93– Comparação da variação de vazões ΔQ (%) na Sub-bacia Barra Grande: (A) vazões máximas $Tr = 2$ anos; (B) vazões mínimas $Tr = 2$ anos; (C) vazão média de longo período QMLP.

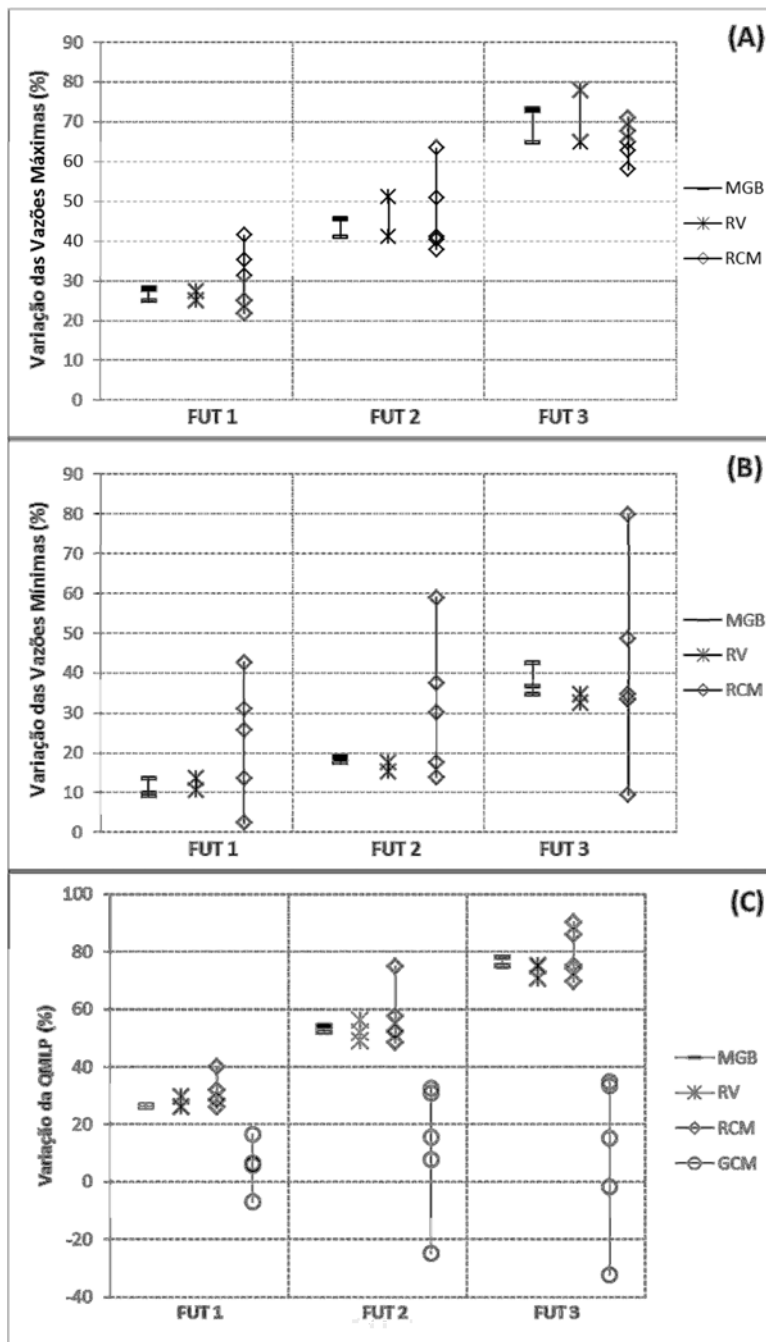


Figura 94– Comparação da variação de vazões ΔQ (%) na Sub-bacia Campos Novos: (A) vazões máximas $Tr = 2$ anos; (B) vazões mínimas $Tr = 2$ anos; (C) vazão média de longo período QMLP.

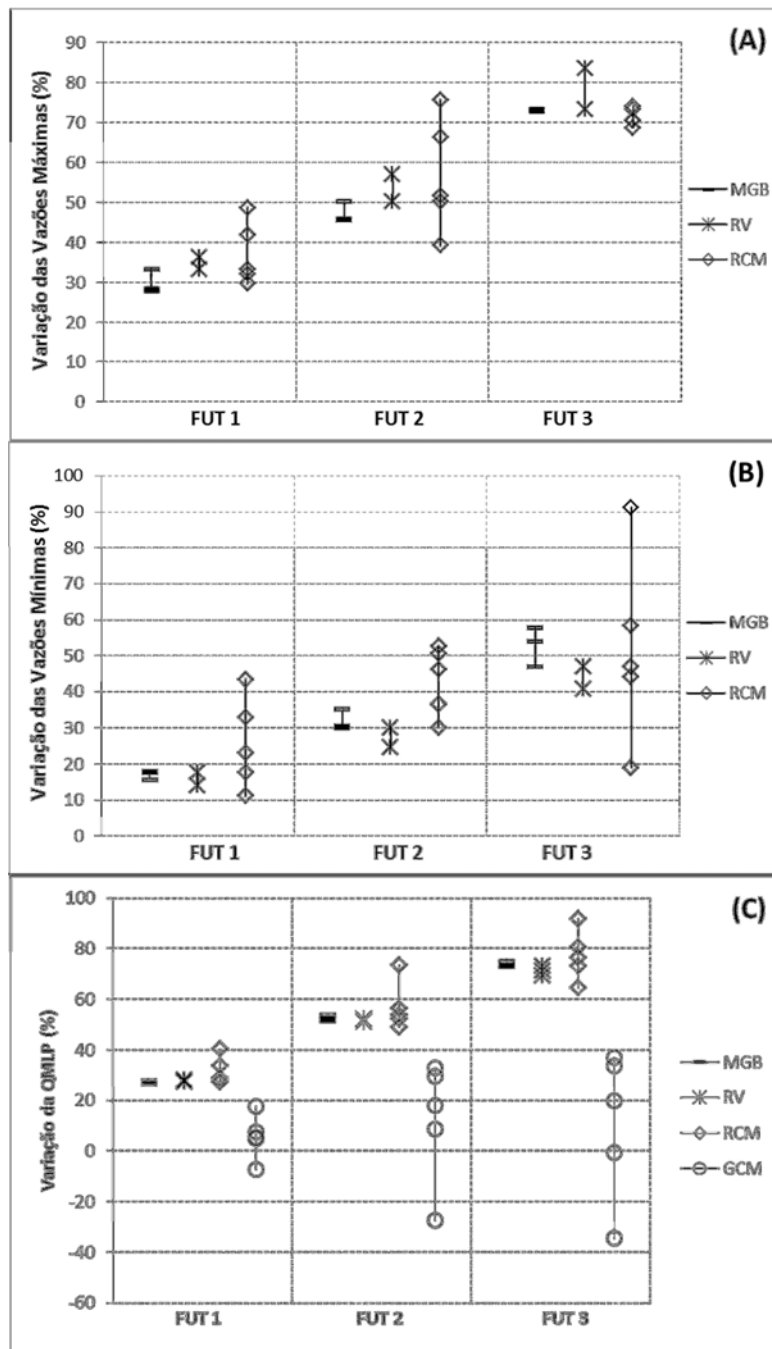


Figura 95 - Comparação da variação de vazões ΔQ (%) na Sub-bacia Itá: (A) vazões máximas $Tr=2$ anos; (B) vazões mínimas $Tr=2$ anos; (C) vazão média de longo período QMLP.

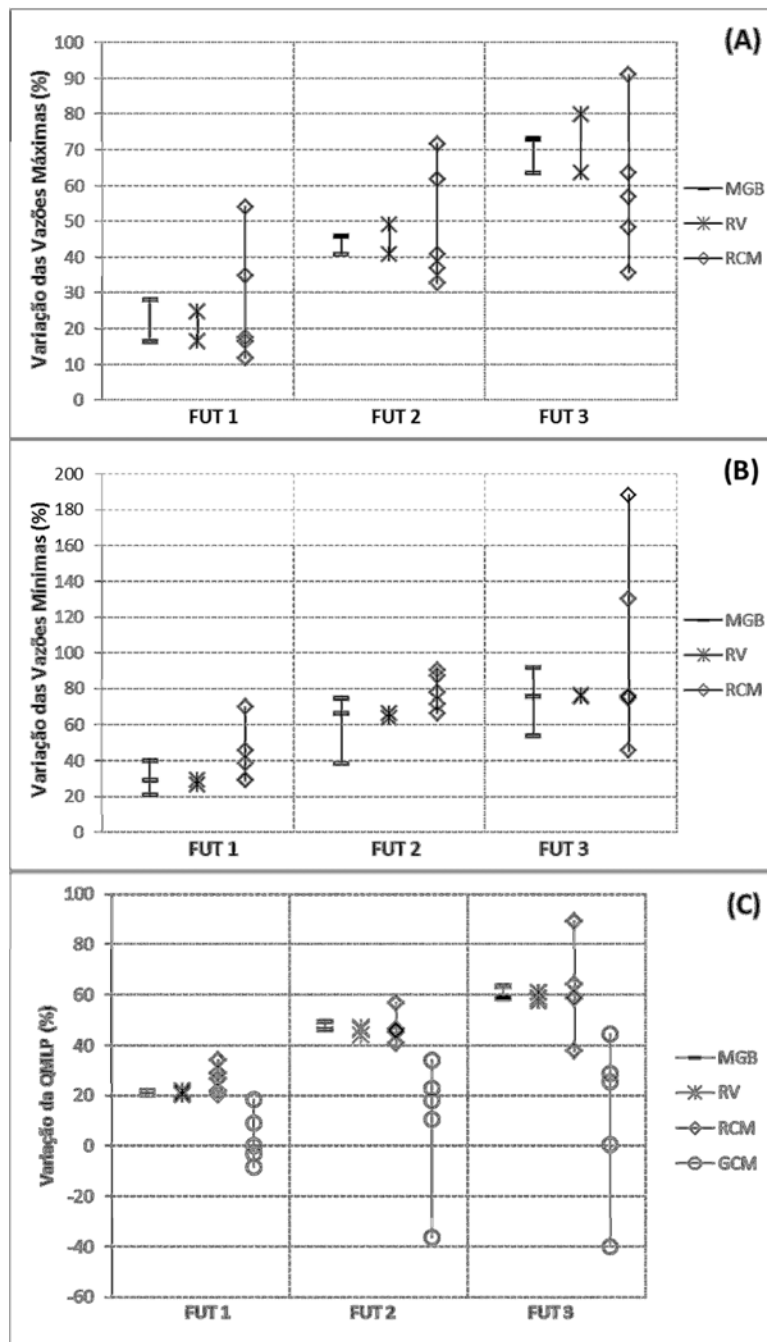


Figura 96– Comparação da variação de vazões ΔQ (%) na Sub-bacia Monjolinho: (A) vazões máximas $Tr = 2$ anos; (B) vazões mínimas $Tr = 2$ anos; (C) vazão média de longo período QMLP.

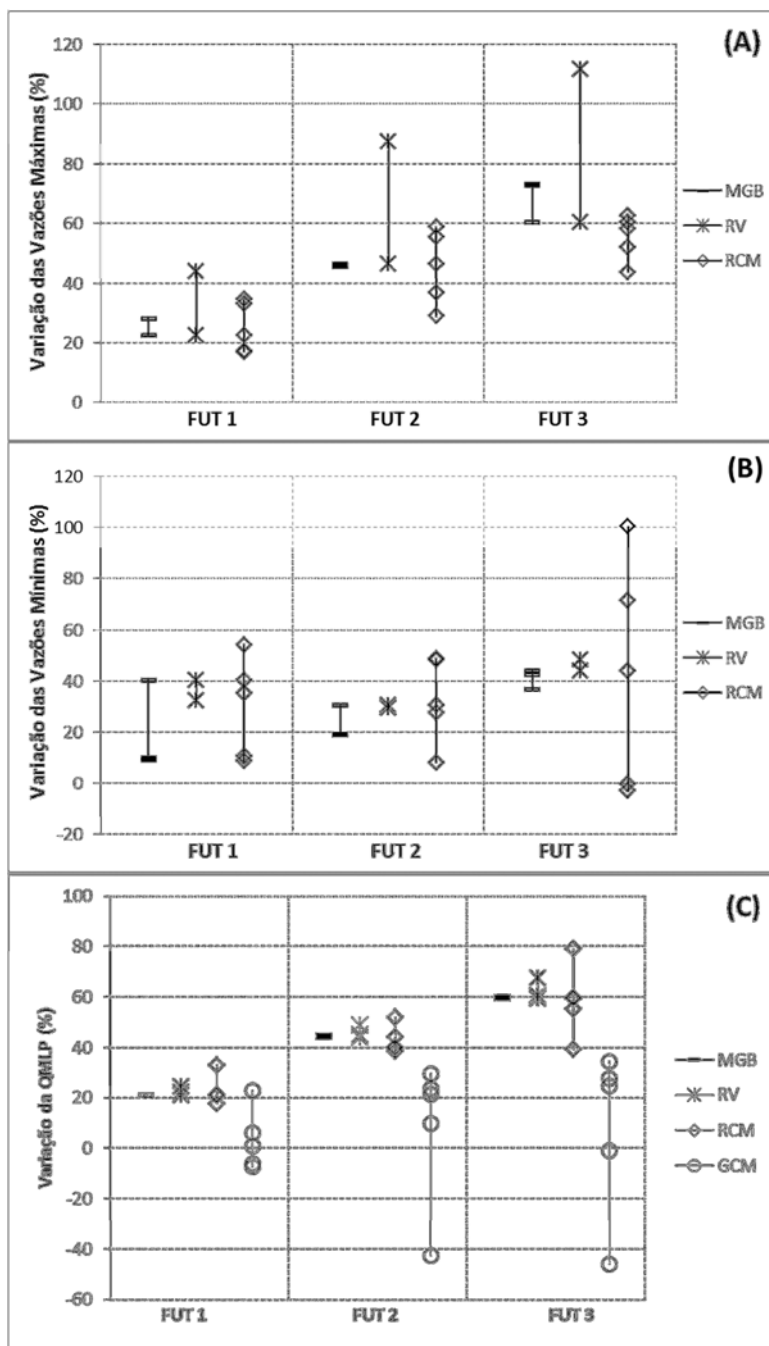


Figura 97– Comparação da variação de vazões ΔQ (%) na Sub-bacia Quebra Queixo: (A) vazões máximas $Tr = 2$ anos; (B) vazões mínimas $Tr = 2$ anos; (C) vazão média de longo período QMLP.

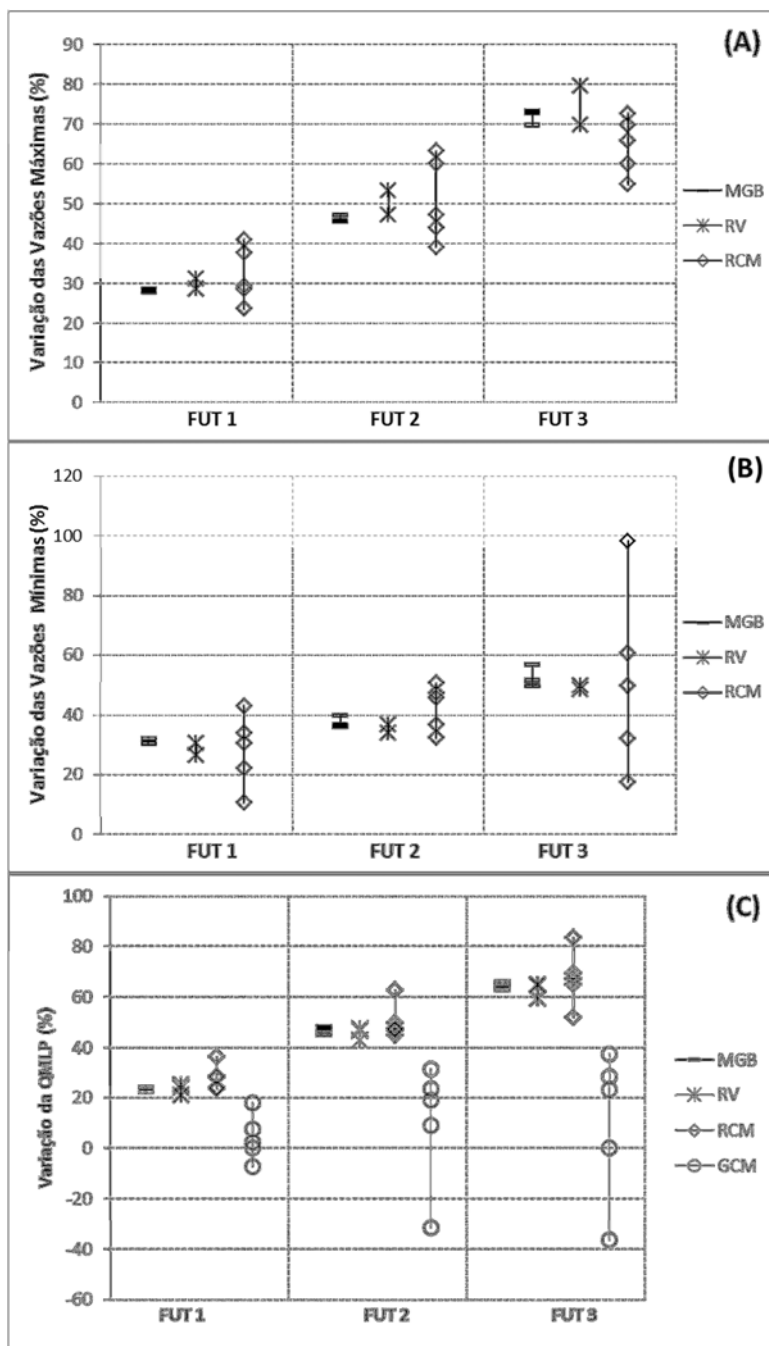


Figura 98– Comparação da variação de vazões ΔQ (%) na Sub-bacia Itapiranga: (A) vazões máximas $Tr = 2$ anos; (B) vazões mínimas $Tr = 2$ anos; (C) vazão média de longo período QMLP.

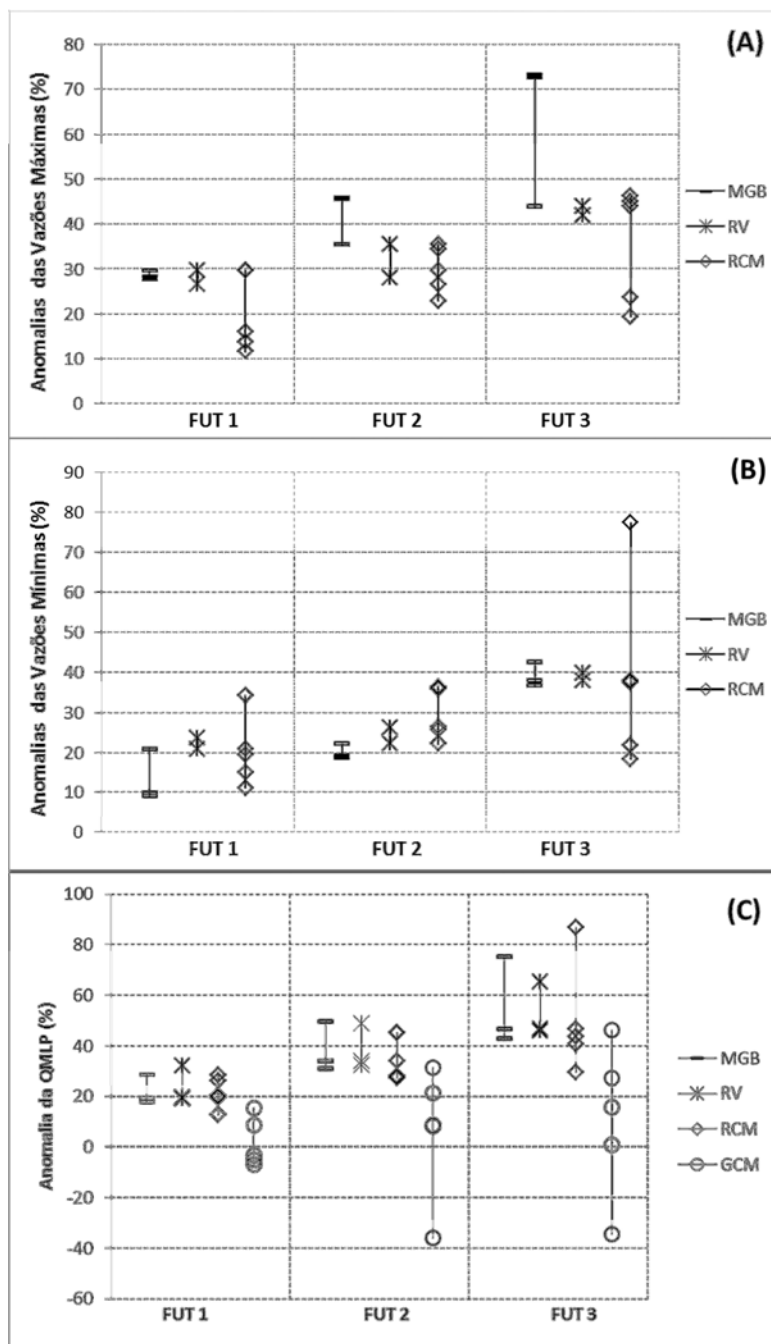


Figura 99 – Comparação da variação de vazões ΔQ (%) na Sub-bacia Passo São João: (A) vazões máximas $T_r = 2$ anos; (B) vazões mínimas $T_r = 2$ anos; (C) vazão média de longo período QMLP.

De acordo com a Figura 93, sub-bacia Barra Grande, a incerteza do modelo hidrológico é maior para as séries de vazões mínimas (com variações crescente do Fut1 ao Fut3), e pouco relevante nas séries de máximas e QMLP. A técnica de remoção de viés apresenta maiores variações para as vazões máximas. Para as séries de máximas e mínimas a maior variação dentre as fontes de incerteza analisadas é proveniente dos RCM's, principalmente em função dos valores obtidos por LOW e MID. Em relação às

vazões médias de longo período, onde são incluídas as simulações dos modelos globais, a incerteza aumenta ainda mais. Os modelos globais apresentam a maior variação entre as anomalias.

Comportamento similar ao apresentado na Sub-bacia Barra Grande é observado em Campos Novos (Figura 94), Itá (Figura 95) e Monjolinho (Figura 96).

Na sub-bacia Quebra Queixo (Figura 97), assim como nas demais já citadas, a relevância da técnica de remoção de viés aplicada é maior para as vazões máximas do que para as mínimas. No entanto, se observa que a amplitude entre as variações é maior do que as demais fontes, inclusive a dos modelos regionais, sendo ainda crescente com o horizonte de tempo. As anomalias do modelo hidrológico também foram maiores do que as obtidas nas demais sub-bacias, inclusive para as vazões máximas (Fut3). Quanto às QMLP os resultados se assemelham aos obtidos nas demais supracitadas.

A Figura 98, sub-bacia Itapiranga, representa graficamente o comentado sobre as Tabelas 25 e 26, ou seja, apesar das diferenças de magnitude entre as séries de máximas e mínimas obtidas, os modelos regionais concordam entre si quanto ao sinal da mudança, neste caso positiva. Já os modelos globais são divergentes entre si (quanto ao sinal da variação), aumentando a faixa de incerteza das séries de vazões médias. As diferenças encontradas entre as séries de CT40 e CT20 são pequenas, principalmente em relação às vazões médias. Neste caso o aumento de resolução do modelo não influenciou o resultado final.

A Figura 99 apresenta os resultados para a sub-bacia Passo São João. Esta tem os valores de anomalias mais atípicos em relação às demais sub-bacias. O modelo MGB apresentou grandes variações, crescentes ao longo do horizonte de tempo, para as vazões máximas. Neste caso é interessante notar que os valores obtidos por MGB/P2 e MGB/P3 são similares, porém se distanciam bastante de MGB/P1 (ver tabela – Anexo D). Isto sugere que a quantidade de anos utilizada para calibração do modelo pode exercer maior influência no resultado final do que a seleção de períodos contrastantes. A calibração do modelo MGB/P1 foi realizada a partir de 30 anos de série histórica, que contém o período de calibração utilizado em MGB/P1 e MGB/P2.

Para as vazões mínimas os resultados de MGB/P2 e MGB/P3 também são similares. As maiores variações encontradas são provenientes dos modelos regionais, com destaque para os Futuros 1 e 3.

Ao contrário dos demais pontos analisados na BHRU, a sub-bacia Passo São João apresenta para as QMLP, variações de anomalias entre os modelos hidrológicos e as técnicas de remoção de viés tão relevantes quanto a dos modelos regionais. No entanto, as variações obtidas pelos modelos globais são as maiores dentre as fontes de incerteza, e o modelo GFCM, assim como nos demais casos, é o que mais contribui para esta afirmação.

Os resultados apresentados neste item (5.5), em termos de anomalias de vazão, refletem as análises estatísticas apresentadas dos itens anteriores para as séries de máximas e mínimas anuais, e médias mensais.

Os modelos hidrológicos demonstram maior relevância para as séries de vazões mínimas, salvo algumas exceções como a sub-bacia Passo São João.

O modelo MGB/IPH foi incluído neste trabalho, como fonte de incerteza, em função da avaliação de sua habilidade em simular e representar adequadamente o comportamento hidrológico da BHRU tanto em períodos de cheias como de estiagens. Esta abordagem foi feita pela comparação de MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3, modelos com a mesma estrutura (MGB/IPH), porém com diferentes conjuntos de parâmetros.

Prudhomme e Daviés (2009), afirmam que longos registros que incluem condições climáticas semelhantes ao que se poderia esperar no futuro são escassos. Isto torna mais difícil a identificação de um conjunto de parâmetros específicos para tais condições futuras e a aplicação. A calibração do modelo MGB/P1 foi realizada a partir de 30 anos de série histórica, que contém o período de calibração utilizado em MGB/P1 e MGB/P2, de cinco anos cada.

Alguns estudos sobre incertezas de modelos climáticos mostram que a estrutura do modelo utilizado é bem mais significativa do que as incertezas de parâmetros e períodos de calibração/verificação selecionados (Wilby e Harris, 2006; Chen et al, 2011a).

Para a sub-bacia Passo São João os valores das anomalias obtidas por MGB/P2 são aproximadas às de MGB/P1 e distantes de MGB/P3. Durante a calibração dos modelos, esta sub-bacia apresentou para o período de calibração de MGB/P2 valores de ENS e ENSlog em torno de 0,6 (Tabela 15). Estes valores são maiores do que os encontrados para calibração de MGB/P3 (Tabela 17). Para MGB/P1 os hidrogramas simulados subestimavam as vazões observadas. Ao calibrar o modelo MGB/P2 para um período de cheias, maior ênfase foi dada aos picos de vazão ao contrário de MGB/P3, isso refletiu na similaridade entre as séries de MGB/P1 e MGB/P2. No entanto não se descarta a hipótese de que a variabilidade natural da sub-bacia em questão tenha influência ao resultado final.

Quanto à fonte de incerteza remoção de viés, se observou que, no geral, as variações entre RV1 e RV2 são mais relevantes para as vazões máximas. Observa-se que ocorrem diferenças de magnitude entre as séries geradas pelo método de RV1 (Quantil-Quantil) e RV2 (Escalonamento Linear). O método RV1 apresenta os maiores valores de vazão. Isto acontece por que este método valoriza mais as correções quando os valores de chuva são mais extremos e a diferença entre os valores observados e simulados é maior, com base na distância entre as curvas de probabilidades acumuladas. Já o método RV2 do escalonamento linear tende a valorizar eventos mais extremos da mesma forma que eventos mais comuns, já que ele multiplica toda a série por um mesmo valor de coeficiente mensal de correção.

A partir da aplicação do teste de hipóteses KS, é possível concluir que a escolha da técnica de remoção de viés tem maior influência sobre as séries de vazões máximas em determinados horizontes de tempo analisado. No entanto, o teste também mostrou que o risco em aceitar ou não a hipótese nula é pequeno.

Para as anomalias de vazões mínimas as diferenças encontradas entre RV1 e RV2 são, de acordo com o teste de hipóteses aplicado, não significativas estatisticamente, inclusive para sub-bacia Passo São João que apresentou as maiores diferenças de hidrogramas.

Em relação à QMLP, as diferenças encontradas entre as séries mostraram-se também pouco relevantes, com exceção da sub-bacia Passo São João. Aqui além de RV1 e RV2 foi também acrescentado o conjunto denominado RV3. Este último refere-se à técnica de delta change, que não permite aplicação às séries de vazões máximas e

mínimas, pois o delta change usa a série do período atual projetada para o futuro, e assim as cheias e secas são na verdade uma repetição modificadas das cheias e secas do período atual.

Os resultados obtidos neste trabalho, para técnicas de RV, são de grande valia para futuras pesquisas sobre modelagem hidrológica de impactos de mudanças climáticas. Cabe ressaltar que são poucos os estudos que avaliaram os resultados da aplicação de técnicas de remoção de viés em termos de vazão simulada (e.g. Teutschbein e Seibert, 2012 e Chen et al., 2013). A maioria investigou o impacto da correção do viés nas variáveis precipitação e temperatura. Os resultados aqui apresentados também são um indicativo de que esta fonte de incerteza deve ser analisada de maneira mais criteriosa, sendo suas incertezas quantificadas.

De maneira geral, este item evidenciou que as maiores incertezas são oriundas dos modelos climáticos regionais e globais. Esta conclusão é condizente com outros trabalhos já realizados sobre incertezas na modelagem hidrológica de mudanças climáticas (e.g., Kay et al., 2009; Zhang et al., 2011; Chen et al., 2011; Wilby e Harris, 2006; Arnell, 2003; Schulze et al., 2005; Döll and Zhang, 2010; Fung et al., 2011; Gosling et al, 2011; Knutti et al., 2010; Döll and Müller Schmied, 2012).

Considerando os resultados obtidos para as vazões médias (QMLP), as fontes podem ser ordenadas de forma decrescente, em relação ao grau de incerteza que propagam: modelos climáticos globais > modelos climáticos regionais > técnicas de remoção de viés > modelo hidrológico.

Para as vazões extremas os RCM's apresentam as maiores variações de anomalias se comparadas às dos modelos hidrológicos e técnicas de remoção de viés, inclusive para ambos os extremos, máximos e mínimos. Esta variação se dá principalmente, pelos resultados de LOW e MID.

Apesar da diferença de magnitude entre as séries de máximas e mínimas obtidas pelos RCM's, estas são similares quanto ao sinal da variação, todas positivas. Logo, é possível afirmar, de acordo com as projeções dos modelos regionais que a vazão na BHRU tende a aumentar no futuro.

Para as QMLP, as maiores incertezas observadas provem dos resultados dos modelos globais, principalmente do GFCM que apresenta anomalias negativas de vazões. Como já mencionado, as projeções dos GCM's foram utilizadas apenas para

vazões médias, no entanto é esperado que as incertezas obtidas para QMLP fossem amplificadas para vazões extremas, uma vez que eventos extremos são a maior fonte de incerteza na modelagem climática (e.g. Adam et al., 2015; Wang et al., 2013; Das et al., 2011). Segundo Knutti e Sedláček (2012), tal incerteza se deve, principalmente, pelo processo de parametrização de nuvens e condições de contorno aplicadas aos modelos climáticos. E ainda neste caso, a resolução dos modelos globais não é suficiente para representar adequadamente os processos hidrológicos regionais.

Quanto à divergência no sinal da mudança obtida pelos GCM's é importante ressaltar que o modelo GFCM, que apresentou valores negativos é o único dentre os modelos globais com grades do tipo volumes finitos, os demais modelos com grade espectral. A diferença de estrutura entre o GFCM e os demais pode explicar a divergência entre os resultados obtidos. Neste sentido é sugerido, para futuros estudos na BHRU, a aplicação de uma quantidade maior de modelos climáticos.

Adam e Clischonn (2011) avaliaram os impactos de mudanças climáticas nos regimes de vazões médias no rio Ibicuí (sub-bacia do Rio Uruguai e vizinha ao local de estudo deste trabalho) utilizando 20 modelos globais do CMIP3. Os autores concluíram que existe grande incerteza entre a magnitude e o sinal das vazões simuladas pelos diferentes modelos. Da totalidade dos modelos, sete apresentaram sinais negativos para a variável precipitação. Os autores realizaram ainda uma seleção de modelos. Dentre os 20 modelos iniciais foram escolhidos, com base na habilidade em simular as séries de precipitação atual (observada), sete modelos. O resultado mostrou que a faixa de incerteza obtida pelos sete modelos foi reduzida, porém um dentre os sete apresentou sinal negativo de variação. Em estudos de modelagem de mudanças climáticas o ideal é considerar a maior quantidade possível de modelos climáticos.

A comparação entre as fontes de incerteza feita neste trabalho foi baseada na avaliação de estatísticas de séries anuais e médias mensais, assim como em gráficos de variações de anomalias. Outra forma seria a aplicação de um teste de hipóteses como o de análises de variações da planilha ANOVA. Este teste permite avaliar, através de comparações múltiplas das variações, qual dentre as fontes analisadas possui maior faixa de incerteza (MONTEGOMERY e RUNGER, 2003).

Os resultados deste item são importantes para auxiliar o tomador de decisão quanto às incertezas de estudos de mudanças climáticas, além de auxiliar na elaboração de metodologias empregadas em futuros projetos na BHRU.

5.6. Etapa (2) Análise de Incertezas

Como visto no item 5.5, os modelos hidrológicos, técnicas de remoção de viés e modelos climáticos podem fornecer várias possibilidades para mudanças nos regimes de vazões causadas por alterações climáticas na BHRU.

Neste item, 5.6, são consideradas todas essas possibilidades de maneira combinada. Ou seja, ao contrário da Etapa (1) onde determinada fonte de incerteza variava enquanto as demais fontes permaneciam fixas, a Etapa (2) considera todas as possibilidades de maneira simultânea. No total foram realizadas 90 simulações, combinado todas as fontes de incerteza para os três horizontes de tempo, para os valores extremos (vazões máximas e mínimas anuais) e 270 simulações para as vazões médias de longo período (QMLP).

Nas Figuras 100 a 107 são apresentadas as curvas de probabilidade acumulada (CDF) cuja função de distribuição representa a soma das probabilidades que a variável tem de ser qualquer um dos valores menores do que o indicado. As CDF's foram construídas para os valores de anomalias de vazões máximas, mínimas e QMLP.

O gráfico superior à esquerda, apresenta as curvas de probalibidades acumuladas para as anomalias de vazões mínimas enquanto que o gráfico da direita mostra as anomalias de vazões máximas. O gráfido inferior à esquerda apresenta as anomalias de QMLP e a tabela ao lado as estatísticas de percentis 5%, 50% e 95%; e a incerteza de cada futuro (neste caso a amplitude entre os percentis 5% e 95%).

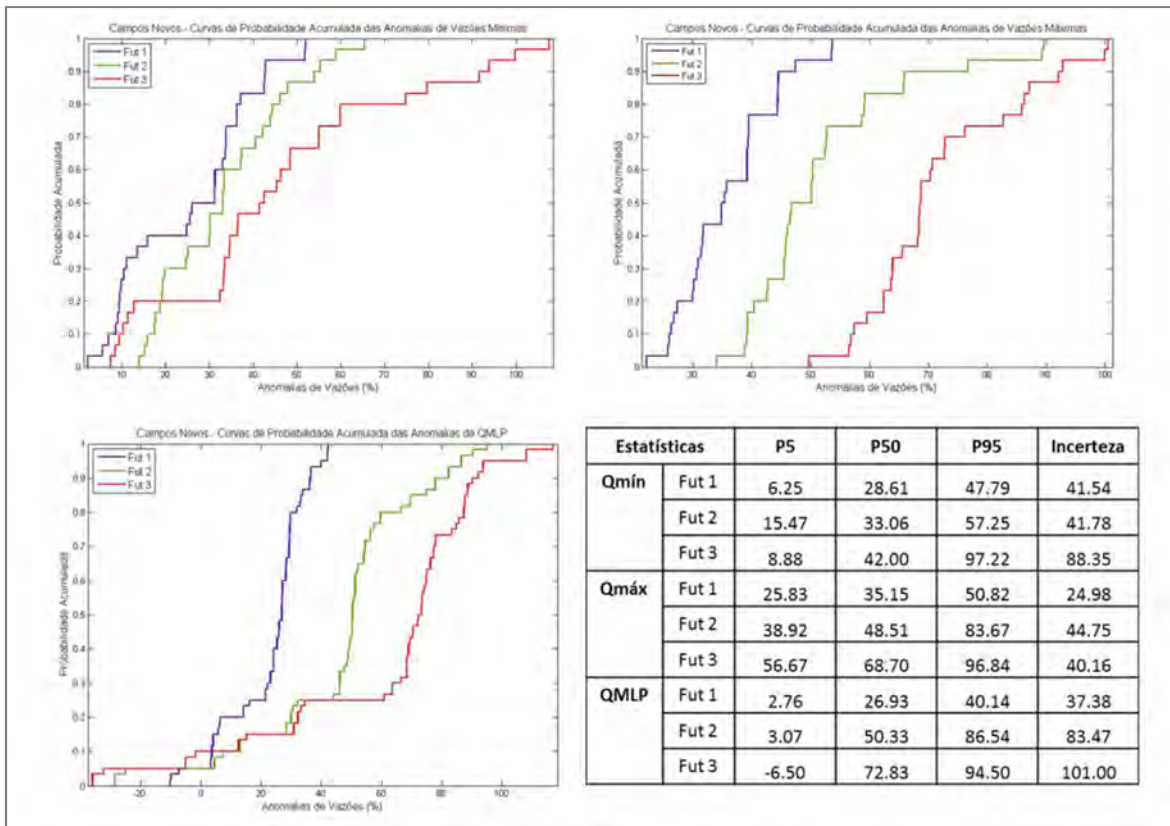


Figura 100 – Curvas de probabilidade acumulada para as anomalias de vazões máximas (Qmáx), mínimas (Qmín) e médias de longo período (QMLP) para os Futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Campos Novos. P5, P50, P95: percentis 5%, 50% e 95%. Incerteza: amplitude entre P5 e P95.

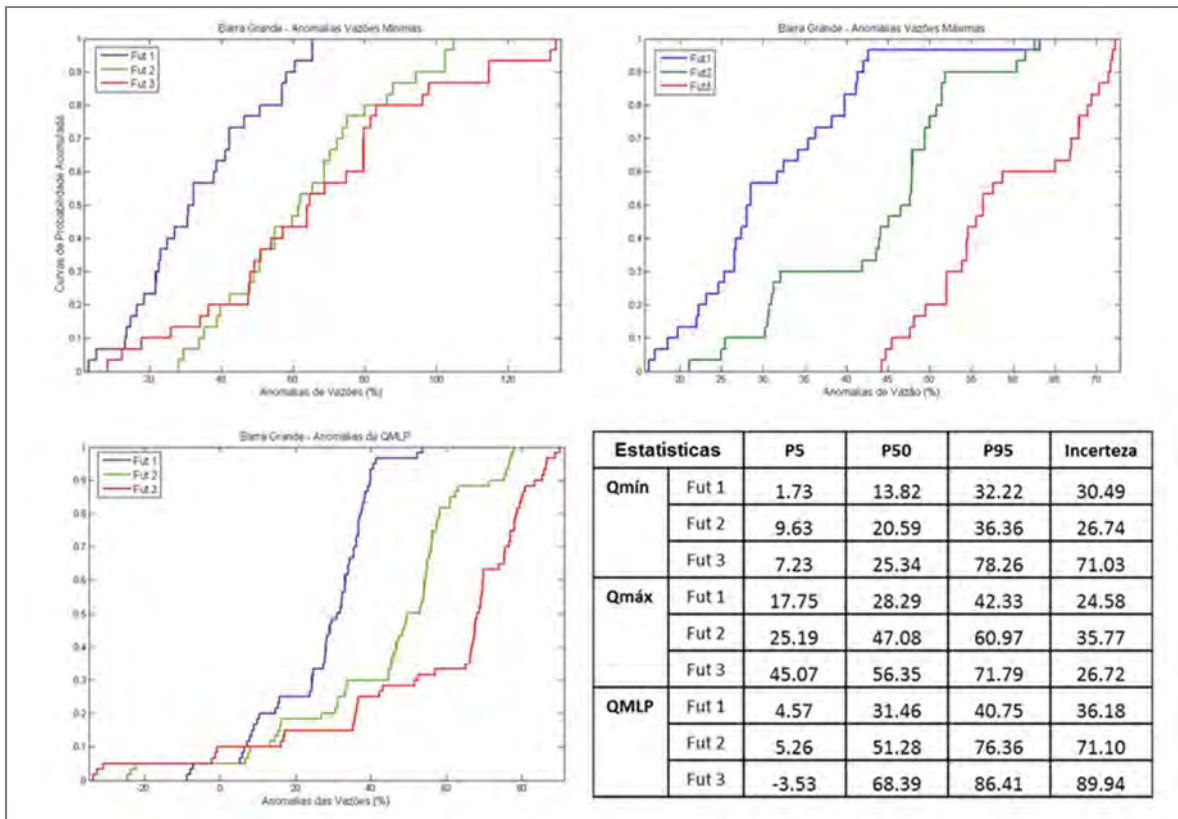


Figura 101– Curvas de probabilidade acumulada para as anomalias de vazões máximas (Qmáx), mínimas (Qmín) e médias de longo período (QMLP) para os Futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Barra Grande. P5, P50, P95: percentis 5%, 50% e 95%. Incerteza: amplitude entre P5 e P95.

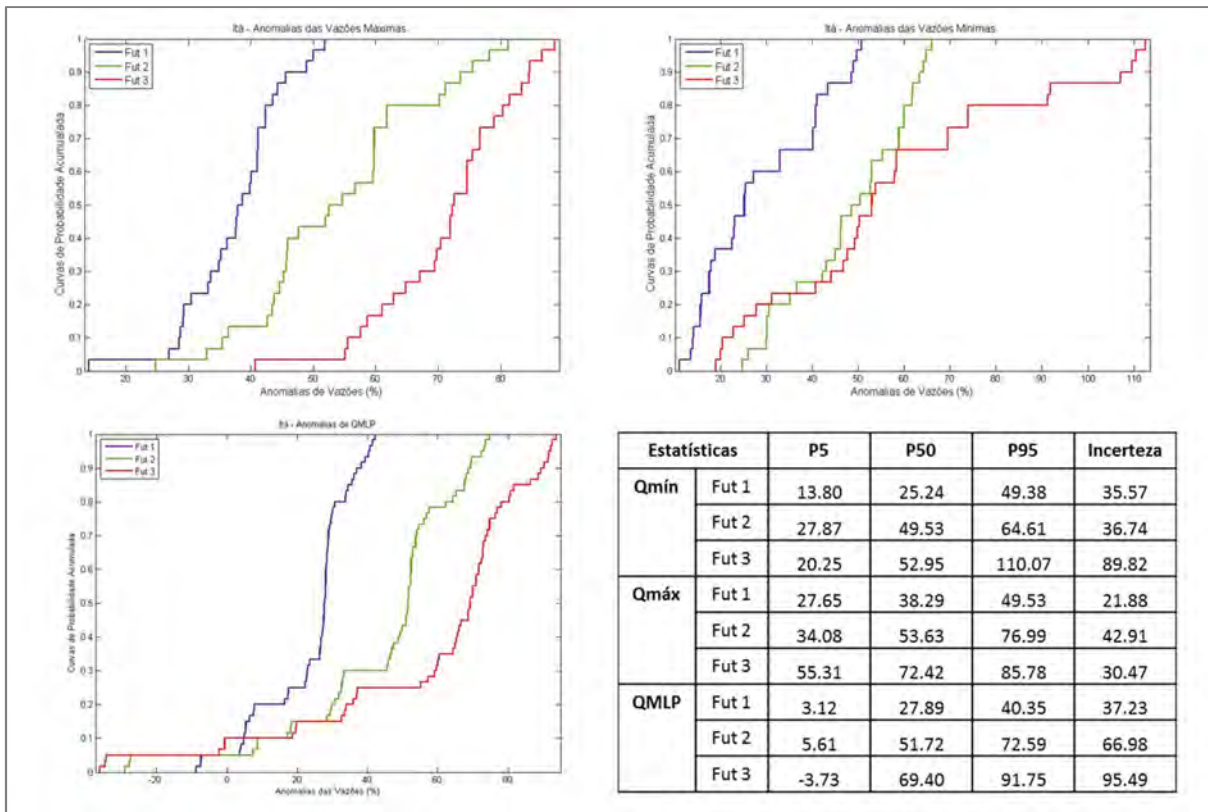


Figura 102– Curvas de probabilidade acumulada para as anomalias de vazões máximas (Qmáx), mínimas (Qmín) e médias de longo período (QMLP) para os Futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Itá. P5, P50, P95: percentis 5%, 50% e 95%. Incerteza: amplitude entre P5 e P95.

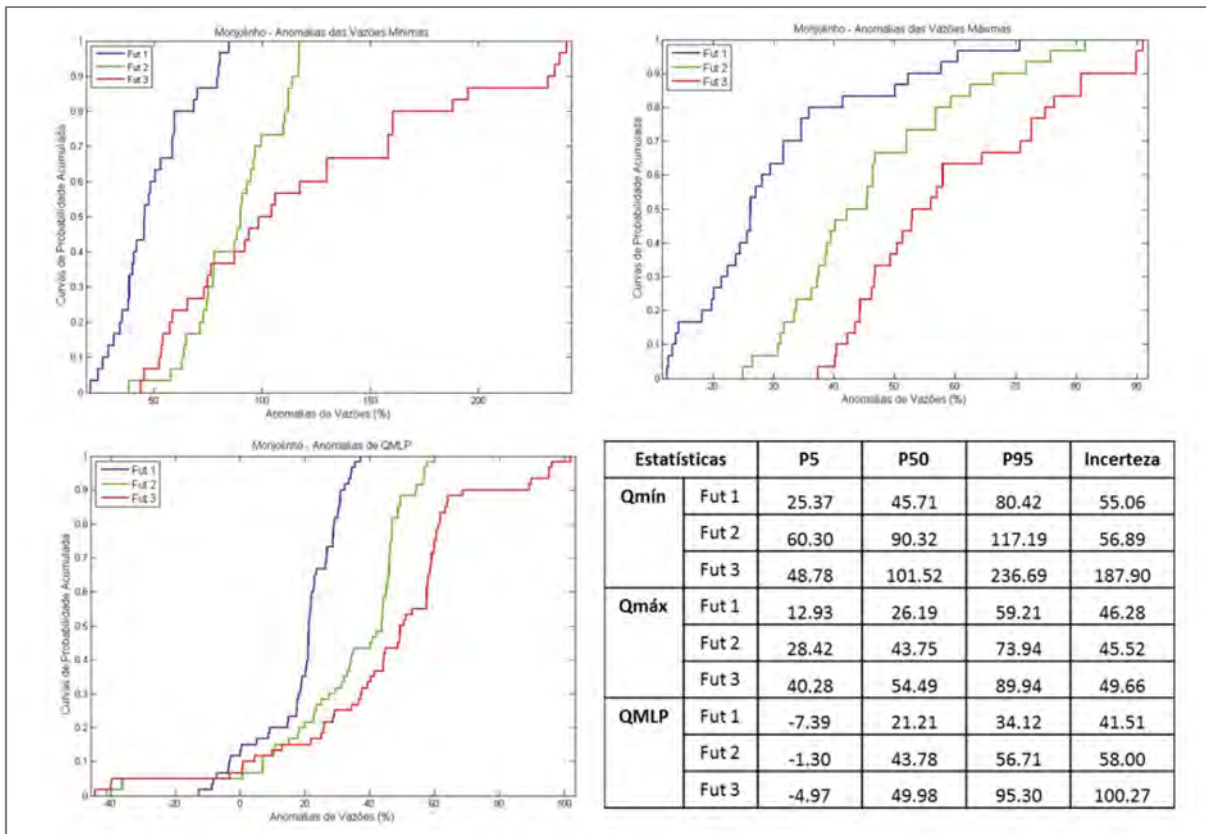


Figura 103– Curvas de probabilidade acumulada para as anomalias de vazões máximas (Qmáx), mínimas (Qmín) e médias de longo período (QMLP) para os Futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Monjolinho. P5, P50, P95: percentis 5%, 50% e 95%. Incerteza: amplitude entre P5 e P95.

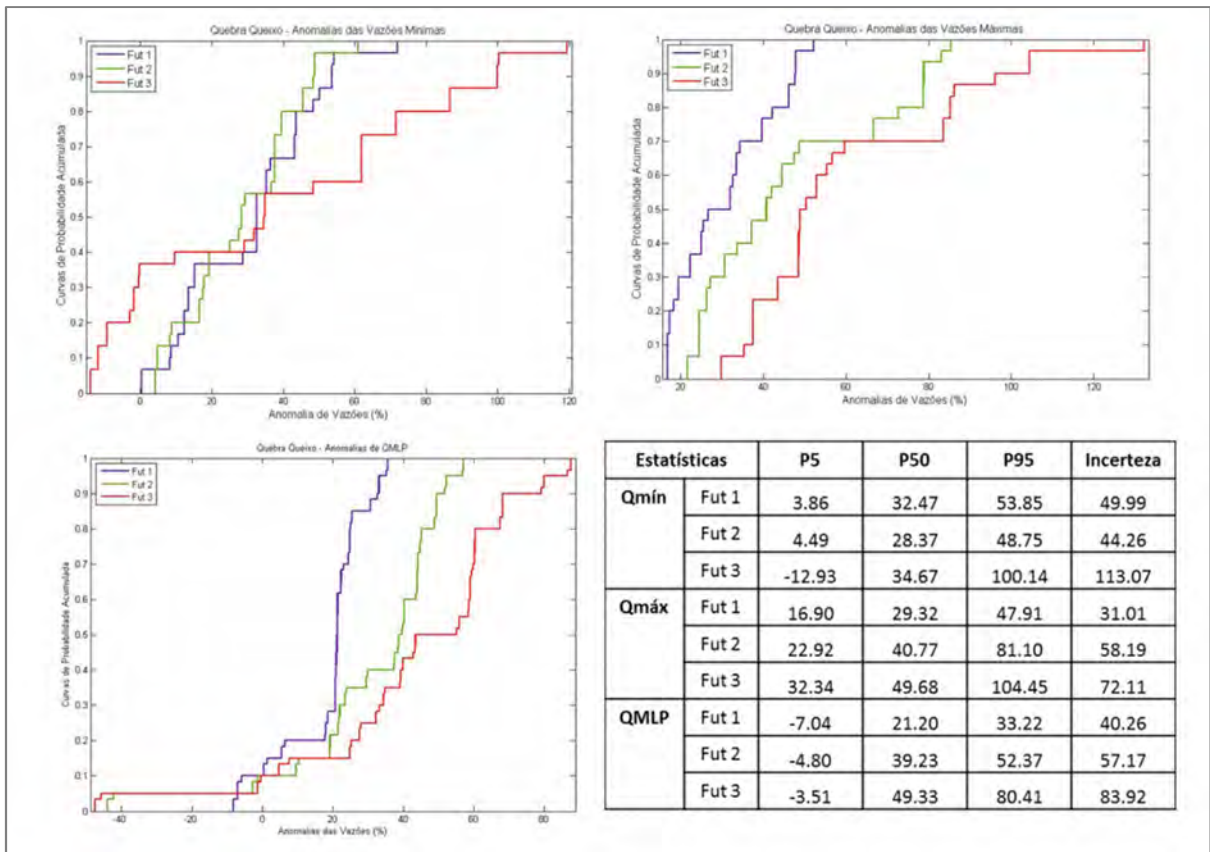


Figura 104– Curvas de probabilidade acumulada para as anomalias de vazões mínimas (Qmín), máximas (Qmáx) e médias de longo período (QMLP) para os Futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Quebra Queixo. P5, P50, P95: percentis 5%, 50% e 95%. Incerteza: amplitude entre P5 e P95.

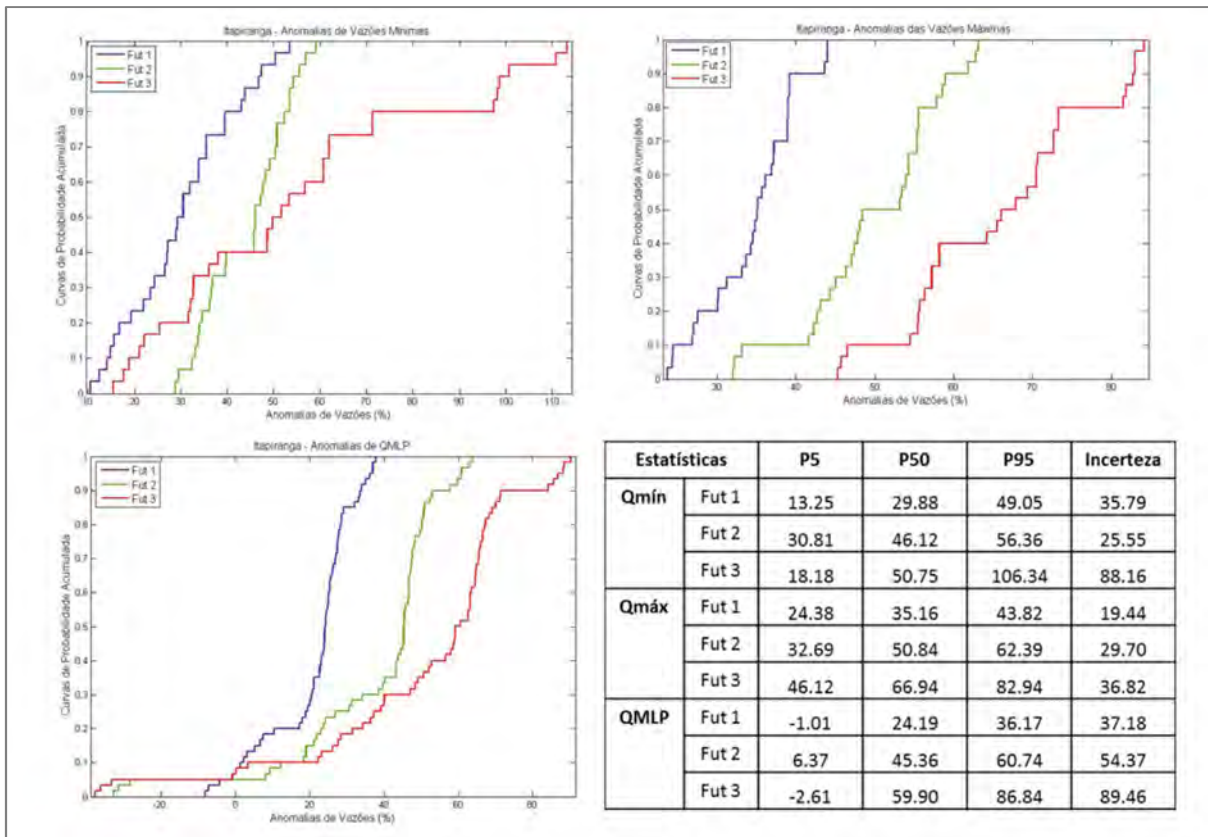


Figura 105 – Curvas de probabilidade acumulada para as anomalias de vazões máximas (Qmáx), mínimas (Qmín) e médias de longo período (QMLP) para os Futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Itaipiranga. P5, P50, P95: percentis 5%, 50% e 95%. Incerteza: amplitude entre P5 e P95.

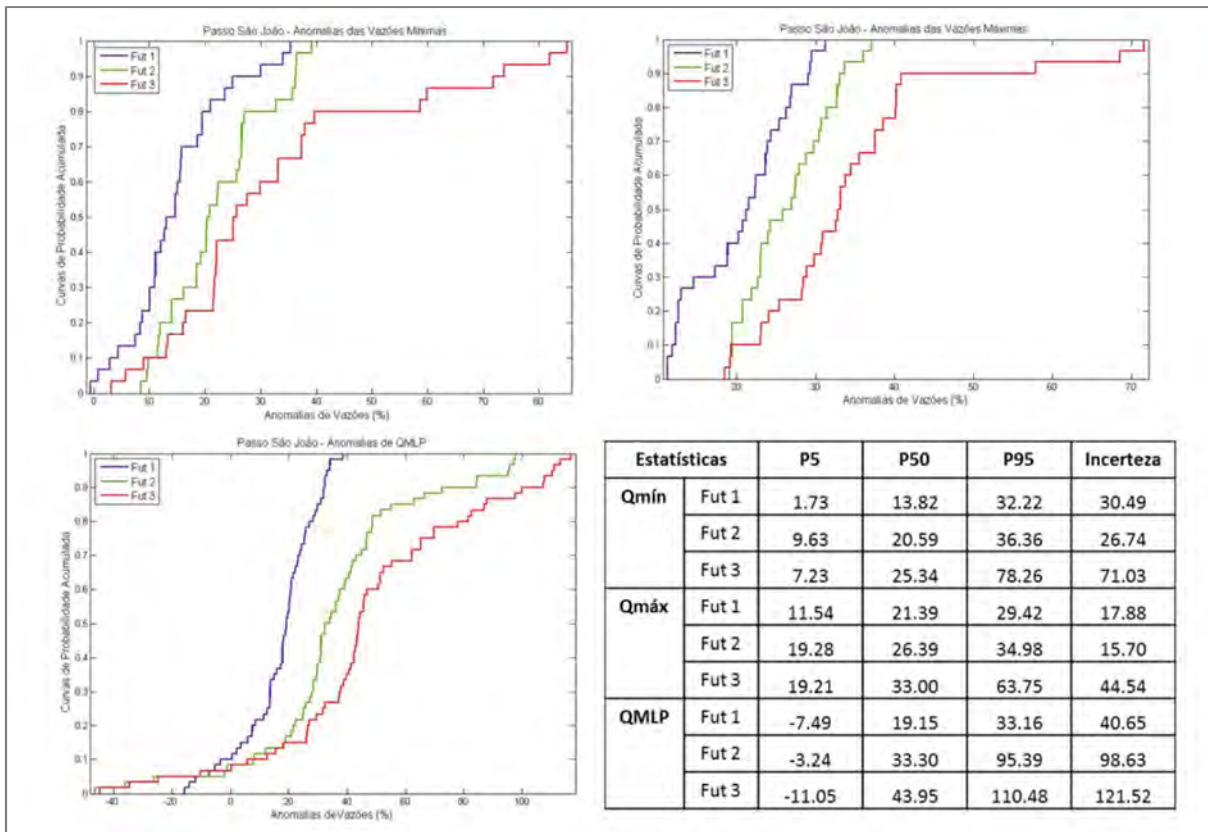


Figura 106– Curvas de probabilidade acumulada para as anomalias de vazões máximas (Qmáx), mínimas (Qmín) e médias de longo período (QMLP) para os Futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Passo São João. P5, P50, P95: percentis 5%, 50% e 95%. Incerteza: amplitude entre P5 e P95.

O objetivo deste item foi quantificar a incerteza combinada das fontes (técnicas de remoção de viés, modelo hidrológicos e climáticos) na sua totalidade. Para tanto as séries de anomalias de vazões obtidas para cada futuro foram organizadas em CDF's e as incertezas apresentadas como a amplitude obtida entre os percentis 5% e 95%.

Para as sub-bacias Campos Novos, Itapiranga e Passo São João as maiores amplitudes são observadas no Fut3.

Para as sub-bacias Barra Grande e Itá as maiores amplitudes, de vazões mínimas e QMLP, ocorrem no Fut 3, no entanto, considerando as vazões máximas o Fut 2 apresenta maior incerteza.

As sub-bacias Monjolinho e Quebra Queixo apresentam alta incerteza para as anomalias de vazões mínimas no Fut 3.

Este resultado reflete a faixa de incerteza proporcionada pelo modelos LOW e MID. Como também era de se esperar, em função das conclusões preliminares desta

tese, a amplitude obtida para as anomalsi de QMLP são maiores do que as de máximas e mínimas. Nas CDF's geradas se observa que o número de pontos de tais curvas com valores negativos de anomalia é menor em comparação aos pontos positivos. Isso ocorre porque os pontos negativos representam apenas as combinações com o modelo global GFCM, que, como discutido no item anterior, não deve ser interpretado como menos significativa em relação às demais.

Além da possibilidade de análise da faixa de incerteza para cada horizonte de tempo, a construção das CDF's também permite a análise em termos de associação a um valor crítico de anomalia de vazão.

Para a sub-bacia Itapiranga, por exemplo, uma anomalia de +30% na vazão máxima tem, segundo o gráfico gerado, uma probabilidade de ocorrência de 50% no Fut1, 8% no Fut2 e 20% no Fut3. Para este mesmo valor, em termos de anomalias de vazões mínimas, a probabilidade de ocorrência é de 50% para o Fut 1, 35% no Fut 2 e 8% no Fut 3. Um aumento de 30% nas vazões máximas pode causar grandes prejuízos às cidades que margeiam o rio Uruguai devido a enchentes. É importante ressaltar que neste trabalho se considera o essemble dos modelos equiprovável.

Estes resultados podem variar de acordo com a sub-bacia analisada evidenciando que a variabilidade natural de cada região hidrográfica tem influência no resultado final da modelagem hidrológica.

Estas informações podem ajudar os gestores e tomadores de decisão no adequado gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos sob condições de mudanças climáticas, assim como o entendimento da incerteza associada.

No entanto, cabe ressaltar que as fontes analisadas neste trabalho não cobrem toda a incerteza que atua sobre o fenômeno, uma vez que muitas suposições são admitidas nas simulações, além do que os dados são referentes à projeções futuras, cuja precisão não pode ser testada devido à inexistência de dados observados.

Outras fontes de incerteza podem ser acrescentadas a metodologia proposta, como diferentes cenários de emissão de gases do efeito estufa e aplicação de técnicas de downscaling. A própria metodologia de análise pode ser considerada como uma

fonte adicional de incerteza. Honti et al., (2014) avaliaram a importância dos métodos de avaliação de incerteza em estudos de modelagem hidrológica do impacto das alterações climáticas nas bacia hidrográficas de Mönchaltofer e Gürbe na Suíça. Os resultados mostraram que a fonte, estrutura e composição da incerteza obtida foram fortemente influenciadas pelo método de avaliação de incerteza aplicado.

Outra possibilidade a ser considerada é a avaliação da nova geração de modelos climáticos do CMIP5 (AR5). Em relação aos modelos do CMIP3, um maior número de modelos climáticos é apresentado no AR5, além do que houve mudanças de cenários de emissão dos GEE. Segundo o IPCC (2014) esta nova geração de modelos apresenta maior correlação entre os resultados das projeções de temperatura e precipitação. Isto pode demonstrar um avanço na qualidade das simulações dos modelos climáticos e que a incerteza tende a ser reduzida pela concordância entre as projeções dos diferentes modelos. No entanto, a concordância entre os resultados de diferentes modelos climáticos só evidencia a redução de incertezas se estes modelos forem independentes entre si, com estruturas diferentes, como, por exemplo, o tipo de grade utilizada.

Os modelos do AR5 apresentam resoluções maiores que as dos modelos do AR4, adequando ainda mais as projeções de clima às condições da região hidrográfica em estudo.

Outras melhorias dos modelos do AR5 incluem uma física do oceano melhorada e um acoplamento fisicamente consistente entre a atmosfera e o oceano (IPCC, 2014). Tais melhorias tornam desnecessárias as correções de fluxo que ocorriam para a maioria dos modelos do AR4. Segundo (Nebojsa et al., 2007), o de processo "ad hoc" ou "correção de fluxo" é utilizado pelos modelos para conseguir um clima estável. Isso é necessário pelo fraco acoplamento existente entre o modelo oceânico e o modelo atmosférico, que faz com que eles evoluíssem separadamente, gerando fluxos diferentes e, por vezes, incompatíveis. Neste sentido é importante mencionar que os modelos globais HADG, aplicados neste trabalho já não utilizavam o processo de correção de fluxo.

A aplicação da nova geração de modelos pode, todavia reduzir a amplitude das incertezas obtidas, e por isso deve ser testada em futuras pesquisas sobre o tema de mudanças climáticas na BHRU.

6. CONCLUSÕES

Esta tese apresenta como conclusões:

- O resultado da comparação entre os três modelos hidrológicos, MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3, mostraram que as séries de vazões mínimas anuais apresentam maior sensibilidade ao conjunto de parâmetros utilizado em cada um dos modelos hidrológicos. Para as séries de vazões médias anuais os resultados obtidos pelos três modelos hidrológicos são bastante similares. Apenas na sub-bacia Passo São João houve relevância entre a aplicação de um ou outro modelo para as vazões médias.
- Duas principais evidências podem ser ditas sobre as séries de vazões obtidas por MGB/P1, MGB/P2 e MGB/P3: (i) dentre os valores das medidas de desempenho obtidos para a calibração e verificação de MGB/P1 na BHRU, os mais baixos foram encontrados para as sub-bacias de cabeceiras, com poucos dados de chuva (principal dado de entrada do modelo). Este fato (baixos índices de desempenho) foi amplificado para a calibração de MGB/P2 e MGB/P3, com série observada de apenas cinco anos; (ii) na maioria dos casos os valores de anomalias de vazões encontradas são bastante similares entre MGB/P2 e MGB/P3, e se distanciam dos valores resultantes de MGB/P1. Dessa forma (i) e (ii), implicam que a qualidade dos dados de entrada do modelo e o tamanho (em anos) da série histórica utilizada para a calibração do modelo, podem ser mais importantes na modelagem hidrológica do que a mudança das características climáticas na BHRU. É possível também que a representatividade dos períodos de secas e cheias não tenham sido suficientes para gerar grandes diferenças entre as séries finais de vazão.
- Os resultados da aplicação das técnicas de remoção de viés RV, indicaram que as séries de vazões máximas anuais mostraram maior sensibilidade à técnica de RV utilizada. Em algumas das sub-bacias analisadas estas diferenças, em termos de magnitude, são estatisticamente significativas de acordo com o teste de hipóteses aplicado.

- Considerando os resultados obtidos para as séries de vazões médias mensais e mínimas anuais, a influência do método de remoção de viés foi pouco relevante dentro da metodologia proposta. Esta constatação pode servir como referência para próximos trabalhos sobre mudanças climáticas, com objetivo de avaliar séries de mínimas e médias mensais, no sentido de dar ênfase a outras fontes de incerteza mais significativas, como o conjunto de modelos climáticos utilizados, cenários de emissão de gases do efeito estufa, além do modelo hidrológico.
- Os resultados obtidos neste trabalho, para técnicas de remoção de viés, são de grande valia para futuras pesquisas sobre modelagem hidrológica de impactos de mudanças climáticas, uma vez que, ainda são poucos os estudos que avaliaram os resultados da aplicação de técnicas de remoção de viés em termos de vazão simulada (e.g. Teutschbein e Seibert, 2012 e Chen et al., 2013). A maioria dos estudos tem investigado o impacto da correção do viés apenas nas variáveis precipitação e temperatura.
- Todos os modelos regionais apresentaram resultados positivos de vazão simulada, em geral, crescentes com o horizonte de tempo analisado. As variações encontradas se referem à magnitude de vazão e ocorreram para as séries de máximos e mínimos. As principais variações obtidas foram em função das projeções dos modelos LOW e MID, indicando que a faixa de incerteza do processo de parametrização de modelos climáticos é relevante aos resultados finais na modelagem hidrológica.
- As simulações das projeções de modelos globais, neste caso simulações de vazões médias de longo período QMLP, apresentaram divergência entre si quanto ao sinal desta variação. O modelo GFCM apresenta, para alguns horizontes de tempo, projeções negativas de precipitação enquanto para os demais este sinal é positivo. Este efeito foi amplificado nas simulações de vazão e ampliou a faixa de incerteza para as séries de vazões médias.
- Dentre os cinco modelos climáticos globais analisados, o modelo GFCM foi o único a apresentar valores negativos para as projeções de precipitação e, conseqüentemente, para as simulações de vazões. Cabe ressaltar que o modelo GFCM é o único que possui grade do tipo volume finito, os demais modelos

analisados possuem grades espectrais. Dessa forma, descartar as simulações do GFCM por ser divergente das demais seria um erro. Este trabalho ressalta a importância da utilização do maior número de modelos climáticos possível.

- Para as vazões extremas, onde não são consideradas as projeções de GCM's, a maior fonte de incerteza são as projeções dos RCM's, em seguida a técnica de remoção de viés e por fim o modelo hidrológico.
- Considerando os resultados obtidos para as vazões médias (QMLP), as fontes podem ser ordenadas de forma decrescente, em relação ao grau de incerteza que propagam: modelos climáticos globais > modelos climáticos regionais > técnicas de remoção de viés > modelo hidrológico.
- A variação obtida pelas anomalias dos GCM's é bem maior que as dos RCM's.
- A construção das CDF's permitiu a análise em termos de associação a um valor crítico de anomalia de vazão. Para a sub-bacia Itapiranga, por exemplo, uma anomalia de +30% na vazão máxima tem, segundo o gráfico gerado, uma probabilidade de ocorrência de 50% no Fut 1, 8% no Fut 2 e 20% no Fut 3. O aumento previsto para o Fut 1 pode causar grandes prejuízos, decorrentes de enchentes, às cidades que margeiam o rio Uruguai. Este tipo de resultado pode auxiliar a tomada de decisões e o melhor gerenciamento dos recursos hídricos. No entanto existe a ressalva de que os dados utilizados para a construção das CDF's se referem à projeções futuras, cuja precisão não pode ser testada devido à inexistência de dados observados.
- Os resultados obtidos podem variar de acordo com a sub-bacia analisada evidenciando que a variabilidade natural e a área de cada região hidrográfica tem influência no resultado final da modelagem hidrológica.

7. RECOMENDAÇÕES

Como sugestões e recomendações para futuros trabalhos de modelagem hidrológica de mudanças climáticas associadas à análise de incerteza na BHRU citam-se:

- Inclusão de outras fontes de incerteza, como diferentes cenários de emissão dos gases do efeito estufa e técnicas de downscaling;
- Avaliação do modelo hidrológico quanto à sua estrutura e quanto ao princípio de equifinalidade.
- De acordo com os resultados obtidos para a valiação de incertezas do modelo hidrológico, a qualidade e representatividade dos dados hidrometeorológicos utilizados podem ser mais relevantes do que o contraste entre períodos de calibração. Neste contexto se enfatiza a importância do monitoramento de bacias hidrográficas a fim de se obter registro de séries históricas com qualidade e quantidade (longas séries históricas).
- É possível ainda avaliar, como fonte adicional de incerteza, a metodologia proposta em relação à distribuição e análises estatísticas aplicadas;
- Aplicação de projeções climáticas da nova geração de modelos do IPCC (CMIP5 – AR5);
- Utilização de um maior número de modelos climáticos globais e regionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM, K. N. (2011). **Impactos de Mudanças Climáticas nos Regimes de Precipitação e Vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí**. 147p. Dissertação. (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre.

ADAM, K. N; COLLISCHONN, W. (2013). **Análise dos Impactos de Mudanças Climáticas nos Regimes de Precipitação e Vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18, n. 3, p. 69-79.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (2013). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013** / Agência Nacional de Águas. Brasília. 432 p.

AKHTAR, M., AHMAD, N., BOOIJ, M.J., (2008). **The impact of climate change on the water resources of Hindukush–Karakorum–Himalaya region under different glacier coverage scenarios**. J. Hydrol. 355 (1–4), 148–163.

AMBRIZZI, T., ROCHA, R., MARENGO, J., PISNITCHENKO, A.I., ALVES, L. & FERNANDEZ, J.P. (2007). **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: projeções de clima usando três modelos regionais**. Relatório 3. Ministério do Meio Ambiente-MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas-SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade-DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade, Subprojeto: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007.

ARAKAWA, A., (2004) **The cumulus parameterization problem: Past, present, and future**. J. Clim., 17, 2493–2525.

ARNELL, N.W., (2003). **Effects of IPCC SRES emissions scenarios on river runoff: a global perspective**. Hydrol. Earth Syst. Sci. 7 (5), 619–641.

ARNELL, N. (2011) **Incorporating climate change into water resources planning in England and Wales**. Journal of the American Water Resources Association, 47 (3). pp. 541-549. ISSN 1752-1688 doi: 10.1111/j.1752-1688.2011.00548.x

ARNELL, N. W., BROWN, S., GOSLING, S. N., GOTTSCHALK, P., HINKEL, J., HUNTINGFORD, C., LLOYD-HUGHES, B., LOWE, J. A., NICHOLLS, R. J., OSBORN, T. J., OSBORNE, T. M., ROSE, G. A., SMITH, P., WHEELER, T. R. AND ZELAZOWSKI, P. (2014) **The impacts of climate change across the globe: a multi-sectoral assessment**. Climatic Change. ISSN 1573-1480 doi: 10.1007/s10584-014-1281-2.

ARAVÉQUIA, J. A.; QUADRO, M. F. L. **Aspectos gerais da previsão numérica de tempo e clima**. Cachoeira Paulista: CPTEC, 2003. 57 p. (INPE-10211-PUD/135). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/12.23.10.21>>. Acesso em: 13 nov. 2014.

AQUINO, F. E.; VIANA, D. R. ; MATZENAUER, R. ; MUNOZ, V. A. (2009) **As mudanças no clima gaúcho**. Zero Hora, Porto Alegre, RS, p. 31 - 31, 06 dez.

- AXELSSON, P.; TJERNSTRÖM, M.; SÖDERBERG, S.; SVENSSON G, (2011) **An ensemble of Arctic simulations of the AOE-2001 field experiment.** *Atmosphere*, 2, 146–170.
- BAE, D.H., JUNG, I.W., LETTENMAIER, D.P., (2011). **Hydrologic uncertainties in climate change from IPCC AR4 GCM simulations of the Chungju Basin, Korea.** *J. Hydrol.* 401 (1–2), 90–105.
- BÁRDOSSY, A., PEGRAM, G. (2011). **Downscaling precipitation using regional climate models and circulation patterns toward hydrology.** *Water Resources Research*, v.47, doi:10.1029/2010WR009689.
- BÁRDOSSY A, PEGRAM G. (2012). **Multiscale spatial recorelation of RCM precipitation to produce unbiased climate change scenarios over large areas and small.** *Water Resources Research* , **48**(9), W09502.
- BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. (2013) **Atmosfera, Tempo e Clima.** 9ª edição. Porto Alegre: Bookman, 512 p.
- BASTOLA, S., MURPHY, C., SWEENEY, J., (2011). **The role of hydrological modeling uncertainties in climate change impact assessments of Irish river catchments.** *Adv. Water Resour.* 34 (5), 562–576. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2011.01.008>.
- BATES, B., KUNDZEWICZ, Z.W., WU, S. & PALUTIKOF, J. (2008). **Climate change and water, IPCC Technical paper on climate change and water.** IPCC Secretariat, Geneva. 220 p.
- BERG, P., FELDMANN, H., AND PANITZ, H. J. (2012). **Bias correction of high resolution regional climate model data** *J. Hydrol.*, 448–449, 80–92, doi:10.1016/j.jhydrol.2012.04.026.
- BEVEN K. J.(2000). **Rainfall-Runoff Modelling: The Primer.** Wiley: Chichester.
- BEVEN, K. J (2011). **I believe in climate change but how precautionary do we need to be in planning for the future?** *Hydrol. Process.* 25, 1517-1520.
- BEVEN, K. J. (2006). **A manifesto for the equifinality thesis.** *Journal of Hydrology* 320, pp. 18- 36.
- BEVEN, K.; BINLEY, A. (1992). **The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction.** *Hydrological Processes* 6, pp. 279-298.
- BHASKARAN, B., R. G. JONES, J. M. MURPHY, AND M. NOGUER (1996). Simulations of the Indian summer monsoon using a nested regional climate model: domain size experiments. *Clim. Dyn.*, 12:573-587.
- BLOSCHL G, ARDOIN-BARDIN S, BONELL M, DORNINGER M, GOODRICH D, GUTKNECHT D, MATAMOROS D, MERZ B, SHAND P, SZOLGAY J. (2007). **At what scales do climate**

variability and land cover change impact on flooding and low flows? Hydrological Processes 21: 1241–1247.

BLOSCHL G, MONTANARI A. (2010). **Climate change impacts—throwing the dice?** Hydrol. Process. 24, 374–381.

BOE, J., TERRAY, L., HABETS, F., AND MARTIN, E.(2007) **Statistical and dynamical downscaling of the Seine basin climate for hydro-meteorological studies**, Int. J. Climatol., 27, 1643–1655, doi:10.1002/joc.1602.

BOHM R. (2008). **Heiße Luft: Reizwort Klimawandel—Fakten, Angste, Geschafte (Hot air: the climate change controversy—facts—fears— funding**. Edition Va Bene, Klosterneuburg: Wien; 261 pp.

BOSSHARD, T., S. KOTLARSKI, T. EWEN, AND C. SCHÄR (2011), **Spectral representation of the annual cycle in the climate change signal**, Hydrol Earth Syst Sci, 15, 2777–2788, doi:10.5194/hess-15-2777-2011.

BRAGA, A. C. F. M., SILVA R. M., SANTOS C. A. G., GALVÃO C. O., NOBRE P., (2013). **Downscaling of a global climate model for estimation of runoff, sediment yield and dam storage: A case study of Pirapama basin, Brazil**. Journal of Hydrology, Volume 498, p. 46-58.

BRAVO, J.M., ALLASIA, D., PAZ, A.R., COLLISCHONN, W., TUCCI, C.E.M. (2012) **Coupled Hydrologic-Hydraulic Modeling of the Upper Paraguay River Basin**. Journal of Hydrologic Engineering 17 (5) , p. 635-646

BRAVO, J.M., COLLISCHONN, W., DA PAZ, A.R., ALLASIA, D., DOMECCQ, F. (2013) **Impact of projected climate change on hydrologic regime of the Upper Paraguay River basin**. Climatic Change, (DOI 10.1007/s10584-013-0816-2).

BREKKE, L.D., E.P. MAURER, J.D. ANDERSON, M.D. DETTINGER, E.S. TOWNSLEY, A. HARRISON, AND T. PRUITT. (2009a). **Assessing reservoir operations risk under climate change**. Water Resources Research, 45, W04411.

BREKKE, L. D., J. E. KIANG, J. R. OLSEN, R. S. PULWARTY, D. A. RAFF, D. P. TURNIPSEED, R. S.WEBB, AND K. D. WHITE (2009b). **Climate change and water resources management—A federal perspective**.U.S. Geological Survey Circular 1331, 65 pp. [Available online at <http://pubs.usgs.gov/circ/1331/>.]

BRIGODE P.; OUDIN L.; PERRIN C. (2013). **Hydrological model parameter instability: A source of additional uncertainty in estimating the hydrological impacts of climate change**. Journal of Hydrology 476 p. 410–425.

BROECKER W. S. (1975). **Climatic Change: Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming?** Science, New Séries, Vol. 189, No. 4201, pp. 460-463.

BUARQUE, D. C.; PAZ, A. R. E COLLISCHONN, W. (2008). **Extração automática de parâmetros físicos de bacias hidrográficas a partir do MNT para utilização em modelos hidrológicos.** In: II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Rio de Janeiro. Anais do II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste.

BUARQUE, D. C.; FAN, F. M.; PAZ, A. R. E COLLISCHONN, W. (2009). **Comparação de Métodos para Definir Direções de Escoamento a partir de Modelos Digitais de Elevação.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 14, p. 91-103.

CAVALCANTI I. F.A, (2011). **Seasonal precipitation simulated by global and regional models and projected climate changes in Brazil.** Anais do IV SIC - Simpósio Internacional de Climatologia, João Pessoa.

CHEN J.; BRISSETTE F. P.; LECONTE R. (2011a). **Uncertainty of downscaling method in quantifying the impact of climate change on hydrology.** Journal of Hydrology 401 (2011) 190–202

CHEN, C., HAERTER, J. O., HAGEMANN, S., AND PIANI, C. (2011b). **On the contribution of statistical bias correction to the uncertainty in the projected hydrological cycle.** Geophys. Res. Lett., 38, L20403, doi:10.1029/2011GL049318.

CHEN, J., BRISSETTE, F. P., CHAUMONT, D., AND BRAUN, M.(2013). **Finding appropriate bias correction methods in downscaling precipitation for hydrologic impact studies over North America.** Water Resour. Res., 49, 4187–4205, doi:10.1002/wrcr.20331.

CHIEW F.H.S.; KIRONO D.G.C.; KENT D.M. FROST A.J; CHARLES S.P.; TIMBAL B.; NGUYEN K.C.; G. FUB. (2010). **Comparison of runoff modelled using rainfall from different downscaling methods for historical and future climates.** Journal of Hydrology 387 P.10–23

CHOU, S. C. **Modelo Regional ETA.** Climanálise-Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Vol 1.

CHOU, S.C.; BUSTAMANTE JF, GOMES JL (2005). **Evaluation of Eta model seasonal precipitation forecasts over South America.** Nonlinear Processes in Geophysics. Vol 12. 4ed. pp. 537-555.

CHOU, S. C. et al. (2011). **Downscaling of South America present climate driven by 4-memberHadCM3 runs.** Climate Dynamics. DOI 10.1007/s00382-011-1002-8.

CHOU, S. C. et al., (2012). **Downscaling of South America present climate driven by 4-member HadCM3 runs.** Clim. Dyn., 38, 635–653.

CHOU, S.C., LYRA, A., MOURÃO, C., DERECZYNSKI, C., PILOTTO, I., GOMES, J., BUSTAMANTE, J., TAVARES, P., SILVA, A., RODRIGUES, D., CAMPOS, D., CHAGAS, D., SUEIRO, G., SIQUEIRA, G. AND MARENGO, J. (2014) **Assessment of Climate Change**

over South America under RCP 4.5 and 8.5 Downscaling Scenarios. American Journal of Climate Change, 3, 512-527. <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2014.35043>

CHRISTENSEN, N.S., WOOD, A.W., VOISIN, N., LETTENMAIER, D.P., PALMER, R.N., (2004). **The effects of climate change on the hydrology and water resources of the Colorado River Basin.** Climatic Change 62 (1), 337–363.

CHRISTENSEN N, LETTENMAIER DP (2007) **A multimodel ensemble approach to assessment of climate change impacts on the hydrology and water resources of the Colorado River basin.** Hydrol Earth Syst Sci 11:1417–1434

CHRISTENSEN, J. H., et al., (2007). **Regional climate projections.** In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 847–940.

CHRISTIERSON, B.V., J. VIDAL, AND S.D. WADE (2012) **Using UKCP09 probabilistic climate information for UK waterresource planning.** Journal of Hydrology, 424, 48-67.

COLLISCHONN, W. ; TUCCI, C. E. M. (2001) **Simulação hidrológica de grandes bacias.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6, n. 2, p 73-79.

COLLISCHONN, W. (2001) **Simulação Hidrológica De Grandes Bacias.** Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Pesquisas Hidráulicas 194p. Porto Alegre.

COLLISCHONN, W., ALLASIA, D. G., SILVA, B. C., AND TUCCI, C. E. M. (2007) **The MGB-IPH model for large scale rainfall-runoff modeling.** Hydrolog. Sciences Journal, 52(5), 878–895, doi:10.1623/hysj.52.5.878.

COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W. AND TUCCI, C. E. M. (2008). **Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates.** Journal of Hydrology, Amsterdam, v. 360, n. 1-4, p. 207-216. doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.07.032.

COLLISCHONN, W.; BUARQUE, D. C.; PAZ, A. R.; MENDES, C. A. B. AND FAN, F. M. (2010). **Impact of pit removal methods on DEM derived drainage lines in flat regions.** In: AWRA 2010 Spring Specialty Conference, Orlando, FL.

COLLINS, W.D. (2006). **The Community Climate System Model: CCSM3.** J. Clim., 19, 2122–2143.

COLLINS, M, BOOTH, BBB, HARRIS, GR, MURPHY, JM, SEXTON, DMH, WEBB, MJ, (2006). **Towards Quantifying Uncertainty in Transient Climate Change.** Climate Dynamics, 27: 127-147.

COLLINS, M.(2007). **Ensembles and probabilities: a new era in the prediction of climate change.** Philosophical Transactions of the Royal Society A, v. 365, p. 1957 – 1970.

COLLINS, M.; TETT, S.F.B., E COOPER, C. (2011). **The internal climate variability of HadCM3, a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments.** Climate Dynamics 17: 61–81. doi:10.1007/s003820000094.

COLLINS, W. D., et al. (2004). **Description of the NCAR Community Atmosphere Model (CAM3.0).** Technical Note TN-464+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 214 pp.

CORON, L., ANDRÉASSIAN, V., PERRIN, C., LERAT, J., VAZE, J., BOURQUI, M., HENDRICKX, F., (2012). **Crash testing hydrological models in contrasted climate conditions: an experiment on 216 Australian catchments.** Water Resour. Res.. <http://dx.doi.org/10.1029/2011WR011721>.

COVEY C, ACHUTA RAO KM, CUBASCH U, JONES P, LAMBERT SJ, MANN ME, PHILLIPS TJ, TAYLOR KE. (2003). **An overview of results from the Coupled Model Intercomparison Project.** Global and Planetary Change 37: 103–133.

CRÉTAT, J., B. POHL, Y. RICHARD, AND P. DROBINSKI, (2012). **Uncertainties in simulating regional climate of Southern Africa: Sensitivity to physical parameterizations using WRF.** Clim. Dyn., 38, 613–634

CUNDERLIK, J.M.; SIMONOVIC S.P. (2007). **Inverse flood risk modelling under changing climatic conditions.** Hydrological Processes, 21(5), 563-577.

DAI A, QIAN T, TRENBERTH KE, MILLIMAN JD (2009). **Changes in continental freshwater discharge from 1949–2004.** J Clim 22:2773–2791.

DAMS, J., NOSSENT, J., SENBETA, T.B., WILLEMS, P., BATELAAN, O. (2015). **Multi-model approach to assess the impact of climate change on runoff.** Journal of Hydrology 529 1601–1616.

DANKERS, R., N.W. ARNELL, D.B. CLARK, P. FALLOON, B.M. FEKETE, S.N. GOSLING, J. HEINKE, H. KIM, Y. MASAKI, Y. SATOH, AND T. STACKE, (2013). **A first look at changes in flood hazard in the ISI-MIP ensemble.** Proceedings of the National Academy of Sciences, in press.

DAVIS R.J. (2001). **The effects of climate change on river flows in the Thames Region.** Water Resources Hydrology and Hydrometry Report 00/04, Environment Agency, Reading

DAVIDSON, E.A., JANSSENS, I.A., (2006). **Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change.** Nature 440 (7081), 165–173.

DE VOS, N.J., RIENTJES, T.H.M., GUPTA, H.V., (2010). **Diagnostic evaluation of conceptual rainfall-runoff models using temporal clustering.** Hydrol. Process. 24 (20), 2840–2850. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7698>.

DÉQUÉ, M., D. P. ROWELL, D. LÜTHI, F. GIORGI, J. H. CHRISTENSEN, B. ROCKEL, D. JACOB, E. KJELLSTRÖM, M. DE CASTRO, AND B. VAN DEN HURK (2007), **An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections,** Climatic Change, 81, 53–70, doi:10.1007/s10584-006-9228-x.

DÉQUÉ, M., S. SOMOT, E. SANCHEZ-GOMEZ, C. M. GOODESS, D. JACOB, G. LENDERINK, AND O. B. CHRISTENSEN, (2012) **The spread amongst ENSEMBLES regional scenarios: Regional climate models, driving general circulation models and interannual variability.** Clim. Dyn., 38, 951–964.

DELWORTH et al., (2006). **GFDL's CM2 global coupled climate models - Part 1: Formulation and simulation characteristics,** Journal of Climate, Vol. 19, No. 5, pages 643-674.

DIABAT, M., HAGGERTY, R., WONDZELL, S.M., (2013). **Diurnal timing of warmer air under climate change affects magnitude, timing and duration of stream temperature change.** Hydrol. Process. 27 (16), 2367–2378.

DIAZ-NIETO, JACQUELINE, WILBY, ROBERT L., (2005). **A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: impacts on low-flows in the river Thames United Kingdom.** Climatic Change 69, 245–268.

DÖLL, P, JIMÉNEZ-CISNEROS, B., OKI, T., ARNELL, N.W., BENITO, G., COGLEY, J.G., JIANG, T., KUNDZEWICZ, Z.W., MWAKALILA, S., NISHIJIMA, A. (2014) **Integrating risks of climate change into water management.** Hydrological Sciences Journal, doi: 10.1080/02626667.2014.967250.

DÖLL, P., MÜLLER SCHMIED, H., (2012). **How is the impact of climate change on river flow regimes related to the impact on mean annual runoff? A global-scale analysis.** Environ. Res. Lett. 7 (1). <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/7/1/014037>.

DÖLL, P., ZHANG, J., (2010). **Impact of climate change on freshwater ecosystems: a global-scale analysis of ecologically relevant river flow alterations.** Hydrol. Earth Syst. Sci. 14 (5), 783–799.

EHRET, U., ZEHE, E., WULFMEYER, V., WARRACH-SAGI, K., AND LIEBERT, J. (2012) **Should we apply bias correction to global and regional climate model data?** Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 3391–3404, 2012, <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/3391/2012/>

ELSHAMY, M.E., SAYED, M.A.-A. AND BADWY, B. (2009). **Impacts of climate change on Nile flows at Dongola using statistically downscaled GCM scenarios.** Nile Water Science & Engineering Magazine, 2, 1-14.

ESCARIÃO, R. D., MONTENEGRO S. M. G. L., AZEVEDO, J.R. G., NETO, A.R. (2012). **Influência do Modelo Hidrológico na Avaliação da Sensibilidade dos Recursos Hídricos a Cenários de Mudanças Climáticas em Região Semiárida.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH) Volume 17 n.3 - Jul/Set 2012, 81-91.

EVANS, J. P., M. EKSTROEM, AND F. JI, (2012) **Evaluating the performance of a WRF physics ensemble over South-East Australia.** Clim. Dyn., 39, 1241–1258.

FAN, F. M. (2011). **Acoplamento entre SIG e modelos hidrológicos: Integração do modelo MGB-IPH.** Trabalho de Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Brasil.

FAN, F. M. AND COLLISCHONN, W. (2012). **Coupling the MGB-IPH hydrological model with MapWindow GIS platform.** MapWindow International Open Source Conference. Velp.

FAN, F. M.; BUARQUE, D. C.; PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W. E KAYSER, R. (2011). **Manual de introdução às ferramentas do archydro - Versão 2.1,** Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico, FINEP/ANA/IPH-UFRGS, Porto Alegre (RS), 76 p. Disponível on-line: <http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/MGB-IPH/MGBIPH2010/Downloads.html>.

FAN, F. M.; BUARQUE, D. C.; PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W. E KAYSER, R. (2010). **Manual do PrePro-MGB para aplicação do modelo MGB-IPH - Versão 4.1,** Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico, FINEP/ANA/IPH-UFRGS, Porto Alegre (RS), 19 p. Disponível on-line: <http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/MGB IPH/MGBIPH2010/Downloads.html>.

FAN, F. M.; BUARQUE, D. C. ; PONTES, P. R. M. ; COLLISCHONN, W. **Um Mapa de Unidades de Resposta Hidrológica para a América do Sul** (2015) In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília-DF. Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre - RS: ABRH, 2015. p. PAP019919.

FROST, A. J., et al., (2011). **A comparison of multi-site daily rainfall downscaling techniques under Australian conditions.** J. Hydrol., 408, 1–18.

FORSTER, PM, ANDREW, T, GOOD, P, GREGORY, JM, JACKSON, LS AND ZELINKA, M (2013) **Evaluating adjusted forcing and model spread for historical and future scenarios in the CMIP5 generation of climate models.** Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118 (3). 1139 - 1150. ISSN 0148-0227 <http://dx.doi.org/10.1002/jgrd.50174>.

FORTIN, V. (2000), **Le mode`le meteo-apport HSAMI : historique, theorie et application**, report, 68 pp., Inst. de Rech. d'Hydro-Quebec, Varennes, Quebec, Canada.

FOWLER, H.J.; BLENKINSOPA, S.; TEBALDIB, C. (2007). **Review: Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling**. International journal of climatology Int. J. Climatol. 27: 1547–1578.

FOWLER et al (2007). **Linking climate change modeling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling**. Int. J. Climatol., 27, 1547-1578.

FUNG, F., LOPEZ, A., NEW, M., (2011). **Water availability in +2 degrees C and +4 degrees C worlds**. Philos. Trans. R. Soc. A – Math. Phys. Eng. Sci. 369 (1934), 99–116.

GELLENS, D.; ROULIN, E. (1998). **Streamflow response of Belgian catchments to IPCC climate change scenarios**. Journal of Hydrology, v. 210 (1-4), p. 242–258.

GIORGI, F. AND B. HEWITSON. 2001. **Regional climate information - evaluation and projections**. Chapter 10. In: IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press. pp. 583–638.

GIORGI, F., (2005) **Climate change prediction**. Climatic Change, 73, 239–265.

GHOSH, S., MUJUMDAR, P.P., (2007). **Nonparametric methods for modeling GCM and scenario uncertainty in drought assessment**. Water Resour. Res. 43 (7), W07405.

GORDON, C. et al. (200). **The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments**. Climate Dynamics 16 (2–3): 147–168. doi:10.1007/s003820050010.

GÖRGEN, K., BEERSMA, J., BRAHMER, G., BUITEVELD, H., CARAMBIA, M., DE KEIZER, O., KRAHE, P., NILSON, E., LAMMERSEN, R., PERRIN, C. AND VOLKEN, D., (2010). **Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the Rhine River Basin: Results of the RheinBlick2050 Project**, CHR Report, 1–23, 229 pp, Lelystad, ISBN 978-90-70980-35-1.

GOSLING, S. N., BREHERTON, D., HAINES, K. AND ARNELL, N. W. (2010) **Global hydrology modelling and uncertainty: running multiple ensembles with a campus grid**. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 368. pp. 4005-4021. ISSN 1364-503X doi: 10.1098/rsta.2010.0164

GOSLING, S.N., TAYLOR, R.G., ARNELL, N.W., TODD, M.C., (2011). **A comparative analysis of projected impacts of climate change on river runoff from global and catchmentscale hydrological models.** Hydrol. Earth Syst. Sci. 15 (1), 279–294.

GRAHAM, L., J. ANDRÉASSON, AND B. CARLSSON (2007a), **Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods – a case study on the Lule River basin,** Climatic Change, 81, 293–307, doi:10.1007/s10584-006-9215-2.

GRAHAM, L., S. HAGEMANN, S. JAUN, AND M. BENISTON (2007b), **On interpreting hydrological change from regional climate models,** Climatic Change, 81, 97–122, doi:10.1007/ s10584-006-9217-0.

GUDMUNDSSON, L., BREMNES, J. B., HAUGEN, J. E., AND ENGEN-SKAUGEN, T. (2012). **Technical Note: Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations – a comparison of methods,** Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 3383–3390, doi:10.5194/hess-16-3383-2012.

GUTJAHR, O. AND HEINEMANN, G.(2013). **Comparing precipitation bias correction methods for high-resolution regional climate simulations using COSMO-CLM,** Theor. Appl. Climatol., 114, 511–529, doi:10.1007/s00704-013-0834-z.

HAGEMANN, S.; CHEN, C.; HAERTER, J.O (2011). **Impact of a Statistical Bias Correction on the Projected Hydrological Changes Obtained from Three GCMs and Two Hydrology Models.** Journal of Hydrometeorology, vol. 12.

HANASAKI, N., S. FUJIMORI, T. YAMAMOTO, S. YOSHIKAWA, Y. MASAKI, Y. HIJIOKA, M. KAINUMA, Y. KANAMORI, T. MASUI, K. TAKAHASHI, AND S. KANAE, (2013) **A global water scarcity assessment under Shared Socio-economic Pathways – Part 2: Water availability and scarcity.** Hydrology and Earth System Sciences, 17, 2393-2413.

HAY, L.E. et al. (2000). **A comparison of delta change and downscaling GCM scenarios for three mountainous basins in the United States.** J. Am. Water Res. Ass., v. 36, p. 387-398.

HIRABAYASHI, Y., KANAE, S., EMORI, S., OKI, T., KIMOTO, M., (2008). **Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate.** Hydrological Sciences Journal 53 (4), 754–772

HONTI, M.; REICHERT P.; SCHEIDEGGER A.; STAMM C. (2013). **Uncertainty of a hydrological climate change impact assessment - Is it really all about climate uncertainty?** Geophysical Research Abstracts. Vol. 15, EGU2013-6176.

HONTI, M., A. SCHEIDEGGER, AND C. STAMM (2014). **Importance of hydrological uncertainty assessment methods in climate change impact studies**. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 11, 501–553, 2014. doi:10.5194/hessd-11-501-2014

HUNTINGTON, T. G. (2006). **Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis**. Journal Hydrol., 319, 83 – 95.

IACOBELLIS, S.F., G.M. MCFARQUHAR, D.L. MITCHELL; R.C.J. SOMERVILLE, (2003) **The sensitivity of radiative fluxes to parameterized cloud microphysics**. J. Clim., 16, 2979–2996.

INES, A. V. M., AND J. W. HANSEN (2006), **Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies**, Agr Forest Meteorol, 138(1-4), 44–53, doi:10.1016/j.agrformet.2006.03.009.

IPCC (2007 a). **Summary for policymakers**. A Report of working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. (2007). **Climate Change 2007: The Scientific Basis**-Contribution of Working Group 1 to the IPCC Fourth Assessment Report. Cambridge University Press.

IPCC, (2013). **Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, (2014). **Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects**. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32

JACKSON, C.R., R. MEISTER, AND C. PRUDHOMME, (2011). **Modelling the effects of climate change and its uncertainty on UK Chalk groundwater resources from an ensemble of global climate model projections**. Journal of Hydrology, 399(1-2), 12-28.

JALOTA, S.K.; KAUR, H.; KAUR, S.; VASHISHT, B.B.(2013). **Impact of climate change scenarios on yield, water and nitrogen-balance and use efficiency of rice-wheat cropping system**. Agricultural Water Management, v. 116, p. 29-38.

- JIANG, T.; CHEN, Y.D.; XU, C.Y.; CHEN, X.; CHEN, X.; XU, C.-Y.; SINGH, V.P. (2007). **Review on Regional Water Resources Assessment Models under Stationary and Changing Climate**. *Water Resources Management*, 18, pp. 591-612.
- JIANG, T., CHEN, Y.D., XU, C., CHEN, X., CHEN, X., SINGH, V.P., (2007). **Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China**. *J. Hydrol.* 336, 316–333.
- JONES, R. G., J. M. MURPHY AND M. NOGUER (1995). **Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model**. I: Assessment of control climate, including sensitivity to location of lateral boundaries. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 121:1413-1449.
- JOHNSON, F. AND SHARMA, A. (2012). **A nesting model for bias correction of variability at multiple time scales in general circulation model precipitation simulations**, *Water Resour. Res.*, 48, W01504, doi:10.1029/2011wr010464.
- JUNG, T., et al., (2010). **The ECMWF model climate: Recent progress through improved physical parametrizations**. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 136, 1145–1160.
- JUNG, I.W., CHANG, H., MORADKHANI, H., (2012). **Uncertainty assessment of climate change impacts for hydrologically distinct river basins**. *Journal of Hydrology* 466–467 (2012) 73–87
- KARLSSON, I.B., SONNENBORG, T.O., REFSGAARD, J.C., TROLLE, D., BØRGESEN, C.D., OLESEN, J.E., JEPPESEN, E., JENSEN, K.H (2016). **Combined effects of climate models, hydrological model structures and land use scenarios on hydrological impacts of climate change**. *Journal of Hydrology*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.069>.
- KATZ, R.W.; PARLANGE, M.B.; NAVEAU, P. (2002) **Statistics of extremes in hydrology**. *Advances in Water Resources*, Amsterdam, v.25, p.1287-1304, 2002.
- KAWAZOE, S., AND W. J. GUTOWSKI (2013) **Regional, Extreme Daily Precipitation in CMIP5 Simulations**. *Journal of Hydrometeorology*, 14, 1228-1242.
- KAY, A.L., DAVIÉS, H.N., BELL, V.A., JONES, R.G., (2009). **Comparison of uncertainty sources for climate change impact: flood frequency in England**. *Clim. Change* 92, 41–63
- KLEMEŠ, V., (1986). **Operational testing of hydrological simulation models**. *Hydrol. Sci. J.* 31 (1), 13–24. <http://dx.doi.org/10.1080/02626668609491024>.
- KNUTTI, R. (2008) **Should we believe model predictions of future climate change?** *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, v. 366, p. 4647-4664, 2008.

KNUTTI, R., FURRER, R., TEBALDI, C., CERMAK, J., MEEHL, G.A., (2010). **Challenges in combining projections from multiple climate models.** *J. Clim.* 23 (10), 2739– 2758.

KNUTTI R., SEDLÁČEK, J., (2012). **Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections.** *Nature climate change* doi:10.1038/nclimate1716

KLING, H., M. FUCHS, AND M. PAULIN, (2012) **Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios.** *Journal of Hydrology*, 424, 264-277.

KOUTSOYIANNIS D, EFSTRATIADIS A, MAMASSIS N, CHRISTOFIDES A. (2008). **On the credibility of climate predictions.** *Hydrological Sciences Journal* 53: 671–684.

LAFON, T. (2013). **Bias correction of daily precipitation simulated by a regional climate model: A comparison of methods,** *Int. J. Climatol.*, 33, 1367–1381, doi:10.1002/joc.3518.

LEANDER, R., T. A. BUIHAND, B. J. J. M. VAN DEN HURK, AND M. J. M. DE WIT (2008), **Estimated changes in flood quantiles of the river Meuse from resampling of regional climate model output,** *J Hydrol*, 351(3-4), 331–343, doi:10.1016/j.jhydrol.2007.12.020.

LEITH N.A; CHANDLER R.E. (2010). **A framework for interpreting climate model outputs.** *Journal of the Royal Statistical society Series C- Applied Statistics* 59: 279-296.

LETTENMAIER, D. P., A. W. WOOD, R. N. PALMER, E. F. WOOD, AND E. Z. STAKHIV (1999), **Water Resources Implications of Global Warming: A U.S. Regional Perspective,** *Climatic Change*, 43(3), 537–579, doi:10.1023/A:1005448007910.

LEHMANN, E.(2006). **Nonparametrics: Statistical methods based on ranks.** ISBN: 978-0387352121.

LE LAY, M., GALLE, S., SAULNIER, G.M., BRAUD, I., (2007). **Exploring the relationship between hydroclimatic stationarity and rainfall-runoff model parameter stability: a case study in West Africa.** *Water Resour. Res.* 43, W07420. <http://dx.doi.org/10.1029/2006WR005257>.

LENDERINK, G.; BUIHAND, A.; VAN DEURSEN, W. (2007). **Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach.** *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 11, n. 3, p. 1145–1159.

LI, Z., LIU, W.Z., ZHANG, X.C., ZHENG, F.L., (2010). **Assessing the site-specific impacts of climate change on hydrology, soil erosion and crop yields in the Loess Plateau of China.** *Clim. Change*, doi:10.1007/s10584-010-9875-9.

LIU, Y., J. ZHANG, G. WANG, J. LIU, R. HE, H. WANG, C. LIU, AND J. JIN, (2013). **Assessing the effect of climate natural variability in water resources evaluation impacted by climate change.** *Hydrological Processes*, 27(7), 1061-1071.

LIU et al (2014). **What is the importance of climate model bias when projecting the impacts of climate change on land surface processes?** *Biogeosciences*, 11, 2601–2622.

LUO, J., WANG, E., SHEN, S., ZHENG, H., ZHANG, H., (2011). **Effects of conditional parameterization on performance of rainfall-runoff model regarding hydrologic non-stationarity.** *Hydrol. Process.* <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.8420>

LYNN, B.H., R. HEALY, AND L. M. DRUYAN, (2009) **Quantifying the sensitivity of simulated climate change to model configuration.** *Climatic Change*, 92, 275-298, doi:10.1007/s10584-008-9494-x.

LOCK, A.P., et al., (2000). **A new boundary layer mixing scheme.** Part I: Scheme description and SCM tests. *Mon. Weather Rev.*, 128, 3187– 3199.

LOCK, A.P., (2001). **The numerical representation of entrainment in parameterizations of boundary layer turbulent mixing.** *Mon. Weather Rev.*, 129, 1148–1163.

LUDWIG, R., MAY, I., TURCOTTE, R., VESCOVI, L., BRAUN, M., CYR, J.F., FORTIN, L.G., et al., (2009). **The role of hydrological model complexity and uncertainty in climate change impact assessment.** *Adv. Geosci.* 21 (2009), 63–71. <http://dx.doi.org/10.5194/adgeo-21-63-2009>.

LUO, J., WANG, E., SHEN, S., ZHENG, H., ZHANG, H., (2011). **Effects of conditional parameterization on performance of rainfall-runoff model regarding hydrologic non-stationarity.** *Hydrol. Process.* <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.8420>.

LYNN, B., R. HEALY, AND L. DRUYAN, (2009) **Quantifying the sensitivity of simulated climate change to model configuration.** *Clim. Change*, 92, 275–298.

MANNING, L.J., J.W. Hall, H.J. Fowler, C.G. Kilsby, and C. Tebaldi, **Using probabilistic climate change information from a multimodel ensemble for water resources assessment.** *Water Resources Research*, 45, W11411, 2009.

MARENGO, J.A., ALVES, L., VALVERDE, M., ROCHA R.; LABORBE, R. (2007). **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: projeções de clima futuro usando três modelos regionais.** Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Diretoria de Conservação da Biodiversidade, Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade, sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília.

MARENGO, J. A., NOBRE, C., TOMASELLA, J, OYAMA, M., SAMPAIO, G., CAMARGO, H., ALVES, L. DE OLIVEIRA, R. (2008a). **The drought of Amazonia in 2005**. Journal of Climate 21: 495-516.

MARENGO J.A., NOBRE, C., TOMASELLA, J. & CARDOSO, M.M. (2008b). **OyamaHydro-climatic and ecological behaviour of the drought of Amazonia in 2005**. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Biological Sciences 21: 1-6.

MARENGO, J.A., JONES, R., ALVES, L. & VALVERDE, M. (2009). **Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system**. International Journal of Climatology, DOI: 10.1002/joc.1863.

MARENGO J.A.; TOMASELLA J.; NOBRE C. A. (2010). Em: **Águas do Brasil: análises estratégicas**. Editado por: Carlos E. de M. Bicudo; José G.Tundisi; Marcos C. Barnsley Scheuenstuhl. São Paulo, Instituto de Botânica, 2010. 224 p.

MARENGO, J. A.; CHOU, S. C; KAY G.; ALVES, L.; PESQUERO, J. F SOARES, W.R; SANTOS, D.C.; LYRA, A. A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D. J.; GOMES, J. L.; BUSTAMANTE, J. F.; TAVARES, P. (2012). **Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTec/HadCM3 climate change projections: Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and and the Parana River Basins**. Climate Dynamics. 38 (3-4), 635-653.

MARTIN, G.M., et al., (2006). **The physical properties of the atmosphere in the new Hadley Centre Global Environmental Model, HadGEM1**. Part I: Model description and global climatology. J. Clim., 19, 1274–1301.

MARAUN, D. (2012). **Nonstationarities of regional climate model biases in European seasonal mean temperature and precipitation sums**, Geophys. Res. Lett., 39, L06706, doi:10.1029/2012GL051210, 2012.

MARCOTT, S. A.; SHAKUN J.D.; CLARK P.U.; MIX A.C. (2013). **A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years**. Science 339, 1198. doi: 10.1126/science.1228026.

MATOTT, L.S., BABENDREIER, J.E., PURUCKER, S.T., (2009). **Evaluating uncertainty in integrated environmental models: a review of concepts and tools**. Water Resour. Res. 45, W06421. <http://dx.doi.org/10.1029/2008WR007301>

MAURER, E. P., FICKLIN, D. L., and WANG, W.(2016). Technical Note: **The impact of spatial scale in bias correction of climate model output for hydrologic impact studies**, Hydrol. Earth Syst. Sci., 20, 685-696, doi:10.5194/hess-20-685-2016.

MEDEIROS, Y.D.P. (2003). **Análise dos Impactos das Mudanças Climáticas em Região Semi-árida**. RBRH Vol. 8 n.2 p. 127–136.

MEEHL GA, STOCKER TF, COLLINS WD, FRIEDLINGSTEIN P AND OTHERS (2007) **Global climate projections**. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z and others (eds) *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Inter - governmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, p 749–844.

MERZ, R., PARAJKA, J., BLÖSCHL, G., (2011). **Time stability of catchment model parameters: implications for climate impact analyses**. *Water Resour. Res.* 47, W02531. <http://dx.doi.org/10.1029/2010WR009505>.

MIDDELKOOP, H., K. DAAMEN, D. GELLENS, W. GRABS, J. C. J. KWADIJK, H. LANG, B. W. A. H. PARMET, B. SCHÄDLER, J. SCHULLA, AND K. WILKE (2001), **Impact of Climate Change on Hydrological Regimes and Water Resources Management in the Rhine Basin**, *Climatic Change*, 49(1), 105–128, doi:10.1023/A:1010784727448.

MILLY, P.C.D., DUNNE, K.A. & VECCHIA, A.V. (2005). **Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate**. *Nature* 438: 347-350.

MINVILLE M.; BRISSETTE F., LECONTE R. (2008). **Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed**. *Journal of Hydrology* (2008) 358, 70–83.

MONTGOMERY, D. & RUNGER, G. (2003), **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**, 2a. edição, LTC, Rio de Janeiro.

MOSS RH, et al (2010). **The next generation of scenarios for climate change research and assessment**. *Nature* 463:747-756.

MONTENEGRO S.; RAGAB R. (2012). **Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil**. *Journal of Hydrology* 434–435 p. 55–68.

MOORE, R.J.; CLARKE, R.T. (1981). **A Distribution Function Approach to Rainfall-runoff Modeling**. *Water Resources Research*, v. 17, n. 5, p. 1367-1382, 1981.

MOORE, K., D. PIERSON, K. PETTERSSON, E. SCHNEIDERMAN, AND P. SAMUELSSON (2008), **Effects of warmer world scenarios on hydrologic inputs to Lake Mälaren, Sweden and implications for nutrient loads**, *Hydrobiologia*, 599(1), 191–199, doi:10.1007/s10750-007-9197-8.

MOURÃO,C., CHOU, S.C,MARENGO, J.(2016). **Downscaling Climate Projections over La Plata River Basin**. *Atmosphere an climate sciences*, 6 1-12. Doi:10.4236/asc,2016.61001.

MPELASOKA, F. S., AND F. H. CHIEW (2009), **Influence of rainfall scenario construction methods on runoff projections**, J Hydrometeorol, 10(5), 1168–1183, doi:10.1175/2009JHM1045.1.

MUJUMDAR, P.P. and KUMAR, NAGESH (2012). **Floods in a Changing Climate: Hydrologic Modeling**. 178p. Cambridge Press.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.552p.

NAJAFI, M.R., MORADKHANI, H., JUNG, I.W., (2011). **Assessing the uncertainties of hydrologic model selection in climate change impact studies**. Hydrol. Process. 25 (18), 2814–2826.

NAKICENOVIC, N. & SWART, R. (2000). **Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

NEELING, J.D. (2011). **Climate Change and Climate Modeling**. 282 p. Cambridge university press, UK.

NETO, J.A., SIMÕES, J.C., BREMER, U.F., AQUINO F.E. (2002) **Deteção de Mudanças Ambientais na Antártica através de Dados de Sensoriamento Remoto e Mapas Históricos**. Pesquisas em Geociências, 28 (2): 337-342, maio/ago.

NEW, M., LOPEZ, A., DESSAI, S., WILBY, R., (2007). **Challenges in using probabilistic climate change information for impact assessments: an example from the water sector**. Philosophical Transactions of the Royal Society a – Mathematical Physical and Engineering Sciences 365 (1857), 2117–2131.

NIEL, H., PATUREL, J.E., SERVAT, E., (2003). **Study of parameter stability of a lumped hydrologic model in a context of climatic variability**. J. Hydrol. 278, 213–230. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00158-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00158-6).

NÓBREGA, M. T.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; PAZ, A. R. (2010) **Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil** Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 7, 6099-6128, 2010.

NÓBREGA, M. T.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. AND PAZ, A. R. (2011). **Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin, Brazil**. Hydrology and Earth System Sciences, v. 15, p. 585-595.

OLESEN, J.E. e BINDI, M. (2002). **Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy**. European Journal of Agronomy, v. 16, p. 239-262.

OLSSON, J., W. YANG, L.P. GRAHAM, J. ROSBERG, AND J. ANDREASSON, (2011). **Using an ensemble of climate projections for simulating recent and near-future hydrological change to lake Vanern in Sweden.** *Tellus Séries A-Dynamic Meteorology and Oceanography*, 63(1), 126-137.

ORESQUES, N. (2004). **The scientific consensus on climate change.** *Science* (3/12), Vol.306, Issue 5702, pp 1686. DOI: 10.1126/Science:1103618).

PAIVA, R. C. D. (2009). **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias.** Estudo de caso: bacia do rio Solimões. Dissertação de mestrado. IPH-UFRGS.

PAIVA R.C.D.; COLLISCHONN W (2010) **Climate change impacts on river Quarai flow.** In: **Modelling the Impact of Climate and Water Resources.** Edited by: Fung, C. F., Lopez, A., and New, M. John Willey&Sons, 200 pp.

PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C.; CLARKE, R. T.; COLLISCHONN, W. AND ALLASIA, D. G. (2011). **Reduced precipitation over large water bodies in the Brazilian Amazon shown from TRMM data.** *Geophys. Res. Lett.*, 38, L04406, doi:10.1029/2010GL045277.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - PBMC, (2013). **Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas.** Sumário Executivo GT1. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. 24 p.

PAL, J.S., F. GIROGI, X. BI, N. ELGUINDI, F. SOLMON, X. GAO, S.A. RAUSCHER, R. FRANCISCO, A. ZAKY, J. WINTER, M. ASHFAQ, F.S. SYED, J.L. BELL, N.S. DIFFENBAUGH, J. KARMACHARYA, A. KONARE, D. MARTINEZ, R.P. DA ROCHA, L.C. SLOAN, AND A.L. STEINER (2007). **Regional climate modeling for the developing world: The ICTP RegCM3 and RegCNET.** *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 88, 1395-1409, doi:10.1175/BAMS-88-9-1395.

PAZ A.R, BRAVO J.M, ALLASIAD, COLLISCHONN W, TUCCI C.E.M. (2010). **Large-scale hydrodynamic modeling of a complex river network and floodplains.** *J Hydrol Eng* 15(2):152–165. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000162

PAZ, A ; COLLISCHONN, W.; RISSO, A. AND MENDES, C. (2008). **Errors in river lengths derived from raster digital elevation models.** *Computers & Geosciences*, v. 34, p. 1584-1596.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W. (2008) **Derivação de Rede de Drenagem a Partir de Dados do SRTM.** *Rev. Geogr. Acadêmica* v.2 n.2 (viii.2008) 84-95 ISSN 1678-7226.

Pfeiffer, A., and G. Zängl, 2010: Validation of climate-mode MM5–simulations for the European Alpine Region. *Theor. Appl. Climatol.*, 101, 93–108.

PIANI C.; WEEDON G.P.; BEST M.; GOMES S.M.; VITERBO P.; HAGEMANN S.; HAERTER J.O. (2010). **Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and**

temperature for the application of hydrological models. Journal of Hydrology 395 (2010) 199–215.

PIELKE, A. R. Jr (2005). **Consensus on climate change?** Science, Vol.308, Issue 572, pp 952-954. DOI: 10.1126/Science:3085724952).

PIRTLE, Z. MEYER, R., HAMILTON A (2010) **What does it mean when climate models agree? A case for assessing independence among general circulation models.** Environmental Science and Policy, 13. P. 351-361.

PORTMANN, F.T., P. DÖLL, S. EISNER, AND M. FLÖRKE, (2013). **Impact of climate change on renewable groundwater resources: assessing the benefits of avoided greenhouse gas emissions using selected CMIP5 climate projections.** Environmental Research Letters, 8(2), 024023.

PRUDHOMME et al (2002). **Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: where are we now?** Hydrol. Process. 16, 1137-1150

PRUDHOMME, C., DAVIÉS, H., (2009). **Assessing uncertainties in climate change impact analyses on the river flow regimes in the UK.** Part 2: future climate. Climatic Change 93, 197–222. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-008-9461-6>.

RAJE, D.; MUJUMDAR, P.P. (2010). **Constraining uncertainty in regional hydrologic impacts of climate change: Nonstationarity in downscaling.** Water Resources Research, 46, W07543, doi: 10.1029/2009WR008425.

RADAMBRASIL. 1982. **Programa de Integração Nacional, Levantamento de Recursos Naturais.** Ministério das Minas e Energia, Secretaria-Geral.

RANDALL, D.A., R.A. WOOD, S. BONY, R. COLMAN, T. FICHEFET, J. FYFE, V. KATTSOV, A. PITMAN, J. SHUKLA, J. SRINIVASAN, R.J. STOUFFER, A. SUMI; TAYLOR K. E., (2007). **Climate Models and Their Evaluation.** In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, Tignor M. and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

RAGAB, R., BROMLEY, J. (2010). **IHMS – integrated hydrological modelling system. Part 1.** The hydrological processes and general structure. Hydrol. Process. 24, 2663–2680.

RECKZIEGEL, B. W. **Levantamento dos Desastres Desencadeados por Eventos Naturais Adversos no Estado do Rio Grande do Sul no Período de 1980 a 2005.** V1. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

RECKZIEGEL, B. W; ROBAINA, L. E. S. **Desastres Naturais no Estado do Rio Grande do Sul no Período de 1980 a 2005: Enchentes e Enxurradas.** In: II SIBRADEN. Anais..., São Paulo: Santos, 2007.

REFSGAARD, J.C., VAN DER SLUIJS, J.P., BROWN, J., VAN DER KEUR, P., (2006). **A framework for dealing with uncertainty due to model structure error.** Adv. Water Resour. 29, 1586–1597. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.11.013>.

RIBEIRO NETO, A. (2006). **Simulação Hidrológica na Amazônia: Rio Madeira.** Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ.

ROECKNER, E., et al. (2003). **The Atmospheric General Circulation Model ECHAM5. Part I: Model Description.** MPI Report 349, Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Germany, 127 pp.

ROJAS, R., KAHUNDE, S., PEETERS, L., BATELAAN, O., FEYEN, L., DASSARGUES, A., (2010). **Application of a multimodel approach to account for conceptual model and scenario uncertainties in groundwater modelling.** J. Hydrol. 394, 416–435. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.09.016>.

ROY, P., P. GACHON, AND R. LAPRISE, (2012). **Assessment of summer extremes and climate variability over the north-east of North America as simulated by the Canadian Regional Climate Model.** Int. J. Climatol. , 32 1615–1627.

SAFEEQ, M., FARES, A., (2012). **Hydrologic response of a Hawaiian watershed to future climate change scenarios.** Hydrol. Process. 26 (18), 2745–2764.

SALAZAR L. F., NOBRE, C.A; OYAMA, M.D. (2007). **Climate change consequences on the biome distribution in tropical.** Geophysical Research Letters 34(9): 1-6.

SCHEWE, J. et al (2013) **Multi-model assessment of water scarcity under climate change.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, in press.

SCHULZE, RE. (Ed). 2005. **Climate Change and Water Resources in Southern Africa: Studies on Scenarios, Impacts, Vulnerabilities and Adaptation.** Water Research Commission, Pretoria, RSA.

SHABALOVA, M.V., VAN DEURSEN, W.P., BUIHAND, T.A., (2003). **Assessing future discharge of the river Rhine using regional climate model integrations and a hydrological model.** Clim. Res. 23 (3), 233–246. <http://dx.doi.org/10.3354/cr023233>.

SHAO J; TU D (1995). **The jackknife and bootstrap.** Springer, New York.

SHARMA, D., DAS GUPTA, A., AND BABEL, M. S. (2007). **Spatial disaggregation of bias-corrected GCM precipitation for improved hydrologic simulation: Ping River Basin, Thailand**, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1373–1390, doi:10.5194/hess-11-1373.

SCHMIDLI, J., FREI, C., AND VIDALE, P. L. (2006) **Downscaling from GCM precipitation: a benchmark for dynamical and statistical downscaling methods**, *Int. J. Climatol.*, 26, 679–689, doi:10.1002/joc.1287.

SENNIKOV, J., AND U. BETHERS (2009). **Statistical downscaling method of regional climate model results for hydrological modelling**, in 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation, edited by R. S. Anderssen, R. D. Braddock, and L. T. H. Newham, pp. 3962–3968, Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand and International Association for Mathematics and Computers in Simulation, Cairns, Australia. [online] Available from: <http://www.mssanz.org.au/modsim09/I13/sennikovs.pdf> (Accessed 21 December 2012)

SIMONOVIC S.P. AND LI L. (2004) **Sensitivity of the Red River Basin flood protection system to climate variability and change**. *Water Resour Manage* 18(2):89–110.

SINGH, R., WAGENER, T., VAN WERKHOVEN, K., MANN, M.E., CRANE, R., (2011). **A trading-space-for-time approach to probabilistic continuous streamflow predictions in a changing climate – accounting for changing watershed behavior**. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15, 3591–3603. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-15-3591-2011>.

SEGUÍ P. Q.; A. RIBES; MARTIN E., F. HABETS C, J. BOÉ (2010) **Comparison of three downscaling methods in simulating the impact of climate change on the hydrology of Mediterranean basins**. *Journal of Hydrology* 383 (2010) 111–124.

SHUTTLEWORTH, W. J. (1993). **Evaporation** In: Maidment, D. R. *Handbook of hydrology*. New York : McGraw-Hill.

SILVA, B. C.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T.; DELGADO, M. C. (2007). **Previsão hidroclimática de vazão de curto prazo na bacia do rio São Francisco**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, p. 31-42.

SILVEIRA C.S.; FILHO F. A.S; CABRAL, L. S.; LEMOS W.E.D. ; PORTO V.C. (2013). **Avaliação de desempenho dos modelos de mudança climática do CMIP5 quanto à representação da precipitação sobre as bacias do setor elétrico brasileiro no século xx e análise das projeções para o cenário rcp8.5**. Em: XX Simpósio de Brasileiro de Recursos Hídricos.

SOLMAN, S., AND N. PESSACG, (2012). **Regional climate simulations over South America: Sensitivity to model physics and to the treatment of lateral boundary conditions using the MM5 model**. *Clim. Dyn.*, 38, 281–300

STONE, D. A. S.; KNUTTI R. (2010) **Weather and Climate. In: Modelling the Impact of Climate Change and Water Resources.** Edited by: Fung, C. F., Lopez, A., and New, M. John Willey & Sons, 200 pp.

SUN, F., RODERICK, M. L., LIM, W. H., AND FARQUHAR, G. D.(2011) **Hydroclimatic projections for the Murray-Darling Basin based on an ensemble derived from Intergovernmental Panel on Climate Change AR4 climate models,** *Water Resour. Res.*, 47, W00G02, doi:10.1029/2010wr009829.

SUNYER M.A.; MADSEN H.; ANG P.H. (2012). **A comparison of different regional climate models and statistical downscaling methods for extreme rainfall estimation under climate change.** *Atmospheric Research* 103 (2012) 119–128

TANG, Y.M., ROBERTS, M.J. (2005). **The impact of a bottom boundary layer scheme on the North Atlantic Ocean in a global coupled climate model.** *J. Phys. Oceanogr.*, 35(2), 202–217.

TEBALDI, C., SMITH, R.L., NYCHKA, D., MEARN, L.O., (2005). **Quantifying uncertainty in projections of regional climate change: a Bayesian approach to the analysis of multimodel ensembles.** *Journal of Climate* 18, 1524–1540.

TENG, J., VAZE, J., CHIEW, F. H. S., WANG, B., AND PERRAUD, J.-M.(2012). **Estimating the relative uncertainties sourced from GCMs and hydrological models in modeling climate change impact on runoff,** *J. Hydrometeorol.*, 13, 122–139, doi:10.1175/jhm-d-11-058.1.

TENG, J. N. J. POTTER, F. H. S. CHIEW, L. ZHANG, B. WANG, J. VAZE, AND J. P. EVANS (2015). **How does bias correction of regional climate model precipitation affect modelled runoff?** *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 711–728. doi:10.5194/hess-19-711-2015

TEUTSCHBEIN, C., WETTERHALL F. AND SEIBERT J. (2011) **Evaluation of different downscaling techniques for hydrological climate-change impact studies at the catchment scale.** *Clim Dynam* 1-19, doi:10.1007/s00382-010-0979-8.

TEUTSCHBEIN C.; SEIBERT J. (2012). **Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods.** *Journal of Hydrology* 456–457 (2012) 12–29.

THEMEßL, M. J., GOBIET, A., AND LEUPRECHT, A.(2011) **Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models,** *Int. J. Climatol.*, 31, 1530–1544, doi:10.1002/joc.2168.

TRENBERTH, K.E. JONES, P.D. (2007). **Observations: surface and atmospheric climate change.** In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M., CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.

B. TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (eds) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, 237 p.

TIAN, Y., XU, Y.P., ZHANG, X., (2013). **Assessment of climate change impacts on river high flows through comparative use of GR4J, HBV and Xinanjiang models**. *Water Resour. Manage.* 27 (8), 2871–2888.

TJERNSTRÖM, M., J. SEDLAR, AND M. D. SHUPE, (2008). **How well do regional climate models reproduce radiation and clouds in the Arctic?**, *J. App. Meteorol. Clim.*, **47**, 2405–2422.

TRENBERTH K.E., SMITH L., QIAN T., DAI A., FASULLO J. (2007) **Estimates of the global water budget and its annual cycle using observational and model data**. *J Hydrometeorol.* 8:758–769.

TODINI, E. (1996). **The ARNO rainfall runoff Model**. *Journal of Hydrology*, v.175, p. 293-338.

TOMASELLA, J., RODRIGUEZ, D. A., CUARTAS, L. A., FERREIRA, M., FERREIRA, J. C., AND MARENGO, J. (2008) **Study of the climate change impacts on surface water resources and groundwater levels in the Tocantins river basin**, (in Portuguese).

TORRES, R.R. (2014). **Análise de Incertezas em Projeções de Mudanças Climáticas na América do Sul**. 271p. Tese de Doutorado do (Curso de Pós-Graduação em Meteorologia). INPE. São José dos Campos, SP.

TUCCI, C. E. M.; DAMIANI, A. (1994). **Potenciais impactos das mudanças climáticas sobre a vazão do rio Uruguai**, *Revista Brasileira de Engenharia – Caderno de Recursos Hídricos*, ABRH, v12, n 2.~

TUCCI, C.E.M (2005). **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. UFRGS/ABRH.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (organizadores) 2003. **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. Editora ABRH. Porto Alegre.

UUSITALO, L., LEHIKONEN, A., HELLE, I.,MYRBERG, K. **An overview of methods to evaluate uncertainty of deterministic models in decision support**. (2015). *Environmental Modelling & Software* 63; 24-31.

VAN PELT, S.C., P. KABAT, H.W. TER MAAT, B.J.J.M. VAN DEN HURK, AND A.H. WEERTS, (2009). **Discharge simulations performed with a hydrological model using bias corrected regional climate model input**. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(12), 2387-2397.

VAN VUUREN, D.P. et al (2011). **Representative Concentration Pathways: An overview**. Climatic Change 109(1-2): 5-31.

VAZE, J., POST, D.A., CHIEW, F.H.S., PERRAUD, J.M., VINEY, N.R., TENG, J., (2010). **Climate non-stationarity – validity of calibrated rainfall-runoff models for use in climate change studies**. J. Hydrol. 394 (3–4), 447–457, doi : 16/j.jhydrol.2010.09.018.

VAUTARD R. et al (2013). **The simulation of European heat waves from an ensemble of regional climate models within the EURO-CORDEX project**. Clim Dyn (2013) 41:2555–2575 DOI 10.1007/s00382-013-1714-z

Climate change impact and uncertainty analysis of extreme rainfall events in the Apalachicola River basin, Florida. Journal of Hydrology 480 (2013) 125–135.

WANG,D., HAGEN, S.C., ALIZAD, K. (2011). **Potential increase in floods in California’s Sierra Nevada under future climate projections**. Climatic Change 109 (Suppl 1):S71–S94 DOI 10.1007/s10584-011-0298-z

TAPASH DAS&MICHAEL D. DETTINGER&DANIEL R. CAYAN&HUGO G. HIDALGO

WEBSTER M.D.; SOKOLOV. A.P. (2000). **A Methodology for Quantifying Uncertainty**. In Climate Projections. Climatic Change 46: 417–446.

WEHNER, M. (2013). **Methods of Projecting Future changes in Extremes**. In: **Extremes in a Changing Climate: Detection, Analysis and Uncertainty**. Editores: Amir AghaKouchak, David Easterling, Kuolin Hsu, Siegfried Schubert,Soroosh Sorooshia. Springer, London.

Wilby RL. (1994). **Modelling the relative impact of weather, landuse and groundwater abstraction on low flows**. National Rivers Authority, R&D Note 268.

WILBY, R.L., (2005). **Uncertainty in water resource model parameters used for climate change impact assessment**. Hydrol. Process. 19 (16), 3201–3219. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.5819>.

WILBY, R.L.; HARRIS, I., (2006). **A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low-flow scenarios for the River Thames, UK**. Water Resour. Res. 42 (2), W02419. <http://dx.doi.org/10.1029/2005WR004065>.

WILBY R. L.; FOWLER H. J. (2010). **Regional Climate Downscaling**. In: **Modelling the Impact of Climate Change and Water Resources**. Edited by: Fung, C. F., Lopez, A., and New, M. John Willey&Sons, 200 pp.

WILBY, R.L., HARRIS, I., (2006). **A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low-flow scenarios for the River Thames, UK**. Water Resour. Res. 42, W02419. <http://dx.doi.org/10.1029/2005WR004065>.

WINKLER et al (2011a). **Climate scenario development and applications for local/regional climate change impact assessments: An overview for the non-climate scientist.** Part I: Scenario development using downscaling methods. *Geography Compass* 5/6 275-300.

WINKLER ET AL (2011b). **Climate scenario development and applications for local/regional climate change impact assessments: An overview for the non-climate scientist.** Part II: Considerations when using climate change scenarios. *Geography Compass* 5/6 301-328.

WOOD, A. W., LEUNG, L. R., SRIDHAR, V., AND LETTENMAIER, D. P. (2004). **Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs,** *Clim. Change*, 62, 189–216, doi:10.1023/B:CLIM.0000013685.99609.9e.

WYSER, K., JONES, C. G., DU, P., GIRARD, E., WILLEN, U. AND CO-AUTHORS. (2008). **An evaluation of Arctic cloud and radiation processes during the SHEBA year: simulation results from eight Arctic regional climate models.** *Clim. Dyn.* 30, 203–223.

XU, C.Y. (1999). **From GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches.** *Progress in Physical Geography*, 23(2), pp. 229-249.

XU, C.Y. (1999a). **Climate Change and Hydrologic Models: A Review of Existing Gaps and Recent Research Developments.** *Water Resources Management*, 13, pp. 369-382.

XU, C.Y. (1999b). **Operational testing of a water balance model for predicting climate change impacts.** *Agricultural and Forest Meteorology* p. 295-304

XU, C.Y. (2000). **Modelling the effects of climate change on water resources in Central Sweden.** *Water Resources Management.*, 14, pp. 177-198.

YANG, W., J. ANDREASSON, L.P. GRAHAM, J. OLSSON, J. ROSBERG, AND F. WETTERHALL, (2010). **Distribution-based scaling to improve usability of regional climate model projections for hydrological climate change impacts studies.** *Hydrology Research*, 41(3-4), 211-229.

YUKIMOTO S. et al. (2001). **Climate Change of the twentieth through twenty-first centuries simulated by the MRI-CGCM2.3.** *Pap. Meteor. and Geophys.*, 51, 47-88.

YOSHIZAKI, M., et al., (2005). **Changes of Baiu (Mei-yu) frontal activity in the global warming climate simulated by a non-hydrostatic regional model.** *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, 1, 25–28.

ZHANG, X.C., NEARING, M.A., 2005a. **Impact of climate change on soil erosion, runoff, and wheat productivity in central Oklahoma.** *Catena* 61, 185–195.

ZHANG, X.C., (2005). **Spatial downscaling of global climate model output for sitespecific assessment of crop production and soil erosion.** Agric. For. Meteorol. 135, 215–229.

ZHANG, X.C., (2007). **A comparison of explicit and implicit spatial downscaling of GCM output for soil erosion and crop production assessments.** Clim. Change 84, 337–363.

ZHANG, X.C., LIU, W.Z., LI, Z., ZHENG, F.L., (2009). **Simulating site-specific impacts of climate change on soil erosion and surface hydrology in southern Loess Plateau of China.** Catena 79, 237–242.

ZHANG X.C.; W.-Z. LIUB, Z. LI C, J. CHEN (2011). **Trend and uncertainty analysis of simulated climate change impacts with multiple GCMs and emission scenarios.** Agricultural and Forest Meteorology 151 (2011) 1297– 1304.

ZHANG, Y.G., NEARING, M.A., ZHANG, X.C., XIE, Y., WEI, H., (2010). **Projected rainfall erosivity changes under climate change from multimodel and multiscenario projections in Northeast China.** J. Hydrol., doi:10.1016/j.jhydrol.2010.01.013.

ZHANG, X., YUE-PING, X., GUANGTAO, F. (2014).**Uncertainties in SWAT extreme flow simulation under climate change.** Journal of Hydrology 515 p.205–222.

ANEXO A

MODELO HIDROLÓGICO MGB/P1

Bacia 1 CÓD. 215 BARRA GRANDE

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	180.0	1.20	0.05	4.00	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	300.0	1.20	0.05	5.20	0.60	0.00	0.10
CP_RASO	180.0	1.20	0.05	4.00	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	300.0	1.20	0.05	5.20	0.60	0.00	0.10
AGR_RASO	180.0	1.20	0.05	4.00	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNDO	300.0	1.20	0.05	5.20	0.60	0.00	0.10
ÁGUA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	1000.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 2 COD. 216 CAMPOS NOVOS

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	150.0	1.00	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	80.0	1.00	0.05	2.20	0.60	0.00	0.10
CP_RASO	100.0	1.00	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	80.0	1.00	0.05	2.20	0.60	0.00	0.10
AGR_RASO	80.0	1.00	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNDO	90.0	1.00	0.05	2.20	0.60	0.00	0.10
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	500.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 3 CÓD. 092 ITÁ

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	100.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	180.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_RASO	100.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	150.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_RASO	70.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNDO	90.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	3000.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 4 Cód. 220 MONJOLINHO

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	180.0	0.10	0.30	7.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	220.0	0.10	0.40	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_RASO	120.0	0.10	0.40	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	160.0	0.10	0.40	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_RASO	200.0	0.10	0.08	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNDO	250.0	0.10	0.08	7.20	0.60	0.00	0.10
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	500.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 5 Cód. 286 QUEBRA QUEIXO

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	250.0	0.15	0.10	4.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	310.0	0.15	0.10	4.20	0.60	0.00	0.10
CP_RASO	200.0	0.15	0.10	4.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	240.0	0.15	0.10	4.20	0.60	0.00	0.10
AGR_RASO	320.0	0.40	0.05	4.20	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNDO	340.0	0.40	0.05	4.20	0.60	0.00	0.10
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	500.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 6 Cód. 292 ITAPIRANGA

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	150.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	200.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_RASO	100.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	150.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_RASO	80.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNDO	100.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	5000.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 7 Cód. 103 PASSO SÃO JOÃO

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	150.0	0.10	0.40	7.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	200.0	0.10	0.40	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_RASO	100.0	0.10	0.40	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	150.0	0.10	0.40	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_RASO	80.0	0.10	0.40	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNDO	100.0	0.10	0.20	7.20	0.60	0.00	0.10
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	5000.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

MODELO HIDROLÓGICO MGB/P2

Bacia 1 CÓD. 215 BARRA GARNDE

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	580.0	0.10	5.00	30.00	0.60	0.00	0.48
FL_FUNDO	800.0	0.10	5.00	13.20	0.60	0.00	0.80
CP_RASO	580.0	0.10	5.00	30.00	0.60	0.00	0.48
CP_FUNDO	800.0	0.10	5.00	13.20	0.60	0.00	0.80
AGR_RASO	580.0	0.10	5.00	30.00	0.60	0.00	0.48
AGR_FUNDO	800.0	0.10	5.00	15.20	0.60	0.00	0.80
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	50.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 2 COD. 216 CAMPOS NOVOS

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	100.0	0.12	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	120.0	0.12	0.05	2.20	0.60	0.00	0.12
CP_RASO	100.0	0.12	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	120.0	0.12	0.05	2.20	0.60	0.00	0.12
AGR_RASO	100.0	0.12	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNDO	120.0	0.12	0.05	2.20	0.60	0.00	0.12
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	3000.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 3 CÓD. 092 ITÁ

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	100.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	180.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_RASO	100.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	150.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_RASO	70.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNDO	90.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	1000.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 4 CÓD. 220 MONJOLINHO

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	950.0	0.10	2.30	4.20	0.60	0.00	0.80
FL_FUNDO	720.0	0.10	2.40	4.20	0.60	0.00	0.60
CP_RASO	620.0	0.10	2.40	4.20	0.60	0.00	0.50
CP_FUNDO	760.0	0.10	2.40	4.20	0.60	0.00	0.60
AGR_RASO	950.0	0.10	2.80	4.20	0.60	0.00	0.80
AGR_FUNDO	1000	0.10	2.80	4.20	0.60	0.00	0.90
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	150.00						
CB	100.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 5 CÓD. 286 QUEBRA QUEIXO

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	250.0	0.10	0.10	4.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	310.0	0.10	0.10	4.20	0.60	0.00	0.10
CP_RASO	200.0	0.10	0.10	4.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	240.0	0.10	0.10	4.20	0.60	0.00	0.10
AGR_RASO	320.0	0.10	0.10	4.20	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNO	340.0	0.10	0.05	4.20	0.60	0.00	0.10
ÁGUA	0.0	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	500.00						

QB_M3/SKM2 0.0100

Bacia 6 Cód. 292 ITAPIRANGA

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	150.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	200.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_RASO	100.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	150.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_RASO	80.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNDO	100.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	5000.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 7 Cód. 103 PASSO SÃO JOÃO

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	100.0	0.10	0.40	7.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	100.0	0.10	0.40	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_RASO	50.0	0.10	0.40	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	50.0	0.10	0.40	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_RASO	50.0	0.10	0.40	4.20	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNDO	50.0	0.10	0.20	4.20	0.60	0.00	0.10
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	1000.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

MODELO HIDROLÓGICO MGB/P3

Bacia 1 CÓD.215 BARRA GRANDE

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	480.0	0.10	10.00	20.00	0.60	0.00	0.48
FL_FUNDO	680.0	0.10	10.00	10.20	0.60	0.00	0.70
CP_RASO	460.0	0.10	10.00	20.00	0.60	0.00	0.48
CP_FUNDO	680.0	0.10	10.00	10.20	0.60	0.00	0.70
AGR_RASO	460.0	0.10	10.00	20.00	0.60	0.00	0.48
AGR_FUNDO	680.0	0.10	10.00	10.20	0.60	0.00	0.70
ÁGUA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	50.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 2 CÓD.216 CAMPOS NOVOS

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	100.0	0.12	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	120.0	0.12	0.05	2.20	0.60	0.00	0.12
CP_RASO	100.0	0.12	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	120.0	0.12	0.05	2.20	0.60	0.00	0.12
AGR_RASO	100.0	0.12	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNDO	120.0	0.12	0.05	2.20	0.60	0.00	0.12
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	3000.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 3 CÓD. 092 ITÁ

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	80.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	160.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.16
CP_RASO	80.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	130.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.13
AGR_RASO	50.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNDO	70.0	0.10	0.50	7.20	0.60	0.00	0.10
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	300.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 4 CÓD. 220 MONJOLINHO

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	450.0	1.10	2.30	4.20	0.60	0.00	0.45
FL_FUNDO	300.0	1.10	2.40	4.20	0.60	0.00	0.30
CP_RASO	300.0	1.10	2.40	4.20	0.60	0.00	0.30
CP_FUNDO	300.0	1.10	2.40	4.20	0.60	0.00	0.30
AGR_RASO	500.0	1.10	2.80	4.20	0.60	0.00	0.50
AGR_FUNDO	550.0	1.10	2.80	4.20	0.60	0.00	0.55
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	150.00						
CB	100.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 5 CÓD. 286 QUEBRA QUEIXO

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	250.0	0.10	0.10	4.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	310.0	0.10	0.10	4.20	0.60	0.00	0.10
CP_RASO	200.0	0.10	0.10	4.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	240.0	0.10	0.10	4.20	0.60	0.00	0.10
AGR_RASO	320.0	0.10	0.10	4.20	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNO	340.0	0.10	0.05	4.20	0.60	0.00	0.10
ÁGUA	0.0	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	500.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 6 CÓD. 508 ITAPIRANGA

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	100.0	0.20	4.50	13.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	150.0	0.20	4.50	13.20	0.60	0.00	0.15
CP_RASO	90.0	0.20	4.50	13.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	90.0	0.10	4.50	13.20	0.60	0.00	0.10
AGR_RASO	100.0	0.10	4.50	13.20	0.60	0.00	0.08
AGR_FUNDO	100.0	0.10	4.50	13.20	0.60	0.00	0.08
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	1000.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 7

CÓD. 103 PASSO SÃO JOÃO

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FL_RASO	100.0	0.10	6.40	6.20	0.60	0.00	0.10
FL_FUNDO	100.0	0.10	6.40	6.20	0.60	0.00	0.10
CP_RASO	100.0	0.10	6.40	6.20	0.60	0.00	0.10
CP_FUNDO	100.0	0.10	6.40	6.20	0.60	0.00	0.10
AGR_RASO	100.0	0.10	6.40	3.20	0.60	0.00	0.10
AGR_FUNDO	100.0	0.10	6.20	3.20	0.60	0.00	0.10
ÁGUA	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	90.00						
CB	10000.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

ANEXO B

RESULTADOS DA MODELAGEM HIDROLÓGICA DAS PROJEÇÕES CLIMÁTICAS DE CT40, LOW, MID, HIGH, CT20, GFCM, HADC, MPEH, MRCG E NCCC.

SUB-BACIA BARRA GRANDE (código 215)

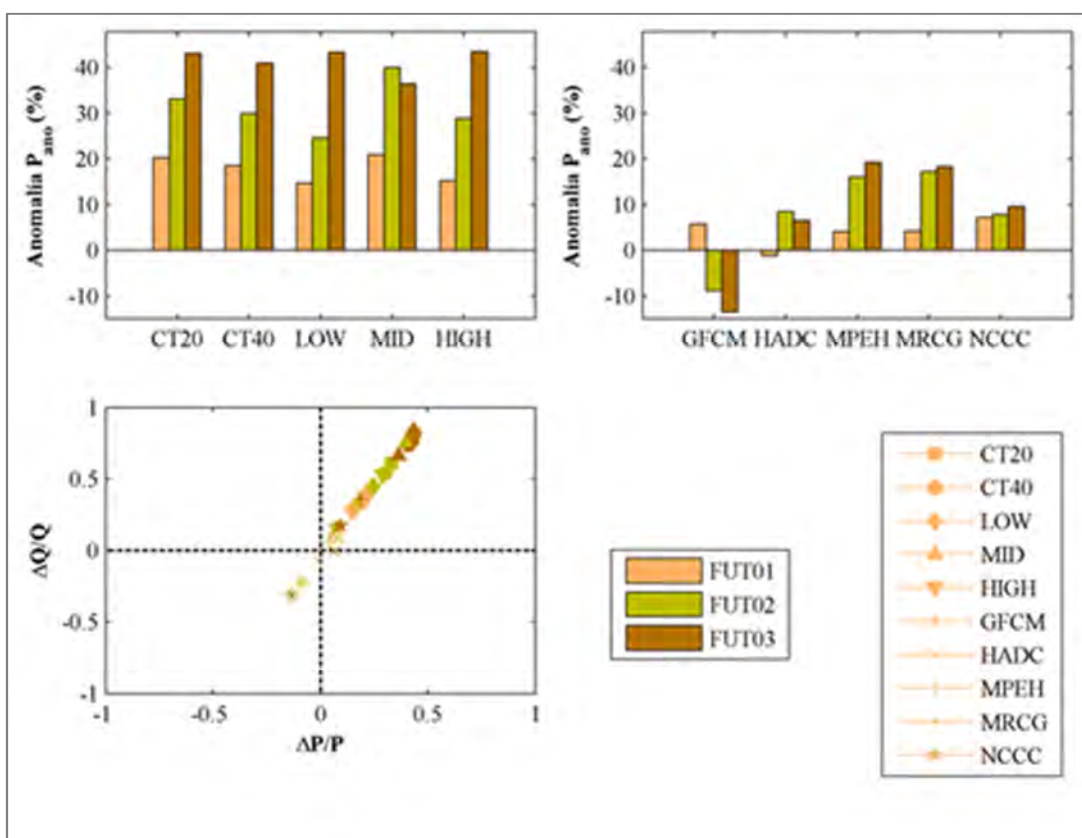


Figura 1 – Anomalias de precipitação em relação ao período atual (período de referência) e variação de vazão em função da variação de precipitação projetadas pelos modelos regionais e globais para os futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Barra Grande.

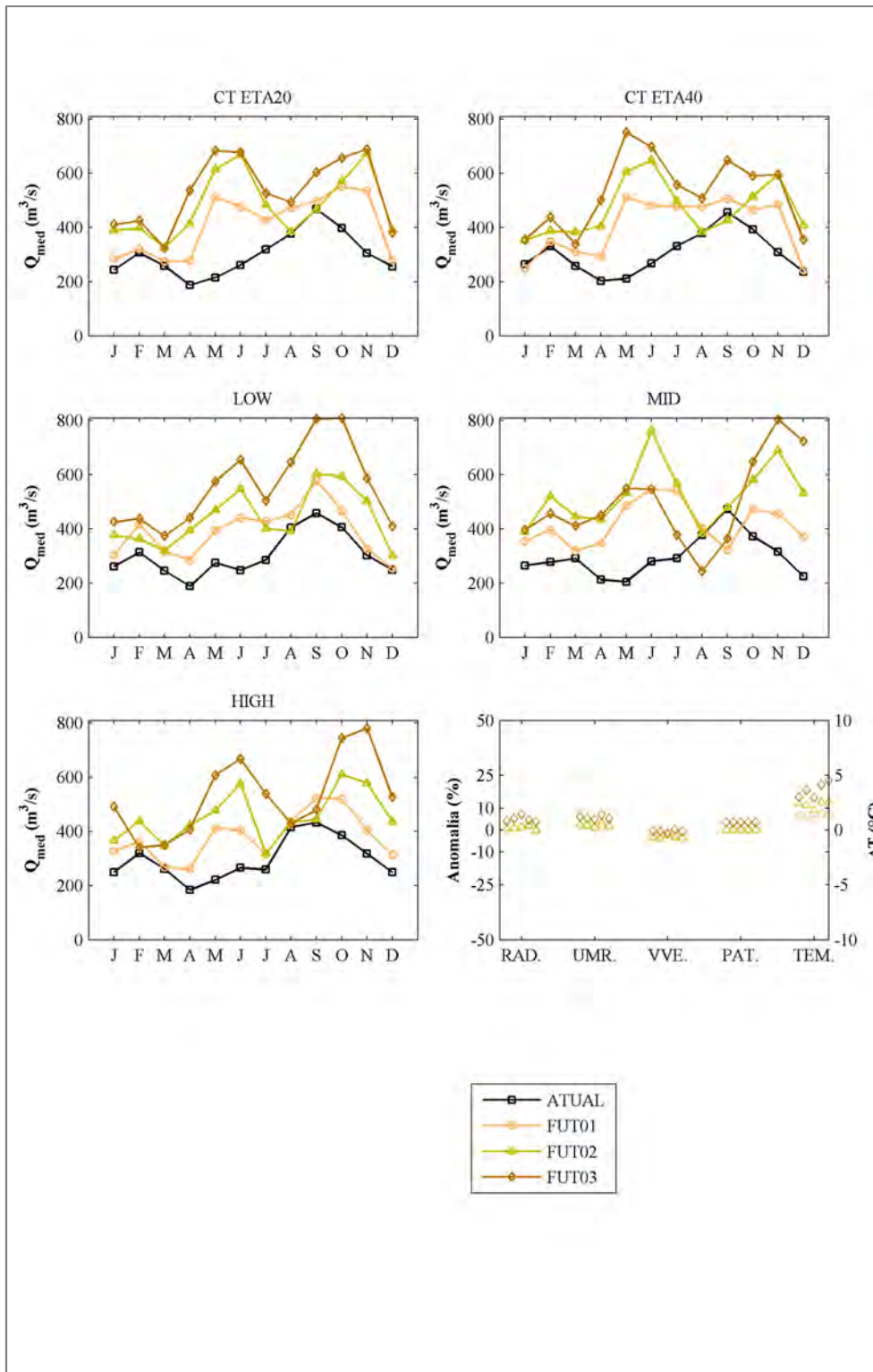


Figura 2 - Mudanças previstas para a vazão média em relação à vazão média atual e anomalias de temperatura e precipitação projetadas pelos modelos regionais CT40, LOW, MID, HIGH e CT20. Sub-bacia Barra Grande.

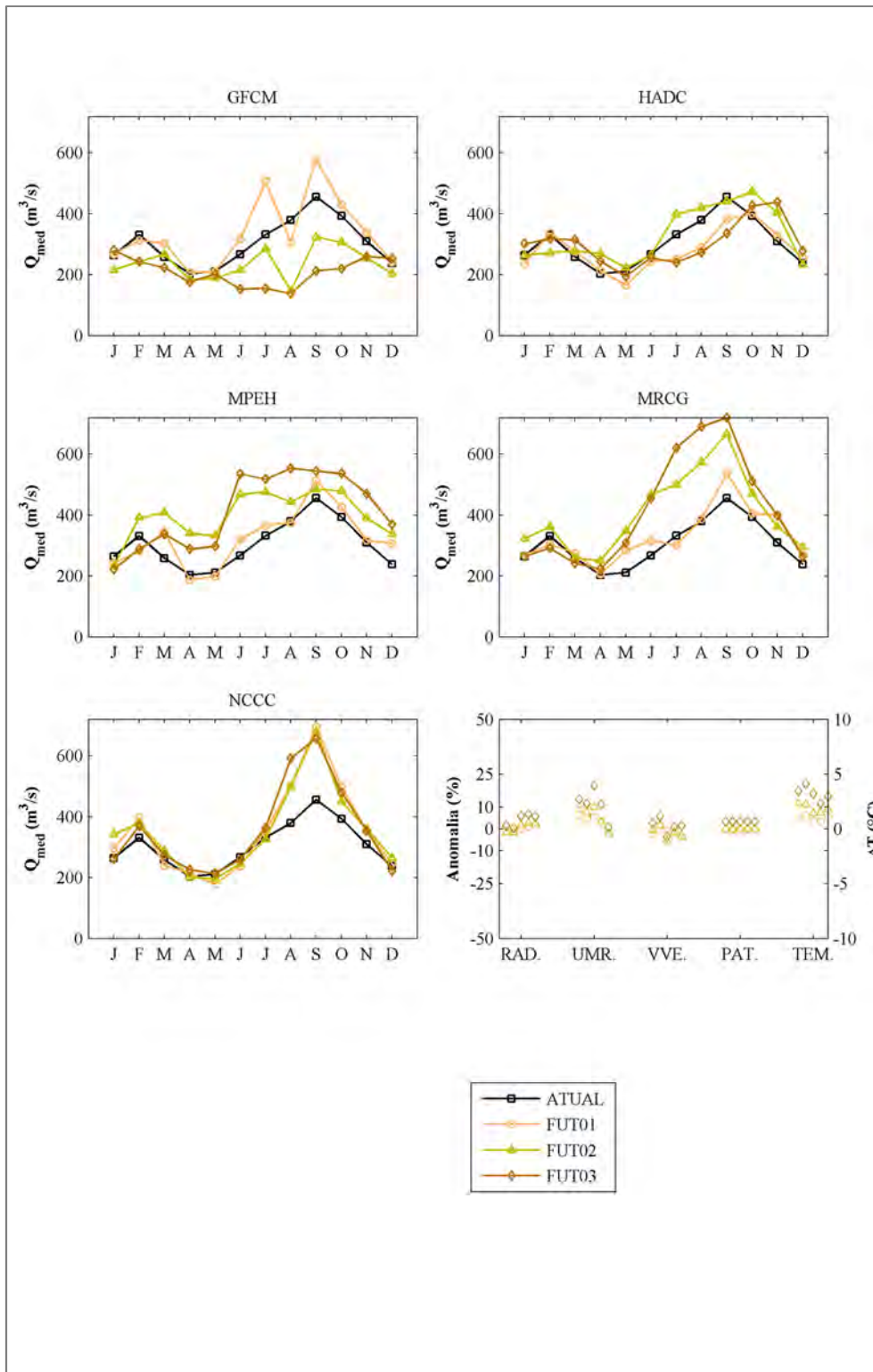


Figura 3 - Mudanças previstas para a vazão média em relação à vazão média atual e anomalias de temperatura e precipitação projetadas pelos modelos globais GFCM, HADC, MPEH, MRCG e NCCC. Sub-bacia Barra Grande.

SUB-BACIA CAMPOS NOVOS (código 216)

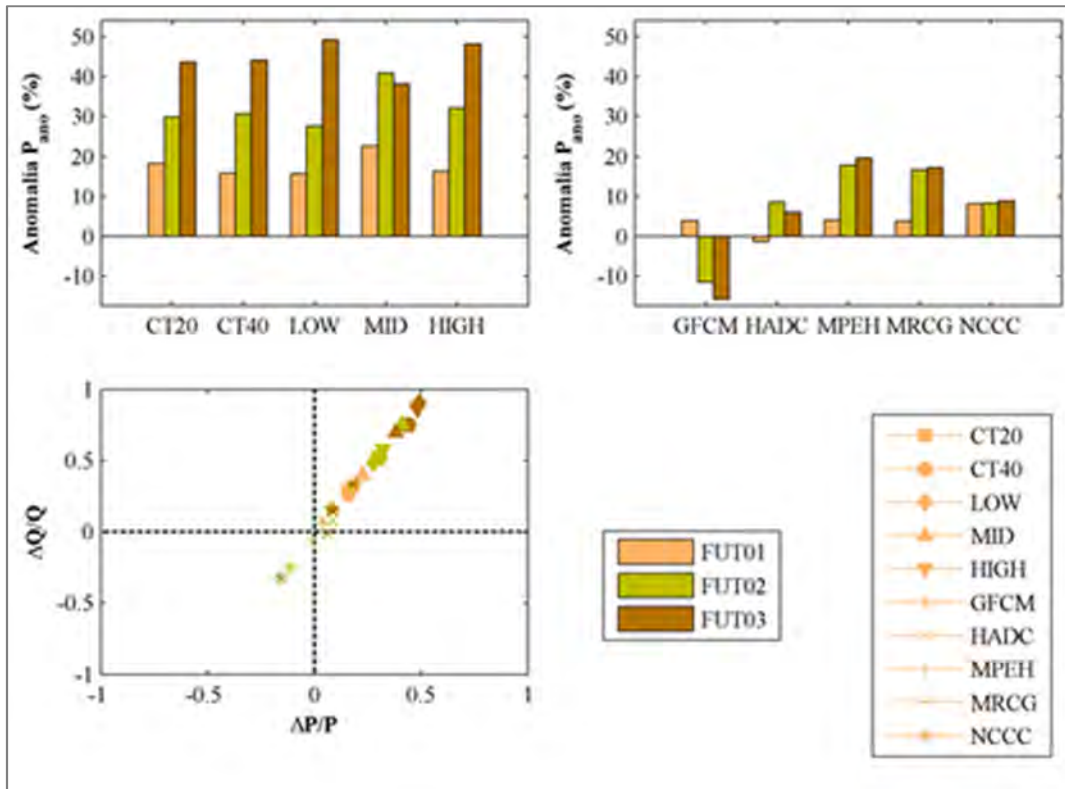


Figura 4 – Anomalias de precipitação em relação ao período atual (período de referência) e variação de vazão em função da variação de precipitação projetadas pelos modelos regionais e globais para os futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Campos Novos.

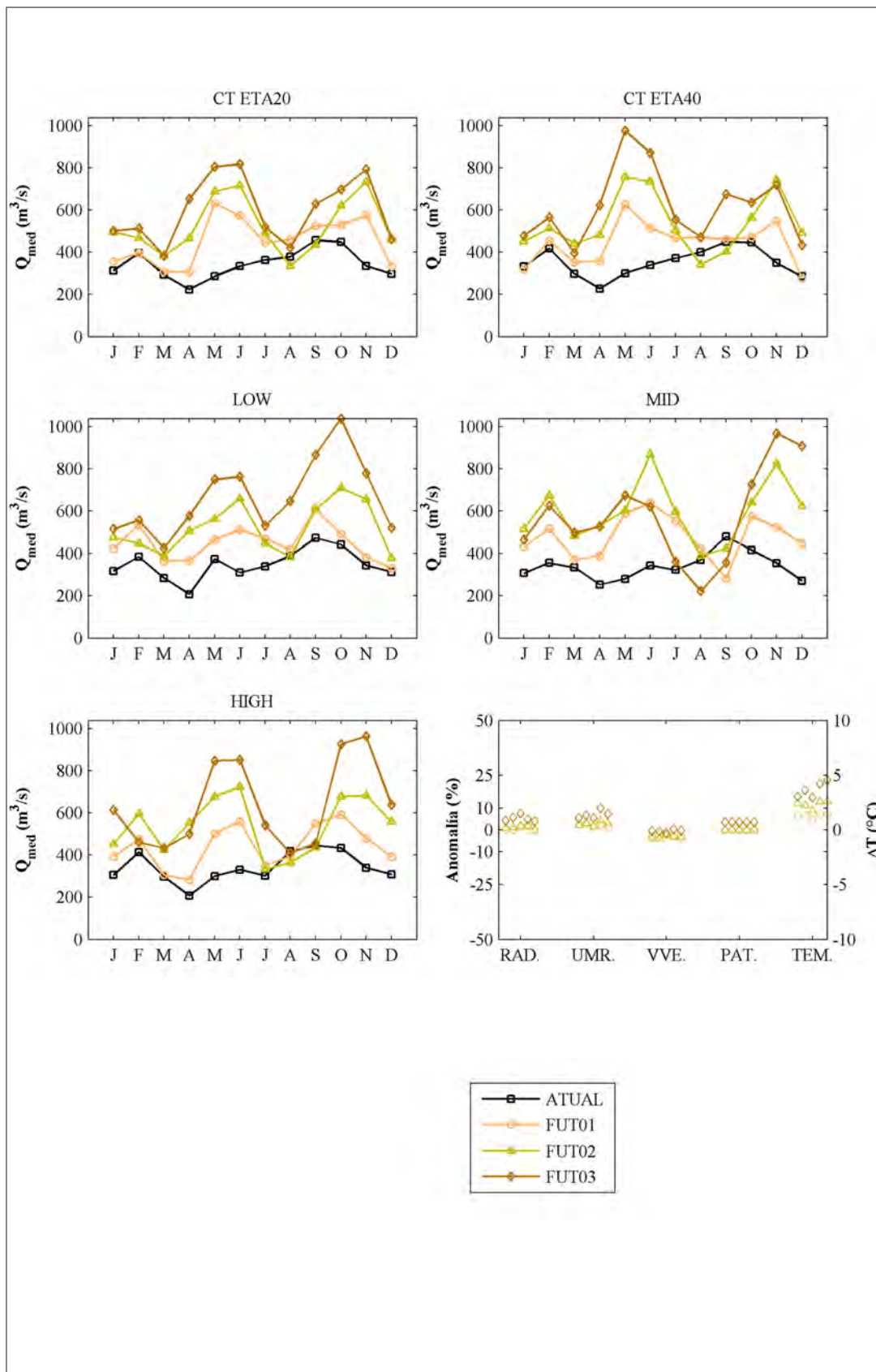


Figura 5 - Mudanças previstas para a vazão média em relação à vazão média atual e anomalias de temperatura e precipitação projetadas pelos modelos regionais CT40, LOW, MID, HIGH e CT20. Sub-bacia Campos Novos.

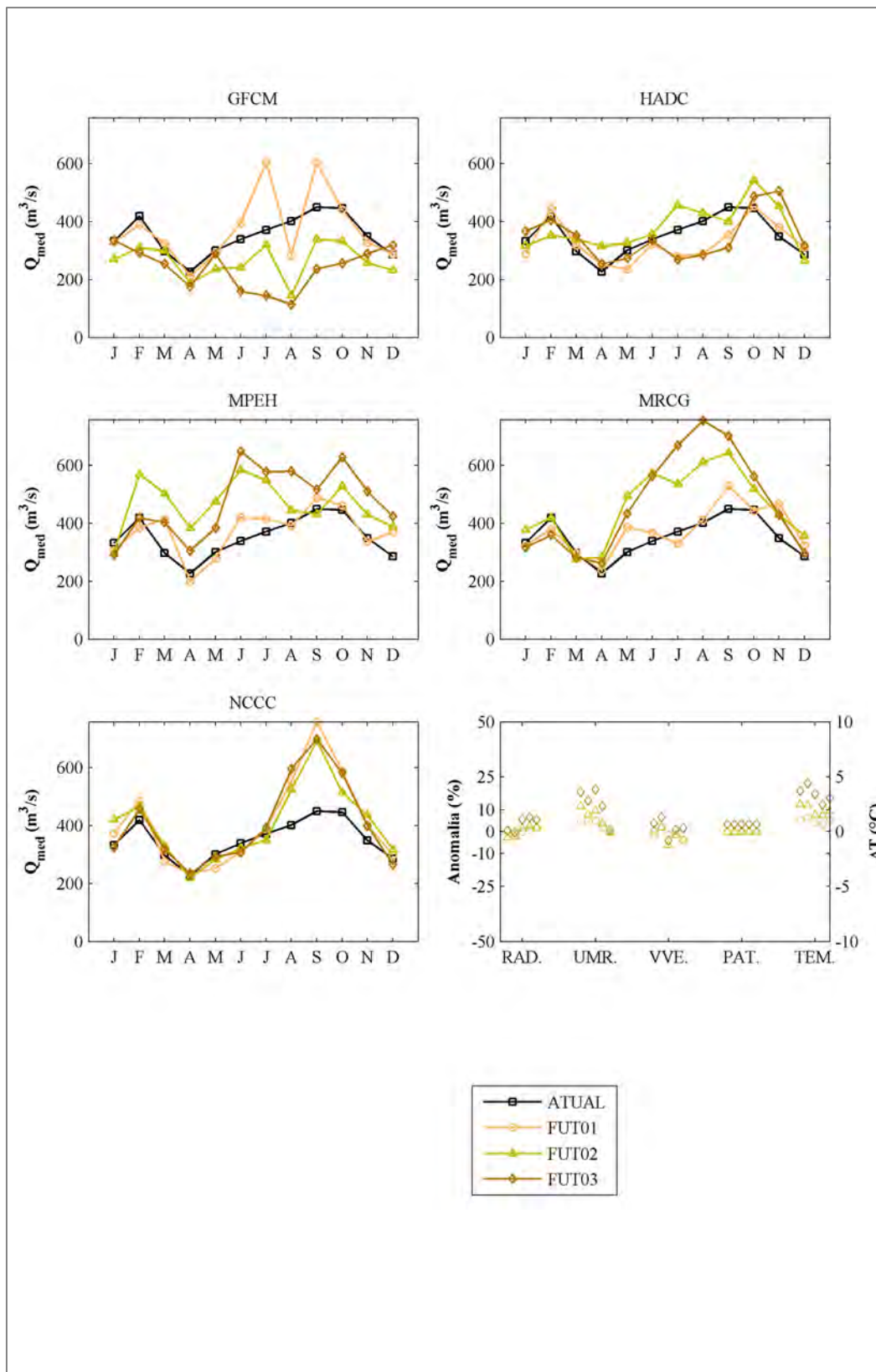


Figura 6 - Mudanças previstas para a vazão média em relação à vazão média atual e anomalias de temperatura e precipitação projetadas pelos modelos globais GFCM, HADC, MPEH, MRCG e NCCC. Sub-bacia Campos Novos.

SUB-BACIA ITÁ (código 092)

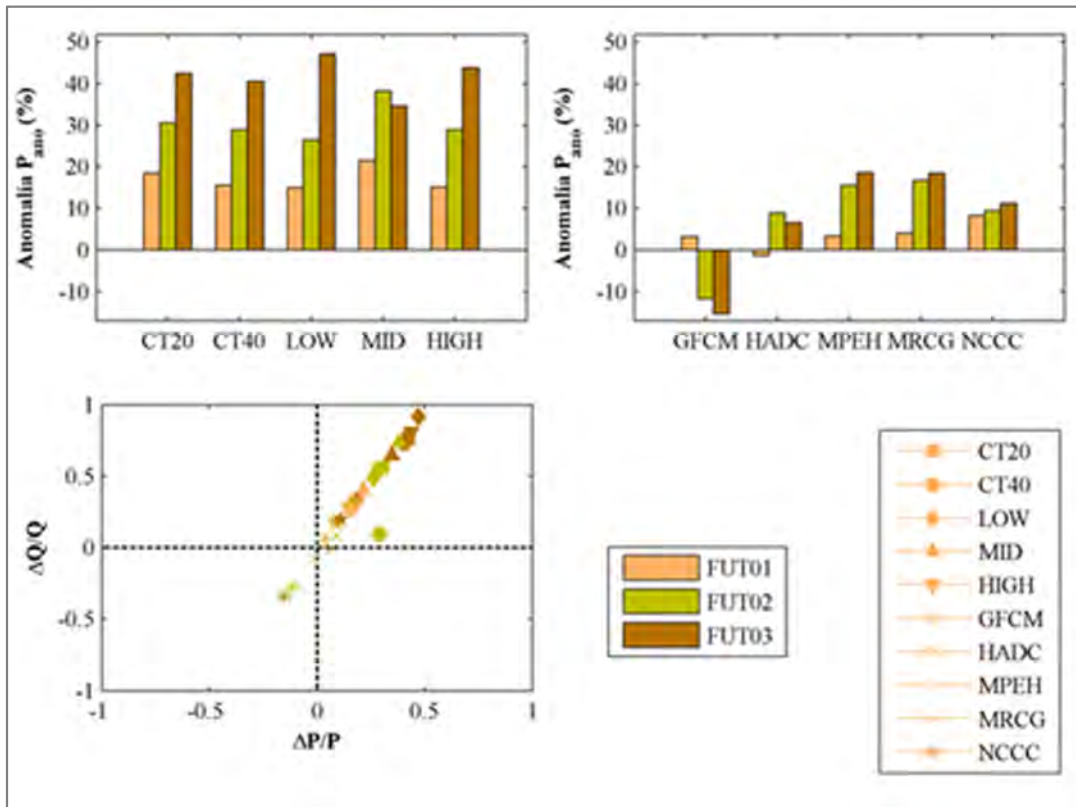


Figura 7 – Anomalias de precipitação em relação ao período atual (período de referência) e variação de vazão em função da variação de precipitação projetadas pelos modelos regionais e globais para os futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Itá.

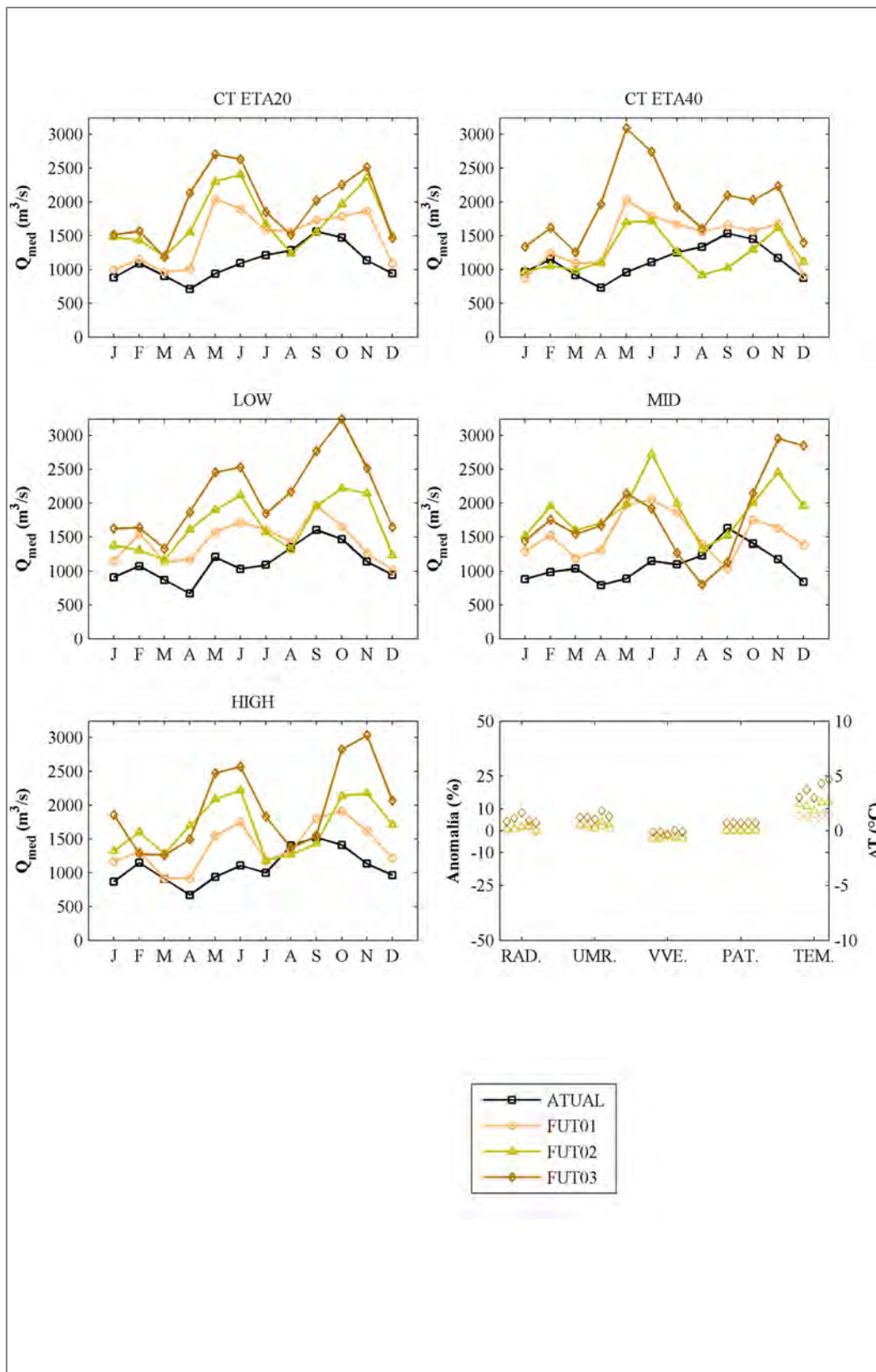


Figura 8 - Mudanças previstas para a vazão média em relação à vazão média atual e anomalias de temperatura e precipitação projetadas pelos modelos regionais CT40, LOW, MID, HIGH e CT20. Sub-bacia Itá.

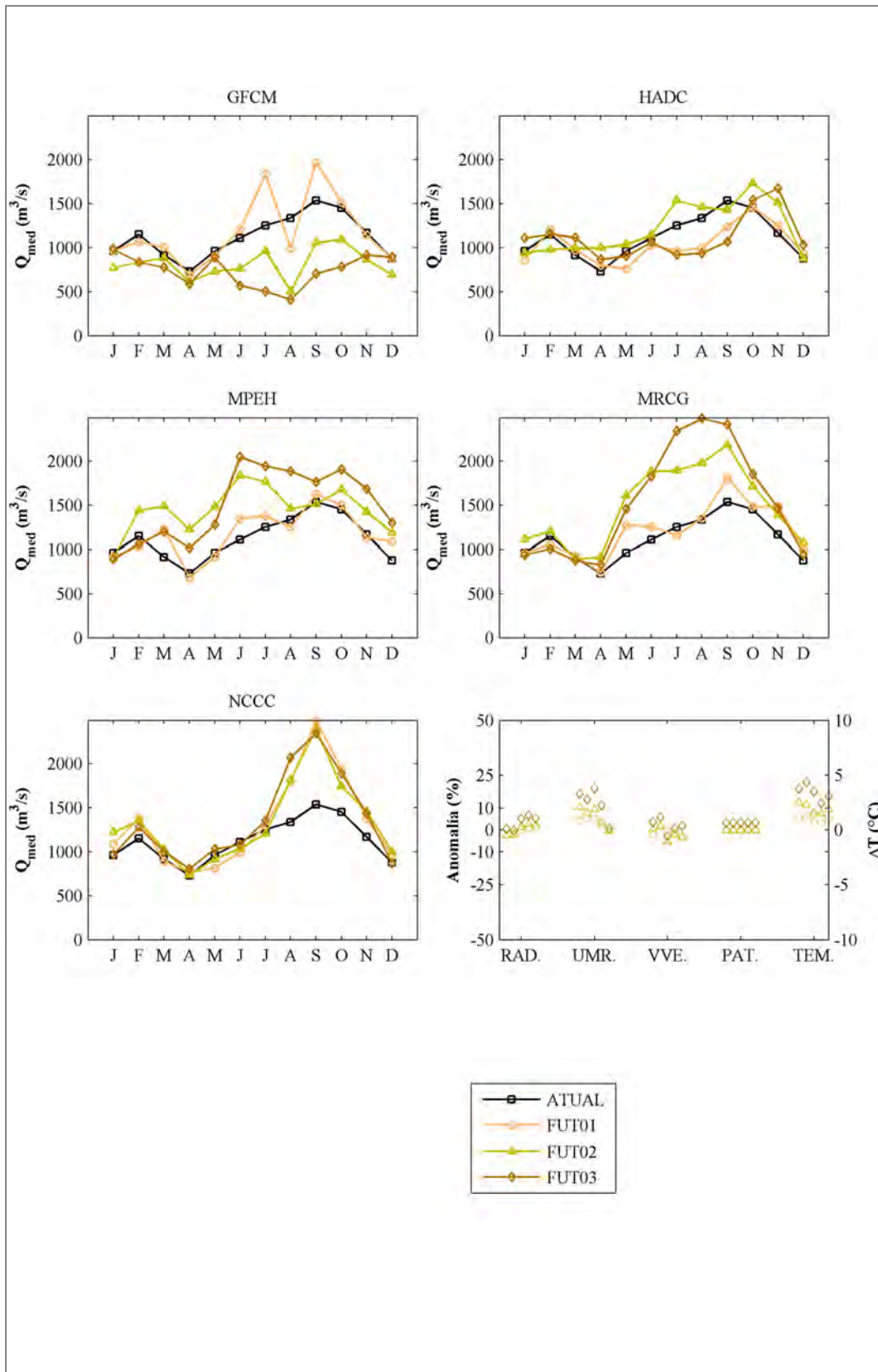


Figura 9 - Mudanças previstas para a vazão média em relação à vazão média atual e anomalias de temperatura e precipitação projetadas pelos modelos globais GFCM, HADC, MPEH, MRCG e NCCC. Sub-bacia Itá.

SUB-BACIA MONJOLINHO (código 220)

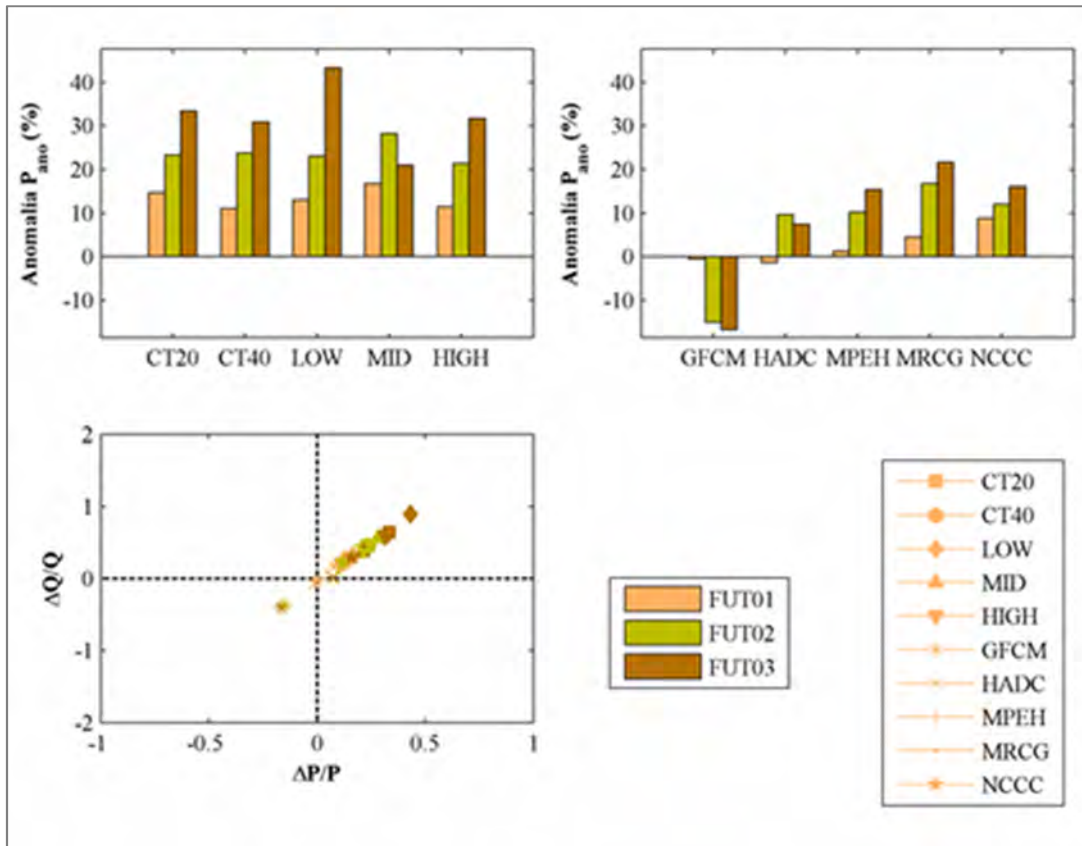


Figura 10 – Anomalias de precipitação em relação ao período atual (período de referência) e variação de vazão em função da variação de precipitação projetadas pelos modelos regionais e globais para os futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Monjolinho.

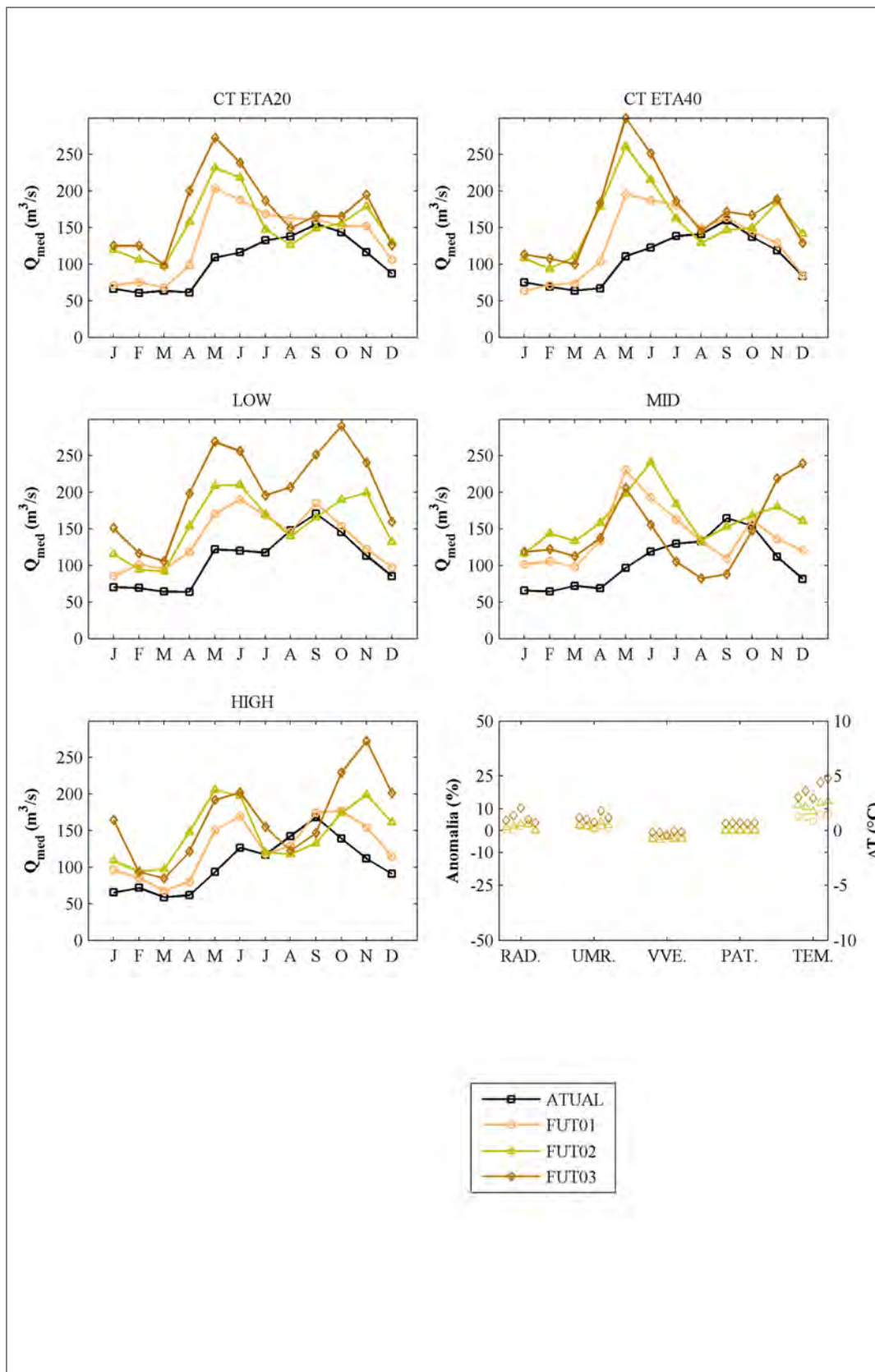


Figura 11 - Mudanças previstas para a vazão média em relação à vazão média atual e anomalias de temperatura e precipitação projetadas pelos modelos regionais CT40, LOW, MID, HIGH e CT20. Sub-bacia Monjolinho.

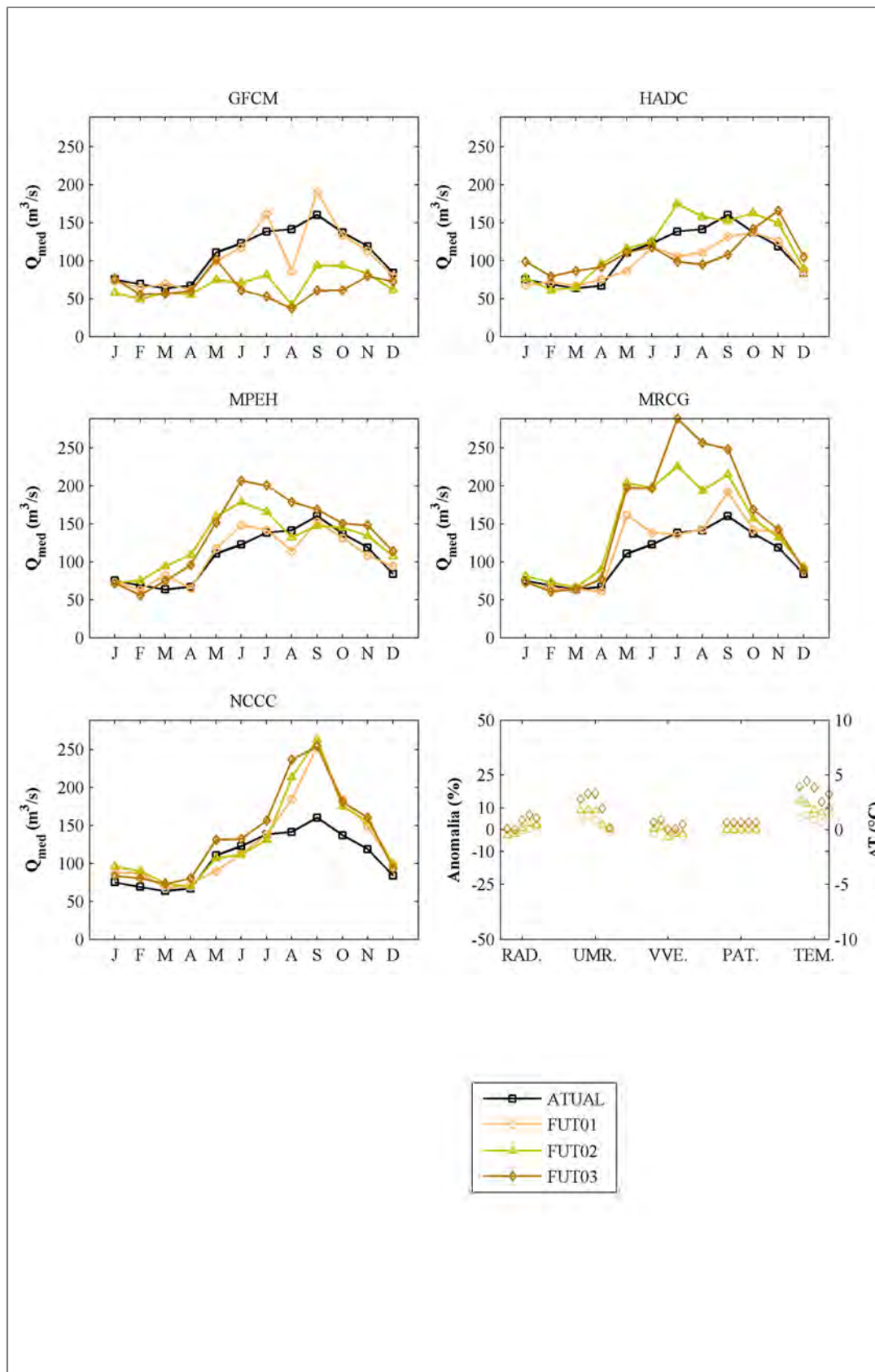


Figura 12 - Mudanças previstas para a vazão média em relação à vazão média atual e anomalias de temperatura e precipitação projetadas pelos modelos globais GFCM, HADC, MPEH, MRCG e NCCC. Sub-bacia Monjolinho.

SUB-BACIA QUEBRA QUEIXO (código 286)

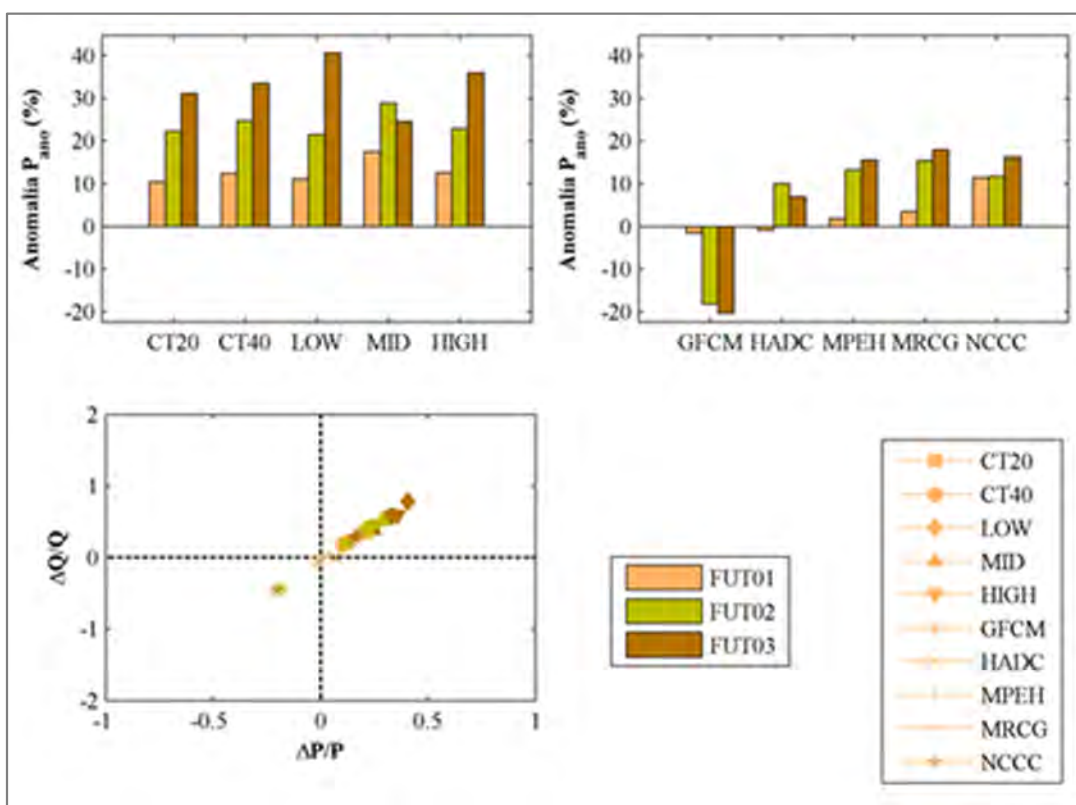


Figura 13 – Anomalias de precipitação em relação ao período atual (período de referência) e variação de vazão em função da variação de precipitação projetadas pelos modelos regionais e globais para os futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Quebra Queixo.

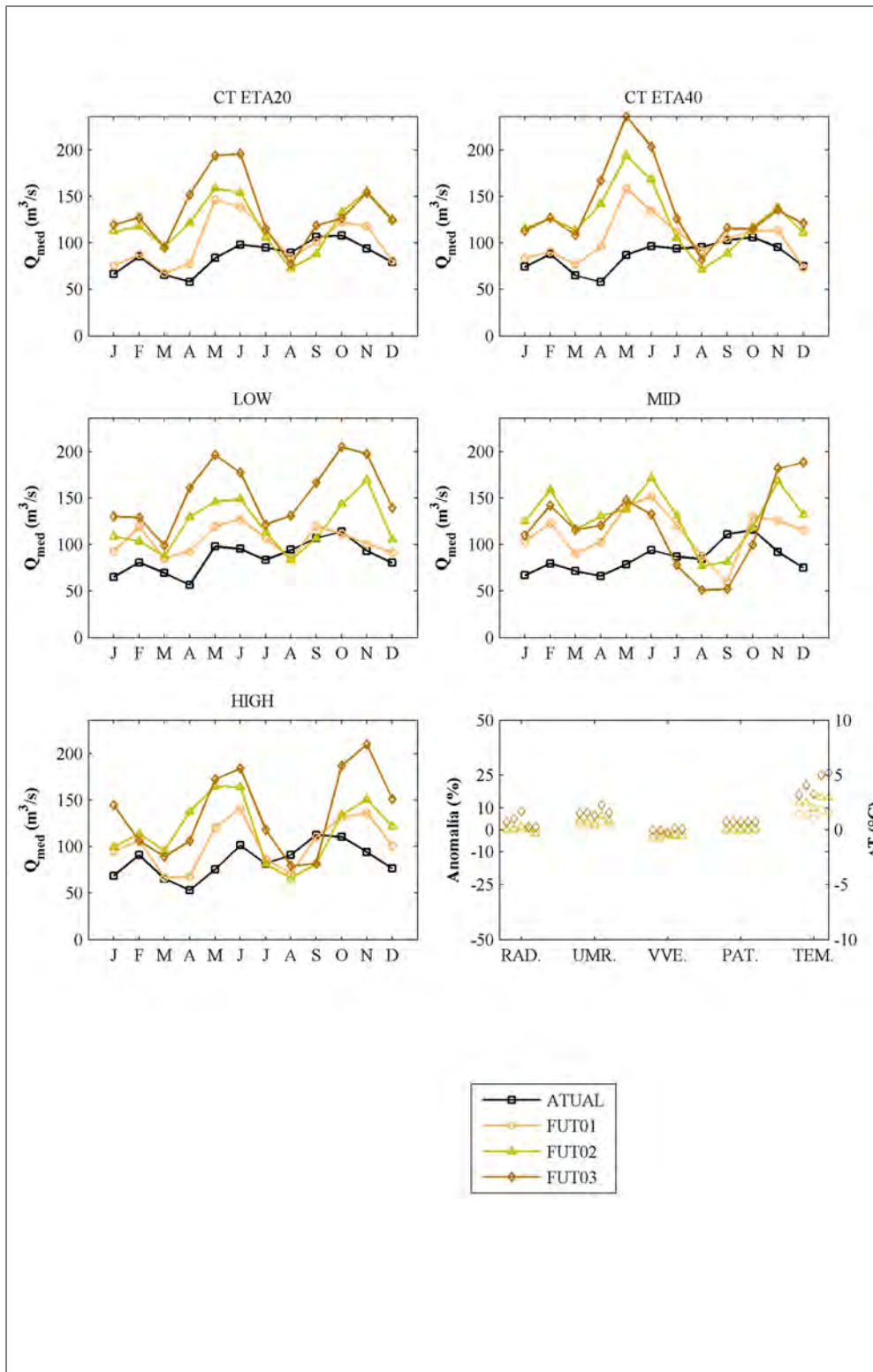


Figura 14 - Mudanças previstas para a vazão média em relação à vazão média atual e anomalias de temperatura e precipitação projetadas pelos modelos regionais CT40, LOW, MID, HIGH e CT20. Sub-bacia Quebra Queixo.

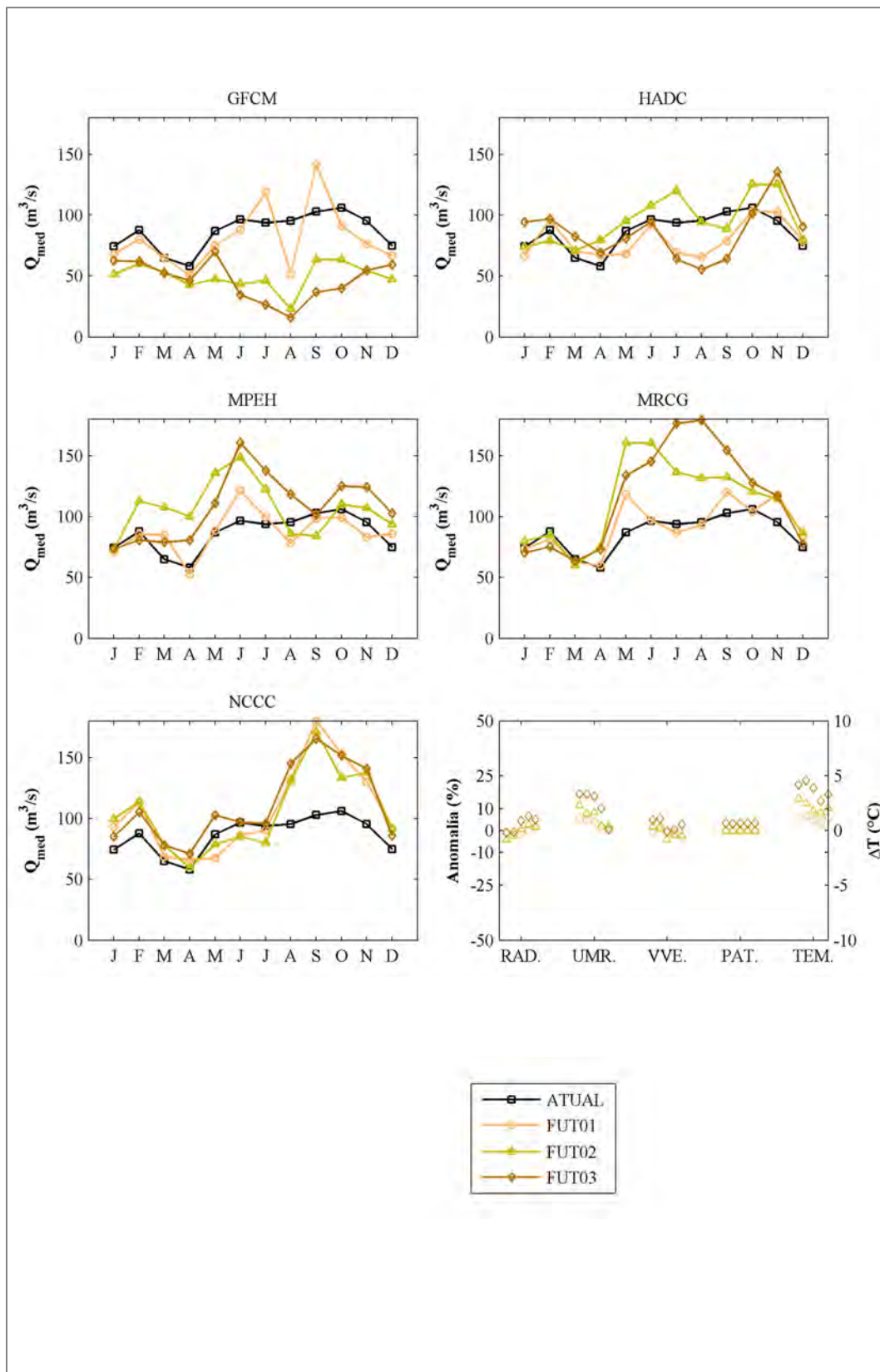


Figura 15 - Mudanças previstas para a vazão média em relação à vazão média atual e anomalias de temperatura e precipitação projetadas pelos modelos globais GFCM, HADC, MPEH, MRCG e NCCC. Sub-bacia Quebra Queixo.

SUB-BACIA ITAPIRANGA (código 292)

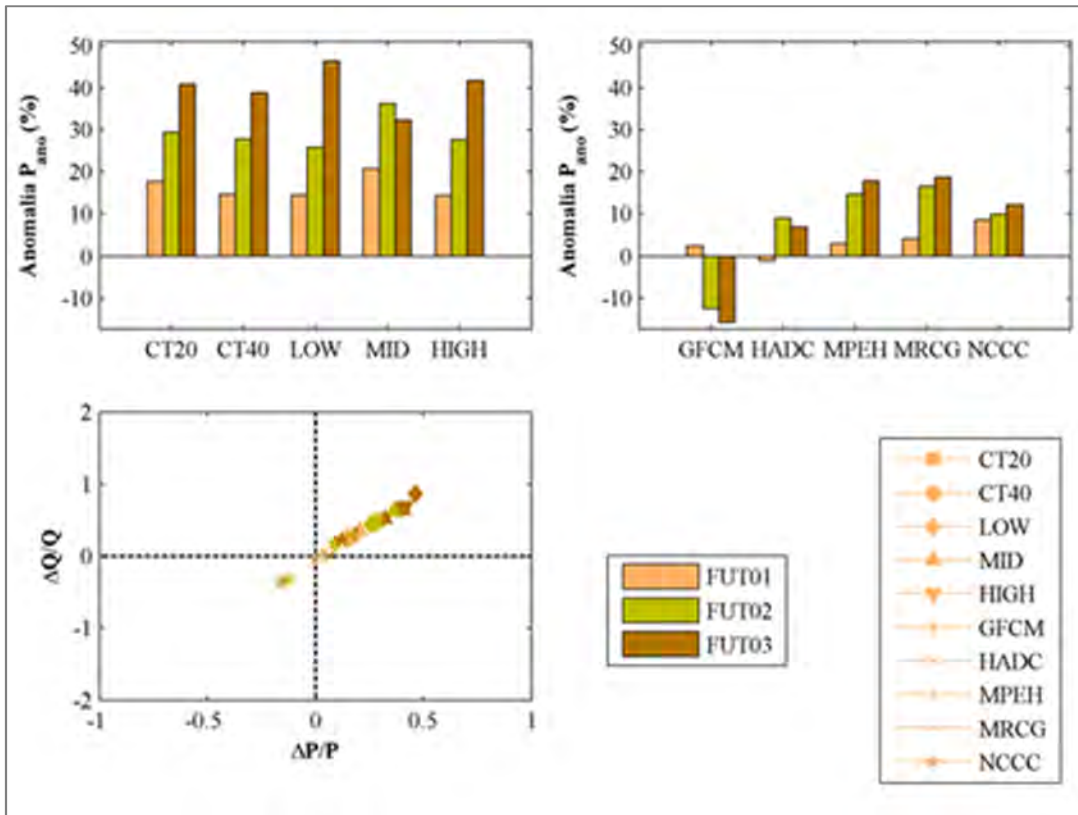


Figura 16 – Anomalias de precipitação em relação ao período atual (período de referência) e variação de vazão em função da variação de precipitação projetadas pelos modelos regionais e globais para os futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Itapiranga.

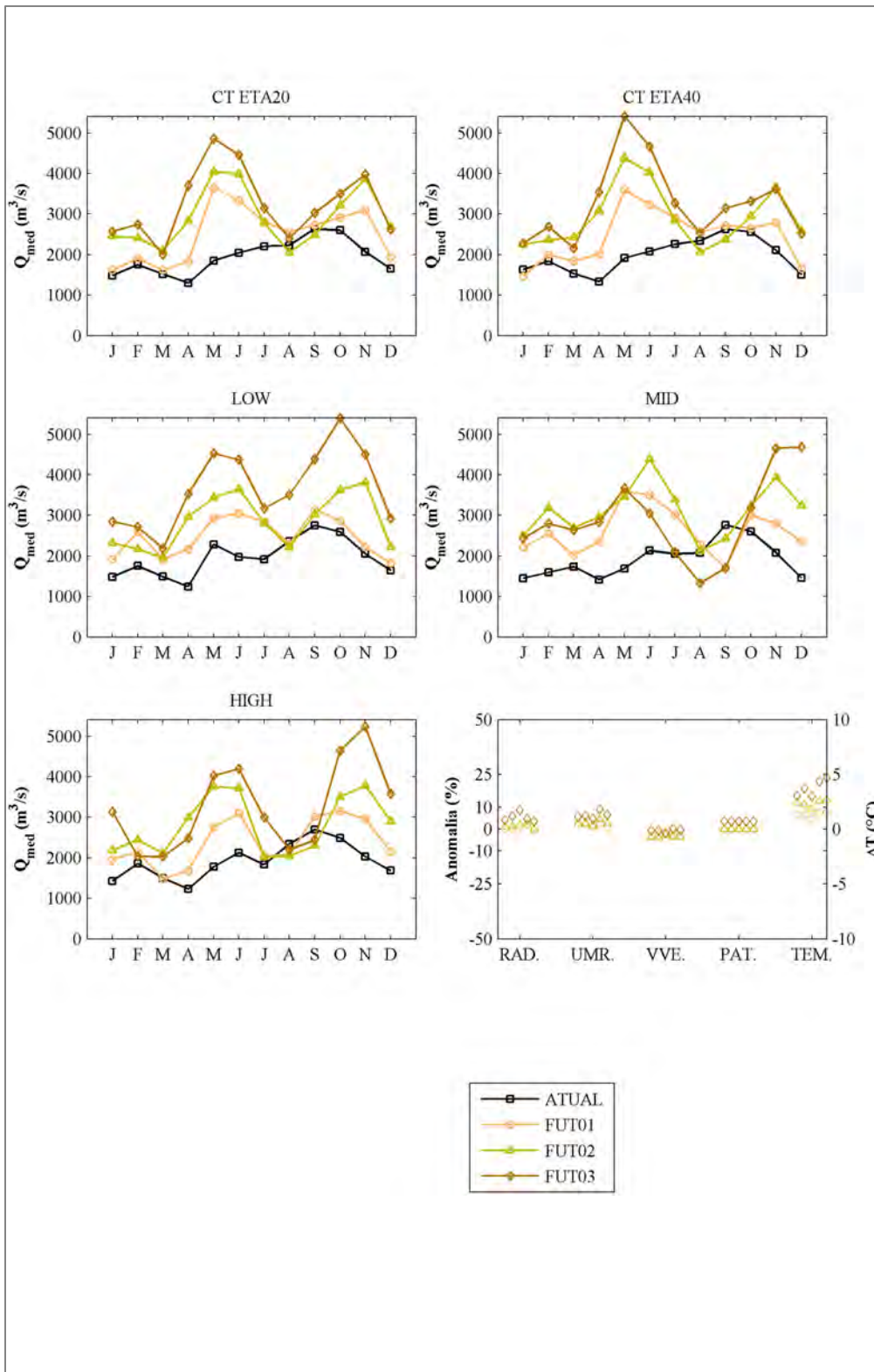


Figura 17 - Mudanças previstas para a vazão média em relação à vazão média atual e anomalias de temperatura e precipitação projetadas pelos modelos regionais CT40, LOW, MID, HIGH e CT20. Sub-bacia Itapiranga.

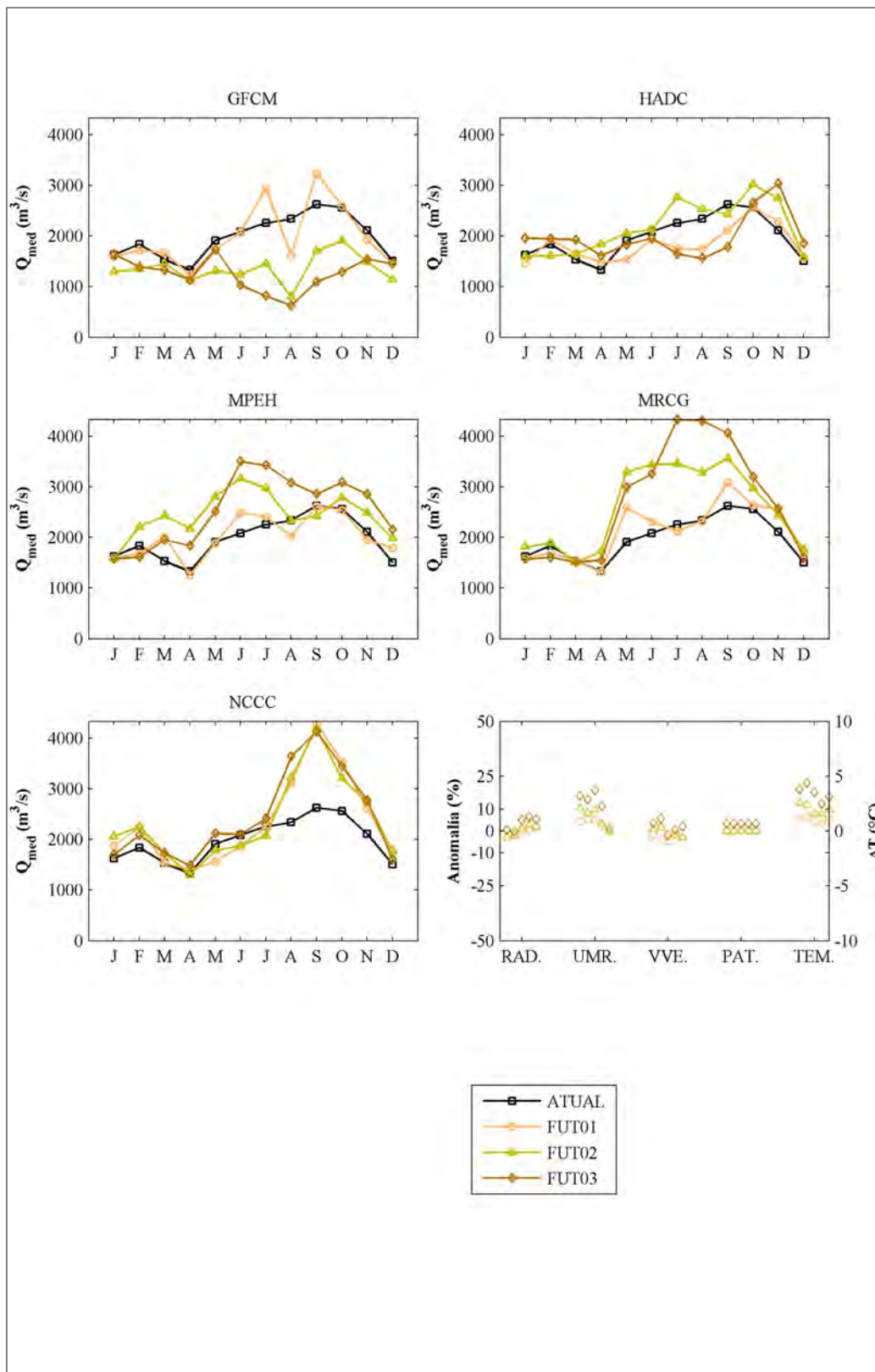


Figura 18 - Mudanças previstas para a vazão média em relação à vazão média atual e anomalias de temperatura e precipitação projetadas pelos modelos globais GFCM, HADC, MPEH, MRCG e NCCC. Sub-bacia Itapiranga.

SUB-BACIA PASSO SÃO JOÃO (código 103)

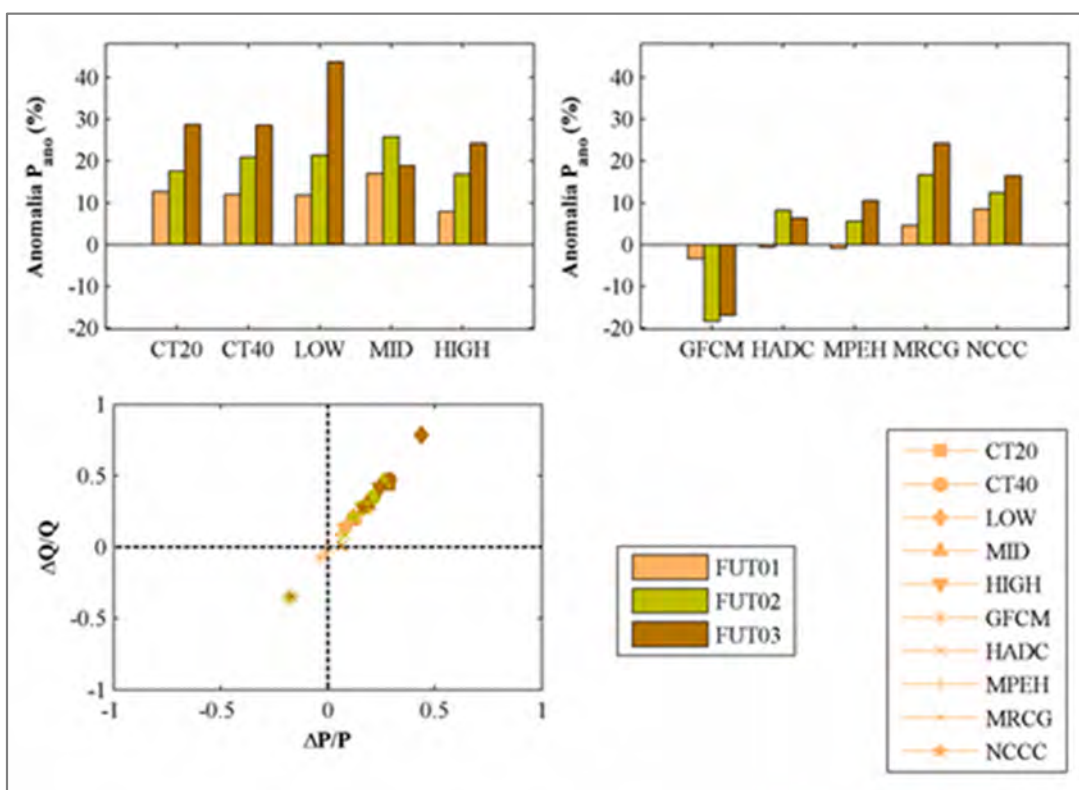


Figura 19 – Anomalias de precipitação em relação ao período atual (período de referência) e variação de vazão em função da variação de precipitação projetadas pelos modelos regionais e globais para os futuros 1, 2 e 3. Sub-bacia Passo São João.

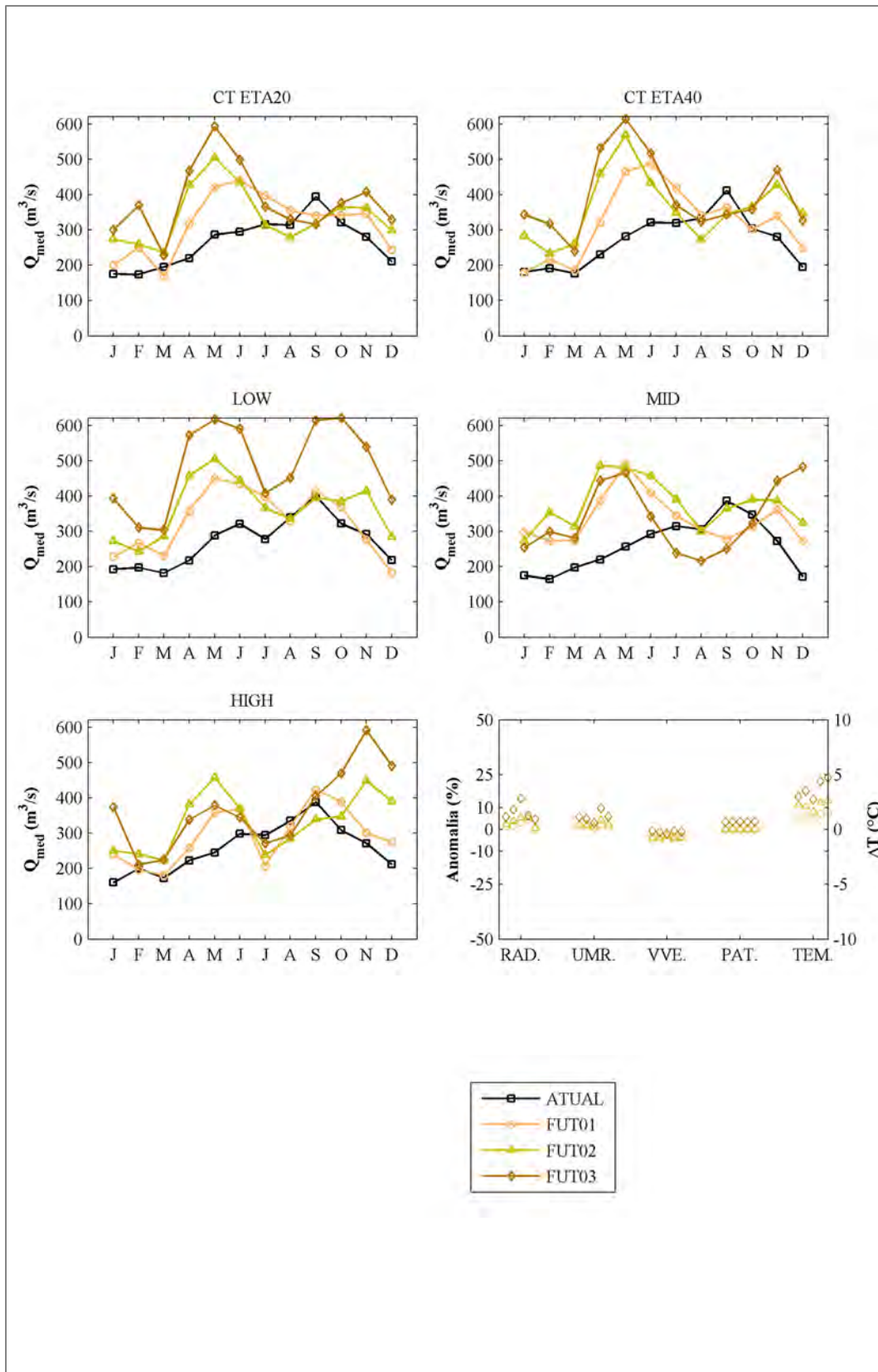


Figura 17 - Mudanças previstas para a vazão média em relação à vazão média atual e anomalias de temperatura e precipitação projetadas pelos modelos regionais CT40, LOW, MID, HIGH e CT20. Passo São João.

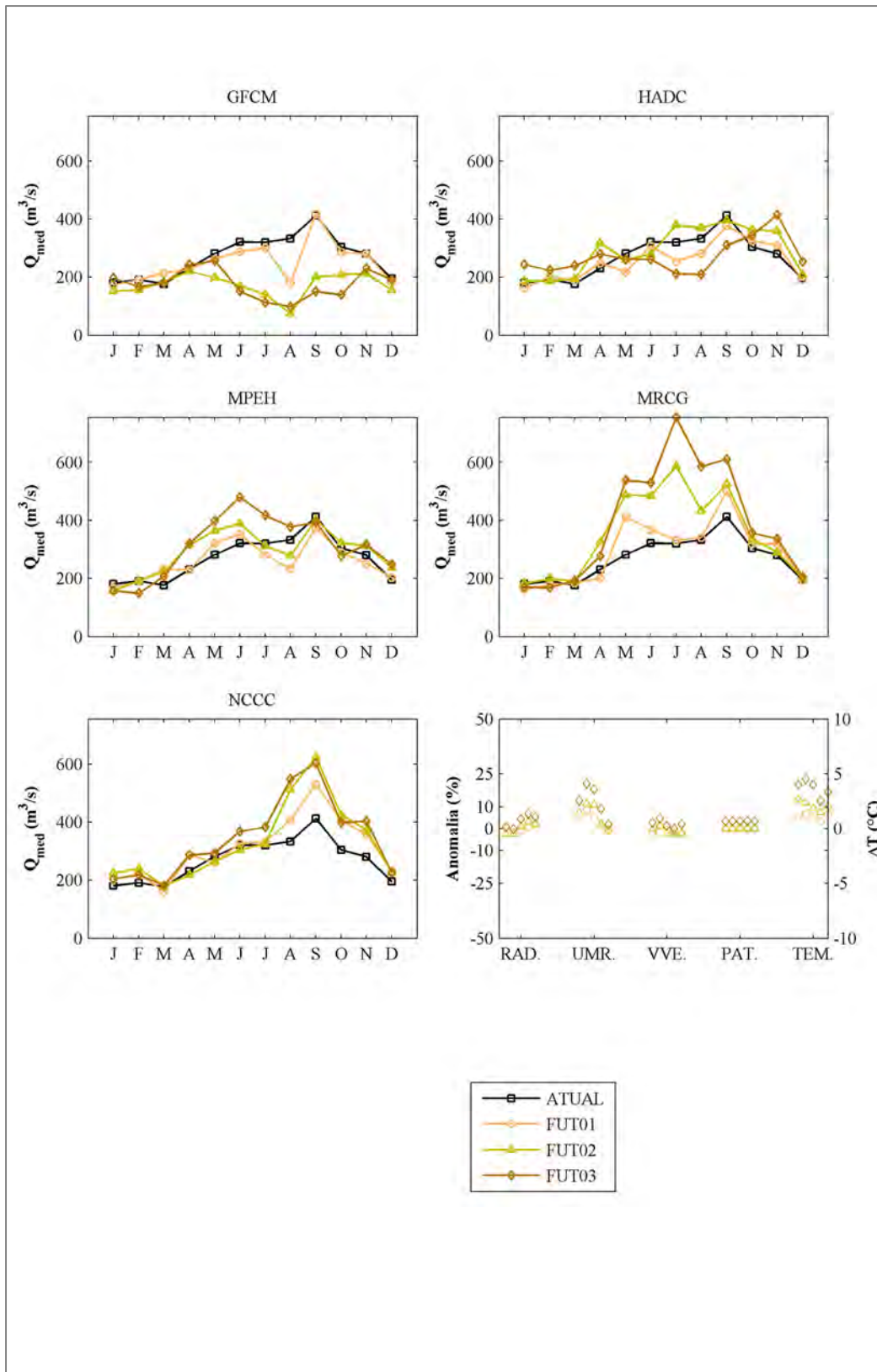


Figura 21 - Mudanças previstas para a vazão média em relação à vazão média atual e anomalias de temperatura e precipitação projetadas pelos modelos globais GFCM, HADC, MPEH, MRCG e NCCC. Sub-bacia Passo São João.

ANEXO C

Tabela 1- Sumário estatístico das séries de vazões máximas e mínimas anuais.

Modelos Climáticos Globais

Estadística	Atual	Fut 1	Fut2	Fut3	Atual	Fut1	Fut2	Fut 3
Vazões Máximas Anuais				Vazões Mínimas Anuais				
Itapiranga CT40								
P5%	3359.94	3355.54	4239.06	5290.32	93.09	136.19	131.04	197.60
Med	9561.46	12593.42	14558.37	16031.37	266.60	357.95	425.32	430.93
P 95%	19154.36	23425.87	21353.69	34372.02	694.38	900.53	889.85	1076.49
Var	18351688.6	36094803.4	24943288	4449223	28418.68	49032.85	36487.14	49915.43
Itapiranga LOW								
P5%	3731.7	4241.555	8125.088	11230.79	103.91	161.55	137.34	292.21
Med	10006.03	13246.09	14018.23	15927.4	302.64	362.46	481.33	678.21
P 95%	19987.37	23343.02	22184.26	25363.14	602.08	729.81	864.67	1117.15
Var	2443728	38253519	19682339	21602711	29647.39	39487.61	73000.94	68111.36
Itapiranga MID								
P5%	4414.86	7217.82	8155.29	9581.99	143.85	269.42	244.58	168.40
Med	8799.95	11250.47	14377.44	13367.59	352.40	518.43	520.14	343.52
P 95%	15357.04	23432.45	20534.86	20905.44	608.53	901.93	940.66	778.49
Var	11690724	33002333	16006474	14835184	24462.82	37216.95	49868.37	51145.58
Itapiranga HIGH								
P5%	5723.078	6340.091	8034.833	8447.913	204.75	193.16	149.56	173.04
Med	10486.88	13715.25	14159.64	15367.83	337.14	382.58	426.64	426.25
P 95%	15620.63	22283.41	24158.04	23798.92	598.81	584.68	718.46	896.32
Var	8967813	27126385	26308959	24477978	16488.42	26498.6	47907.3	46370.3
Itapiranga CT20								
P5%	3704.95	4831.533	6705.736	6992.717	135.81	169.14	169.68	281.21
Med	9041.674	11421.66	15047.95	15516.68	259.37	356.77	433.54	531.10
P 95%	15351.71	25204.83	21309.74	27690.41	520.44	766.12	805.13	857.15
Var	16637902	36482417	23196499	41046582	26648.65	57177.37	39241.58	43421.85

Tabela 2 - Sumário estatístico das séries de vazões médias anuais.

Modelos Climáticos Globais

Estadística	Atual	Fut1	Fut2	Fut3
Itapiranga CT40				
P5%	104.99	170.61	230.42	213.10
Med	289.38	436.11	503.90	622.98
P 95%	549.57	687.19	719.88	767.41
Var	22816.5	31531.9	28945.0	40121.1
Itapiranga LOW				
P5%	130.31	144.03	201.03	328.77
Med	308.42	377.30	476.44	562.71
P 95%	529.71	602.86	682.91	790.75
Var	16717.5	22366.8	27889.3	18328.5
Itapiranga MID				
P5%	129.80	241.79	368.88	284.33
Med	282.73	442.11	496.31	529.29
P 95%	554.95	606.36	709.78	678.64
Var	16363.5	13171.4	20443.7	18196.5
Itapiranga HIGH				
P5%	191.57	169.42	226.64	259.32
Med	286.37	404.05	435.46	522.34
P 95%	421.66	582.51	728.66	849.13
Var	7031.9	17768.1	25106.1	34402.5
Itapiranga CT20				
P5%	143.13	163.45	204.71	285.74
Med	286.85	411.55	493.62	496.03
P 95%	490.96	649.03	736.21	843.35
Var	16705.9	26016.8	27942.3	33164.6

Itapiranga GFCM				
P5%	-	506.85	326.33	291.73
Med	-	1144.48	751.33	662.75
P 95%	-	2242.53	1526.97	1305.84
Var	-	337742.32	181306.07	147577.88
Itapiranga HADC				
P5%	-	423.99	499.86	487.28
Med	-	990.42	1213.79	1032.72
P 95%	-	1934.55	2372.12	2050.20
Var	-	263281.72	389663.53	307502.19
Itapiranga MPEH				
P5%	-	492.98	639.95	675.88
Med	-	1148.67	1429.72	1464.69
P 95%	-	2225.37	2667.52	2885.49
Var	-	340079.71	471873.39	563948.11
Itapiranga MRCC				
P5%	-	494.87	615.61	645.55
Med	-	1167.03	1502.87	1561.97
P 95%	-	2225.71	2769.93	3053.38
Var	-	356415.36	520945.92	635401.18
Itapiranga NCCC				
P5%	-	546.28	552.95	537.49
Med	-	1274.26	1270.33	1257.22
P 95%	-	2465.17	2460.15	2613.43
Var	-	385702.85	391321.93	463100.64

P5%: percentil 5%; P95%: percentil 95%; Med: mediana; Var: variância.

ANEXO D

Tabela 1 - Variação das vazões máximas, mínimas e médias de longo período. Barra Grande

Fonte	Atual	Fut1	Fut2	Fut3	Δ^* (Fut1)	Δ (Fut2)	Δ (Fut3)
Incerteza							
Barra Grande $\Delta Q_{m\acute{a}x}$ (%)							
MGB/P1	2030.474	2587.62	2803.917	3163.538	27,44	38,09	55,80
MGB/P2	1715.958	2136.097	2352.145	2706.369	24,48	37,07	57,72
MGB/P3	1748.037	2155.457	2368.979	2726.53	23,31	35,52	55,98
RVI	2030.474	2587.62	2803.917	3163.538	27,44	38,09	55,80
RV2	1544.423	2100.278	2279.76	2676.62	35,99	47,61	73,31
CT40	2030.474	2587.62	2803.917	3163.538	27,44	38,09	55,80
LOW	2164.63	2697.383	2693.628	3288.633	24,61	24,44	51,23
MID	1954.377	2500.528	3114.397	3018.332	27,94	59,35	54,44
HIGH	1930.666	2698.432	2893.326	3270.716	39,76	49,86	69,41
CT20	2003.441	2696.809	3179.554	3171.067	34,60	58,70	58,28
Barra Grande $\Delta Q_{m\acute{i}n}$ (%)							
MGB/P1	36.27639	41.67078	49.33426	54.62123	14,87	35,99	50,57
MGB/P2	46.17715	55.08291	69.03384	83.15657	19,28	49,99	80,08
MGB/P3	33.26661	34.94133	42.83988	50.91212	5,03	28,77	53,04
RVI	36.27639	41.67078	49.33426	54.62123	14,87	35,99	50,57
RV2	39.88736	45.27928	53.43517	58.90755	13,52	33,96	47,68
CT40	36.27639	41.67078	49.33426	54.62123	14,87	35,99	50,57
LOW	35.20324	43.27538	53.20012	63.29591	22,93	51,12	79,80
MID	42.33904	61.9993	72.95913	49.82334	46,44	72,32	17,67
HIGH	38.65713	44.34541	53.68152	58.37298	14,72	38,86	51,00
CT20	35.27484	50.16024	54.65308	57.82134	42,19	54,93	63,92
Barra Grande ΔQ_{MLP} (%)							
MGB/P1	303.5119	404.2415	467.3377	527.8536	33.18804	53.97673	73.91529
MGB/P2	299.3796	402.2714	467.4335	528.6207	34.36838	56.13408	76.57208
MGB/P3	301.7691	389.2449	451.2209	529.4345	28.98768	49.52523	75.44357
RVI	303.5119	404.2415	467.3377	527.8536	33.18804	53.97673	73.91529
RV2	277.759	375.9735	433.1883	486.9563	35.35962	55.95835	75.31613
RV3	301.7691	404.229	467.6678	512.4262	33.95308	54.97539	69.8074
CT40	303.5119	404.2415	467.3377	527.8536	33.18804	53.97673	73.91529
LOW	303.1131	388.5722	438.9307	555.661	28.19378	44.80757	83.31804
MID	299.0971	418.3781	526.2369	497.606	39.88035	75.9418	66.36935
HIGH	296.467	378.9627	453.7054	529.7773	27.82627	53.03741	78.69689
CT20	299.5683	409.4594	481.8402	534.1422	36.68316	60.84487	78.30402
GFCM	303.50	335.01	235.96	209.43	10.38026	-22.2539	-30.9961
HADC	303.5008	281.8925	327.9733	301.6167	-7.11969	8.063405	-0.62081
MPEH	303.5008	323.2258	398.3842	413.0583	6.499158	31.26296	36.09792
MRCG	303.5008	329.1333	405.8975	415.0333	8.445611	33.73851	36.74866
NCCC	303.5008	351.2483	352.8325	355.6558	15.73225	16.25421	17.18447

Tabela 2- Variação das vazões máximas, mínimas e médias de longo período. Campos Novos

Fonte	Atual	Fut1	Fut2	Fut3	Δ^* (Fut3)	Δ (Fut2)	Δ (Fut3)
Incerteza							
Campos Novos $\Delta Q_{m\acute{a}x}$ (%)							
MGB/P1	2254.775	2817.295	3183.106	3719.326	24,95	41,17	64,95
MGB/P2	2195.69	2813.87	3201.312	3802.354	28,15	45,79	67,62
MGB/P3	2206.334	2822.352	3212.266	3811.548	27,92	45,59	72,75
RVI	2254.775	2817.295	3183.106	3719.326	24,95	41,17	64,95
RV2	1525.648	1942.906	2305.19	2712.359	27,35	51,09	77,78
CT40	2254.775	2817.295	3183.106	3719.326	24,95	41,17	64,95
LOW	2321.987	3050.085	3258.897	3892.015	31,56	40,34	67,62
MID	2075.612	2936.295	3390.736	3549.261	41,46	63,36	70,99
HIGH	2413.718	2940.841	3329.302	3815.456	21,84	37,92	58,07
CT20	2122.687	2873.073	3204.285	3455.597	35,35	50,95	62,79
Campos Novos $\Delta Q_{m\acute{i}n}$ (%)							
MGB/P1	34.92801	39.68009	41.02283	46.99695	13,60	17,44	34,55
MGB/P2	43.74431	47.72007	51.95019	59.74558	9,08	18,75	36,57
MGB/P3	35.25113	38.72823	42.04781	50.23037	9,86	19,28	42,49
RVI	34.92801	39.68009	41.02283	46.99695	13,60	17,44	34,55
RV2	39.18977	43.30795	45.15292	51.93179	10,51	15,21	32,51
CT40	34.92801	39.68009	41.02283	46.99695	13,60	17,44	34,55
LOW	34.415	43.24018	47.24301	61.85026	25,65	13,93	79,72
MID	36.84306	52.53327	58.51821	40.31608	42,58	30,20	9,42
HIGH	37.67366	38.54093	42.92342	50.28078	2,3	17,44	33,46
CT20	34.77584	45.6158	45.27937	51.63971	31,17	37,27	48,49
Campos Novos ΔQ_{MLP} (%)							
MGB/P1	351.9845	443.7164	534.9029	616.3269	26.06134	51.96774	75.10056
MGB/P2	342.9366	435.4655	528.5938	610.39	26.98135	54.13749	77.9892
MGB/P3	342.8359	435.6877	528.6783	610.3552	27.08344	54.20738	78.03129
RVI	351.9845	443.7164	534.9029	616.3269	26.06134	51.96774	75.10056
RV2	306.3403	385.7873	456.5686	522.1001	25.93422	49.03969	70.43141
RV3	342.8359	444.7388	535.5793	599.8804	29.72352	56.2203	74.97594

CT40	351.9845	443.7164	534.9029	616.3269	26.06134	51.96774	75.10056
LOW	348.8432	447.2895	518.1552	663.3124	28.22078	48.53528	90.14629
MID	341.3378	477.9879	597.1536	579.0171	40.03368	74.94505	69.63167
HIGH	342.1202	439.4046	539.2069	635.8976	28.43573	57.60745	85.86963
CT20	343.7361	453.5024	523.8761	598.9775	31.93331	52.40648	74.25505
GFCM	351.42	373.81	263.93	238.06	6.369321	-24.8968	-32.259
HADC	351.4242	326.6683	378.8025	346.0183	-7.04443	7.79068	-1.53826
MPEH	351.4242	372.2867	465.115	473.5375	5.936558	32.35146	34.74813
MRCG	351.4242	374.6833	459.525	468.97	6.618545	30.76079	33.44842
NCCC	351.4242	409.3742	405.68	404.9675	16.49004	15.43885	15.2361

Tabela 3 - Variação das vazões máximas, mínimas e médias de longo período. Itá

Fonte	Atual	Fut1	Fut2	Fut3	Δ^* (Fut3)	Δ (Fut2)	Δ (Fut3)
Itá $\Delta Q_{m\acute{a}x}$ (%)							
MGB/P1	6039.412	8044.289	9062.805	10461.47	33,19	50,06	73,22
MGB/P2	2195.69	2813.87	3201.312	3802.354	28,15	45,79	73,17
MGB/P3	2206.334	2822.352	3212.266	3811.548	27,92	45,59	72,75
RVI	6039.412	8044.289	9062.805	10461.47	33,19	50,06	73,22
RV2	4543.504	6186.629	7132.253	8336.323	36,16	56,97	83,47
CT40	6039.412	8044.289	9062.805	10461.47	33,19	50,06	73,22
LOW	6553.117	8497.131	9116.622	11049.93	29,66	39,11	68,62
MID	5505.788	8178.37	9669.021	9385.593	48,54	75,61	70,46
HIGH	6303.755	8315.792	9552.617	10743.02	31,91	51,53	70,42
CT20	5792.04	8213.554	9632.139	10075.28	41,80	66,30	73,95
Itá $\Delta Q_{m\acute{i}n}$ (%)							
MGB/P1	185.6389	218.385	241.6196	272.6208	17,64	30,15	46,85
MGB/P2	196.0482	231.324	265.1788	309.5823	17,99	35,26	57,91
MGB/P3	163.6784	189.4348	213.7484	251.8739	15,73	30,59	53,88
RVI	185.6389	218.385	241.6196	272.6208	17,64	30,15	46,85
RV2	199.7138	227.8918	249.2125	281.1142	14,11	24,78	40,75
CT40	185.6389	218.385	241.6196	272.6208	17,64	30,15	46,85
LOW	185.7889	228.7472	279.6196	355.2495	23,12	50,50	91,21
MID	209.3083	300.0158	319.6383	249.1737	43,33	52,17	19,04
HIGH	196.2531	218.1835	268.092	282.8296	11,17	36,61	44,11
CT20	186.0761	247.5148	271.9463	294.6575	33,02	46,15	58,35
Itá ΔQ_{MLP} (%)							
MGB/P1	1120.059	1427.338	1707.006	1939.045	27.43413	52.40315	73.11987
MGB/P2	1106.278	1417.108	1700.799	1933.771	28.0969	53.74065	74.79973
MGB/P3	1119.981	1415.557	1695.825	1945.84	26.39111	51.41546	73.73858
RVI	1120.059	1427.338	1707.006	1939.045	27.43413	52.40315	73.11987
RV2	1005.062	1288.152	1518.603	1719.51	28.16648	51.09545	71.08498
RV3	1119.981	1431.338	1705.872	1897.225	27.80018	52.3125	69.39795
CT40	1120.059	1427.338	1707.006	1939.045	27.43413	52.40315	73.11987
LOW	1113.487	1434.847	1657.311	2132.557	28.86078	48.8398	91.52072
MID	1092.652	1533.311	1893.212	1797.12	40.32924	73.26759	64.47323
HIGH	1089.233	1388.773	1675.139	1965.44	27.50003	53.79069	80.4425
CT20	1100.827	1472.354	1719.428	1942.963	33.7498	56.1942	76.50025
GFCM	1120.059	1179.20	812.63	735.77	5.335259	-27.4093	-34.2755
HADC	1120.059	1037.193	1217.321	1112.854	-7.34968	8.740737	-0.59105
MPEH	1120.059	1174.433	1449.604	1496.326	4.909611	29.49012	33.66367
MRCG	1120.059	1206.163	1486.414	1535.021	7.744061	32.77828	37.12022
NCCC	1120.059	1315.071	1323.018	1341.065	17.47254	18.18247	19.79455

Tabela 4- Variação das vazões máximas, mínimas e médias de longo período. Monjolinho

Fonte	Atual	Fut1	Fut2	Fut3	Δ^* (Fut3)	Δ (Fut2)	Δ (Fut3)
Monjolinho $\Delta Q_{m\acute{a}x}$ (%)							
MGB/P1	636.8209	741.4873	896.6065	1040.814	16,43	40,79	63,43
MGB/P2	492.9369	607.6884	754.5433	862.82	23,27	53,07	75,03
MGB/P3	507.5622	592.5752	709.5619	801.2105	16,75	39,79	57,85
RVI	636.8209	741.4873	896.6065	1040.814	16,43	40,79	63,43
RV2	478.2999	596.2018	712.8966	859.4428	24,65	49,04	79,68
CT40	636.8209	741.4873	896.6065	1040.814	16,43	40,79	63,43
LOW	729.0559	815.1391	967.6578	1143.89	11,81	32,73	56,90
MID	593.9261	914.3827	1018.869	879.636	53,95	71,54	48,10
HIGH	715.9045	841.2372	978.888	971.2013	17,50	36,73	35,66
CT20	601.5935	810.2465	972.9749	1148.312	34,68	61,73	90,87
Monjolinho $\Delta Q_{m\acute{i}n}$ (%)							
MGB/P1	12.57052	16.22799	20.93786	22.11341	29,09	66,56	75,91
MGB/P2	10.22893	14.34593	17.85686	19.64477	40,24	74,57	92,05
MGB/P3	10.53159	12.73163	14.59371	16.22738	20,88	38,57	54,08
RVI	12.57052	16.22799	20.93786	22.11341	29,09	66,56	75,91
RV2	13.06855	16.54795	21.43263	23.04468	26,62	64,00	76,33
CT40	12.57052	16.22799	20.93786	22.11341	29,09	66,56	75,91
LOW	12.47274	16.09374	23.3657	35.93696	29,03	87,33	188,12
MID	14.73766	25.05279	26.21559	21.45147	69,99	77,88	45,55
HIGH	12.77343	17.72324	21.90436	22.33761	38,75	71,48	74,87
CT20	11.71583	17.04773	22.29777	26.94717	45,51	90,32	130,00
Monjolinho ΔQ_{MLP} (%)							

MGB/P1	107.2211	128.9952	156.7941	170.2177	20.30771	46.23441	58.75403
MGB/P2	103.1068	125.8617	154.0968	168.304	22.06924	49.45355	63.2327
MGB/P3	106.9106	128.8512	156.3308	170.0678	20.52237	46.2257	59.07478
RV1	107.2211	128.9952	156.7941	170.2177	20.30771	46.23441	58.75403
RV2	98.97158	119.8389	142.4595	155.9195	21.08414	43.93983	57.53971
RV3	106.9106	130.1789	157.0551	171.7335	21.76427	46.90319	60.6328
CT40	107.2211	128.9952	156.7941	170.2177	20.30771	46.23441	58.75403
LOW	107.5191	136.2284	155.8994	203.4831	26.70162	44.997	89.25303
MID	104.87	140.6463	164.3373	144.3828	34.11491	56.70568	37.67788
HIGH	104.0438	126.5711	146.391	165.3696	21.65166	40.7013	58.94222
CT20	104.1488	134.0533	151.6263	170.7938	28.71318	45.58618	63.9901
GFCM	107.37	104.01	68.21	64.39	-3.13004	-36.4732	-40.0355
HADC	107.3733	98.3575	118.705	108.125	-8.39672	10.55352	0.70005
MPEH	107.3733	107.6833	126.8183	134.7575	0.288712	18.10971	25.50369
MRCG	107.3733	117.065	144.0117	155.2125	9.026139	34.12238	44.55405
NCCC	107.3733	127.1675	131.8908	138.4325	18.4349	22.83388	28.92633

Tabela 5 - Variação das vazões máximas, mínimas e médias de longo período. Quebra Queixo

Fonte Incerteza	Atual	Fut1	Fut2	Fut3	Δ^* (Fut3)	Δ (Fut2)	Δ (Fut3)
Quebra Queixo $\Delta Q_{m\acute{a}x}$ (%)							
MGB/P1	621.088	760.3856	910.0755	995.5885	22,43	46,53	60,29
MGB/P2	685.400	822.3230	973.1111	1089.587	20,17	42,21	54,43
MGB/P3	683.388	821.2568	971.8454	1055.417	21,02	43,01	54,43
RV1	621.088	760.3856	910.0755	995.5885	22,43	46,53	60,29
RV2	429.6176	617.675	805.1774	909.0829	43,77	87,42	111,60
CT40	621.088	760.3856	910.0755	995.5885	22,43	46,53	60,29
LOW	634.0328	743.1921	867.998	1031.473	17,22	36,90	62,68
MID	580.867	772.9849	902.5969	882.4916	33,07	55,38	51,92
HIGH	705.2772	860.6828	868.3532	965.8582	22,03	23,12	36,94
CT20	637.05	745.3542	821.0751	915.3015	17,00	28,88	43,67
Quebra Queixo $\Delta Q_{m\acute{i}n}$ (%)							
MGB/P1	8.463192	11.87338	11.0586	12.19376	40,29	30,66	44,07
MGB/P2	43.74431	47.72007	51.95019	59.74558	9,08	18,75	36,57
MGB/P3	35.25113	38.72823	42.04781	50.23037	9,86	19,28	42,49
RV1	8.463192	11.87338	11.0586	12.19376	40,29	30,66	44,07
RV2	9.2987	12.31891	12.01835	13.79944	32,47	29,25	48,40
CT40	8.463192	11.87338	11.0586	12.19376	40,29	30,66	44,07
LOW	9.940171	10.98103	12.68171	19.91257	10,47	27,58	100,32
MID	9.312393	14.35383	13.80939	9.042677	54,13	48,29	-2,89
HIGH	9.024398	9.807331	9.759465	9.009271	8,67	8,14	-0,16
CT20	8.913058	12.05097	13.25796	15.29388	35,20	48,74	71,58
Quebra Queixo ΔQ_{MLP} (%)							
MGB/P1	86.165	104.1111	124.1763	137.3977	20.82758	44.11459	59.45886
MGB/P2	85.63083	103.8042	123.9125	137.2139	21.24926	44.72591	60.23894
MGB/P3	85.63083	103.8268	123.93	137.2139	21.24926	44.72591	60.23894
RV1	86.165	104.1111	124.1763	137.3977	20.82758	44.11459	59.45886
RV2	79.84422	99.33311	118.9076	133.7608	24.40864	48.92454	67.52717
RV3	85.63083	104.7071	124.3796	137.2984	22.27731	45.25096	60.33762
CT40	86.165	104.1111	124.1763	137.3977	20.82758	44.11459	59.45886
LOW	86.18886	104.2937	120.4462	154.3993	21.00597	39.74685	79.14069
MID	84.92781	112.7283	128.9466	118.1928	32.73424	51.83082	39.16858
HIGH	84.88944	102.8324	117.5635	135.6823	21.13687	38.49009	59.83416
CT20	85.84819	101.0971	120.0392	133.2257	17.76265	39.82728	55.18755
GFCM	86.47	81.11	49.70	46.76	-6.19947	-42.526	-45.9221
HADC	86.4725	80.06667	95.02917	85.7725	-7.40794	9.895246	-0.80951
MPEH	86.4725	87.41583	106.7925	107.9067	1.090906	23.4988	24.78726
MRCG	86.4725	91.73167	111.9733	116.1733	6.081895	29.49011	34.34714
NCCC	86.4725	106.105	105.0542	110.3417	22.70375	21.48853	27.60319

Tabela 6 - Variação das vazões máximas, mínimas e médias de longo período. Itapiranga

Fonte Incerteza	Atual	Fut1	Fut2	Fut3	Δ^* (Fut1)	Δ (Fut2)	Δ (Fut3)
Itapiranga $\Delta Q_{m\acute{a}x}$ (%)							
MGB/P1	9047.61	11631.51	13320.7	15354.64	28.56	47.23	69.71
MGB/P2	2195.69	2813.87	3201.312	3802.354	28.15	45.80	73.17
MGB/P3	2206.33	2822.352	3212.266	3811.548	27.92	45.60	72.75
RV1	9047.61	11631.51	13320.7	15354.64	28.56	47.23	69.71
RV2	7122.79	9334.127	10916.34	12780.52	31.04	53.26	79.43
CT40	9047.61	11631.51	13320.7	15354.64	28.56	47.23	69.71
LOW	9853.79	12176.03	13698.54	16323.89	23.57	39.02	65.66
MID	8586.92	12095.86	14010.5	13740.25	40.86	63.16	60.02
HIGH	9859.21	12728.58	14181.94	15258.84	29.10	43.85	54.76
CT20	8624.20	11858.57	13791.06	14881.21	37.50	59.91	72.55
Itapiranga $\Delta Q_{m\acute{i}n}$ (%)							
MGB/P1	340.74	444.61	465.53	510.16	30.48	36.63	49.72
MGB/P2	43.74	47.72	51.95	59.75	9.08	18.76	36.58
MGB/P3	35.25	38.73	42.05	50.23	9.86	19.28	42.49
RV1	340.74	444.61	465.53	510.16	30.48	36.63	49.72
RV2	361.39	457.64	484.53	536.87	26.63	34.07	48.55

CT40	340.74	444.61	465.54	510.16	30.48	36.63	49.72
LOW	357.78	436.61	539.264	709.44	22.03	50.72	98.28
MID	391.81	560.72	576.994	460.93	43.11	47.26	17.64
HIGH	373.13	412.72	493.75	493.09	10.61	23.32	32.15
CT20	351.25	470.26	511.89	564.85	33.88	45.73	60.81
Itaipiranga ΔQMLP (%)							
MGB/P1	1979.23	2452.263	2915.72	3261.71	23.90	47.32	64.79
MGB/P2	1960.77	2438.59	2906.52	3254.38	24.37	48.23	65.97
MGB/P3	2034.63	2492.98	2955.51	3320.03	22.53	45.26	63.17
RVI	1979.22	2452.27	2915.72	3261.71	23.90	47.32	64.79
RV2	1790.59	2237.12	2626.07	2945.05	24.94	46.66	64.47
RV3	1979.22	2465.44	2912.11	3237.71	24.56	47.13	63.58
CT40	1979.22	2452.26	2915.72	3261.71	23.90	47.32	64.79
LOW	303.11	388.57	438.93	555.66	28.19	44.81	83.32
MID	1923.63	2618.55	3131.46	2924.20	36.13	62.78	52.02
HIGH	1920.03	2376.13	2814.89	3249.15	23.75	46.60	69.22
CT20	1945.08	2500.02	2910.95	3250.09	28.53	49.66	67.09
GFCM	1979.22	1980.65	1355.58	1257.76	0.14	-31.46	-36.41
HADC	1979.22	1836.35	2161.27	1981.15	-7.15	9.27	0.1671
MPEH	1979.22	2023.12	2447.36	2540.02	2.29	23.74	28.421
MRCG	1979.22	2125.78	2597.39	2715.072	7.48	31.33	37.271
NRCCC	1979.22	2335.81	2354.12	2436.52	18.09	19.03	23.191

Δ* variação de vazão em relação ao período de referência (Atual)

Tabela 7 - Variação das vazões máximas, mínimas e médias de longo período. Passo São João

Fonte	Atual	Fut1	Fut2	Fut3	Δ* (Fut1)	Δ (Fut2)	Δ (Fut3)
Passo São João ΔQmáx (%)							
MGB/P1	1670.575	2165.271	2262.442	2405.282	29,61	35,43	43,98
MGB/P2	2195.69	2813.87	3201.312	3120.125	28,15	45,79	42,09
MGB/P3	2206.334	2822.352	3212.266	3000.301	27,92	45,59	35,97
RVI	1670.575	2165.271	2262.442	2405.282	29,61	35,43	43,98
RV2	1393.631	1764.772	1784.315	1978.155	26,63	28,03	41,94
CT40	1670.575	2165.271	2262.442	2405.282	29,61	35,43	43,98
LOW	1751.906	1993.876	2272.747	2561.501	13,81	29,73	46,21
MID	1693.233	2197.487	2276.252	2093.26	29,78	34,43	23,63
HIGH	1855.003	2070.861	2279.509	2213.888	11,64	22,88	19,35
CT20	1743.37	2024.013	2208.535	2526.773	16,09	26,69	44,94
Passo São João ΔQmín (%)							
MGB/P1	49.71259	60.10661	60.73841	68.56659	20,90	22,18	37,93
MGB/P2	43.74431	47.72007	51.95019	59.74558	9,08	18,76	36,57
MGB/P3	35.25113	38.72823	42.04781	50.23037	9,86	19,28	42,49
RVI	49.71259	60.10661	60.73841	68.56659	20,90	22,18	37,93
RV2	50.42578	62.32648	63.62437	70.42239	23,60	26,17	39,65
CT40	49.71259	60.10661	60.73841	68.56659	20,90	22,18	37,93
LOW	48.55188	55.84111	66.16882	86.09578	15,01	36,28	77,32
MID	49.89515	66.87344	67.73885	59.04406	34,02	35,76	18,33
HIGH	46.40056	51.55222	58.32835	56.49649	11,10	25,70	21,75
CT20	48.13074	57.51454	60.89268	66.07466	19,49	26,52	37,28
Passo São João ΔQMLP (%)							
MGB/P1	269.9151	322.6996	362.1092	396.0442	19.55597	34.15672	46.72918
MGB/P2	297.1034	350.8864	389.4371	424.1748	18.10243	31.07795	42.77009
MGB/P3	301.7691	389.2449	451.2209	529.4345	28.98768	49.52523	75.44357
RVI	269.9151	322.6996	362.1092	396.0442	19.55597	34.15672	46.72918
RV2	242.3518	288.7741	320.9734	353.214	19.15492	32.4411	45.74436
RV3	247.3003	327.2564	367.807	408.5846	32.3316	48.72892	65.218
CT40	269.9151	322.6996	362.1092	396.0442	19.55597	34.15672	46.72918
LOW	1967.549	2483.369	2853.107	3674.668	26.21638	45.00817	86.76371
MID	259.9748	333.7799	376.9489	336.7147	28.38934	44.99441	29.51821
HIGH	260.4401	293.3615	331.1753	366.2155	12.64066	27.15987	40.61407
CT20	265.4352	318.7218	339.6448	381.8613	20.07518	27.9577	43.86234
GFCM	269.9151	250.32	172.69	176.33	-6.90031	-35.772	-34.4216
HADC	269.9151	255.6808	291.365	270.9175	-4.90776	8.36381	0.759022
MPEH	269.9151	260.5008	292.0592	311.7383	-3.11512	8.621983	15.94101
MRCG	269.9151	292.7592	353.5625	393.4983	8.882325	31.49616	46.34901
NRCCC	269.9151	310.3192	326.0533	342.5	15.4132	21.26502	27.38182

Δ* variação de vazão em relação ao período de referência (Atual)

