

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituto de Pesquisas Hidráulicas

**Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento
Ambiental**

**ANÁLISE DOS IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NOS REGIMES
DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO NA BACIA DO RIO IBICUI**

Katiucia Nascimento Adam

Orientador: Walter Collischonn

Porto Alegre

2011

O presente trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Walter Collischonn da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AGRADECIMENTOS

- A Deus por me conceder vida e saúde, me permitindo assim alcançar objetivos.
“OM SEJA FORÇA”;
- Aos meus pais, pelo incentivo ao estudo;
- Ao IPH e ao seu programa de Pós-Graduação;
- Ao professor Walter Collischonn, pela sugestão do tema, pela orientação, pela experiência e por todas as oportunidades que me ofereceu;
- Aos professores do IPH, em especial à Edith Beatriz Camaño Schettini pelo apoio e sensibilidade que a mim dedicou;
- Aos colegas da sala de projetos, colegas de classe, e a todos os amigos que conquistei no decorrer destes anos de pós-graduação;

RESUMO

Neste trabalho avaliou-se o impacto de possíveis cenários de mudanças climáticas sobre os recursos hídricos na bacia do Rio Ibicuí (35,158.43 Km².) afluyente da margem esquerda do rio Uruguai em território brasileiro.

Os impactos de mudanças climáticas na bacia do Rio Ibicuí foram avaliados através do uso de um modelo hidrológico, análises de sensibilidade de vazão e cenários de mudanças climáticas.

As análises de sensibilidade mostraram que as vazões mínimas são menos sensíveis a mudanças de precipitação do às médias e máximas. Cenários de mudanças climáticas para o ano de 2050 (janela de 30 anos centrada em 2050) foram obtidos através do gerador de cenários MAGICC/SCENGEN, que considera resultados de vinte modelos climáticos globais (GCM's) e três cenários de emissão de gases de efeito estufa. A totalidade dos resultados indicaram aumento da temperatura, porém divergências quanto aos resultados de referentes a precipitação. Alguns dos GCM's indicaram diminuição da precipitação média anual enquanto outros indicaram o aumento desta variável.

Os resultados mensais de modificação na temperatura e precipitação média previstos para 2050 na região da bacia do Ibicuí, obtidos pelos vinte GCMs para cada um dos três cenários, foram utilizados para perturbar as séries observadas e simular o impacto sobre o regime hidrológico através do modelo MGB-IPH. As incertezas relacionadas às projeções de anomalias de precipitação e temperatura, previstas pelo conjunto de 20 GCM's, foram amplificadas ao avaliar o impacto de mudanças climáticas no regime de vazões.

ABSTRACT

The impact of possible climate change scenarios on water resources in the Ibicui River basin was assessed in this work. The Ibicui River (35,158.43 Km²) is a tributary of the Uruguay River and it is located on the border of southern Brazil.

The impacts of climate change on the Ibicui River basin were evaluated using a large scale distributed hydrological model, sensitivity analyses and climate change scenarios.

Sensitivity analyses showed that minimum discharges in the Ibicui River are less sensitive to change in mean precipitation when compared to maximum and mean discharge. Climate change scenarios for 2050 (30-years time interval centered in 2050) were obtained through a climate scenario generator, MAGICC/SCENGEN, considering the results from twenty general circulation models (GCM's) and three emission scenarios of greenhouse gas emissions. Results indicate an increase in the annual mean temperature, but divergences about precipitation. Some GCM's indicated an increase in the annual mean precipitation while others indicated a decrease. The hydrological impact of all projections of climate change for 2050 was simulated using the MGB-IPH model, by perturbing the observed time series of temperature and precipitation according to relative changes projected by GCM's. The uncertainties in projected climate changes are amplified in the hydrological results.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.2 OBJETIVO	2
1.3 JUSTIFICATIVA	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	2
2.1.1 MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS – GCM’s	3
2.1.2 DOWNSCALING E MODELOS REGIONAIS	5
2.1.3 CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	7
2.2 IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICA NOS RECURSOS HÍDRICOS	10
2.3 SENSIBILIDADE DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS ÀS MUDANÇAS DO CLIMA: ELASTICIDADE DE VAZÃO	12
2.4 INTEGRAÇÃO ENTRE MODELOS CLIMÁTICOS E MODELOS HIDROLÓGICOS	14
2.5 MODELAGEM HIDROLÓGICA DOS IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS	15
3 METODOLOGIA	16
3.1 DESCRIÇÃO GERAL	16
3.1.1 MAGICC/SCENGEN.....	19
3.1.2 O MODELO MGB-IPH	24
4 ESTUDO DE CASO	26
4.1 BACIA DO RIO IBICUI.....	26
4.1.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	26
4.1.2. USOS DA ÁGUA.....	31
4.2. SENSIBILIDADE DAS VAZÕES NA BACIA DO RIO IBICUI.....	32
4.3. PREDIÇÕES DE CLIMA PARA BACIA DO RIO IBICUI.....	36
4.3.1. CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	36
4.3.2. ESTIMATIVA DAS PROJEÇÕES DE ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA PARA A BACIA DO RIO IBICUI.....	38
4.4 MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO IBICUI UTILIZANDO O MODELO MGB-IPH	48
4.4.1. COEFICIENTES DE AFERIÇÃO.....	54
5. SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS DE CLIMA NA BACIA DO RIO IBICUI.....	71

6. ESCOLHA DE MODELOS CLIMÁTICOS	80
7 CONCLUSÃO	98
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	99
ANEXO A- Sub-Bacias, Usos do Solo e Parâmetros	1
ANEXO B- Graficos das Analises Estatisticas (Q90, Q95 e QMLP) nos Pontos em Analise na Bacia do Rio Ibicui considerando os Três Cenários de Mudanças Climáticas	7
ANEXO C - Graficos das Analises Estatisticas (Q90, Q95 E QMLP) nos Pontos em Analise na Bacia do Rio Ibicui (Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES) considerando a Seleção de Modelos Climáticos	16
ANEXO D – Gráficos das Series de Mediana dos Piores e Melhores Modelos e Serie Atual ...	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Principais forçamentos controladores da emissão de gases considerados na definição de cenários (Special Report on Emissions Scenarios – SRES, do IPCC). Fonte: http://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/sres/	23
Figura 2: Estimation of rainfall elasticity of streamflow in Australia. Chiew (2006).....	28
Figura 3: Chiew (2006). Estimation of rainfall elasticity of streamflow in Australia. Com ordem de grandeza dos coeficientes de escoamento no sul do Brasil	28
Figura 4 – Interfase gráfica dos modelos MAGICC e SCENGEN, versão 5.3.....	35
Figura 5 – Comparação entre os cenários de referencia e política para concentração de CO2... 36	
Figura 6 – Estrutura do modelo MAGIC/SCENGEN	37
Figura 7-Mapa de projeções anual de precipitação global gerado pelo Magicc/Scengen	39
Figura 8 - Representação esquemática do modelo MGB-IPH (Fonte: Collischonn, 2007)	41
Figura 9 - Divisão em sub-bacias do estado do RS (Fonte: DRH, 2009).....	42
Figura 10- Mapa de pluviosidade média anual no período de 1960 a 2005 (Fonte: Collischonn, 2011)	43
Figura 11 - Localização dos postos climatológicos na bacia do rio Ibicuí.....	44
Figura 12 - Localização das sub-bacias utilizadas para análise de sensibilidade na bacia do Ibicuí	49
Figura 13– Relação entre mudança na precipitação média e nas vazão média no exutório da sub-bacia do Rio Santa Maria	50
Figura 14 – Relação entre mudança na precipitação média e nas vazão média no exutório da sub-bacia do Rio Jaguari	50
Figura 15 – Relação entre mudança na precipitação média e nas vazão média no exutório da sub-bacia do Rio Itu	51
Figura 16 – Relação entre mudança na precipitação média e nas vazão média no exutório da sub-bacia do Rio Ibirapuitã	51
Figura 17 - Localização da area da Bacia do Rio Ibicui.....	54
Figura 18 – Projeção de anomalias (%) de precipitação média mensal no mês de dezembro, nos três cenários analisados, utilizando o modelo UKHAGEM.....	54

Figura 19 – Projeção de anomalias (%) de temperatura média mensal no mês de dezembro, nos três cenários analisados, utilizando o modelo UKHAGEM.....	55
Figura 20 – Valor médio das projeções de anomalias (%) de precipitação média mensal para a bacia do rio Ibicui, no ano de 2050 (janela de 30 anos centrada no ano 2050), no cenário A1B-AIM, em função de 20 modelos de circulação geral (MAGICC/SCENGEN).....	56
Figura 11 – Valor médio das projeções de anomalias (%) de precipitação média mensal para a bacia do rio Ibicui, no ano de 2050 (janela de 30 anos centrada no ano 2050), no cenário A2-ASF, em função de 20 modelos de circulação geral (MAGICC/SCENGEN)	57
Figura 22 – Valor médio das projeções de anomalias (%) de precipitação média mensal para a bacia do rio Ibicui, no ano de 2050 (janela de 30 anos centrada no ano 2050), no cenário B2-MES, em função de 20 modelos de circulação geral (MAGICC/SCENGEN)	58
Figura 23 – Mudanças na temperatura e precipitação médias anuais na região da bacia do Rio Ibicui previstas para 2050 – Cenário A1B-AIM	60
Figura 24 – Mudanças na temperatura e precipitação médias anuais na região da bacia do Rio Ibicui previstas para 2050 – Cenário A2-ASF	60
Figura 25 – Mudanças na temperatura e precipitação médias anuais na região da bacia do Rio Ibicui previstas para 2050 – Cenário B2-MES.....	61
Figura 26 - Comparação das estatísticas das projeções de anomalias de precipitação (%) média mensal (Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES).....	62
Figura 27 - Comparação das estatísticas das projeções de anomalias de temperatura do ar (°C) média mensal (Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES).....	62
Figura 28 - Mapa de sub-bacias consideradas na calibração do modelo MGB-IPH.....	64
Figura 29 – Localização dos postos fluviométricos na área da Bacia do Rio Ibicui.....	64
Figura 30 – Localização dos postos pluviométricos na área da Bacia do Rio Ibicui	65
Figura 31 – Localização dos postos climatológicos na área da Bacia do Rio Ibicui.....	65
Figura 32 – localização dos pontos em análise na bacia do Rio Ibicui	72
Figura 33 - Análise estatística Q90 – Foz do Rio Ibicui – Cenários AIB-AIM, A2-ASF e B2-MES: mínimo, máximo, mediana e 10º e 90º percentis.	73
Figura 34 - Análise estatística Q95 – Foz do Rio Ibicui – Cenários AIB-AIM, A2-ASF e B2-MES: mínimo, máximo, mediana e 10º e 90º percentis	73
Figura 35 - Análise estatística QMLP – Foz do Rio Ibicui – Cenários AIB-AIM, A2-ASF e B2-MES: mínimo, máximo, mediana e 10º e 90º percentis.	73

Figura 36 - Análise estatística Q90 – Foz do Rio Santa Maria – Cenários AIB-AIM, A2-ASF e B2-MES: mínimo, máximo, mediana e 10° e 90° percentis.....	75
Figura 37 – Análise estatística das mudanças na vazão com 90% de permanência no Rio Itu: média, 10° e 90 percentis.....	76
Figura 38 – Análise estatística das mudanças na vazão com 5% de permanência no Rio Itu: média, 10° e 90 percentis.....	76
Figura 39 – Análise estatística das mudanças na vazão com 90% de permanência na Foz do Rio Ibicui: média, 10° e 90 percentis	77
Figura 40 – Análise estatística das mudanças na vazão com 5% de permanência na Foz do Rio Ibicui: média, 10° e 90 percentis	77
Figura 41 - Análise estatística Q90 – Foz Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES	78
Figura 42 - Análise estatística Q90 – Foz Rio Jaguari – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES	79
Figura 43 - Estimativa do erro entre os 20 modelos climáticos analisados.....	81
Figura 44 – Mudanças na temperatura e precipitação médias anuais na região da bacia do Rio Ibicui previstas para 2050 considerando apenas os CM's selecionados (melhores modelos: cor verde; piores modelos: cor vermelha) – Cenário A1B-AIM.....	84
Figura 45 – Mudanças na temperatura e precipitação médias anuais na região da bacia do Rio Ibicui previstas para 2050 considerando apenas os GCM's selecionados (melhores modelos: cor verde; piores modelos: cor vermelha) – Cenário A2-ASF	84
Figura 46 – Mudanças na temperatura e precipitação médias anuais na região da bacia do Rio Ibicui previstas para 2050 considerando apenas os GCM's selecionados (melhores modelos: cor verde; piores modelos: cor vermelha) – Cenário B2-MES	85
Figura 47 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 1° tercil do ranking de modelos - Foz do Rio Ibicui	86
Figura 48 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 3° tercil do ranking de modelos - Foz do Rio Ibicui	86
Figura 49 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 1° tercil do ranking de modelos - Foz do Rio Ibicui	87
Figura 50 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 3° tercil do ranking de modelos - Foz do Rio Ibicui	87

Figura 51– Análise estatística das mudanças na vazão QLMP previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos - Foz do Rio Ibicui.....	88
Figura 52 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos - Foz do Rio Ibicui.....	88
Figura 53 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos - Foz do Rio Santa Maria.....	89
Figura 54 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelo modelo MPIECH-5 Foz do Rio Ibicui: mediana das serie de vazão atual e previstas para 2050 nos três cenários analisados	90
Figura 55 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelo modelo MPIECH-5 Foz do Rio Ibicui: mediana das serie de vazão atual e previstas para 2050 nos três cenários analisados	90
Figura 56 – Comparação entre as serie máximas Q90: melhores modelos e conjunto dos 20 GCM's analisados - Foz do Rio Ibicuí.....	91
Figura 57 – Comparação entre as serie máximas Q95: melhores modelos e conjunto dos 20 GCM's analisados. Foz do Rio Ibicuí.....	91
Figura 58 – Comparação entre as serie máximas QMLP: melhores modelos e conjunto dos 20 GCM's analisados. Foz do Rio Ibicuí.....	92
Figura 59 – Comparação entre as serie mínimas Q90: melhores e piores modelos e conjunto dos 20 GCM's analisados. Foz do Rio Ibicuí	92
Figura 60 – Análise estatística da vazão Q90: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.....	93
Figura 61 – Análise estatística da vazão Q95: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.....	94
Figura 62 – Análise estatística da vazão QMLP: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.....	94
Figura 63 – Análise estatística da vazão Q90: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos, conjunto de 20 GCM's e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.....	95

Figura 64 – Análise estatística da vazão Q95: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos, conjunto de 20 GCM's e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.....	95
Figura 65 – Análise estatística da vazão QMLP: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos, conjunto de 20 GCM's e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.....	96
Figura 66 – Análise estatística da vazão Q90: comparação entre séries de máxima dos melhores e piores modelos, conjunto de 20 GCM's e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.....	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1– Cenários de Emissões do Relatório Especial sobre Cenários de Emissões (RECE) do IPCC	24
Quadro 2– Médias mensais das variáveis climatológicas (Estação Santana do Livramento)	45
Quadro 3– Médias mensais das variáveis climatológicas (Estação Bagé)	45
Quadro 4– Médias mensais das variáveis climatológicas (Estação Cruz Alta).....	45
Quadro 5– Médias mensais das variáveis climatológicas (Estação São Luiz Gonzaga)	45
Quadro 6– Médias mensais das variáveis climatológicas (Estação Santa Maria).....	45
Quadro 7– Médias mensais das variáveis climatológicas (Estação Alegrete).....	45
Quadro 8– Médias mensais das variáveis climatológicas (Estação Uruguaiana).....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Modelos acoplados atmosfera-oceano de circulação geral utilizados no MAGGIC/SCENGEN versão 5.3.....	37
Tabela 2 – Postos fluviométricos considerados para a bacia do rio Ibicuí.....	66
Tabela 3 – Postos pluviométricos considerados para a região da bacia do rio Ibicuí	67
Tabela 4 – Postos climatológicos considerados na região da bacia do rio Ibicuí.....	68
Tabela 5– Estatísticas da calibração do modelo (Q90 calculada e observada sem considerar os meses de novembro a fevereiro). Fonte: Collischonn, 2011.....	70
Tabela 6– Estatísticas de avaliação do erro para os GCM’s.....	82
Tabela 7– Ranking de MCG’s	83

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA Agência Nacional de Águas

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

AR4 Quarto Relatório de Avaliação do Grupo de Trabalho 1 (Fourth Assessment Report Working Group 1)

CH4 Gás Metano

CO2 Dióxido de Carbono

CPTEC Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CPRM Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DRH Departamento de Recursos Hídricos

FEPAM Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler

GCM's Modelos Climáticos Globais

INMET Instituto Nacional de Meteorologia

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia Estatística

INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática

MNT Modelo Numérico do Terreno

MAGICC/SCENGEN Model for the Assessment of Greenhouse gas Induced Climate Change/SCENario GENerator

MGB-IPH Modelo Hidrológico de Grandes Bacias

N₂O óxido nitroso

PRECIS Providing Regional Climates for Impacts Studies

RECE Cenários de Emissões do Relatório Especial sobre Cenários de Emissões

RNA's Redes Neurais Artificiais

URH Unidade de Resposta Hidrológica

SRES Special Report on Emissions Scenarios

SO₂ dióxido de enxofre

1. INTRODUÇÃO

Mudanças ou variabilidade climática podem gerar significativos impactos sobre o regime hidrológico de uma região. Os conflitos pelo uso da água podem se alterar como consequência de mudanças climáticas, por exemplo, pela alteração da demanda de água, gerando conflitos sócio-econômicos. Estudar a vulnerabilidade e os impactos da potencial modificação climática sobre os recursos hídricos, tendo como base a unidade da bacia hidrográfica, é um assunto estratégico para o país, permitindo, segundo Tucci (2009), planejar potenciais medidas mitigadoras em associação com as ações existentes de gerenciamento.

Mudanças nas variáveis de clima têm sido relacionadas à emissão de gases causadores do efeito estufa. O efeito da emissão de gases na atmosfera e sua interação com os processos naturais no clima do globo sugerem futuras mudanças climáticas, como o provável aumento de temperatura do globo devido ao aumento de emissão de CO₂; provável aumento médio da precipitação em algumas regiões e reduções em outras; aumento do nível do mar devido ao derretimento do gelo.

Para estimar as mudanças climáticas que podem ocorrer no futuro diversas metodologias têm utilizado as projeções de clima de Modelos Climáticos Globais – GCM's. Esses modelos são considerados pela maioria da comunidade científica como a melhor ferramenta, pois levam em conta de forma quantitativa (numérica) o comportamento dos compartimentos climáticos (atmosfera, oceanos, vegetação, solos, etc.) e suas interações, permitindo que se simulem prováveis cenários de evolução do clima para vários cenários de emissões dos gases de efeito estufa. No entanto ainda existem grandes incertezas e diferenças nos resultados dos principais modelos GCM's.

No âmbito dos recursos hídricos, o principal efeito de modificações nas variáveis de clima, como temperatura do ar e precipitação, se faz sentir no escoamento de bacias hidrográficas. Daí a importância da modelagem hidrológica destes cenários de possíveis mudanças no clima.

Neste sentido diversas metodologias têm sido utilizadas, dentre elas a utilização dos resultados de mudanças nas variáveis de clima previstos pelos GCM's como dados de entrada em modelo hidrológicos a fim de avaliar impactos nos regimes de vazão.

Neste contexto este trabalho apresenta uma análise do impacto de possíveis cenários de mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão na bacia hidrográfica do Rio Ibicuí. Para tanto considera-se os cenários de mudanças climáticas previstas por

um conjunto de modelos climáticos e propagando estes resultados no regime de vazão através de um modelo hidrológico. É dada uma atenção especial à incerteza nas previsões de mudanças climáticas, originada principalmente pelos diferentes cenários de emissões de gases e pelos diferentes modelos climáticos globais existentes.

1.1 OBJETIVO

O objetivo do trabalho é avaliar os possíveis impactos de mudanças climáticas na bacia hidrográfica do Rio Ibicui, e estimar as incertezas destas previsões, bem como analisar as principais fontes de incerteza.

1.2 JUSTIFICATIVA

As alterações climáticas podem gerar significativos impactos sobre o regime hidrológico, entre eles aumento de cheias, secas, erosão, deterioração da qualidade das águas e diversidade dos ecossistemas. IPCC (2001b) define Mudança Climática (Climate Change) como as mudanças de clima no tempo devido à variabilidade natural e/ou resultado das atividades humanas (ações antrópicas, dentre elas a emissão de gases relacionados ao efeito estufa).

Um dos principais efeitos das mudanças e variabilidade do clima se faz sentir nos escoamentos gerados nas bacias hidrográficas. Os efeitos se tornam de especial interesse pelos impactos gerados nas bacias hidrográficas, especialmente na quantidade de água disponível para os diversos usos, de modo a evitar conflitos. Portanto é imprescindível o estudo destes impactos no âmbito de bacias hidrográficas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A mudança climática global começou a ser discutida em finais da década de 1980, no âmbito do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e da Organização Meteorológica Mundial, com o apoio dos estudos do Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática - IPCC.

A variabilidade climática é um processo natural que pode ser identificada através da observação de séries históricas de variáveis do clima como temperatura e precipitação.

De acordo com o último relatório do IPCC (2007) existe um razoável consenso (até 90% de chance) que essas alterações no clima global estão ocorrendo em consequência do aumento da concentração de gases de efeito estufa, gerados pelas atividades antrópicas e não por eventual variabilidade natural do clima.

As alterações climáticas se refletem nas modificações de variáveis representativas do clima tais como precipitação, temperatura e umidade do ar, vento e radiação solar. Tais variáveis estão relacionadas ao ciclo hidrológico e, portanto ao comportamento de uma bacia hidrográfica. Dentre as diversas manifestações desta mudança no âmbito dos recursos hídricos destaca-se a alteração no regime das vazões dos rios devido, especialmente, a evapotranspiração e precipitação.

Para projetar prováveis alterações climáticas para o futuro, diferentes centros de pesquisa internacionais tem adotado modelos matemáticos que procuram representar o sistema climático global. Estes modelos são, em geral, denominados de modelos climáticos globais (GCM's) e são aplicados considerando cenários de emissão de gases que dependem de previsões de desenvolvimento sócio-econômico e tecnológico para os próximos 100 anos, aproximadamente. Os cenários de emissão de gases de efeito estufa são conhecidos como cenários SRES (“Special Report on Emissions Scenarios”) e atualmente apresentam 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.

2.1.1 MODELOS CLIMÁTICOS GLOBAIS

A necessidade de conhecer como as mudanças climáticas podem afetar o suprimento de água para as atividades humanas e para a manutenção natural de ecossistemas é extremamente importante.

Modelos de Circulação Geral tem sido desenvolvidos para simular o clima atual e usados para estimar futuras mudanças. Esses modelos são considerados pela maioria da comunidade científica como a melhor ferramenta, pois levam em conta de forma quantitativa (numérica) o comportamento dos compartimentos climáticos (atmosfera, oceanos, vegetação, solos, etc.) e suas interações, permitindo que se simulem prováveis cenários de evolução do clima para vários cenários de emissões dos gases de efeito estufa.

A maioria de GCM's são capazes de fornecer uma representação razoável de uma caracterização climática regional tal como ENSO, células de Hadley, ventos alísios e jatos na atmosfera. Eles também fornecem uma descrição realista de padrões chamados de teleconexões, tal como propagação de ondas na atmosfera e no oceano. Estes fenômenos, no entanto, tendem a ter escalas espaciais claramente grandes, mas quando levados à escala local, os GCMs não são mais apropriados. Há várias razões para que os GCMs não forneçam uma descrição representativa do clima local. Uma delas é que a discretização é somente suficiente para retratar os processos atmosféricos de macroescala na superfície da Terra (Dibike e Coulibaly, 2005).

Os processos de sub-amostragem da malha de pontos são representados por esquemas de parametrização descrevendo o efeito de agregação sobre uma escala maior. Estes esquemas frequentemente são referidos como 'modelo físico' mas realmente são baseadas em modelos físico-estatísticos descrevendo a quantidade média nos pontos da malha de parâmetros relevantes. Os esquemas de parametrização são normalmente baseados em dados empíricos (e.g., medidas de campo ou observações in-situ), e um exemplo típico de um esquema de parametrização é a representação de nuvens (Stone e Knutti, 2010).

Os modelos de clima necessitam condições de contorno descrevendo as condições da superfície (e.g. energia e fluxos de vapor) para fornecer uma representação realista do sistema do clima. Esquemas frequentemente simples de parametrização são empregados para fornecer uma descrição razoável, mas estes não capturam os detalhes das variações associadas com escalas espaciais pequenas (Bouwer et al, 2004).

Dentre as principais limitações destes GCM's destacam-se as seguintes:

(a) a discretização é suficiente apenas para retratar os processos atmosféricos de macroescala na superfície da Terra; (b) existem vários parâmetros e processos que apresentam fortes limitações na representação dos modelos, por exemplo, os processos físicos hidrológicos na bacia variam na microescala. Isso tem dificultado a integração entre os modelos climáticos e os hidrológicos. Atualmente, existem vários projetos no globo que buscam melhor estimar os parâmetros para tornar estes modelos mais confiáveis (e. g. Stone and Fowler, 2010; Räisanen, 2007; Zhang et al, 2007).

Xu (1999b) apresenta algumas das técnicas para adequar a escala espacial dos resultados dos GCMs a escala de bacia hidrográfica, chamadas de “*downscaling*” e agrupadas em *downscaling* dinâmico, baseado na utilização de Modelos de Circulação

Regional (Regional Circulation Model – RCM), e downscaling estatístico (e.g. Tripathi et al, 2006).

2.1.2 DOWNSCALING E MODELOS REGIONAIS

Os modelos globais climáticos são usados como ferramentas para projeções de futuras mudanças do clima, no entanto o nível de detalhamento fornecido por esses métodos ainda não está consolidado, ainda que, os GCM's forneçam simulações adequadas da circulação atmosférica em escala global (Wilby e Fowler, 2010). A principal razão é a resolução espacial destes modelos, que são da ordem de centenas de quilômetros. Sendo assim, forçantes de mesoescala (topografias complexas, cobertura vegetal, grandes lagos e rios) e uma gama de processos físicos com escala espacial inferior à resolução espacial da “grade” do modelo acarretam erros no decorrer da integração e, assim, limitando a possibilidade de simular ou prever com exatidão satisfatória alguma variação, por exemplo, da temperatura ou precipitação, em escala regional (Moriondo e Bindi, 2006).

O termo downscaling refere-se a técnicas de transferência de informação meteorológica derivada dos GCM's (com resolução maior que 100 km) para as escalas menores ou regionais (resolução de 10 a 100 km). Diversas metodologias de downscaling vêm sendo utilizadas (e.g. Giorgi and Mearns, 1991; Hewitson and Crane, 1996; Wilby and Wigley, 2000; Zorita and Storch, 1999; Xu, 1993; Mearns et al, 2003; Wilby et al, 2006; Carter, 2007; Christensen et al 2007b; Fowler et al, 2007).

Tais técnicas de downscaling podem ser enquadradas em duas abordagens distintas conceitualmente:

(a) os modelos dinâmicos regionais, que 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). Estes modelos regionais incorporam características regionais como topografia, vegetação, solo e etc., não contidas nos modelos globais. Vários estudos acerca do uso desta técnica de downscaling sugerem um melhor desempenho na simulação e previsão de distribuição de precipitação localizada (Nobre et al., 2001; Sun et al. 2005), como no caso de bacias hidrográficas.; e

(b) métodos empíricos ou downscaling estatístico: na maior parte das vezes funções de transferência estatísticas entre os dados dos campos de larga escala e a variável de interesse na superfície (Wilby et al., 2004). Uma revisão comparando vários métodos de downscaling aplicados à saída dos GCM's é visto em Giorgi e Hewitson (2001).

Entre os métodos empíricos destacam-se os de regressão múltipla. Alguns outros autores utilizaram procedimentos de classificação automática para *downscaling* de cenários regionais. Redes neurais artificiais (RNA's), também têm sido empregadas, com bons resultados, como instrumento de *downscaling* (Wilby and Fowler, 2010).

Bouwer et al. (2004) em estudo de impacto hidrológico em uma microbacia hidrográfica, propuseram “downscaling” aplicado aos dados dos modelos de mudança climática, utilizando métodos de interpolação e estatísticos, com validação para cada caso, em particular, exigindo uma grande quantidade de dados locais.

A fim de se obter cenários mais confiáveis em escala espacial e escala temporal mais detalhadas, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) vem trabalhando com modelos regionalizados para o Brasil, com boa expectativa que logo esses dados estarão disponíveis para os estudos.

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.

2.1.3 CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

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 de como o futuro se desenrolará, baseando-se num conjunto de suposições base, acerca de relações chave e mecanismos geradores (grau de mudanças tecnológicas, flutuações monetárias, etc.), que devem ser coerentes e consistentes. Nota-se, portanto que é na construção de cenários que se inicia uma cascata de incertezas que vai aumentando de amplitude até ao resultado final.

O IPCC tem adotado um conjunto de cenários climáticos, conhecidos como cenários SRES (“Special Report on Emissions Scenarios”) que são baseados em 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. Os modelos climáticos são usados como ferramentas para projeções de futuras mudanças do clima, como consequência de futuros cenários de forçantes climáticas (gases de efeito estufa e aerossóis) como mostra a Figura 1.

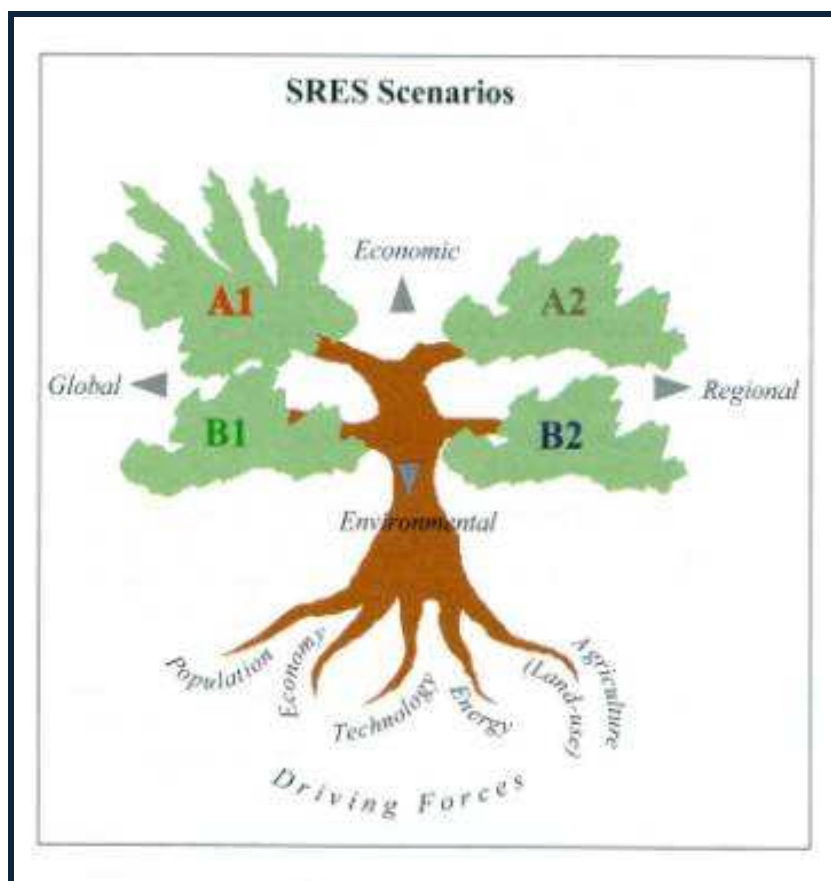


Figura 1 – Principais forçamentos controladores da emissão de gases considerados na definição de cenários (Special Report on Emissions Scenarios – SRES, do IPCC). Fonte: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/sres/>

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é um painel científico ligado às Nações Unidas que avalia o conhecimento existente no mundo sobre a mudança climática global. Encarregado de apoiar com trabalhos científicos nas avaliações do clima e os cenários de mudanças climáticas para o futuro, o IPCC deve avaliar a informação científica, técnica e socioeconômica relevante para entender os riscos induzidos pela mudança climática na população humana.

Em 1992 o IPCC publicou seis cenários (Leggett et al., 1992) acerca de futuras emissões dos principais gases de efeito de estufa (CO₂, CO, CH₄, N₂O, NO e SO₂)

para o período compreendido entre 1990 e 2100. Estes foram posteriormente utilizados por climatologistas e outros cientistas da atmosfera para produzir previsões acerca do futuro clima, atualizando e estendendo o trabalho efetuado durante o primeiro relatório do IPCC (de 1990). Estes cenários ficaram conhecidos na literatura como IS92 (variantes: a, b, c, d, e, f).

Um novo conjunto de cenários foi criado para ter uma aplicação mais alargada que os seus predecessores. Tais cenários foram desenvolvidos através de um esforço coletivo de peritos em todas as áreas relevantes. O processo envolveu três fases, sendo que a primeira fase incluía rever suposições chave para entregar aos modeladores. Estas suposições integraram projeções populacionais, mudanças tecnológicas entre outras.

A equipe que desenvolveu estes cenários decidiu descrevê-los como pequenas narrativas de maneira a que possa ajudar a sua interpretação. O quadro abaixo tenta resumir os pontos principais associados a cada cenário (IPCC, 2007).

Quadro 1 - Cenários de Emissões do Relatório Especial sobre Cenários de Emissões (RECE) do IPCC.

A1. O contexto e a família de cenários A1 descrevem um mundo futuro de crescimento econômico muito rápido, com a população global atingindo um pico em meados do século e declinando em seguida e a rápida introdução de tecnologias novas e mais eficientes. As principais questões subjacentes são a convergência entre as regiões, a capacitação e o aumento das interações culturais e sociais, com uma redução substancial das diferenças regionais na renda per capita. A família de cenários A1 se desdobra em três grupos que descrevem direções alternativas da mudança tecnológica no sistema energético. Os três grupos A1 distinguem-se por sua ênfase tecnológica: intensiva no uso de combustíveis fósseis (A1FI), fontes energéticas não-fósseis (A1T) ou um equilíbrio entre todas as fontes (A1B) (em que o equilíbrio é definido como não se depender muito de uma determinada fonte de energia, supondo-se que taxas similares de aperfeiçoamento apliquem-se a todas as tecnologias de oferta de energia e uso final).

A2. O contexto e a família de cenários A2 descrevem um mundo muito heterogêneo. O tema subjacente é a auto-suficiência e a preservação das identidades locais. Os padrões de desenvolvimento entre as regiões convergem muito lentamente, o que acarreta um aumento crescente da população. O desenvolvimento econômico é orientado primeiramente para a região, sendo que o crescimento econômico per capita e a mudança tecnológica são mais fragmentados e mais lentos do que nos outros contextos.

B1. O contexto e a família de cenários B1 descrevem um mundo convergente com a mesma população global, que atinge o pico em meados do século e declina em seguida, como no contexto A1, mas com uma mudança rápida nas estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e informações, com reduções da intensidade material e a introdução de tecnologias limpas e eficientes em relação ao uso dos recursos. A ênfase está nas soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, inclusive a melhoria da equidade, mas sem iniciativas adicionais relacionadas com o clima.

B2. O contexto e família de cenários B2 descrevem um mundo em que a ênfase está nas soluções locais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo em que a população global aumenta continuamente, a uma taxa inferior à do A2, com níveis intermediários de desenvolvimento econômico e mudança tecnológica menos rápida e mais diversa do que nos contextos B1 e A1. O cenário também está orientado para a proteção ambiental e a equidade social, mas seu foco são os níveis local e regional.

Um cenário ilustrativo foi escolhido para cada um dos seis grupos de cenários A1B, A1FI, A1T, A2, B1 e B2. Todos devem ser considerados igualmente consistentes.

Os cenários do RECE não envolvem iniciativas adicionais em relação ao clima, o que significa que nenhum cenário adota explicitamente a implementação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima ou as metas de redução de emissões do Protocolo de Kyoto.

O grupo que desenvolveu estes cenários decidiu não indicar um cenário mais provável, pois o futuro é intrinsecamente imprevisível e haverá diferentes pontos de vista sobre qual dos cenários é mais provável. Os cenários cobrem, portanto uma grande parte, mas não a totalidade dos possíveis futuros. Surpresas, como uma guerra nuclear (que provocaria um decréscimo abrupto da temperatura durante anos) ou descobertas de novas fontes energéticas poderão vir a acontecer. Estes cenários já começam a ser utilizados pela comunidade científica. Usando um modelo climático simples (consistente com o Segundo Relatório do IPCC), ideal para explorar as conseqüências de diferentes cenários, pode-se prever uma gama de possíveis incrementos da temperatura global terrestre durante os próximos cem anos.

MAGICC tem sido o principal modelo utilizado pelo IPCC para gerar projeções futuras de temperatura média global e nível médio do mar. Baseado em cenários de emissões de gases do efeito estufa e modelos simplificados que emulam o comportamento de modelos de circulação geral (GCMs), o MAGICC calcula projeções de concentração de gases de efeito estufa, temperatura média global e nível médio do mar.

Segundo Wigley (2008), dentre os mais expressivos geradores de cenários destaca-se ainda o MAGICC/SCENGEN que é baseado em um modelo acoplado de ciclo de gases e clima (MAGICC) que gera dados de modificação na temperatura média global utilizada pelo SCENGEN para gerar cenários de mudanças climáticas espacializados.

O MAGICC/SCENGEN foi o modelo utilizado neste trabalho para simular as futuras mudanças climáticas e para a geração de cenários.

2.2. IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NOS RECURSOS HIDRICOS

A potencial alteração climática, caracterizada em função da emissão de gases e o aumento do efeito estufa, se reflete na modificação de variáveis representativas do clima tais como precipitação, temperatura e umidade do ar, vento, radiação, dentre outras. Sendo estas variáveis influentes no comportamento hídrico de uma região, pode haver significativos impactos sobre o regime hidrológico, dentre eles o aumento de cheias, secas, erosão, deteriorização da qualidade das águas e diversidades dos ecossistemas. Isso pode acarretar em conflitos pelo uso da água e dificultar o gerenciamento deste recurso natural.

Logo a questão fundamental torna-se avaliar o impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos de uma região, pois tais impactos podem ter conseqüências positivas ou negativas. Cada unidade hidrológica possui distintas características físicas, como tipo de solos, litologia, relevo e outros. Portanto a resposta a modificações climáticas pode ser divergente dentre diferentes bacias hidrográficas.

Tucci (2009) enfatiza que tais impactos podem ser benéficos, como aconteceu para energia no Brasil depois de 1970, com o aumento das vazões, sendo possível gerar mais energia e adiar o racionamento que acabou acontecendo em 2001.

Em bacias hidrográficas com áreas de habitação ribeirinha um aumento das vazões de cheias poderia ser prejudicial à população, enquanto que baixos níveis fluviométricos possivelmente prejudicariam a navegação em rios, podendo inclusive comprometer atividades econômicas, como a pesca.

Uma área de conhecimento que se desenvolve atualmente é buscar relações que permitam entender e os processos de mudanças climáticas a fim avaliar os impactos e mitigá-los. Isto envolve estudos de processos climáticos, utilização de GCM's, simulação de cenários futuros, dentre outros.

No âmbito de bacia hidrográfica a abordagem mais comum é avaliar como as anomalias de precipitação e temperatura, ou seja, o aumento/diminuição destas variáveis pode afetar o regime de vazão dos rios, uma vez que a precipitação esta diretamente relacionada ao escoamento de uma bacia hidrográfica e a temperatura relaciona-se a evapotranspiração e ao balanço hídrico (e.g. Jiang et al, 2007).

O resultado da variação de temperatura e precipitação nos regimes de vazão é avaliada através de uso de modelos hidrológicos capazes de representar grande parte dos processos hidrológicos e também as características físicas da bacia hidrográfica.

O conceito de elasticidade da vazão em função de mudanças na precipitação média também é uma alternativa para mensurar a vulnerabilidade da bacia a mudanças climáticas (e.g. Fu et al, 2007; Chiew, 2006). Este conceito será descrito no item seguinte.

2.3. SENSIBILIDADE DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS ÀS MUDANÇAS DO CLIMA – ELASTICIDADE DE VAZÕES

Antes de analisar a variabilidade climática é necessário entender o efeito da elasticidade hidrológica ou sensibilidade de vazões. Este conceito refere-se a alteração de vazão a uma proporcional alteração de precipitação.

Um aumento/decrescimento X% na chuva pode levar a um aumento/decrescimento de Y% na vazão média de um rio. A importância desta relação está na identificação do efeito da alteração que ocorre na chuva e sua consequência sobre a vazão nos rios.

É importante ressaltar que a alteração da precipitação apresenta impacto diferenciado sobre a vazão da bacia hidrográfica. Segundo Tucci (2009), nos anos com valores extremos (inundações e secas) a resposta da bacia se amplifica com relação a variação adimensional da precipitação (elasticidade da vazão). Nos anos mais úmidos o aumento de precipitação produz maior aumento da vazão já que a infiltração aumenta pouco e a evapotranspiração potencial diminui pelo aumento da chuva, o que aumenta proporcionalmente mais a vazão. No sentido contrário, nos anos secos, a redução de precipitação, aumento da evapotranspiração reduz em maior magnitude a vazão. Portanto, a anomalia da vazão (resposta da bacia hidrográfica) amplifica os efeitos na precipitação, se for considerado apenas o efeito da anomalia da precipitação.

Pode-se considerar a elasticidade de vazões para a interpretação sobre a variabilidade ou mudança climática a ser realizada sobre os valores de chuva.

A sensibilidade das vazões é dada pela relação seguinte:

$$S = (\Delta Q/Q)/(\Delta P/P), \text{ onde}$$

Q é a vazão média; ΔQ é a variação da vazão dada pela diferença entre a vazão perturbada por alterações na precipitação (Q') e a vazão média da bacia hidrográfica ($Q' - Q = \Delta Q$); P é precipitação média da bacia hidrográfica e ΔP é variação da

precipitação dada pela diferença entre a precipitação perturbada em X% (P') e a precipitação média da bacia hidrográfica ($P' - P = \Delta P$).

A sensibilidade da vazão depende das características da bacia. A Figura 1 mostra o gráfico da relação existente entre coeficiente de escoamento ($C = Q/P$) e sensibilidade de vazão, descrito em Chiew (2006), onde se observa a magnitude da elasticidade na Austrália.

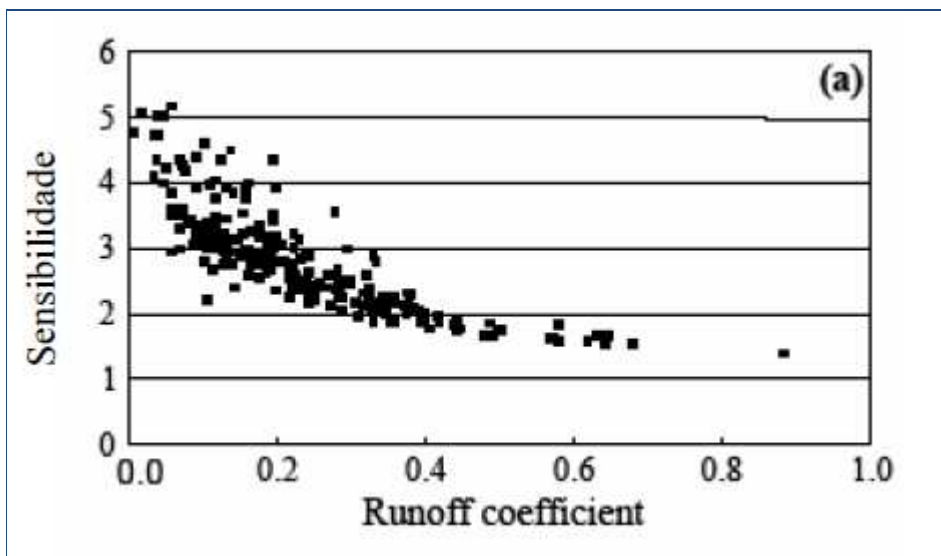


Figura 2: Estimation of rainfall elasticity of streamflow in Australia. Chiew (2006).

Na Figura 2 foi enfatizada a ordem de grandeza dos coeficientes de escoamento no sul do Brasil. Neste caso os dados referem-se à bacia do Taquari, no Estado do Rio Grande do Sul - RS, com valor de sensibilidade igual a 2 e considerando o coeficiente de escoamento 0,4.

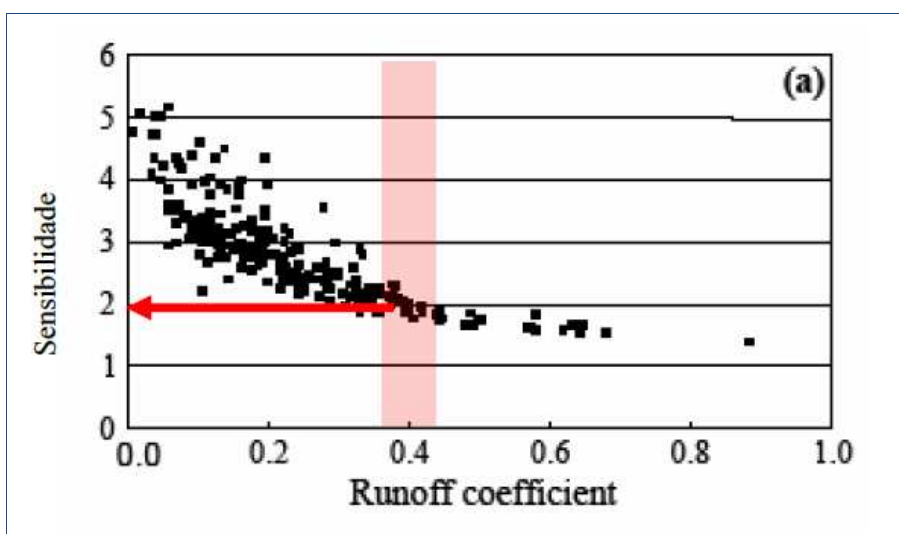


Figura 3: Chiew (2006). Estimation of rainfall elasticity of streamflow in Australia. Com ordem de grandeza dos coeficientes de escoamento no sul do Brasil.

Percebe-se que para um coeficiente de escoamento próximo de 0,4 o efeito de uma mudança na precipitação média é amplificado na vazão, em uma razão $S=2$ ($S=(\Delta Q/Q)/(\Delta P/P)$). A cada acréscimo/decréscimo de 1% na precipitação média tem-se um acréscimo/decréscimo de 2% na vazão média da bacia.

Paiva e Collischonn (2010), ao analisar a sensibilidade de vazões na bacia hidrográfica do Quaraí, no RS constatou que o efeito de uma mudança na precipitação média é amplificado na vazão média desta bacia, em uma razão $S=1,85$. A cada acréscimo/decréscimo de 1% na precipitação média tem-se um acréscimo/decréscimo de 1,85% na vazão média da bacia.

Segundo Tucci (2009) a elasticidade da vazão é um conceito pouco conhecido em Hidrologia, praticamente não existem informações ou pesquisa sobre este assunto na literatura e mesmo este termo é pouco identificado, no entanto pode ser um tema interessante para desenvolver nas pesquisas no Brasil onde as relações chuva x vazão possuem este efeito.

2.4. INTEGRAÇÃO ENTRE MODELOS CLIMÁTICOS E MODELOS HIDROLÓGICOS

Além dos componentes climáticos, os GCMs podem fornecer resultados relativos ao ciclo hidrológico. Entretanto, normalmente a escala espacial dos GCMs não é compatível com a escala de planejamento de uma bacia hidrográfica e alguns dos processos hidrológicos (e.g. escoamento na rede de drenagem) são representados de forma muito simplificada. Xu, (1999b) aponta algumas das mais importantes lacunas existentes para a integração de modelos climáticos e hidrológicos:

(1): A escala temporal e espacial gerada pelos modelos climáticos não é compatível com as necessidades de representação hidrológica. Por exemplo, modelos hidrológicos são geralmente concebidos para estudos em escalas menores do que as apresentadas pelos modelos climáticos além de utilizarem um intervalo de tempo menor do que os climáticos. Alternativamente, podem-se utilizar os resultados dos GCMs como dados de entrada em modelo hidrológicos de macroescala para avaliar impactos regionais (e.g. Fai Fung et al, 2006) ou utilizar modelos hidrológicos e climáticos acoplados (e.g. Yu et al, 2006).

(2): Devido ao fato de que a troposfera é espacial e temporalmente mais homogênea do que a superfície terrestre, os GCMs são mais eficientes em simular o clima da troposfera livre do que a superfície terrestre. No entanto os modelos hidrológicos têm de trabalhar com variáveis de superfície. Sabe-se que quanto maior é a altitude, melhor o desempenho dos GCMs, no entanto menor a correlação com as variáveis superficiais.

(3): GCMs foram concebidos para simular em média e larga escala a circulação atmosférica. Variáveis como vento, temperatura e pressão do ar podem ser bem representadas. Precipitação e nebulosidade já não são tão bem representadas. Existem outras variáveis com grande importância no regime hidrológico, como escoamento, evapotranspiração e umidade do solo que não são bem representados pelos GCMs. Conseqüentemente a estimativa de escoamento obtido pela diferença entre precipitação e evaporação pode não ser feita com exatidão. A utilização de um modelo que não contempla o balanço de água na fase terrestre pode causar erros na simulação do ciclo hidrológico (Watts, 2010).

Pelas razões acima citadas se justifica a utilização de somente valores de mudanças das variáveis climáticas de interesse, em forma de anomalias adicionadas às séries observadas, e não utilização de resultados brutos dos GCMs. Para tanto a maioria dos estudos utiliza modelos de simulação hidrológica que considerem como dados de entrada variáveis de clima, como precipitação e temperatura, a fim de estimar o impacto destas anomalias no regime de vazão. Para isso os modelos hidrológicos devem ter uma base física e serem capazes de representar grande parte dos processos do ciclo hidrológico.

A escolha de um modelo para um determinado caso em estudo depende de vários fatores, dentre outros o modelo e os dados analisados e disponíveis são um dos mais importantes. Para estimar o balanço hídrico em escala regional, o modelo deve identificar as conseqüências hidrológicas de mudanças na temperatura, precipitação e de outras variáveis climáticas (Lopez et al, 2009; Vidal e Wade, 2008; Xu et al, 2005; Xu e Singh, 1998; Watts, 2011). Para estimativa do escoamento superficial deve ser usado um modelo capaz de simular os efeitos nas modificações das características físicas da bacia e possíveis mudanças de parâmetros como temperatura e precipitação. Portanto a escolha de um modelo deve ser feita em consideração ao objetivo do estudo em questão.

2.5. MODELAGEM HIDROLÓGICA DOS IMPACTOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Diferentes metodologias vêm sendo empregadas para estimar os impactos de mudanças climáticas sobre os recursos hídricos. A abordagem mais simplificada é utilização de cenários hipotéticos de mudanças na precipitação e temperatura médias da bacia hidrográfica e a avaliação do conseqüente impacto destas mudanças no regime de vazão (e.g. Jiang et al, 2007).

Resultados de previsões de mudanças climáticas de GCMs atualmente se encontram disponíveis. Estas informações são utilizadas como dados de entrada de modelos hidrológicos. No entanto os GCMs são incapazes de representar com perfeição o clima e muitas vezes geram resultados tendenciosos (Leith e Chandler, 2010). Desta forma, em muitos estudos opta-se por utilizar os resultados de mudanças climáticas dos GCMs em termos de mudanças médias nas variáveis de interesse (e.g. precipitação e temperatura do ar) relativas ao clima atual e não as séries de dados brutos. Os valores de mudanças médias nas variáveis de interesse podem ser utilizados para perturbar as séries observadas que posteriormente são utilizados como dado de entrada nos modelos hidrológicos.

Paiva et al (2010) avaliou o impacto de possíveis cenários de mudanças climáticas sobre os recursos hídricos na bacia do rio Quaraí, localizada entre o sul do Brasil e a região nordeste do Uruguai. Os valores de anomalias previstas para as variáveis temperatura do ar e precipitação (para 2020, 2050 e 2085) foram obtidas através do gerador de cenários MAGICC/SCENGEN versão 4.2, considerando resultados de nove GCMs e seis cenários de emissão de gases de efeito estufa. O impacto hidrológico destes cenários de mudança climática foram simulados com o modelo MGB-IPH, descrito em Collischonn (2001), através de perturbação das séries históricas de precipitação e temperatura do ar. Metodologia similar é descrita em Bravo et al (2010) para modelagem de cenários de mudanças climáticas na bacia do Rio Paraguai.

A fim de mensurar a vulnerabilidade da bacia a mudanças climáticas, alguns outros estudos vêm utilizando o conceito de elasticidade da vazão em função de mudanças na precipitação ou temperatura médias (e.g. Fu et al, 2007; Chiew, 2006). A sensibilidade do regime hidrológico a mudanças estaria relacionada a características físicas da bacia como cobertura vegetal e tipo de solos.

3. METODOLOGIA

3.1 DESCRIÇÃO GERAL

Esta metodologia propõe a avaliação dos possíveis impactos no regime de precipitação e vazão na bacia hidrográfica do Rio Ibicuí devido às mudanças climáticas, tendo como base a geração de cenários de tais mudanças (obtidos pelo gerador de cenários MAGICC/SCENGEN) e a aplicação destes resultados no modelo hidrológico (MGB-IPH). As séries observadas de precipitação e temperatura serão perturbadas (adição das anomalias previstas pelo gerador de cenários) mantendo as séries observadas das demais variáveis climáticas (umidade relativa, insolação, velocidade do vento). As séries de vazão obtidas serão comparadas com as séries atuais (simuladas com dados de precipitação e temperatura observadas, ou seja, série original sem adição de anomalias). Análises de sensibilidade baseada em mudanças hipotéticas de precipitação foram realizadas a fim de mensurar o impacto de mudanças climáticas na bacia do Rio Ibicuí.

Nesse sentido, consideram-se cinco principais etapas:

(1) Coleta de dados hidrometeorológicos e simulação hidrológica da bacia do Rio Ibicuí;

Como etapa inicial a modelagem hidrológica da bacia do Rio Ibicuí utilizando dados observados de climatologia e vazão. Através desta etapa é possível simular o comportamento hidrológico da bacia bem como calibrar parâmetros do modelo hidrológico utilizado, neste caso o MGB-IPH. Dados diários de vazão, chuva e clima foram obtidos através da Agência Nacional de Águas (ANA) no seu sistema Hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br/>). A partir do banco de dados Hidroweb foi possível a obtenção de séries de dados hidrometeorológicos, para a bacia do Rio Ibicuí, no período de 1960 a 2005.

(2) Análise de sensibilidade de vazão;

Análise de sensibilidade da vazão em função de mudanças hipotéticas na precipitação média anual utilizando o modelo hidrológico MGB-IPH. Esta etapa permite estimar o impacto que acréscimos ou decréscimos nas chuvas causariam ao regime de vazão na bacia do Ibicuí.

(3) Estimativa das anomalias de temperatura do ar e precipitação em cenários de mudanças climáticas;

Para a geração de cenários de mudanças climáticas, obtenção das variações de temperatura média mensal (°C) e precipitação (%) foi utilizado o modelo MAGICC/SCENGEN. Os dados obtidos por este software representam as mudanças climáticas previstas para o ano de 2050 (janela de 30 anos centrada em 2050).

Os valores de mudanças previstas nas variáveis de clima analisadas (temperatura e precipitação) representam o aumento ou a redução que as mesmas terão no futuro, ou seja, uma anomalia, que neste trabalho foi utilizada como um incremento, um delta (Δ) perturbador das séries observadas (séries de dados atuais). Com a adição destas anomalias nas séries de dados observados das variáveis temperatura e precipitação, novas séries são obtidas: as séries futuras de temperatura e precipitação.

(4) Simulação dos Cenários de Mudanças Climáticas;

Através do Modelo Hidrológico MGB-IPH (Collischonn, 2001) foi realizada a simulação hidrológica da bacia hidrográfica do Ibicui.

O MGB-IPH foi utilizado em duas etapas: inicialmente para a simulação hidrológica da bacia em estudo com séries de climatologia e vazão observadas (extraídas do banco de dados Hidroweb) a fim de calibrar o modelo para a área analisada; em seguida considerando as séries de precipitação e temperatura perturbadas a fim de analisar os impactos das mudanças climáticas. Neste caso, mantendo as séries observadas das demais variáveis climáticas, tais como umidade relativa (%), insolação (horas/dia), velocidade do vento (m/s) e pressão (KPa).

Os resultados das projeções são mostrados em forma de mapas com grades de 2,5° x 2,5°. A área da bacia do Rio Ibicui corresponde a quatro destas grades. Em cada uma destas grades o modelo gera um valor de anomalia mensal para precipitação e outro para temperatura. Logo estes valores são interpolados para as estações de chuva e clima de acordo com sua localização na área da bacia e grade correspondente.

A partir da estimativa de anomalias de temperatura (ΔT) e precipitação (ΔP) obtidas pelo gerador de cenários MAGICC/SCENGEN foram obtidas as séries futuras de temperatura e precipitação. Tais séries foram usadas como dados de entrada no modelo hidrológico MGB-IPH, gerando assim as séries futuras de vazão, ou seja, as vazões que poderão ocorrer no futuro de 2050 (janela de 30 anos centrada em 2050) na Bacia do Rio Ibicuí. As séries de vazão atual e futura foram comparadas para

mensurar sua variação devido ao impacto de mudanças climáticas na região. Também foi realizada a análise de sensibilidade da vazão em função de mudanças hipotéticas na precipitação média anual. Neste caso também utilizou-se o modelo hidrológico MGB-IPH. O período simulado é de 1960 a 2005.

(5) Seleção de modelos climáticos;

Com base na habilidade dos GCM's em representar o clima atual (serie de dados de 1961 a 1990) foi aplicada uma seleção de modelos climáticos. Esta etapa consiste na comparação, realizada pelo próprio MAGICC/SCENGEN, entre as series de dados observados no período de 1961 a 1990 e as series preditas pelos GCM's utilizados para este mesmo período de tempo.

Escolhidos os modelos climáticos, a etapa (4) foi novamente aplicada utilizando apenas os modelos selecionados.

A seguir apresenta-se uma breve descrição do modelo hidrológico MGB-IPH e do gerador de cenários MAGICC/SCENGEN.

3.1.1 MAGGIC/SCENGEN

As estimativas das projeções de anomalias de precipitação e temperatura média mensal na bacia analisada foi feita utilizando o modelo MAGICC/SCENGEN, (Model for the Assessment of Greenhouse gas Induced Climate Change/SCENario GENERator) versão 5.3, que considera as principais diretrizes estabelecidas pelo Quarto Relatório de Avaliação do Grupo de Trabalho 1 (Fourth Assessment Report, Working Group 1, AR4) do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change - IPCC).

O MAGICC/SCENGEN consiste na combinação do modelo climático MAGICC e a base de dados sobre cenários climáticos SCENGEN. Segundo Wigley (2008), o MAGICC/SCENGEN é baseado em um modelo acoplado de ciclo de gases e clima (MAGICC) que gera dados de modificação na temperatura média global utilizados pelo SCENGEN para gerar cenários de mudanças climáticas espacializados.



Figura 4 – Interface gráfica dos modelos MAGICC e SCENGEN, versão 5.3.

O programa MAGICC não é um modelo climático global, porém utiliza uma série de modelos reduzidos para simular o comportamento dos GCM's, ou seja, consiste em um conjunto de modelos conexos que, de maneira coletiva, responde ao gênero de Modelo Climático Simples (Harvey et al, 1997; Wigley, 2008).

O MAGICC calcula projeções de concentração de gases de efeito estufa, temperatura média global e nível médio do mar. O software permite determinar as alterações na concentração de gases de efeito estufa, ou seja, a escolha de cenários de emissão, média global da temperatura do ar e do nível do mar resultante das emissões antropogênicas de dióxido de carbono CO₂, metano CH₄, óxido nitroso N₂O, dióxido de enxofre SO₂ entre outros.

Os principais objetivos do MAGICC são os seguintes:

- Comparar dentro de uma mesma sessão do programa, as mudanças climáticas entre dois cenários diferentes. Um desses cenários é denominado “de referência” e o outro “de política”, ainda que essa terminologia permita a avaliação dos cenários de emissões quaisquer, independentemente do fato de derivarem ou não da imposição de políticas referentes ao clima.
- Determinar a sensibilidade dos resultados dos diferentes cenários de emissões frente às mudanças nos parâmetros do modelo. As margens de incertezas básicas são calculadas por diferença, porém, além disso, podem-se comparar os resultados de determinados cenários de emissões para um conjunto de parâmetros do modelo especificados pelo usuário com os gerados por um conjunto de valores de parâmetros predefinidos.

A Figura 5 mostra a comparação feita pelo MAGGIC em relação aos níveis de concentração de CO2 (período de referencia 1990-2100) entre os cenários de referencia e política.

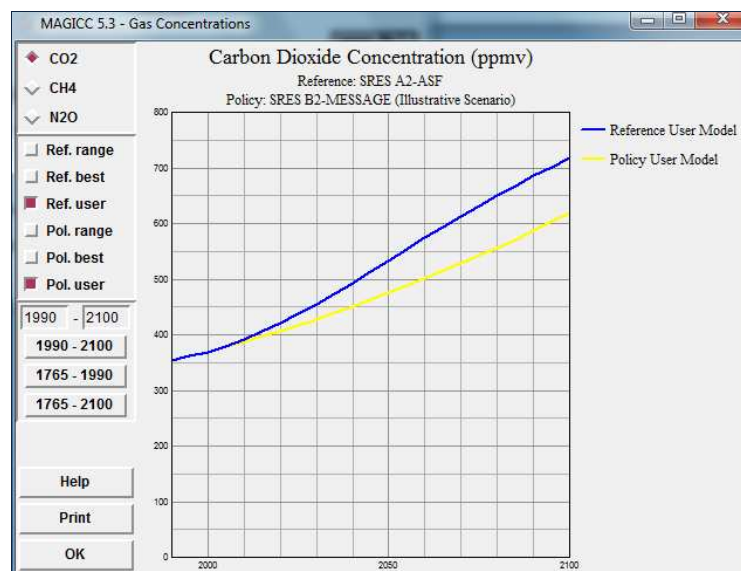


Figura 5 – Comparação entre os cenários de referencia e política para concentração de CO2.

O MAGGIC tem sido o principal modelo utilizado pelo IPCC para gerar projeções futuras de temperatura média global e nível médio do mar. Os resultados de temperatura média global são utilizados pelo SCENGEN para produzir padrões espaciais de mudanças climáticas a partir de um banco de dados de resultados de GCMs e utilizando o método *pattern scaling* descrito em Santer et al (1990) e Mitchell (2003).

SCENGEN que consiste num gerador de cenários (“SCENario GENerator”) mundiais e regionais, não é um modelo climático, mas sim uma base de dados simples que contem os resultados de um grande numero de experimentos de GCM’s, assim como também um conjunto de dados climáticos mundiais observados. SCENGEN realiza a gestão desses diversos campos de dados, utilizando a informação sobre o ritmo e a magnitude do aquecimento mundial proporcionada pelo MAGGIC e de acordo com a seleção que faça o usuário das características importantes do cenário climático.

Portanto, o modelo MAGGIC/SCENGEN converte cenários de emissões dos gases do efeito estufa em estimativas da temperatura media do ar, da mudança no nível do mar e posteriormente em descrições de mudanças futuras no clima. A Figura 6 mostra a estrutura deste modelo.

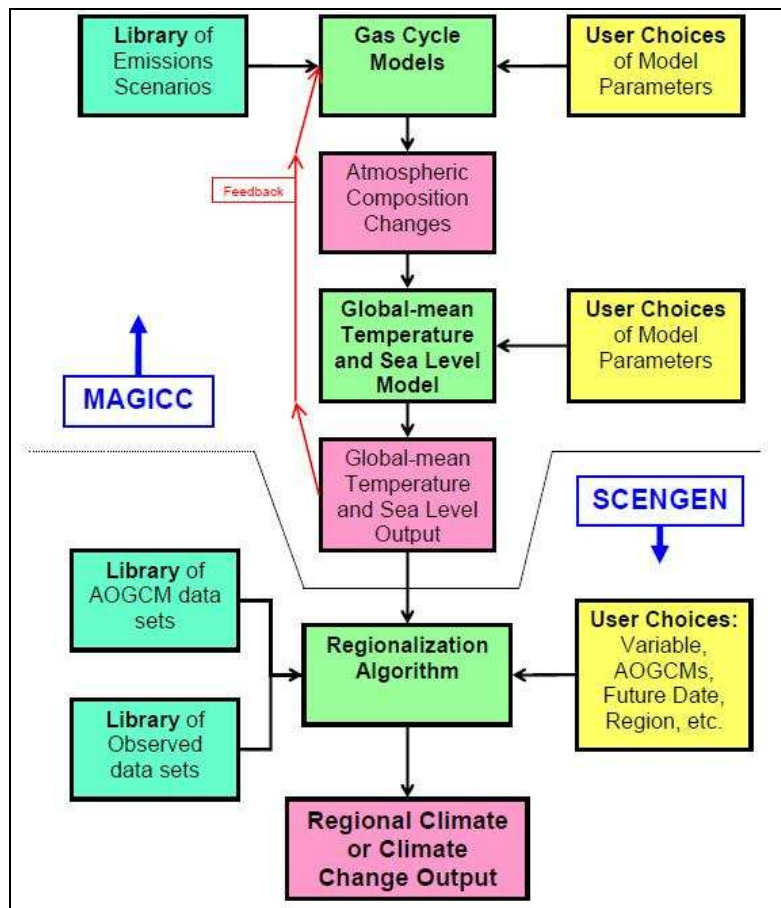


Figura 6 – Estrutura do modelo MAGIC/SCENGEN. (Fonte: Wigley, 2008)

O software permite determinar as alterações na concentração de gases de efeito estufa, ou seja, a escolha de cenários de emissão, média global da temperatura do ar e do nível do mar resultante das emissões antropogênicas de dióxido de carbono CO₂, metano CH₄, óxido nítrico N₂O, dióxido de enxofre SO₂ entre outros.

As previsões de mudanças climáticas são relativas aos cenários de emissões de gases de efeito estufa estabelecidos pelo IPCC e já descritos neste trabalho e as simulações são feitas por 20 modelos climáticos globais que são apresentados na Tabela 1.

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

Nome SCENGEN	País	Nome	Instituição
BCCRBCM2	Noruega	Bergen Climate Model, version 2	Bjerknes Centre for Climate Research (BCCR), Univ. of Bergen
CCSM--30	EU	Community Climate System Model, version 3.0	National Center for Atmospheric Research (NCAR)

CCCMA-31	Canada	Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis's	
CNRM-CM3	França	CNRM-CM3	Centre National de Recherches Météorologiques, Météo France
CSIRO-30	Australia	CSIRO Mark 3.0	CSIRO
MPIECH-5	Alemanha	ECHAM5/MPI-OM	Max Planck Institute for Meteorology
ECHO---G	Alemanha /Coreia	ECHO-G = ECHAM4 + HOPE-G	Meteorological Institute of the University of Bonn, Institute of KMA and Model and Data Group
FGOALS1G	China	FGOALS1.0	Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences
GFDLCM20	EU	CM2.0 - AOGCM	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory – NOAA
GFDLCM21	EU	CM2.0 - AOGCM	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory – NOAA
GIS--EH	EU	GISS ModelE-H	Goddard Institute for Space Studies (GISS), NASA
GIS--ER	EU	GISS ModelE-R	Goddard Institute for Space Studies (GISS), NASA
INMCM-30	Russia	INMCM3.0	Institute of Numerical Mathematics, Russian Academy of Science
IPSL_CM4	França	IPSL-CM4	Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)
MIROC-HI	Japão	MIROC3.2 (Model for Interdisciplinary Research on Climate)	CCSR/NIES/FRCGC
MIROCMED	Japão	MIROC3.2 (Model for Interdisciplinary Research on Climate)	CCSR/NIES/FRCGC
MRI-232A	Japão	MRI-CGCM2.3.2	Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency
NCARPCM1	EU	Parallel Climate Model	National Center for Atmospheric Research NCAR
UKHADCM3	Inglaterra	HADCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research
UKHADGEM	Inglaterra	Hadley Center Global Environmental Model, v.1	Hadley Center for Climate Prediction and Research

Os anos 1990 e 2100 são usados como uma “janela” de intervalo padrão dos anos simulados pelo software, mas eles podem ser alteradas pelo usuário.

Os resultados são apresentados como arquivos em um padrão de grades de 2.5 x 2.5 e visualizados como mapas (Figura 7)

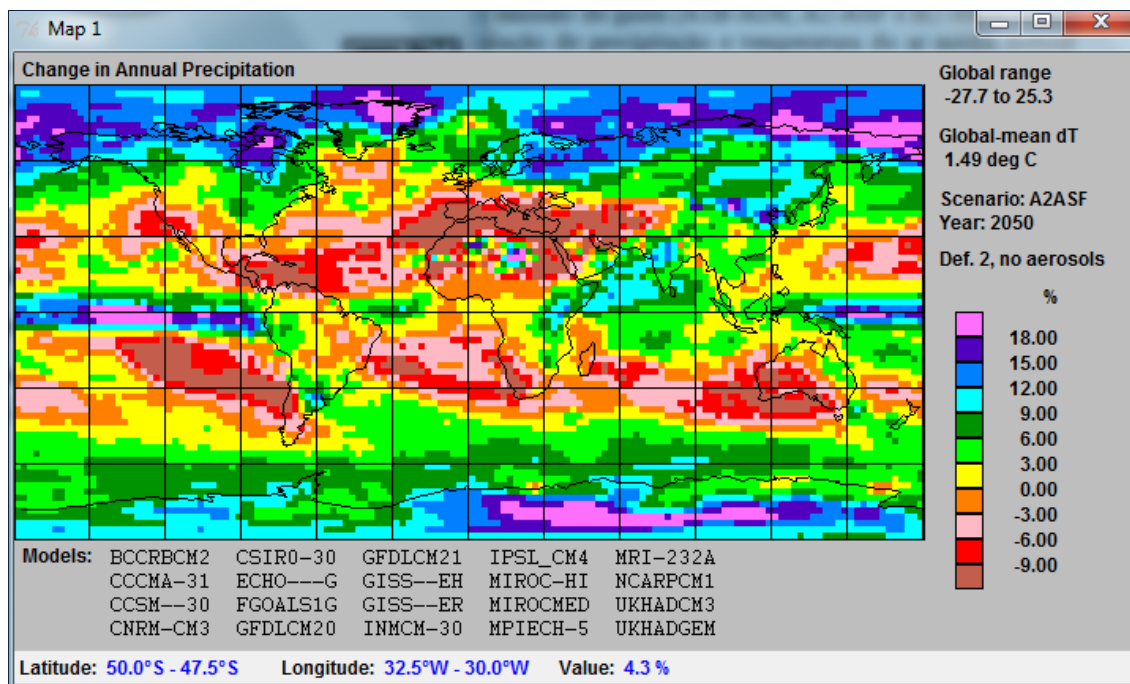


Figura 7 - Mapa de projeções anual de precipitação global gerado pelo Magic/Scengen

A vantagem da utilização do modelo MAGGIC/SCENGEN é que os valores obtidos representam apenas as anomalias prováveis das variáveis de clima e não dados brutos dos modelos climáticos.

3.1.2 O MODELO HIDROLÓGICO MGB-IPH

O modelo hidrológico de grandes bacias MGB-IPH, descrito em Collischonn (2001) ou Collischonn et al (2007), é um modelo distribuído desenvolvido para aplicações em grandes bacias .

O modelo é composto dos seguintes módulos: balanço de água no solo; evapotranspiração; escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo na célula; e escoamento na rede de drenagem. O modelo é distribuído no espaço, o que significa que a bacia hidrográfica é subdividida em unidades menores, definidas geomorfologicamente, denominadas mini-bacias.

O tipo de vegetação e uso da terra dentro de cada mini-bacia é categorizada dentro de uma ou mais classes de acordo com a escolha do usuário, 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 mini-bacia, e as vazões estimadas em cada URH são posteriormente somadas e propagadas até a rede de drenagem. Além disso, os parâmetros do modelo, por exemplo, a capacidade de armazenamento de água no solo, estão relacionados às URH.

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, 2001).

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 sub-dividido em intervalos menores durante a propagação por Muskingum-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).

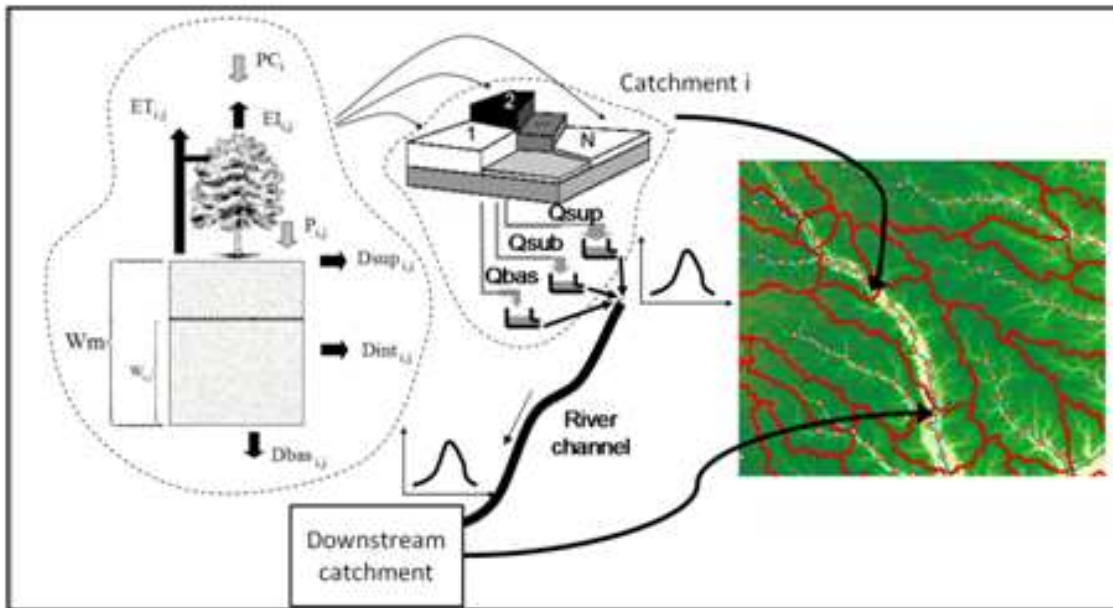


Figura 8 - Representação esquemática do modelo MGB-IPH (Fonte: Collischonn, 2007)

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.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 BACIA DO RIO IBICUI

4.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

A área em estudo está situada na Região Hidrográfica do Uruguai, no extremo oeste do Estado do Rio Grande do Sul. Compreende a bacia de contribuição do rio Ibicuí, principal afluente da margem esquerda do rio Uruguai em território brasileiro, com área de 35,158.43 Km².

Segundo a classificação da Agência Nacional de Águas - ANA, esta é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Rio Uruguai, é denominada bacia do Rio Ibicuí e recebe o código 76. Os principais cursos d'água desta bacia são os Rios Ibicuí, Ibicuí Mirim, Toropi, Jaguarí, Itu, Jaguarzinho, Santa Maria, Ibirapuitã e os Arroios Caverá, Miracatu, Pai Passo, Inhandui, Ibirocai, Touro Passo e Bororé.

O rio Santa Maria é um dos formadores do rio Ibicuí, porém a bacia do rio Santa Maria (12.000 km²) constitui uma unidade a parte, dentro da estrutura de gestão de

recursos hídricos do estado do Rio Grande do Sul. Isto ocorre porque existe um Comitê de Bacia do rio Santa Maria.

A separação do rio Santa Maria do rio Ibicuí cria uma dificuldade nos estudos de disponibilidade de água para o rio Ibicuí, já que a jusante da confluência do rio Santa Maria e do rio Ibicuí-Mirim a disponibilidade de água depende dos usos da água na bacia do rio Santa Maria (Collischonn, 2011). Esta situação foi contornada incluindo a bacia do rio Santa Maria na calibração do modelo hidrológico MGB-IPH, utilizado neste metodologia. A Figura 9 apresenta a divisão em sub-bacias do estado do Rio Grande do Sul, com destaque para as sub-bacias do Ibicuí e Santa Maria.

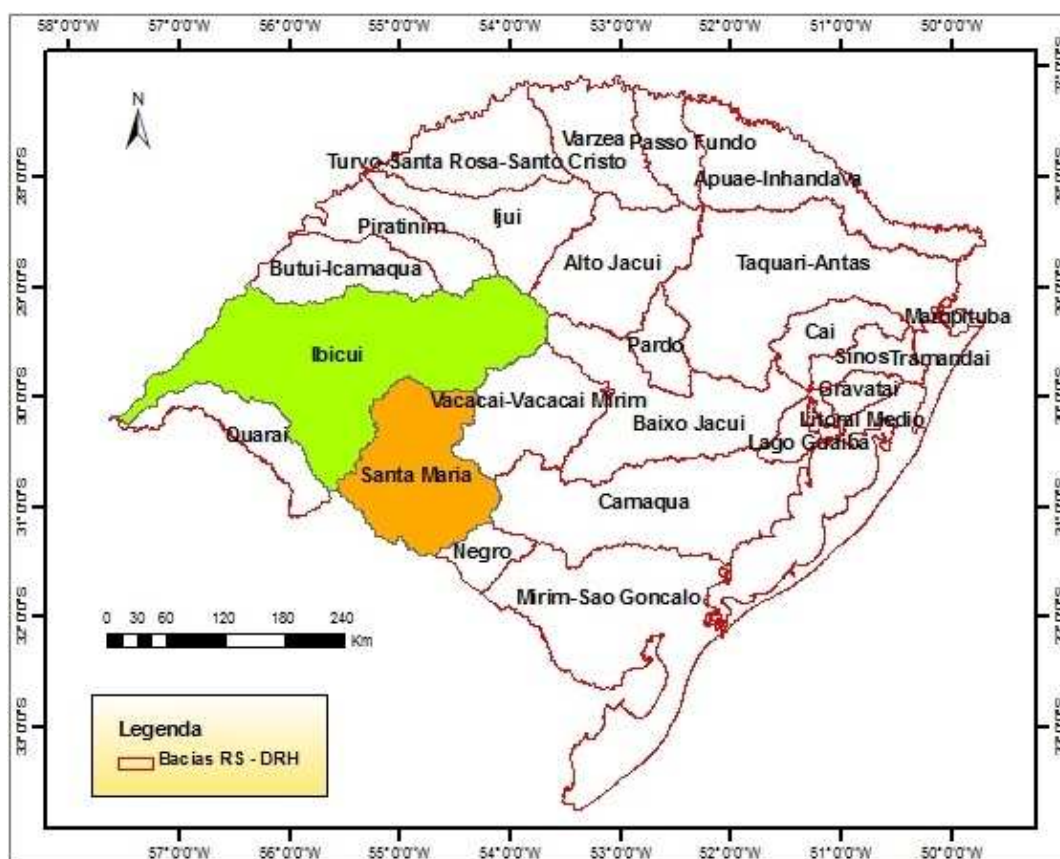


Figura 9 - Divisão em sub-bacias do estado do RS (Fonte: DRH, 2009)

A Figura 10 apresenta um mapa de chuvas médias anuais na região da bacia. Este mapa foi criado a partir da interpolação dos dados dos pluviômetros extraídos do banco de dados Hidroweb e indicados na figura no período de 1960 a 2005, usando o método de Kriging.

Observa-se um gradiente de precipitação no sentido sudoeste-nordeste, com valores mais baixos no sudoeste (cerca de 1400 a 1500 mm) e valores mais altos no noroeste

(cerca de 1900 mm). A região de maior pluviosidade anual corresponde às cabeceiras dos rios Toropi e Jaguari. A cabeceira do rio Itu também recebe uma quantidade de chuva anual relativamente mais alta do que o restante da bacia. As bacias dos afluentes do Sul, por outro lado, recebem menos chuva anual. Este é o caso dos rios Santa Maria e Ibirapuitã.

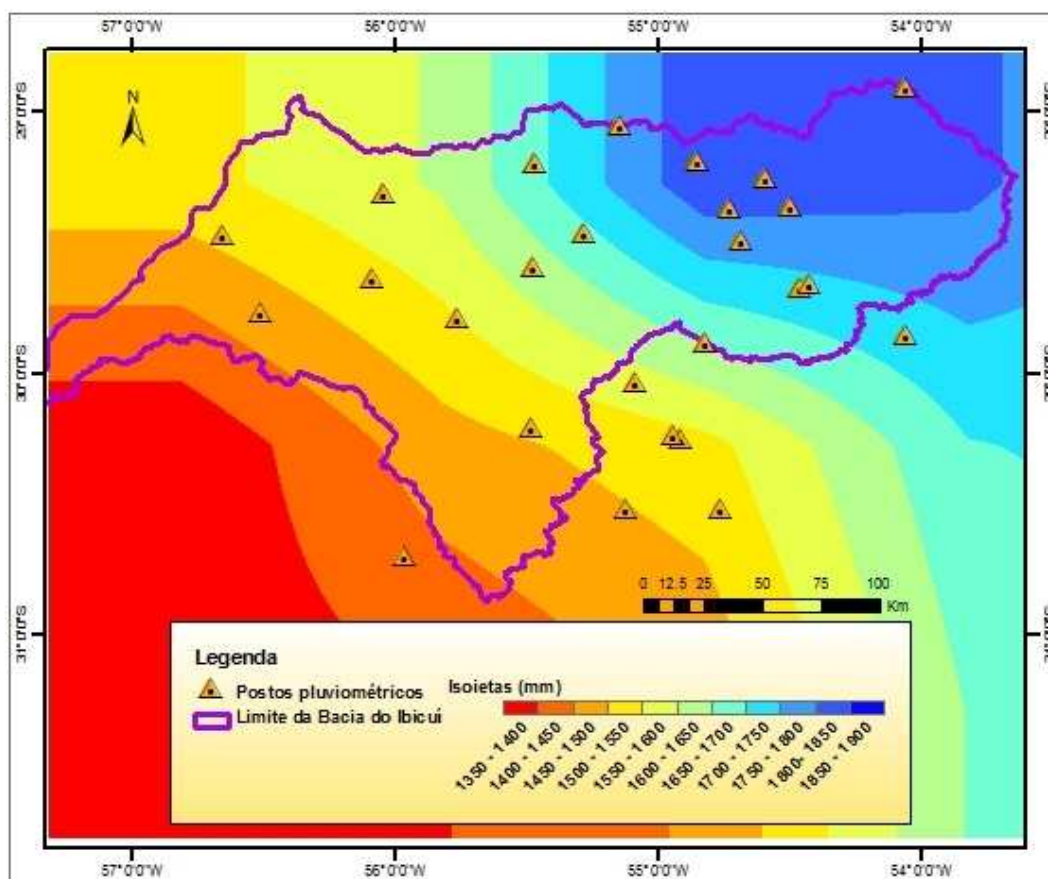


Figura 10- Mapa de pluviosidade média anual no período de 1960 a 2005 (Fonte: Collischonn, 2011)

Esta pluviosidade maior no Norte da bacia condiciona a disponibilidade hídrica, e se reflete nos dados de vazão média e mínima destes locais. Quanto à disponibilidade hídrica, a bacia apresenta vazão média superficial de 1.118m³/s. Apresenta também um volume acumulado de 1.294.448.382 m³ em açudes relativamente pequenos que têm como maior finalidade a cultura de arroz irrigado.

Quanto a disponibilidade hídrica subterrânea destacam-se como principais sistemas de aquíferos aflorantes Serra Geral e o Sistema de Aquíferos Guarani com vazões respectivamente, de 12 m³/h e de 17 a 25 m³/h (DRH/CPRM, 2006).

O clima da bacia do rio Ibicuí é caracterizado pela sua homogeneidade, no que se refere à pluviometria e ao ritmo estacional do seu regime.

Quanto ao regime térmico, a temperatura igualmente apresenta certa homogeneidade. A temperatura média situa-se entre 16° e 20°C.

A partir do banco de dados da ANA, estações climatológicas com dados de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica foram selecionadas e utilizadas neste trabalho. Um total de sete postos climatológicos foram escolhidos e utilizados para analisar as médias mensais das variáveis climatológicas. As estações climatológicas encontrados no Hidroweb para a área da bacia, todos eles operados pelo INMET, são os seguintes: Estação Santana do Livramento, Bagé, Cruz Alta, São Luiz Gonzaga, Santa Maria, Alegrete e Uruguai. A Figura 11 apresenta a localização dos postos climatológicos. Nos Quadros 2 a 8 são apresentadas as médias mensais das estações analisadas no período de simulação (1960 a 2005).

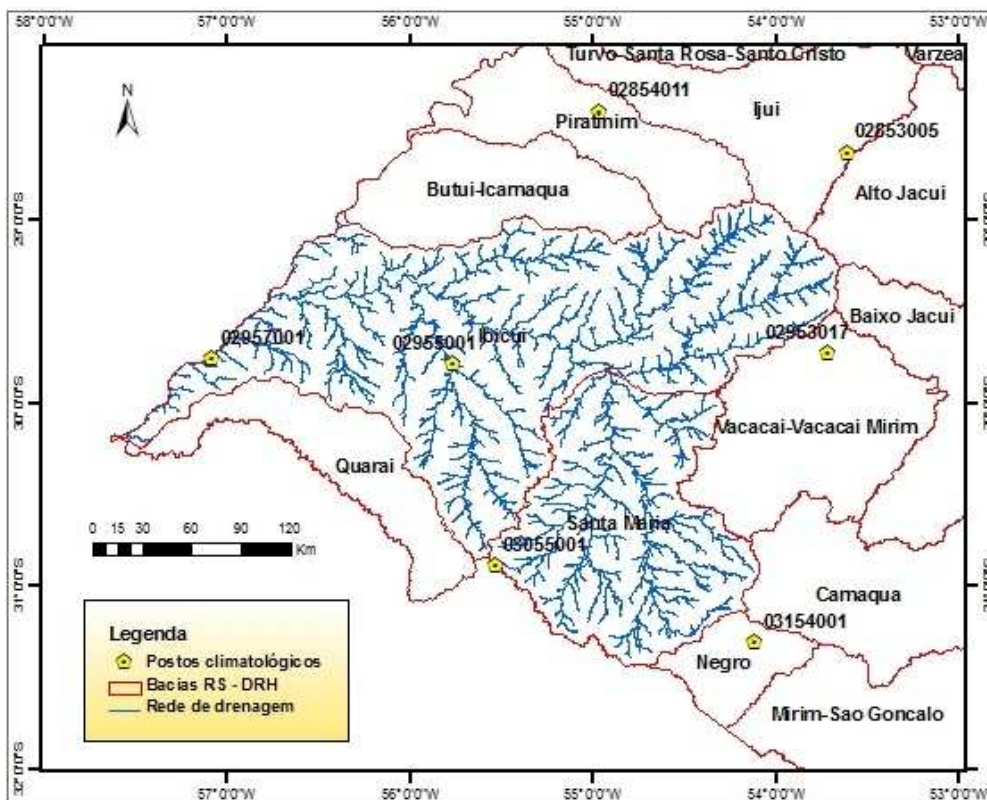


Figura 11 - Localização dos postos climatológicos na bacia do rio Ibicuí.

Quadro 2 – Médias mensais das variáveis climatológicas (Estação Santana do Livramento)

ESTAÇÃO SANTANA DO LIVRAMENTO												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temp. média mensal	24	23.6	21.4	17.6	15.6	13	13.1	14	15.2	17.8	20	22.3
Umidade Relativa (%)	55.2	56.5	58.9	57.1	62.6	65.2	65.7	62.2	63.1	57	56.3	56.2
Insolação (horas/dia)	8	8.1	7.3	7.5	6.1	5.8	6.1	6.4	7.3	7.7	9.1	9.5
Vento (m/s)	1.6	2	1.1	2.4	1.2	2	2.3	1.8	2	1.9	1.8	1.3
Pressão (kPa)	98.4	98.5	98.6	98.8	99	98.4	98.9	98.9	98.9	98.6	98.5	98.4

Quadro 3 – Médias mensais das variáveis climatológicas (Estação Bagé)

ESTAÇÃO BAGÉ												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temp. média mensal	24.2	23.8	21.9	18.6	16	13.7	13.6	13.9	16	18.1	20.4	23.1
Umidade Relativa (%)	50.8	52.6	54.9	54	58.5	62.8	64.3	61.5	61	55.9	52.4	49.8
Insolação (horas/dia)	8	7.6	7	6.8	6	5.1	5.5	5.9	6.4	7.5	8.1	8.7
Vento (m/s)	2.1	1.2	1	1	1.1	1.2	1.4	2.3	1.5	1.4	1.3	1.3
Pressão (kPa)	98.7	98.8	99	99.1	99.3	98.9	98.7	99.3	99.2	99	98.8	98.7

Quadro 4 – Médias mensais das variáveis climatológicas (Estação Cruz Alta)

ESTAÇÃO CRUZ ALTA												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temp. média mensal	22.8	22.3	20.9	18.2	15.3	13.2	13.1	14.1	15.2	17.7	20	21.9
Umidade Relativa (%)	57.2	59.6	59.6	56.7	57.9	59.8	59.5	59	59.2	54.5	52.4	52.2
Insolação (horas/dia)	8.2	8	7.4	7.4	6.5	5.4	6.3	6.3	7	8	8.8	9
Vento (m/s)	1.2	0.9	0.8	1	0.8	0.8	1	1	1.2	1.2	1.4	1.2
Pressão (kPa)	95.6	95.7	95.9	96	96.2	96.1	96.2	96.2	96	95.9	95.7	95.7

Quadro 5 – Médias mensais das variáveis climatológicas (Estação São Luiz Gonzaga)

ESTAÇÃO SÃO LUIZ GONZAGA												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temp. média mensal	25.4	25.1	23.6	20.2	17.8	15.3	15.8	16.2	18.4	20.2	22.5	24.6
Umidade Relativa (%)	55.8	57.3	58.3	57	59.1	63.4	61.7	59.3	57.8	54.1	52.1	51.2
Insolação (horas/dia)	8.2	8	7.5	7.8	6.8	6.1	6	6.4	6.7	7.7	8.5	8.7
Vento (m/s)	1.6	1	1.1	1.2	1.6	1.3	1.4	1.2	1.2	1.3	1.6	1.1
Pressão (kPa)	98.2	98.3	98.4	98.7	98.8	98.8	98.9	98.8	98.7	98.5	98.3	98.2

Quadro 6 – Médias mensais das variáveis climatológicas (Estação Santa Maria)

ESTAÇÃO SANTA MARIA												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temp. média mensal	24.5	24.4	22.7	19.4	17	14.7	15.1	15	17	19.2	21.4	23.5
Umidade Relativa (%)	60.1	61.5	62.8	61.2	63.8	66.9	66.1	64.6	61.7	57.6	55.7	55.1
Insolação (horas/dia)	6.8	7.1	6.3	6.5	5.4	5.1	5	5.9	6.4	7.5	8.2	7.9
Vento (m/s)	1.1	0.7	0.7	0.7	2	0.7	0.9	0.8	0.9	1.1	1.3	1.1
Pressão (kPa)	99.7	99.8	99.9	100.1	100.3	100.3	100.4	100.3	100.2	100	99.8	99.7

Quadro 7 – Médias mensais das variáveis climatológicas (Estação Alegrete)

ESTAÇÃO ALEGRETE												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temp. média mensal	25.2	25	22.9	19.4	16.8	14.8	14.6	15.3	17.3	19.4	21.8	24.1
Umidade Relativa (%)	57.6	58.8	60.9	61.8	62.5	66.2	65.2	61.4	59.7	57.2	52.7	52.9
Insolação (horas/dia)	9.3	9.1	8.1	7.7	7.1	6	6.3	7	7.2	8.6	9.6	10
Vento (m/s)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Pressão (kPa)	99.6	99.7	99.9	100	100.2	100.2	100.3	100.2	100.1	99.9	99.8	99.6

Quadro 8 – Médias mensais das variáveis climatológicas (Estação Uruguaiana)

ESTAÇÃO URUGUAIANA												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temp. média mensal	26	25	23.5	20.1	17.1	14.4	14.3	15.2	17.3	19.9	22.3	24.9
Umidade Relativa (%)	55.8	58.4	60.1	58.4	61.1	63.8	64.4	59.9	58.6	55.7	52.9	52.3
Insolação (horas/dia)	9.3	9.1	8.1	7.8	6.9	5.7	6.5	7	7.5	8.6	9.5	9.8
Vento (m/s)	1.3	1.7	1.5	1.3	3.2	1.3	1.2	1.3	1.6	2.9	1.3	1.9
Pressão (kPa)	96.7	91.1	90.2	90.1	90.1	91.6	89.7	89.8	91.5	87.4	87.6	96.1

O inverno é acentuado estendendo-se de junho a setembro, e o mês mais frio é julho. A curta duração dos dias e a atuação da massa de ar polar induzem a temperaturas baixas, podendo descer a valores negativos.

Em síntese, o clima na bacia do Rio Ibicui é considerado temperado com mudanças bruscas de tempo devido às freqüentes inversões das massas polares.

Quanto aos tipos de solos a região da bacia do Rio Ibicui apresenta uma grande variabilidade de solos. Estes foram classificados em Alissolo, Argissolo, Afloramento Rochoso, Chernossolo, Gleissolo, Litossolo, Luvisolo, Neossolo, Nitossolo, Planossolo e Vertissolo (EMATER/RS-Ascar, 2008).

Neste trabalho, para a aplicação no modelo hidrológico MGB-IPH, os tipos de solos foram reagrupados em 3 classes, de acordo com o comportamento hidrológico esperado: solos profundos; solos rasos e solos de várzea.

4.1.2 USOS DA ÁGUA

A população total (urbana e rural) na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí é aproximadamente 392.976 habitantes, de acordo com a contagem da população pelo IBGE (2007).

O volume de água consumido por ano é de 1.531.363.600 m³. Os principais usos de água na bacia são os seguintes (DRH, 2008):

USOS CONSUNTIVOS

- Abastecimento público;
- Criação animal (dessedentação);
- Irrigação;
- Abastecimento industrial

USOS NÃO CONSUNTIVOS

- Pesca;
- Mineração;
- Geração de Energia; e
- Navegação

A base econômica da população é a agricultura, destacando-se o cultivo de arroz irrigado, que constitui o principal uso da água. O maior consumo de água para esta atividade ocorre nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, assim como a produção de soja e milho.

Segundo informações do banco de dados de licenciamento da FEPAM (2008), a área destinada à irrigação na bacia em estudo é de 183.099 ha sendo a maior parte destinada a cultivo de arroz, seguida de milho/soja, com demandas de água, respectivamente, de 11.500 m³/ha e 4.000 m³/ha. Cerca de 50% das áreas irrigadas de arroz são atendidas por açudes (111.362 ha). O rio Uruguai atende diretamente cerca de 10% da área destinada a esta atividade, aliviando o consumo interno da bacia.

O consumo industrial de água é insignificante, quando comparado com as demandas de água para irrigação. O abastecimento doméstico de água é feito por captações superficiais e subterrâneas (Gastaldini et al, 2002). Cerca de 62% da demanda hídrica subterrânea, que atualmente é de 118.385,1 m³/dia, é destinada ao abastecimento doméstico.

Também se destacam como atividade econômica a pecuária, como a criação de bovinos de corte, e ovinocultura. Esta atividade demanda cerca de 1,9 % da disponibilidade hídrica da bacia do Ibicuí.

No que se refere à navegação, deve-se ter em conta que os valores do tirante de água mínimo estabelecidos no Ibicuí, observados em períodos de estiagem, variam entre 0,70m e 1,35m. O grande desenvolvimento de bancos de areia no leito do rio nesta época indica a ocorrência de raios mais reduzidos, resultando na largura bastante limitada em muitos locais. A alta mobilidade do fundo arenoso deste rio contribui negativamente para a navegação em corrente livre.

De acordo com o Relatório de Acompanhamento de Estudos e Projetos da ANEEL (2010), a situação atual da bacia, quanto a geração de energia, é de aproveitamentos existente no Rio Jaguari (Usina Furnas do Segredo com 9,8 MW) e ainda

aproveitamentos existentes previstos para os rios Topori, Itu, Jaguari e Guassupi, num total esperado de 138,2 MW.

4.2 SENSIBILIDADE DE VAZÕES NA BACIA DO RIO IBICUI

Mudanças ou variabilidade climáticas podem gerar significativos impactos nos escoamentos gerados nas bacias hidrográficas. Tais efeitos se tornam de especial interesse quanto à quantidade de água disponível para os diversos setores, pois a forma com que este recurso é utilizado provavelmente mudará devido às alterações de clima.

Dessa forma a análise de elasticidade de vazão em relação a mudanças de precipitação foi realizada, considerando o cenário natural, para a Bacia do Rio Ibicui.

Na Figura 12 são apresentados os pontos em que foram realizadas as análises de sensibilidade. Estes correspondem às sub-bacias do Rio Jaguari, Rio Itu, Rio Ibirapuitã e Rio Santa Maria. O exutório de cada sub-bacia corresponde a uma estação fluviométrica, a saber:

- Sub-bacia Rio Santa Maria (estação 76310000)
- Sub-bacia Rio Jaguari (estação 76440000)
- Sub-bacia Rio Itu (estação 76650000)
- Sub-bacia Rio Ibirapuitã (estação 76700000)

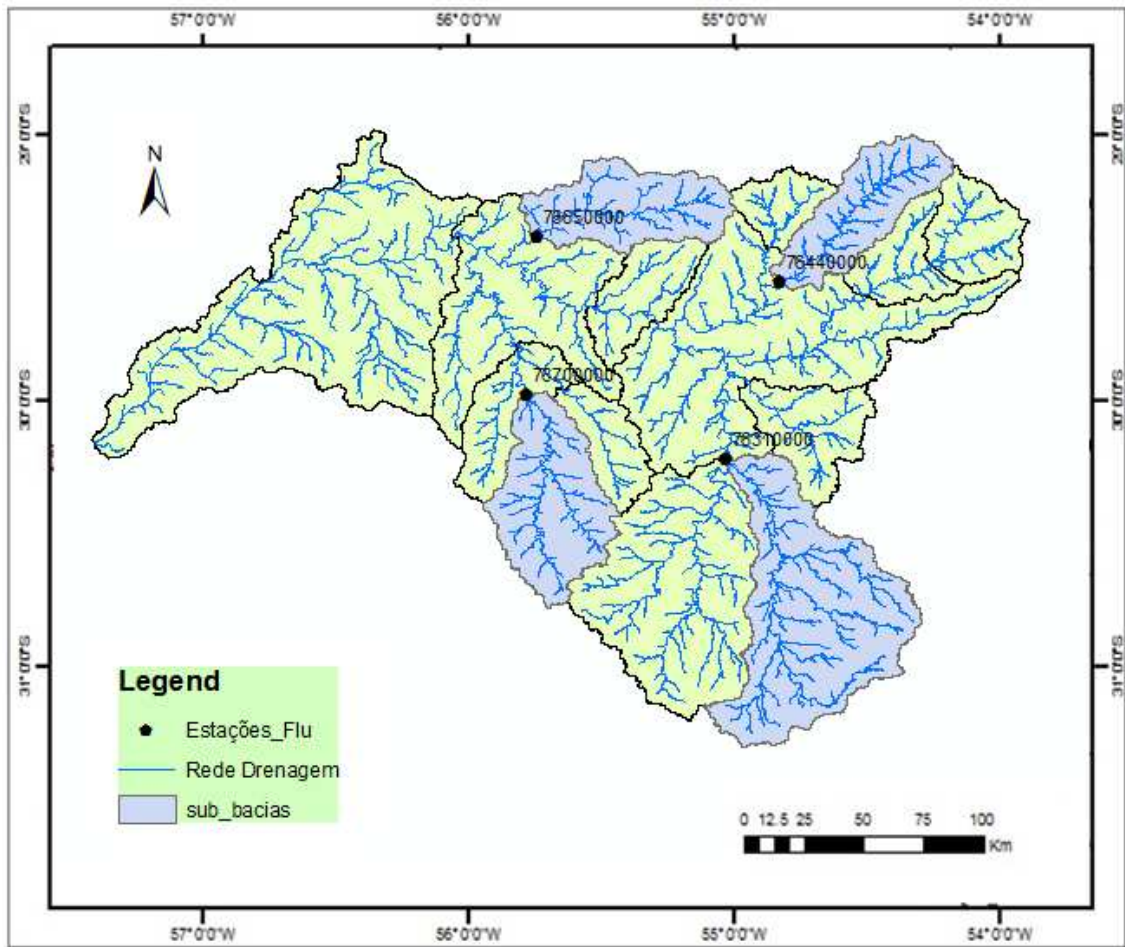


Figura 12 - Localização das sub-bacias utilizadas para análise de sensibilidade na bacia do Ibicuí

Para a análise de sensibilidade na bacia do Ibicuí foram consideradas alterações nas séries observadas de precipitação de -15%, -10%, -5%, -1%, 1%, 5%, 10% e 15%. Os resultados, para cada uma das sub-bacias, são apresentados em gráficos que expressam a relação entre mudança na precipitação e vazão médias (Figuras 13 a 16).

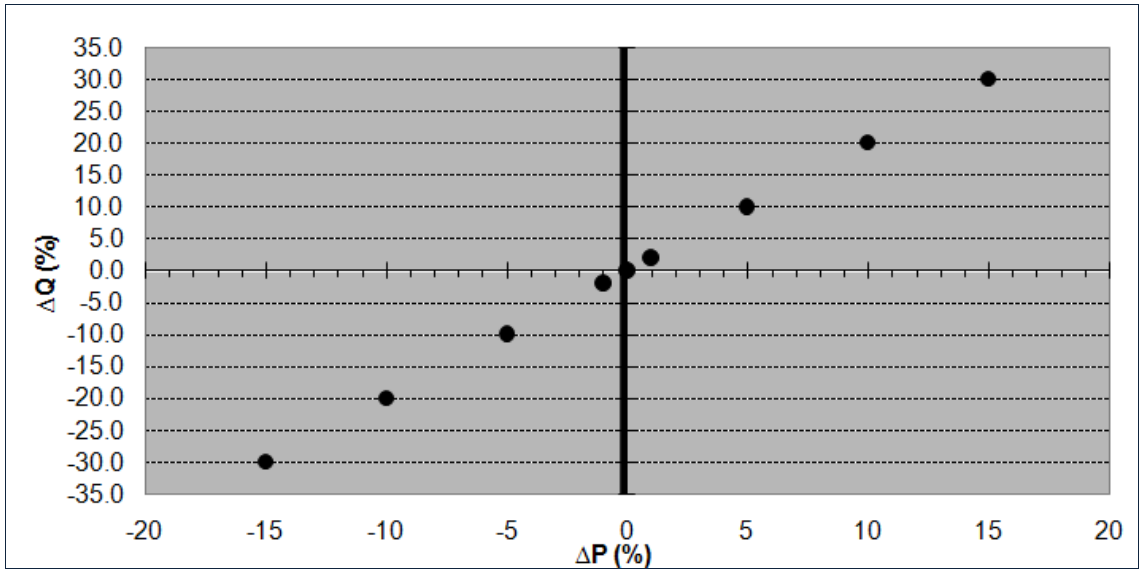


Figura 13 – Relação entre mudança na precipitação média e nas vazão média no exutório da sub-bacia do Rio Santa Maria

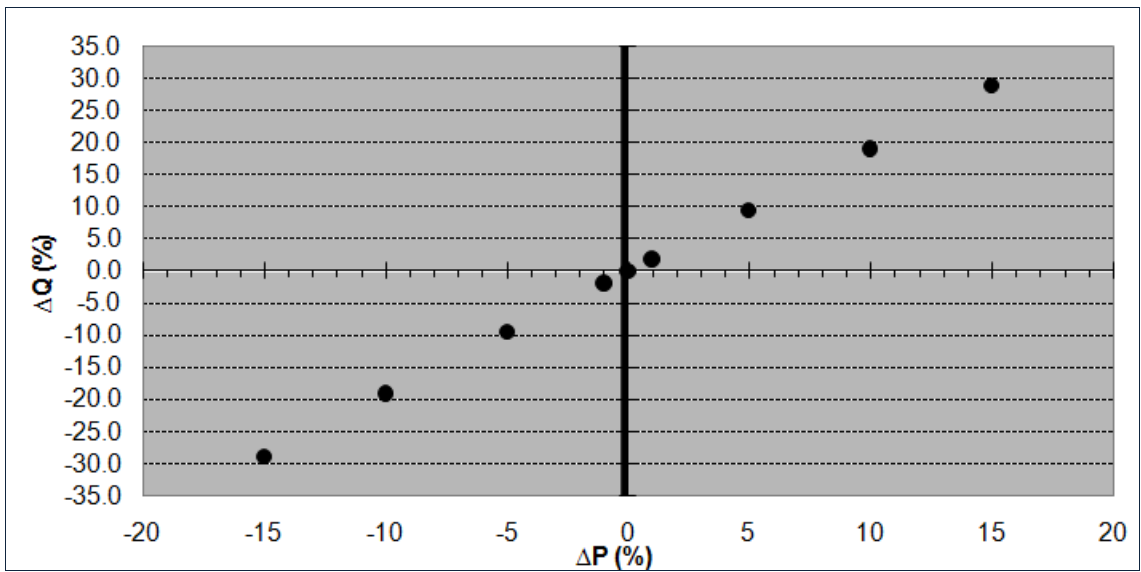


Figura 14 – Relação entre mudança na precipitação média e nas vazão média no exutório da sub-bacia do Rio Jaguari

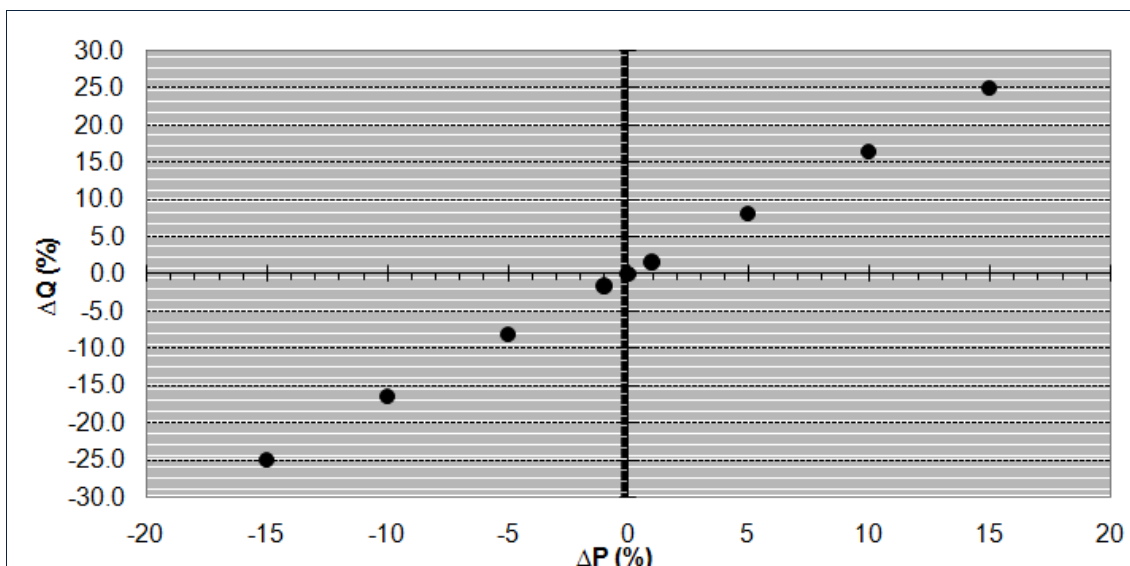


Figura 15 – Relação entre mudança na precipitação média e nas vazão média no exutório da sub-bacia do Rio Itu

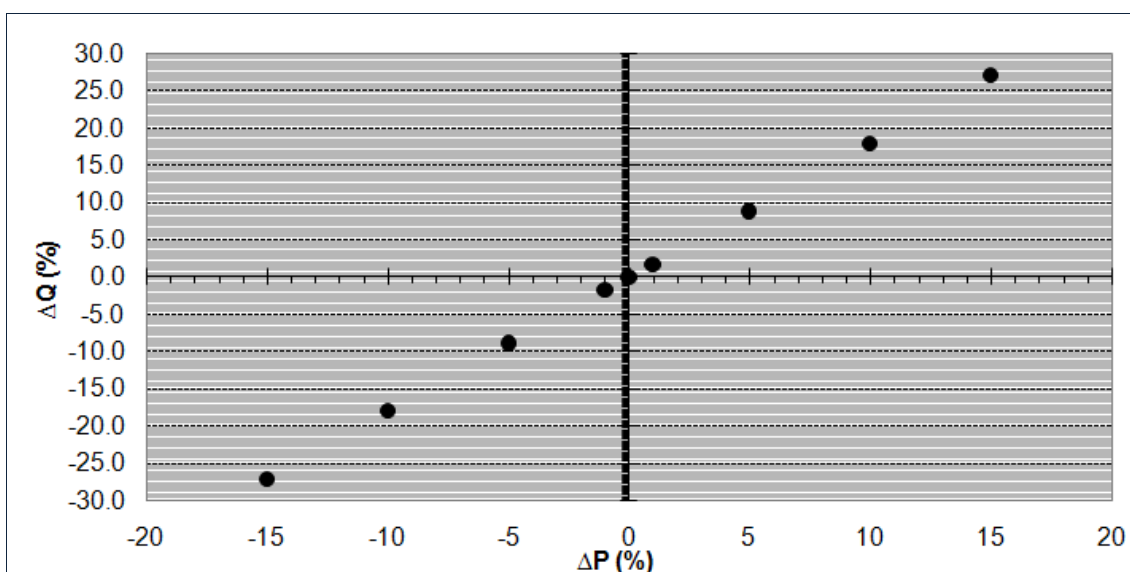


Figura 16 – Relação entre mudança na precipitação média e nas vazão média no exutório da sub-bacia do Rio Ibirapuitã

Na bacia do Rio Santa Maria (Figura 13) o efeito de uma mudança na precipitação média é amplificado na vazão, em uma razão $\Delta Q/\Delta P=2$ para a vazão média. A cada acréscimo/decrécimo de 1% na precipitação média tem-se um acréscimo/decrécimo de 2% na vazão média da bacia. Para a sub-bacia do Rio Jaguari (Figura 14) esta relação é $\Delta Q/\Delta P=1.87$, para a sub-bacia do Rio Itu (Figura 15) $\Delta Q/\Delta P= 1.6$ e para sub-bacia do Rio Ibirapuitã $\Delta Q/\Delta P=1.77$ (Figura 16).

Segundo os resultados, em média a bacia do Ibicui possui valores de sensibilidade de vazões dentro da média estimada para a região sul (Figura 3).

O comportamento hidrológico de uma região depende dos tipos de solo, rochas, usos do solo, dentre outros. A sub-bacia do rio Ibirapuitã possui predominância de solos rasos. Um evento de precipitação de pequena magnitude é capaz de saturar os solos da bacia. Logo um pequeno aumento ou diminuição na magnitude da precipitação implicará em um aumento ou diminuição principalmente no escoamento superficial gerado e pequena alteração na recarga do aquífero. A sub-bacia do Rio Itu apresenta em quase sua totalidade solos profundos, e as demais sub-bacias ambos os tipos de solo.

Outro aspecto importante refere-se à litologia da região. Predomina na bacia do Rio Ibicuí (considerando também a do Santa Maria) dois domínios morfoestruturais: sedimentar clástica e ígnea vulcânica.

As rochas existentes na bacia hidrográfica exercem um controle importante sobre a recarga dos aquíferos e sobre a conexão rio-aquífero.

De maneira geral as rochas sedimentares contribuem para aumentar a disponibilidade hídrica, porque exercem um efeito regularizador sobre as vazões. Rios em regiões de rocha sedimentar de granulometria mais grosseira (arenito) apresentam, normalmente, maiores valores durante as estiagens do que rios em áreas de rochas ígneas ou metamórficas.

4.3 PROJEÇÕES DE CLIMA PARA A BACIA DO RIO IBICUI

4.3.1 CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Todo o processo de obtenção de futuras mudanças da temperatura global terrestre (e outras variáveis climáticas) inicia-se com a construção de cenários. Um cenário pode ser definido como uma descrição possível do futuro. Portanto, a caracterização de cada cenário de mudança climática baseia-se num conjunto de suposições, acerca de relações chave e mecanismos geradores, tais como: desenvolvimento tecnológico, flutuações monetárias, crescimento econômico e populacional, desenvolvimento de técnicas para redução de impactos ambientais e, principalmente, o grau de emissão dos gases de efeito estufa. Nota-se, portanto que desde esta etapa de construção de cenários se inicia uma cascata de incertezas que vai aumentando de amplitude até ao resultado final.

O IPCC estabeleceu, de acordo com o SRES (“Special Report on Emission Scenarios”), estabeleceu os chamados “marker scenarios” que funcionam como um

resumo das famílias de cenários. Logo foram escolhidos para cada um dos grupos A1B, A2, B1 e B2. Estes têm sido comumente aplicados em estudos de mudanças climáticas.

Dentre os cenários de emissão utilizados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC (IPCC, 2007), três foram selecionados nesse trabalho para a estimativa de projeções das anomalias das variáveis precipitação e temperatura na bacia analisada: A1B, A2 e B2. Dentre os três cenários escolhidos B2 é o que apresenta condições ambientais mais favoráveis, no qual a ênfase está em soluções locais, na sustentabilidade econômica, social e ambiental. Os cenários A1B e A2 representam um futuro com alto índice de emissão de gases causadores do efeito estufa, respectivamente, com globalização e regionalização dominantes.

Para cada um dos cenários supracitados foram feitas estimativas das projeções de anomalias de precipitação e temperatura média mensal para um futuro centrado no ano de 2050, sendo os dados aqui apresentados correspondentes a uma janela de 30 anos, ou seja, a representação é de 2035 a 2065.

4.3.2 ESTIMATIVAS DAS PROJEÇÕES DE ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA PARA A BACIA DO RIO IBICUI

Nesse trabalho foram estimadas as projeções de anomalias de precipitação e temperatura média mensal na bacia do Rio Ibicui relativas aos três cenários de emissões de gases (A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES) definidos pelo IPCC, simulados pelos 20 modelos de circulação geral contidos no banco de dados do software MAGGIG/SCENGEN.

Para cada um dos cenários de emissão de gases selecionados foram estimadas as projeções de variação de precipitação e temperatura do ar média mensal em função dos 20 modelos de circulação geral, para o futuro centrado no ano 2050.

Os valores de mudanças médias nas variáveis de interesse representam o aumento ou a redução nas séries futuras de temperatura e precipitação, ou seja, uma anomalia, que neste trabalho foi utilizada como um incremento (Δ) perturbador das séries observadas (séries de dados atuais).

Nesta etapa foram realizadas 440 simulações, a partir do uso do sistema MAGICC/SCENGEN, permitindo obter as projeções de anomalias de temperatura do ar e de precipitação, em cada mês do ano e em cada um dos cenários, no futuro desejado, com os 20 modelos de circulação geral (GCM's). Os resultados são apresentados como

arquivos em um padrão de grades de 2.5 x 2.5 e visualizados como mapas. Para a área da bacia do Ibicui foram utilizadas apenas quatro dessas grades do modelo que correspondem às latitudes -32.5 a -27.5 e longitudes -57.5 a -52.5 como mostra a Figura 17.

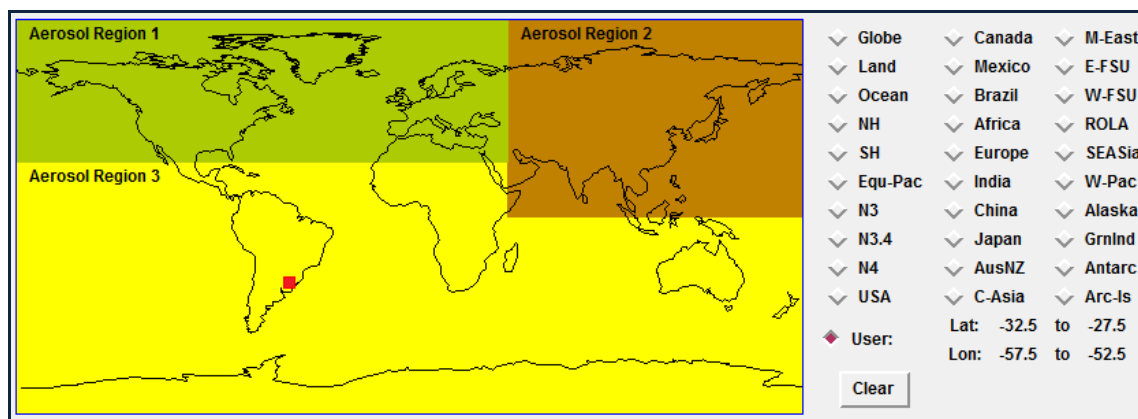


Figura 17 - Localização da area da Bacia do Rio Ibicui

As Figuras 18 e 19 apresentam, respectivamente, as projeções de anomalias de precipitação (%) e temperatura (°C) média mensais para o mês de dezembro em cada um dos cenários em estudo, no ano 2050 (janela de 30 anos) e utilizando o modelo do Hadley Center UKHADGEM, na área correspondente à bacia do rio Ibicui.

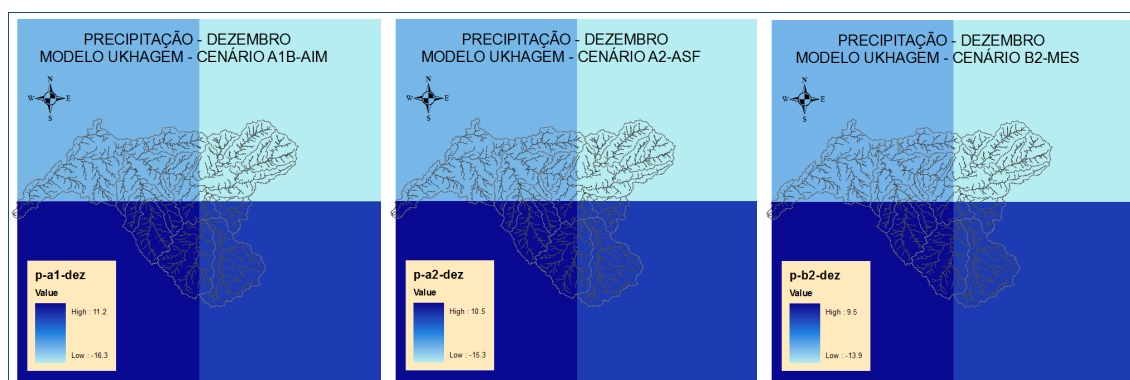


Figura 18 – Projeção de anomalias (%) de precipitação média mensal no mês de dezembro, nos três cenários analisados, utilizando o modelo UKHADGEM.

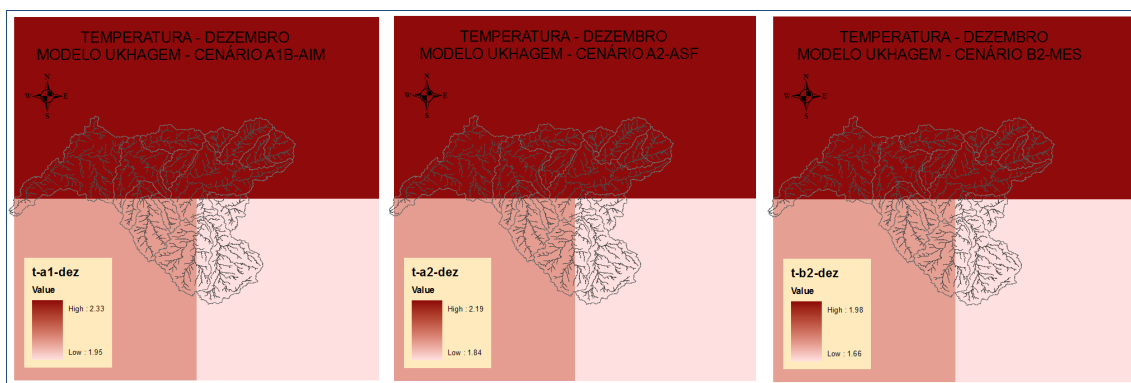


Figura 19 – Projeção de anomalias (%) de temperatura média mensal no mês de dezembro, nos três cenários analisados, utilizando o modelo UKHAGEM.

Observa-se nessas figuras que as projeções desse modelo de circulação geral mostram uma tendência de aumento da precipitação na região sul e diminuição na região norte para todos os cenários analisados. No extremo noroeste onde se localizam as cabeceiras dos rios Jaguari e Topori estão os maiores decréscimos de precipitação para os três cenários analisados. Lembrando que esta região da bacia é a que apresenta maior pluviosidade anual. Na sub-bacia do Rio Jaguari, onde está instalada a usina de geração de energia Furnas do Segredo, observa-se uma redução média entre os cenários de 10,4 % na precipitação.

Quanto à variável temperatura observa-se aumento médio de 2,16 °C em todo norte da bacia e decréscimo médio de 1,82 °C no sul, sendo que o cenário A1-AIM apresenta as maiores alterações e o cenário B2-MES as menores. Esta relação faz sentido se considerarmos que o cenário A1, ao contrario de B2, retrata o rápido crescimento econômico com pouca ênfase na sustentabilidade ambiental, portanto com maior emissão de gases causadores do efeito estufa e, conseqüentemente, o aumento da temperatura.

Os resultados supracitados são referentes apenas a um único modelo de circulação geral, porém neste trabalho foram utilizados um total de 20 modelos. As Figuras 20, 21 e 22 apresentam os valores médios das projeções de anomalias de precipitação (%) média mensal para a bacia do rio Ibicuí em função destes 20 modelos de circulação geral (MAGICC/SCENGEN) e para cada um dos três cenários em questão.

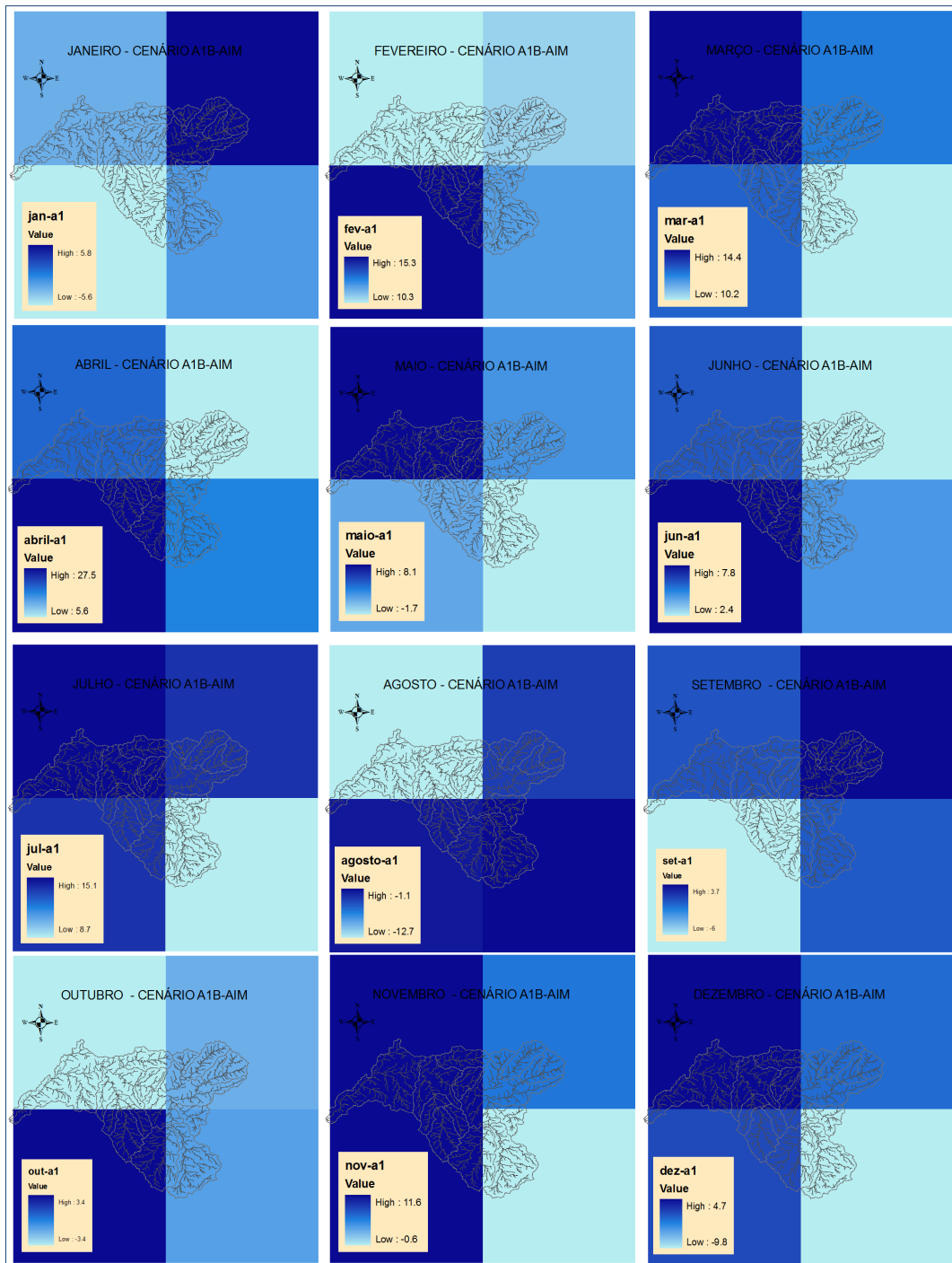


Figura 20 – Valor médio das projeções de anomalias (%) de precipitação média mensal para a bacia do rio Ibicuí, no ano de 2050 (janela de 30 anos centrada no ano 2050), no cenário A1B-AIM, em função de 20 modelos de circulação geral (MAGICC/SCENGEN).

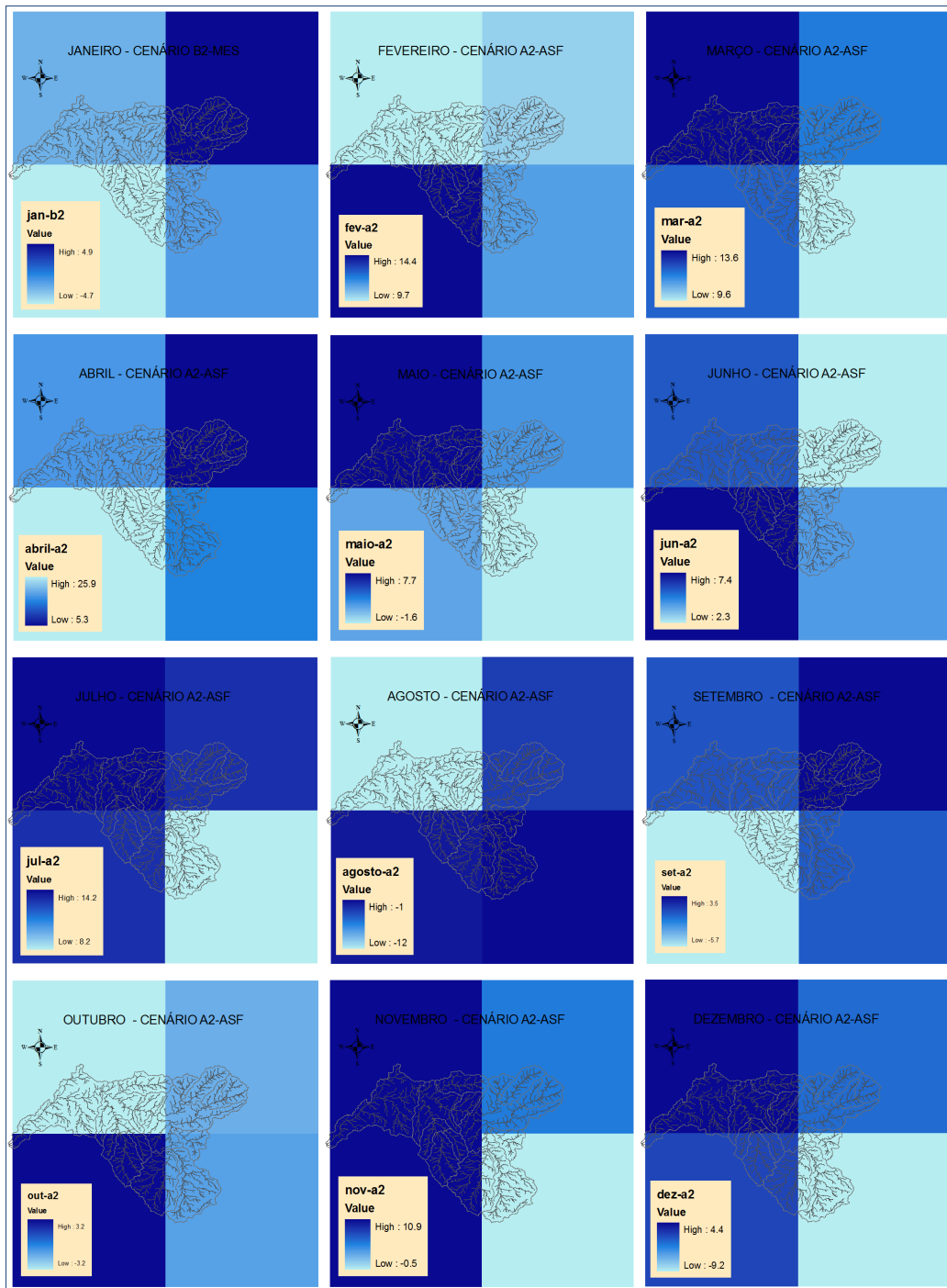


Figura 21 – Valor médio das projeções de anomalias (%) de precipitação média mensal para a bacia do rio Ibicuí, no ano de 2050 (janela de 30 anos centrada no ano 2050), no cenário A2-ASF, em função de 20 modelos de circulação geral (MAGICC/SCENGEN).

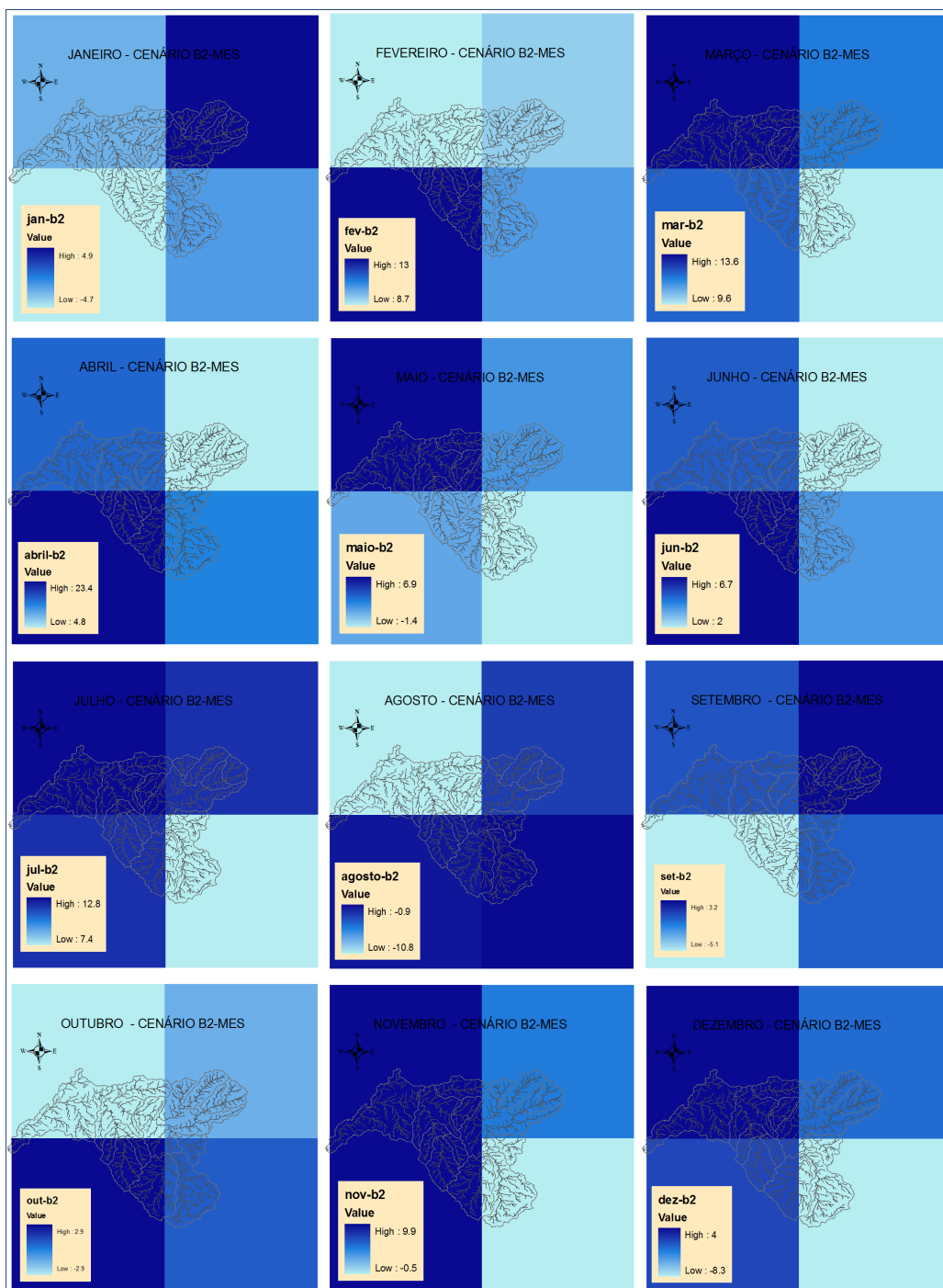


Figura 22 – Valor médio das projeções de anomalias (%) de precipitação média mensal para a bacia do rio Ibicuí, no ano de 2050 (janela de 30 anos centrada no ano 2050), no cenário B2-MES, em função de 20 modelos de circulação geral (MAGICC/SCENGEN).

Da análise dos resultados apresentados na Figura 20 à 22 observa-se as maiores anomalias de precipitação são previstas para o cenário A1B-AIM e as menores para o cenário B2-MES. Os meses de fevereiro, março, abril, julho e novembro apresentam os maiores acréscimos de precipitação, com destaque para abril com um aumento em média, entre os cenários, de 25.6 % na precipitação. Nos meses de fevereiro e abril é

observado para a região sudoeste da bacia, onde se localiza a cabeceira do rio Ibirapuitã. Em março, julho e novembro este aumento de precipitação é evidenciado no noroeste da bacia.

Segundo Collischonn (2011), a precipitação atual na bacia tende a ser bem distribuída ao longo do ano, com uma leve tendência de valores menores em agosto e valores maiores em março e abril, embora outubro também apresente uma pluviosidade relativamente maior.

Os maiores decréscimos de precipitação são previstos para o mês de agosto, principalmente para o sul da bacia hidrográfica, em média 20,36 % de redução de chuvas.

As Figuras 23, 24 e 25 mostram as mudanças de temperatura (°C) e precipitação (%) médias anuais na bacia do Rio Ibicui previstas para o ano de 2050 pelos 20 modelos climáticos utilizados (os dados estão agrupados em função dos GCM's) e em cada um dos cenários de mudanças climáticas. Percebe-se que para todos os cenários, a totalidade dos GCM's mostram acréscimo de temperatura, porém os resultados já são mais discrepantes quanto à precipitação. Nos três cenários analisados sete dos 20 modelos mostram redução enquanto o restante um aumento chuvas na bacia do Ibicui.

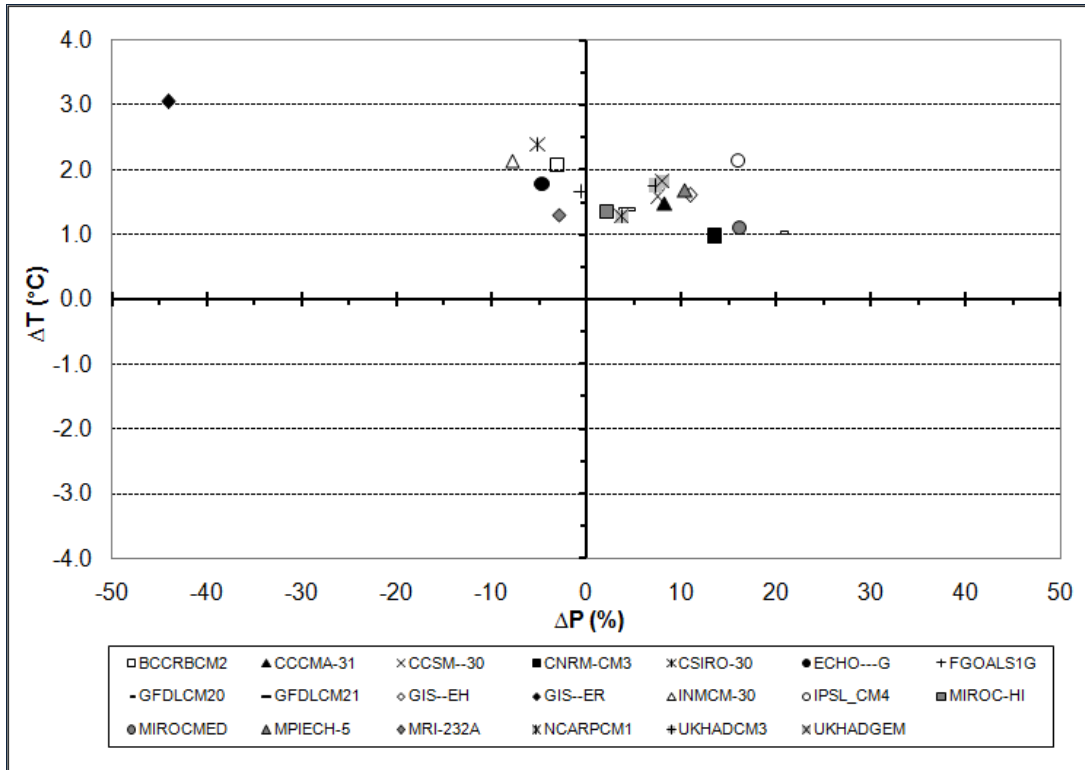


Figura 23 – Mudanças na temperatura e precipitação médias anuais na região da bacia do Rio Ibicui previstas para 2050 – Cenário A1B-AIM

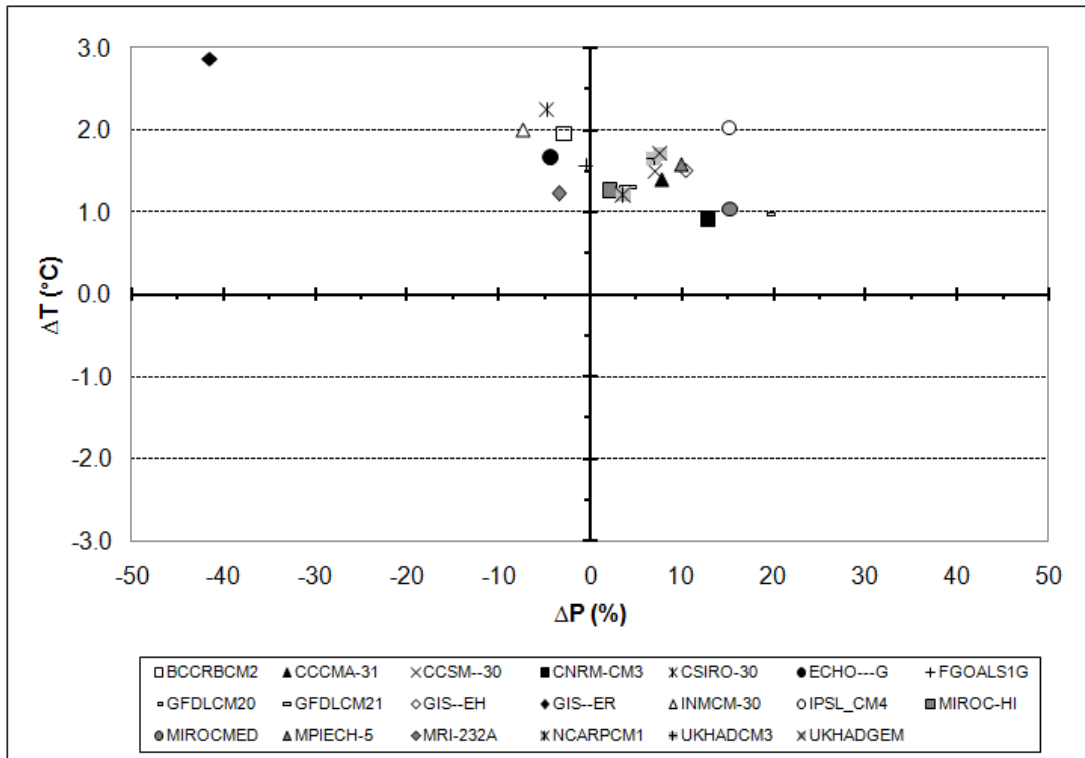


Figura 24 – Mudanças na temperatura e precipitação médias anuais na região da bacia do Rio Ibicui previstas para 2050 – Cenário A2-ASF

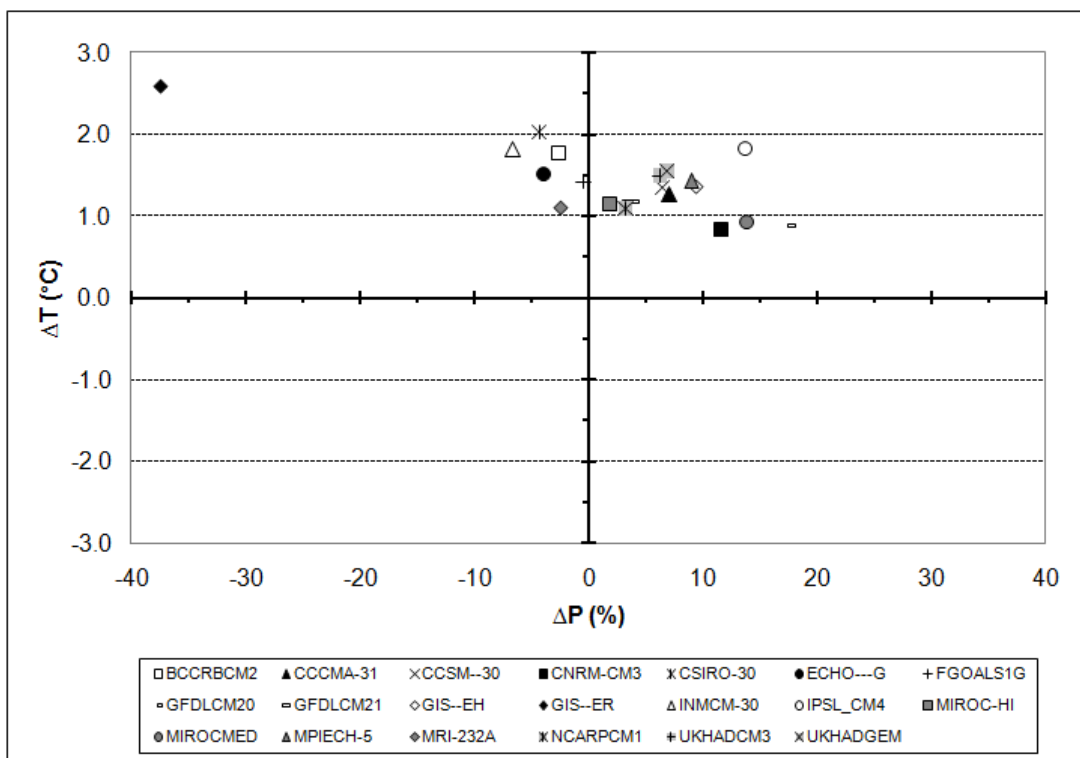


Figura 25 – Mudanças na temperatura e precipitação médias anuais na região da bacia do Rio Ibicui previstas para 2050 – Cenário B2-MES

As projeções de todos os modelos tanto para precipitação quanto temperatura, nos diferentes cenários foram analisadas e estatísticas do conjunto calculadas, como a média, o desvio padrão, a mínima e a máxima e os percentis 10% e 90%, de forma de obter uma estimativa das incertezas associadas aos resultados dos 20 modelos analisados.

Uma comparação das estatísticas das projeções de anomalias de precipitação (%) e de temperatura do ar (°C) média mensal para a bacia do rio Ibicui (janela de 30 anos centrada no ano 2050), em função de 20 modelos de circulação geral (MAGICC/SCENGEN) e para três cenários de emissão de gases (A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES) é apresentada nas Figuras 26 e 27.

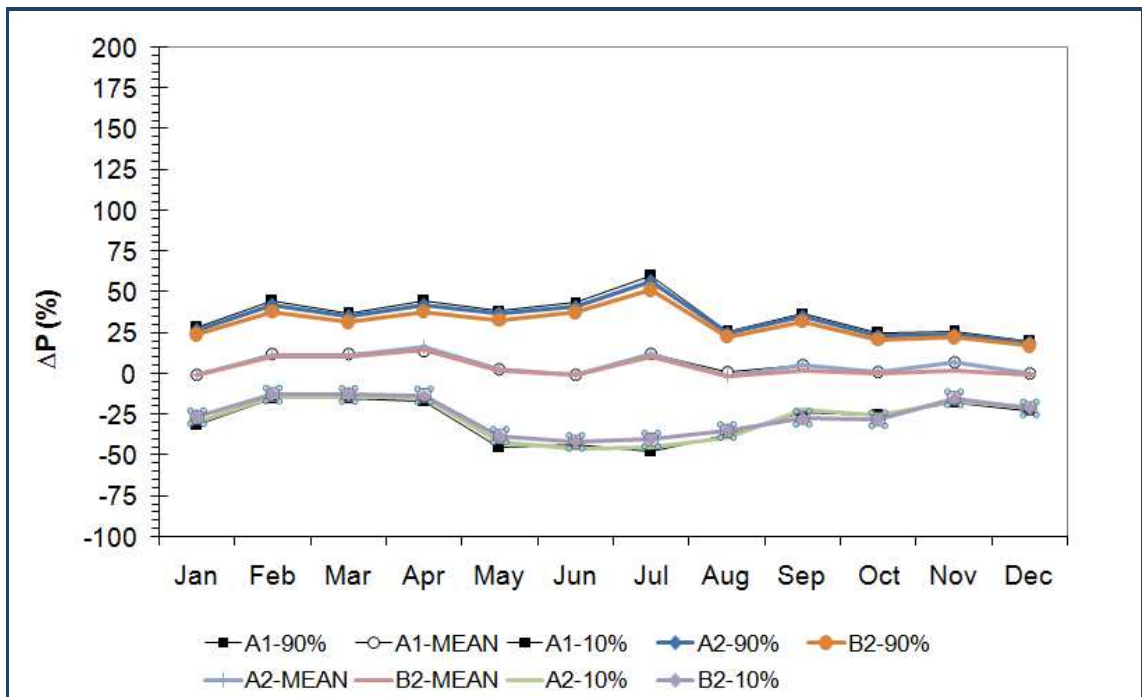


Figura 26 - Comparação das estatísticas das projeções de anomalias de precipitação (%) média mensal (Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES)

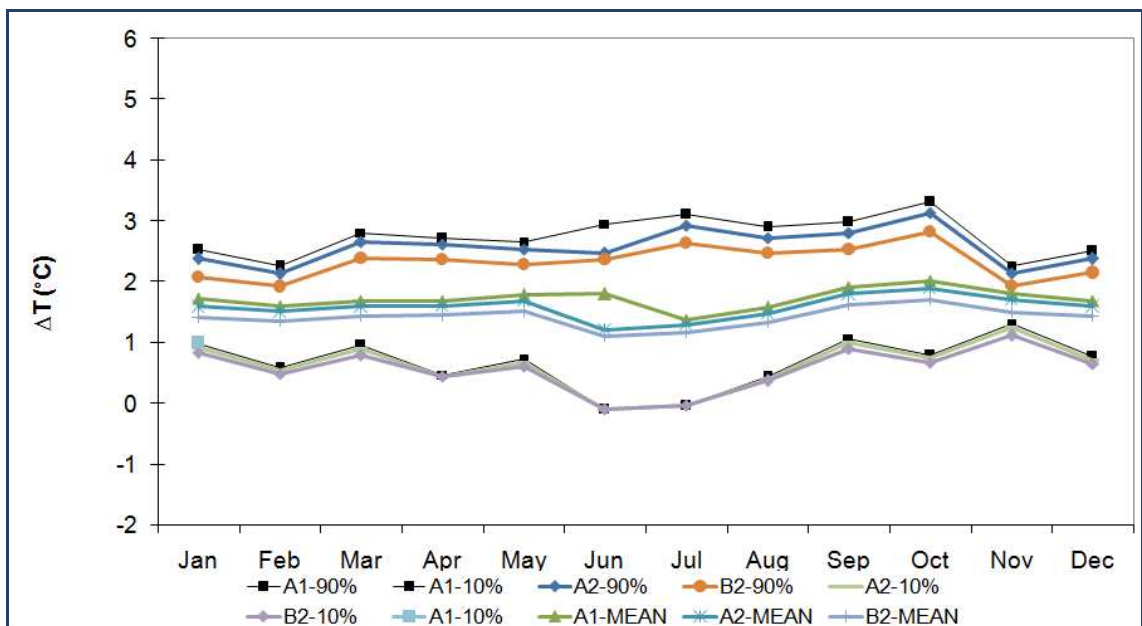


Figura 27 - Comparação das estatísticas das projeções de anomalias de temperatura do ar (°C) média mensal (Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES)

Da análise dos resultados apresentados nas Figuras 26 e 27 observa-se que, quanto às projeções de anomalias de precipitação média mensal, poucas diferenças são observadas nos valores médios e na estimativa das incertezas entre os diferentes cenários de emissão de gases no futuro analisados. Observa-se ainda que nas estatísticas

de projeções de anomalias de precipitação, os meses de maio, junho e julho são os que apresentam maiores incertezas nas projeções e os meses de outubro, novembro e dezembro as menores incertezas.

A incerteza associada aos resultados é muito grande, já que a diferença entre os valores de diferentes modelos (para um mesmo cenário de emissão) é bem maior que a diferença na projeção de um único modelo considerando os diferentes cenários de mudanças climáticas. Isso pode ser observado através das Figuras 18 a 22. Nota-se que a variação de precipitação prevista para o mês de dezembro pelo modelo UKHAGEM é bem divergente da prevista pelo conjunto de modelos para este mesmo mês do ano nos diferentes cenários.

4.4 MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO IBICUI UTILIZANDO O MODELO MGB-IPH

A modelagem hidrológica da Bacia do Rio Ibicui foi realizada utilizando o modelo MGB-IPH já descrito neste trabalho.

Os dados de entrada do MGB dividem-se em dois tipos: dados de séries temporais de variáveis hidrológicas e dados espaciais (mapas).

Dados diários de vazão, chuva e clima foram obtidos através da Agência Nacional de Águas (ANA) no seu sistema Hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br/>). A partir do banco de dados Hidroweb foi possível a obtenção de séries de dados hidrometeorológicos para o período de 1960 a 2005.

As Figuras 28, 29, 30 e 31 mostram, respectivamente, a divisão em sub-bacias, a localização dos postos pluviométricos, fluviométricos e climatológicos, com seus respectivos códigos de identificação, na área da bacia do Ibicui.

No modelo MGB-IPH as sub-bacias são unidades maiores do que as mini-bacias, que servem para definir regiões em que valem os mesmos valores dos parâmetros. Os parâmetros do modelo hidrológico são associados às sub-bacias.

Para definir as sub-bacias foi considerada a localização dos postos fluviométricos e de outros pontos notáveis na bacia, como reservatórios, pontes, cidades, tomadas de água, etc. Neste trabalho a localização dos postos fluviométricos selecionados para a calibração do modelo, foram definidas 15 sub-bacias. Estas sub-bacias têm seus exutórios exatamente na localização dos postos fluviométricos, e foram utilizadas para a definição dos parâmetros do modelo hidrológico (Figura 28).

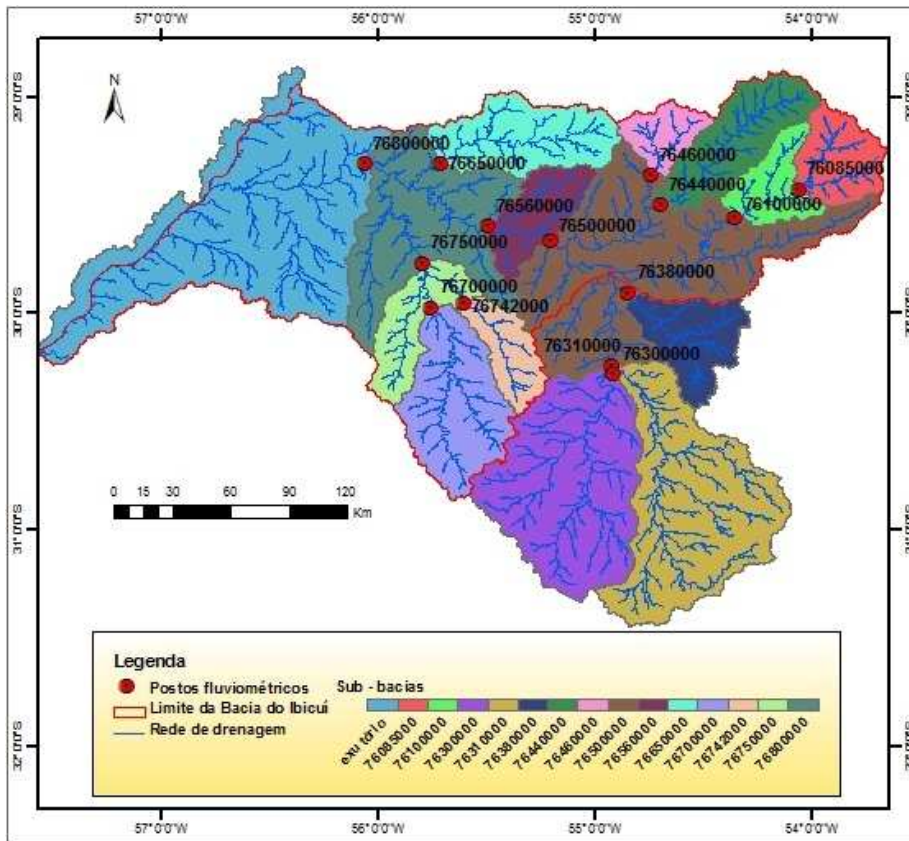


Figura 28 - Mapa de sub-bacias consideradas na calibração do modelo MGB-IPH.

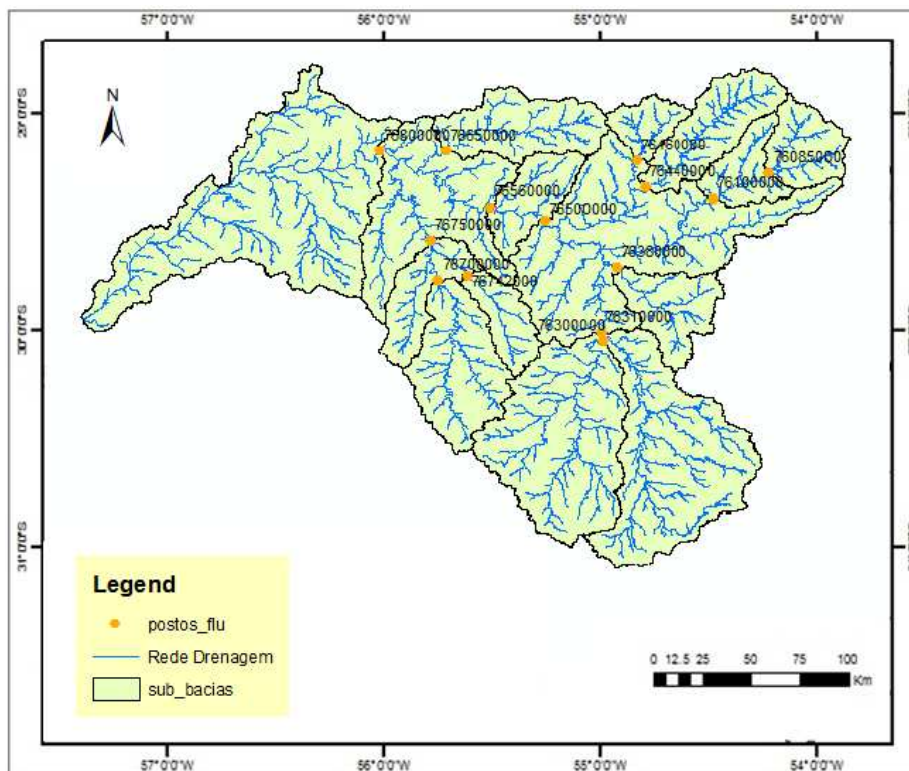


Figura 29 – Localização dos postos fluviométricos na área da Bacia do Rio Ibicuí

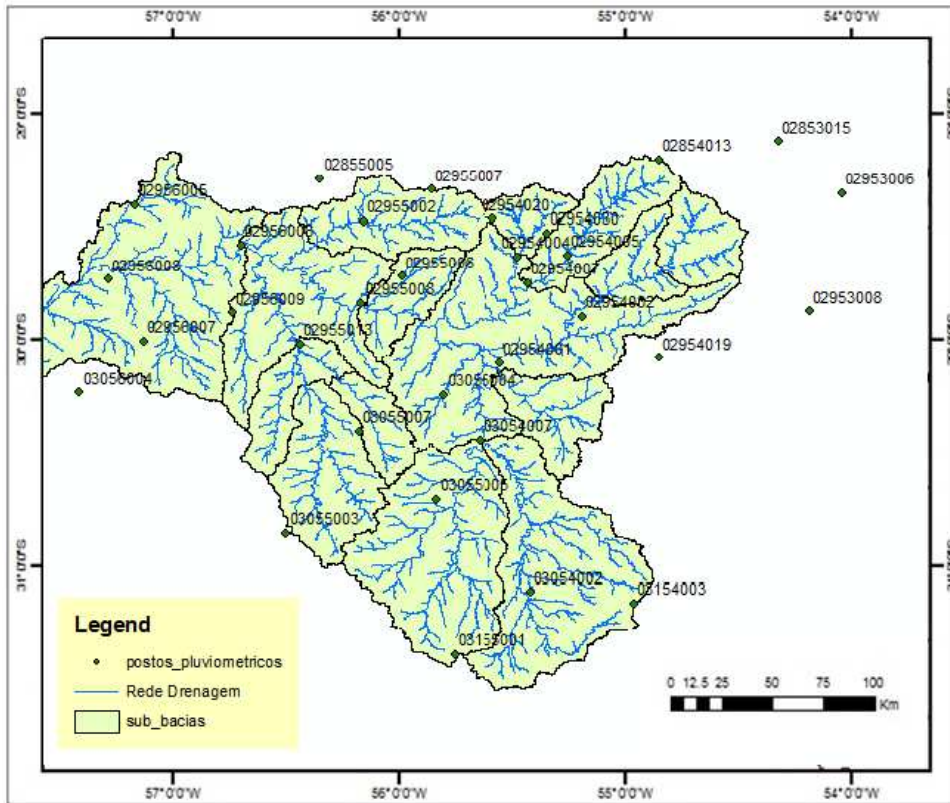


Figura 30 – Localização dos postos pluviométricos na área da Bacia do Rio Ibicuí

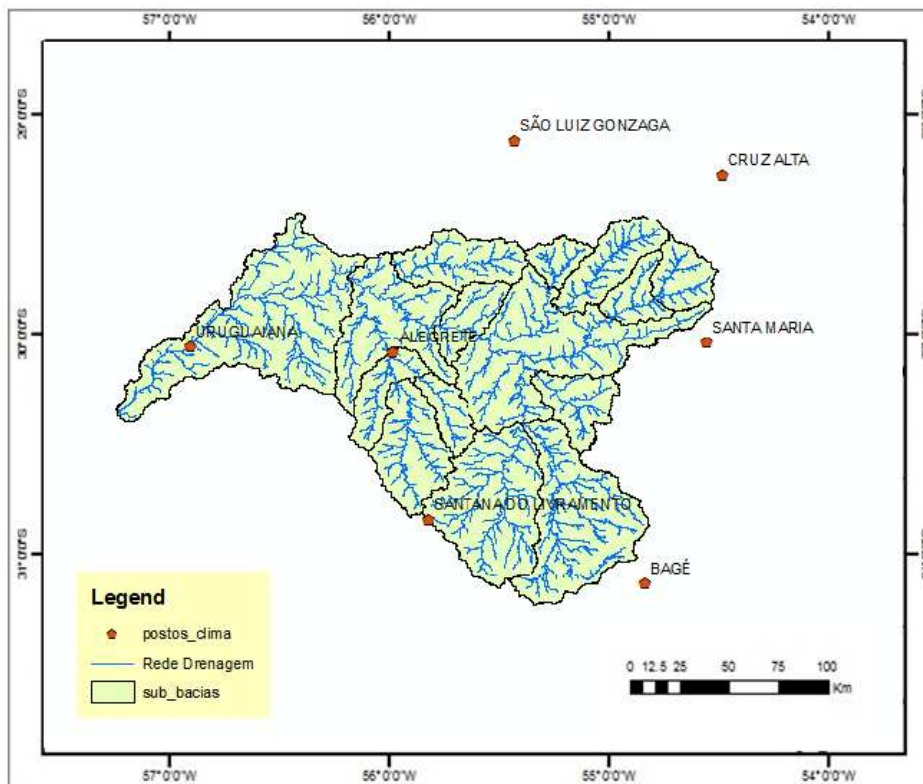


Figura 31 – Localização dos postos climatológicos na área da Bacia do Rio Ibicuí

As Tabelas 2 a 4 mostram a identificação dos postos de fluviometria, pluviometria e climatologia utilizados para obtenção das séries históricas das variáveis vazão, precipitação e climatologia.

Tabela 2 - Postos fluviométricos considerados para a bacia do rio Ibicuí

Nº	RIO	CÓDIGO	NOME
1	IBICUÍ DA ARMADA	76300000	PONTE IBICUÍDA ARMADA
2	SANTA MARIA	76310000	ROSÁRIO DO SUL
3	CACEQUI	76380000	CACEQUI
4	TOROPI	76085000	CACHOEIRA 5 VEADOS
5	TOROPI	76100000	VILA CLARA
6	JAGUARI	76440000	JAGUARI
7	JAGUARIZINHO	76460000	ERNESTO ALVES
8	ITU	76650000	PASSO DA CACHOEIRA
9	IBICUÍ	76500000	JACAQUÁ
10	IBICUÍ	76560000	MANOEL VIANA
11	ARROIO CAVERÁ	76742000	PASSO DO OSÓRIO
12	IBIRAPUITÃ	76700000	PASSO DOS BRITOS
13	IBIRAPUITÃ	76750000	ALEGRETE
14	IBICUÍ	76800000	PASSO MARIANO PINTO

Tabela 3 - Postos pluviométricos considerados para a região da bacia do rio Ibicuí.

Nº	Município	Código	Nome
1	ALEGRETE	02956009	FAZENDA TRÊS CAPÕES
2	ALEGRETE	02956006	PASSO MARIANO PINTO
3	ALEGRETE	02955013	ALEGRETE
4	CACEQUI	03055004	SAICA
5	CACEQUI	02954001	CACEQUI
6	CRUZ ALTA	02853015	TRÊS CAPÕES
7	DOM PEDRITO	03155001	TRÊS VENDAS
8	DOM PEDRITO	03154003	TORQUATO SEVERO
9	DOM PEDRITO	03054002	DOM PEDRITO
10	DONA FRANCISCA	02953008	DONA FRANCISCA
11	ITAQUI	02955002	CACHOEIRA SANTA CECÍLIA
12	ITAQUI	02956005	ITAQUI
13	JAGUARI	02954007	JAGUARI
14	JAGUARI	02954005	FURNAS DO SEGREDO
15	JAGUARI	02954004	ERNESTO ALVES
16	JÚLIO DE CASTILHOS	02954019	QUEVEDOS
17	MANOEL VIANA	02955008	MANOEL VIANA
18	ROSÁRIO DO SUL	03055007	SÃO CARLOS
19	ROSÁRIO DO SUL	03054016	GRANJA UMBU
20	ROSÁRIO DO SUL	03054008	ROSÁRIO DO SUL
21	ROSÁRIO DO SUL	03054007	ROSÁRIO DO SUL
22	SALTO DO JACUÍ	02953006	BARRAGEM SALTO GRANDE
23	SANTANA DO LIVRAMENTO	03055005	SANTA RITA
24	SANTANA DO LIVRAMENTO	03055003	FAZENDA ENCERRA
25	SANTIAGO	02955007	UNISTALDA
26	SANTIAGO	02954030	FLORIDA
27	SANTIAGO	02954020	SANTIAGO
28	SÃO BORJA	02855005	FAZENDA SANTA CECÍLIA DO BUTUI
29	SÃO FRANCISCO DE ASSIS	02955006	PONTE DO MIRACATU
30	SÃO PEDRO DO SUL	02954032	PONTE TOROPI II
31	SÃO VICENTE DO SUL	02954010	PONTE TOROPI
32	TUPANCIRETA	02854013	SÃO BERNARDO
33	URUGUAIANA	02956008	JOÃO ARREGUI
34	URUGUAIANA	02956007	PLANO ALTO
35	URUGUAIANA	03056004	FAZENDA JUNCO

Tabela 4 - Postos climatológicos considerados na região da bacia do rio Ibicuí.

Código	Lat.	Long.	Nome
02854011	-28.4000	-54.9667	SÃO LUIZ GONZAGA
02953017	-29.7242	-53.7200	SANTA MARIA
02957001	-29.7500	-57.0833	URUGUAIANA
03154001	-31.3047	-54.1169	BAGÉ
02853005	-28.6244	-53.6117	CRUZ ALTA
02955001	-29.7833	-55.7667	ALEGRETE
03055001	-30.8833	-55.5333	SANTANA DO LIVRAMENTO

Os dados de mapeamento utilizados neste trabalho são a rede hidrográfica; relevo; tipos de solos; litologia e vegetação ou uso da terra. Esta etapa, de coleta de dados hidrometeorológicos e geração de mapas, são realizados na etapa dita como discretização da bacia hidrográfica. Tal etapa é fundamental para utilização do modelo hidrológico MGB-IPH.

A discretização da Bacia do Rio Ibicuí, bem como a calibração do modelo MGB-IPH nesta região hidrográfica foi realizada e descrita no Relatório “Avaliação da Disponibilidade de Água na Bacia do Rio Ibicuí” (Collischonn, 2011). Logo os dados necessários para a aplicação do modelo MGB-IPH neste trabalho, tais como usos da bacia (resultados da combinação dos mapas de solos e de vegetação, gerando um mapa de classes de comportamento hidrológico da bacia) e os valores de seus respectivos parâmetros em cada uma das sub-bacias, foram extraídos deste relatório e são apresentados no Anexo A.

O modelo hidrológico distribuído MGB-IPH foi calibrado utilizando os dados de chuva e de vazão no período de 1975 a 1989 e posteriormente verificado no período total de 1960 a 2008.

Considerando a significativa retirada de água dos rios da região no período de verão, para as atividades de agricultura irrigada, sabe-se que os dados de vazão observada em postos fluviométricos não representam a vazão natural, especialmente nos meses de verão. Para evitar que a calibração do modelo fosse prejudicada por dados de vazão alterados pelas retiradas de água, o modelo foi calibrado comparando vazões calculadas e observadas apenas nos meses de março a outubro. Posteriormente, o modelo foi aplicado gerando estimativas de vazão no período completo. Acredita-se que, desta forma, as vazões calculadas pelo modelo MGB-IPH aproximem-se bem das vazões naturais.

4.4.1 COEFICIENTES DE AFERIÇÃO

A aferição da qualidade do modelo é feita, primordialmente, de forma qualitativa, por meio da análise gráfica dos hidrogramas simulado e calculado e comparação visual da sua adequação. No entanto, é razoável expressar a qualidade do modelo de forma quantitativa, por meio de coeficientes de avaliação (também chamados de função-objetivo). Diversos coeficientes são propostos na literatura, dos quais três têm sido usados nas aplicações do modelo MGB-IPH: o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões (equação 1); o erro relativo de volume total dos hidrogramas (equação 2); e o erro da Q90 (equação 3). Assim, pode-se comparar os resultados obtidos nessas bacias com as aplicações em outras bacias já simuladas.

$$e_{log} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\ln(QC_i) - \ln(QO_i))^2}{\sum_{i=1}^N (\ln(QO_i) - \overline{\ln(QO_i)})^2} \quad (1)$$

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

$$\Delta Q_{90} = \frac{QC_{90} - QO_{90}}{QO_{90}} \quad (3)$$

onde i é um dia da série calculada e observada; QC_i é a vazão calculada neste dia; QO_i é a vazão observada neste dia; N é o número total de dias que existe na série de dados; QC_{90} é a Q90 calculada e QO_{90} é a Q90 observada.

O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões é de interesse quando o foco da calibração é nas estiagens, uma vez que o mesmo dá um peso maior para vazões mais baixas. Já o coeficiente ΔV representa o erro no balanço de volumes, o que tem um peso maior quando o foco da análise é dimensionamento de reservatórios, por exemplo.

Para evitar a influência da retirada de água para irrigação sobre os resultados da calibração, estas funções objetivo foram aplicadas apenas nos meses de março até outubro. Isto significa que qualquer dia i nos meses de novembro a fevereiro (inclusive) não foi considerado nos somatórios das equações anteriores.

A escolha destas funções objetivo foi feita em função da necessidade de gerar boas estimativas de disponibilidade hídrica. Estabeleceu-se como critério de disponibilidade hídrica, uma vazão que é excedida 90% do tempo na condição natural, sem significativas retiradas de vazão do rio.

A Tabela 5 mostra a comparação através da análise estatística entre os coeficientes utilizados.

Tabela 5 - Estatísticas da calibração do modelo (Q90 calculada e observada sem considerar os meses de novembro a fevereiro). Fonte: Collischonn, 2011.

Posto Fluviométrico	e	e _{log}	ΔV (%)	Q90 observada (m3/s)	Q90 calculada (m3/s)	ΔQ_{90} (%)
Ponte Ibicuída Armada	0.79	0.79	-2.9	10.44	10.42	-0.2%
Rosário do Sul	0.74	0.78	-5.2	18.70	19.12	2.3%
Cacequi	0.56	0.62	-2.2	2.00	2.11	5.5%
Cachoeira 5 Veados	0.73	0.77	-0.6	1.35	1.37	1.8%
Vila Clara	0.84	0.84	-0.3	4.54	4.60	1.2%
Jaguari	0.66	0.80	-0.6	5.47	5.54	1.3%
Ernesto Alves	0.62	0.73	-0.8	3.03	3.04	0.2%
Passo da Cachoeira	0.72	0.82	-0.4	22.90	22.92	0.1%
Jacaquá	0.78	0.85	-1.1	90.00	90.99	1.1%
Manoel Viana	0.77	0.86	-5.4	89.40	93.23	4.3%
Passo do Osório	0.72	0.74	-1.6	4.01	4.01	0.0%
Passo dos Britos	0.57	0.72	-2.1	4.97	4.95	-0.3%
Alegrete	0.65	0.79	-4.9	11.04	11.03	-0.1%
Passo Mariano Pinto	0.84	0.88	-2.7	154.00	154.49	0.3%

Na maioria dos casos os coeficientes de Nash-Sutcliffe tem valores maiores do que 0,70 (especialmente no caso dos logaritmos das vazões), o que é considerado um bom ajuste. Os erros de volume são todos inferiores a 6%, mas tipicamente inferiores a 3%, o que é um valor relativamente baixo considerando a própria incerteza nas medições de vazão. A diferença percentual entre a vazão Q90 calculada e a Q90 observada nos diversos postos fluviométricos mostra erros menores do que 6% e tipicamente menores do que 2%, mostrando que os resultados do modelo MGB-IPH, principalmente na faixa de vazões baixas, que normalmente são utilizadas como vazões de referência para a avaliação da disponibilidade hídrica.

Segundo Collischonn (2011), os resultados da calibração e da verificação mostram que o modelo MGB-IPH representa razoavelmente bem as vazões dos rios da bacia do rio Ibicuí. A disponibilidade hídrica estimada pelo modelo permite explorar os dados

fluviométricos e pluviométricos de toda a bacia, além de incluir a influência de outras características, como o relevo e as características de solo e de litologia.

5. SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA BACIA DO RIO IBICUI

A partir da estimativa de anomalias de temperatura (ΔT) e precipitação (ΔP) obtidas pelo gerador de cenários MAGICC/SCENGEN, pode-se dar início a etapa que consiste na simulação dos cenários de clima da bacia do Rio Ibicui utilizando as séries perturbadas das variáveis de interesse.

O modelo MGB-IPH, que inicialmente foi utilizado para a simulação hidrológica da bacia com séries de precipitação e temperatura observadas, que neste trabalho são tidas como séries atuais, agora processa as séries perturbadas (séries com decréscimo/acrécimo de ΔT e ΔP) destas mesmas variáveis, a fim de analisar os impactos das mudanças climáticas através da diferença entre as vazões atuais e futuras. As anomalias previstas para a área da bacia do Ibicui, em cada grade do mapa gerado pelo MAGGIC/SCENGEN, foram interpoladas e agregadas às séries observadas, resultando em um novo arquivo de entrada (das variáveis temperatura e precipitação) utilizado pelo modelo hidrológico. Mantendo as séries observadas das demais variáveis climáticas (umidade relativa, insolação, velocidade do vento e pressão), parâmetros e usos da bacia, o modelo MGB-IPH foi novamente processado, só que agora tendo como resultado uma série de vazões futuras, ou seja, a vazão, que segundo a estimativa dos modelos climáticos utilizados, poderá ocorrer no futuro em 2050 (janela de 30 anos centrada em 2050) na Bacia do Rio Ibicuí.

Nesta etapa de estudo as análises de impactos de cenários de mudanças climáticas foram estimadas em seis diferentes pontos da bacia do Ibicui. Cada um desses pontos recebe influência de um dos postos fluviométricos descritos anteriormente e usados na calibração do modelo hidrológico. A Figura 32 mostra a localização destes pontos na área da bacia do Ibicui e suas respectivas áreas de contribuição, a saber:

1. Foz do Rio Ibicui;
2. Rio Itu;
3. Foz do Rio Jaguari;
4. Foz do Rio Santa Maria;

5. Foz do Rio Ibicuí Mirim; e
6. Foz do Rio Ibirapuitã.

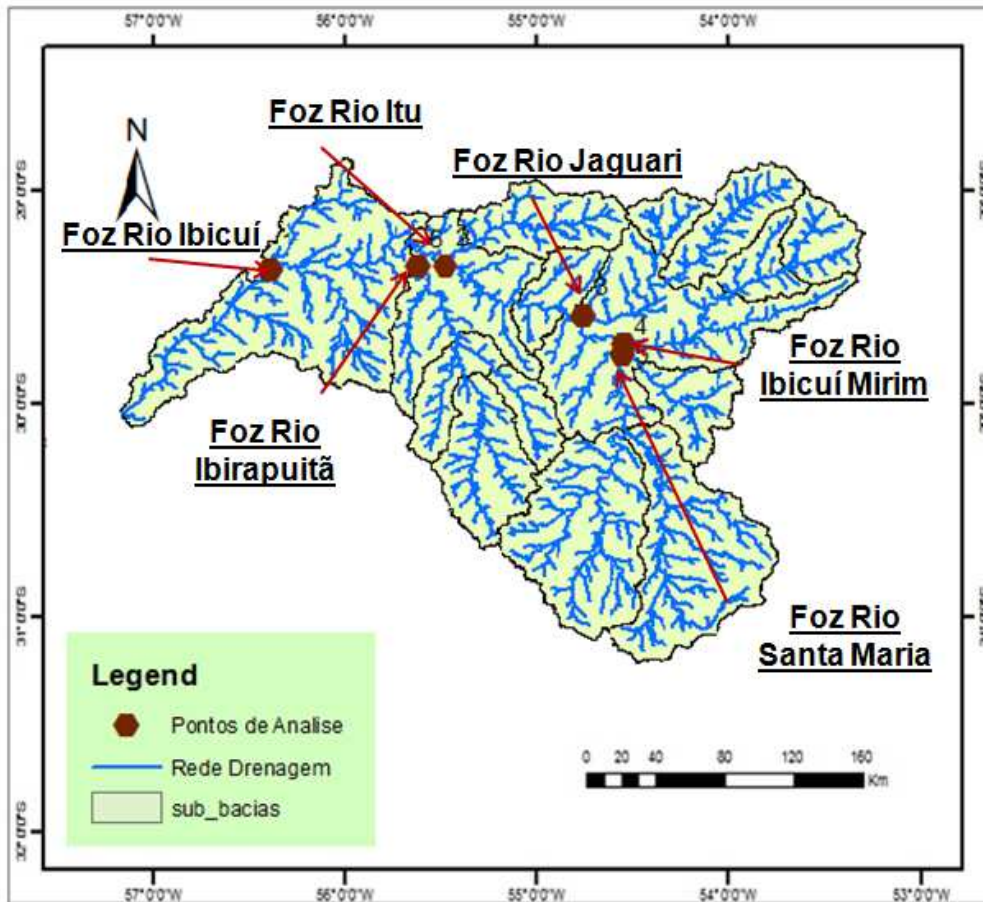


Figura 32 – Localização dos pontos em análise na bacia do Rio Ibicuí

Para cada um dos 20 modelos climáticos, mês do ano e cenário de mudanças climáticas foi estimada a média das vazões Q90, Q95 (representando as vazões mínimas) e a vazão média de longo período QMLP, tanto para as séries atuais (dados observados) quanto para as séries de vazões futuras (séries obtidas através das anomalias de temperatura e precipitação) em cada um dos seis pontos em análise da bacia a fim de se obter uma comparação entre as séries de vazões atuais e futuras.

Considerando que cada ponto em questão deve ser analisado separadamente e com mais detalhes, estatísticas do conjunto de resultados dos 20 modelos climáticos globais nos diferentes cenários, como a mediana, o desvio padrão, a mínima e a máxima e os percentis 10% e 90% foram analisadas. As Figuras 33 a 35 representam tais resultados para a Q90, Q95 e QMLP na foz do Rio Ibicuí nos três cenários de mudanças climáticas analisados.

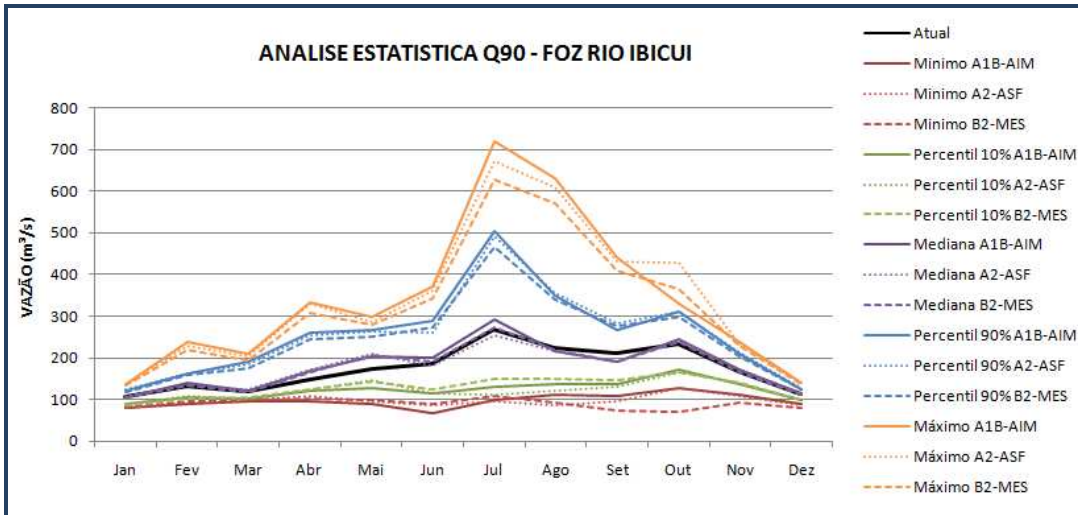


Figura 33 - Análise estatística Q90 – Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES: mínimo, máximo, mediana e 10º e 90º percentis.

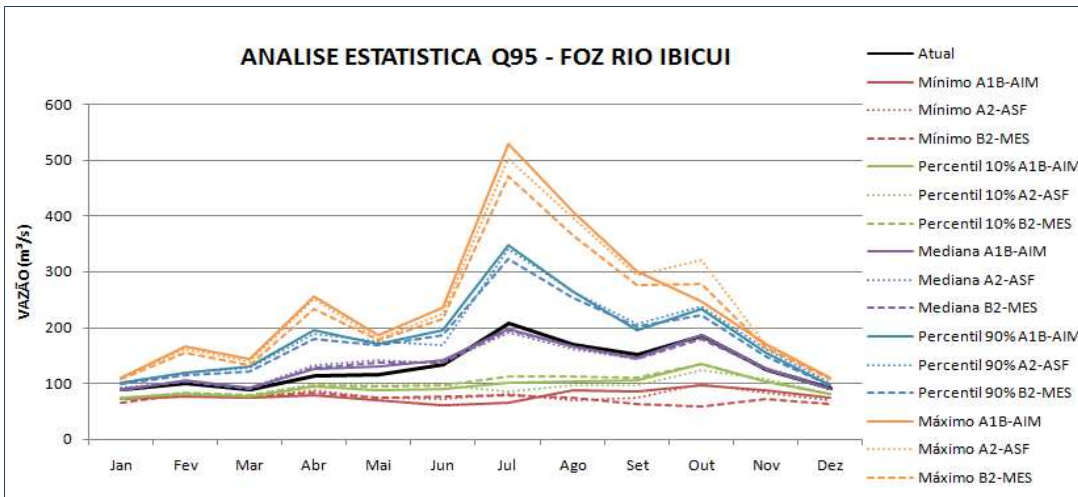


Figura 34 - Análise estatística Q95 – Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES: mínimo, máximo, mediana e 10º e 90º percentis.

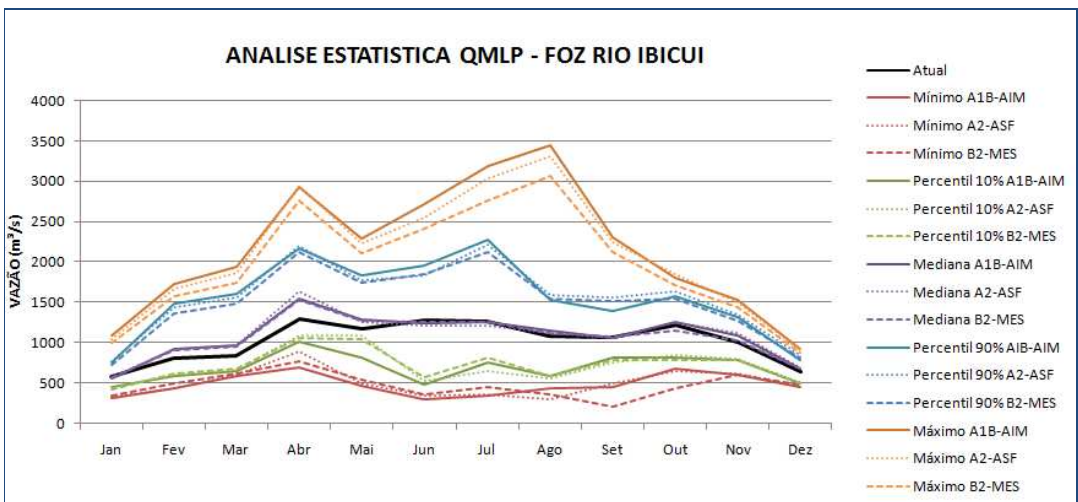


Figura 35 - Análise estatística QMLP – Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES: mínimo, máximo, mediana e 10º e 90º percentis.

Do resultado da análise estatística (Figura 33 a 35) feita na foz do Rio Ibicui observa-se que o comportamento, para Q90 e Q95, entre as séries de mediana e série atual são bastante similares para todos os meses do ano. Para as demais séries maiores incertezas são observadas nos meses de inverno, como já previsto na estimativa de anomalias de precipitação e temperatura. Maiores disparidades são encontradas para os valores das séries de máximo e mínimo em relação a série atual. Já para vazão média de longo prazo (QMLP) as incertezas são maiores em todos os cenários analisados. Neste caso há maior disparidade entre a mediana e a série atual nos meses de fevereiro a maio e setembro a outubro para o cenário A1B-AIM. Para os cenários A2-ASF e B2-MES, tais disparidades entre séries são maiores nos meses de fevereiro a junho, setembro e outubro.

Gráficos como os das figuras acima foram obtidos para cada um dos pontos analisados, em cada cenário de mudanças climáticas para Q90, Q95 e QMLP. A totalidade destes gráficos encontra-se no Anexo B. Os comentários feitos a seguir referem-se a tais gráficos.

Para a Foz do Rio Santa Maria há grande disparidade no comportamento da série de vazões máximas quanto aos cenários de mudanças climáticas. No cenário A2-ASF observa-se um pico de vazão máxima para o mês de outubro, o que não ocorre nos demais cenários (Figura 36). A série de mediana do conjunto dos 20 modelos climáticos, para as Q90 e Q95, divergente da série de clima atual nos cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES, respectivamente, nos meses de agosto a outubro; julho a outubro,e; abril a maio e julho a outubro. Da mesma forma a QMLP apresenta menores incertezas para tais séries, com exceção do cenário B2-MES.

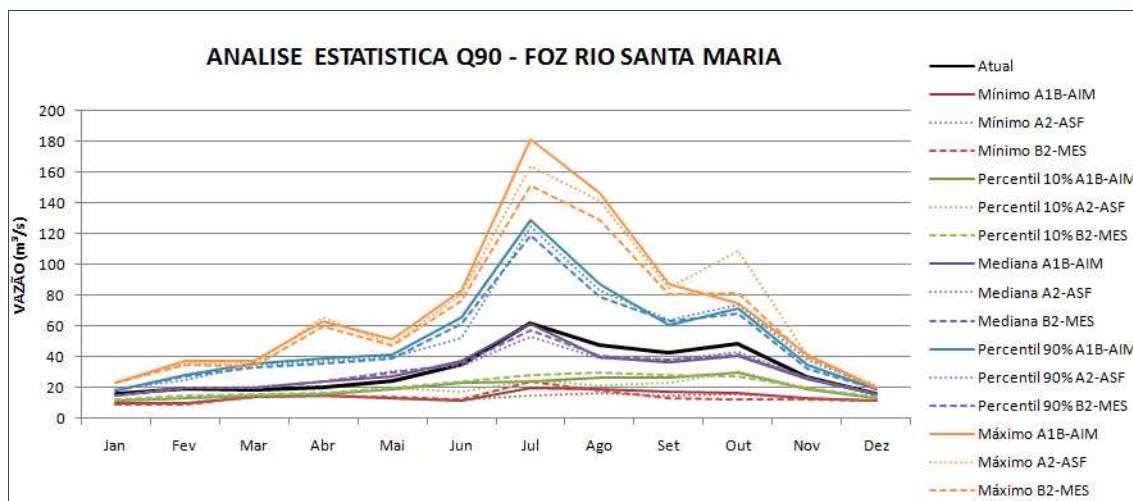


Figura 36 - Análise estatística Q90 – Foz do Rio Santa Maria – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES: mínimo, máximo, mediana e 10º e 90º percentis.

Quanto à Foz do Rio Ibirapuitã, que apresenta para a Q90 e Q95 comportamento da série de medianas similar a de clima atual, com pequenas distorções nos meses de março a maio diferindo dos demais pontos, onde tais incertezas foram menores. A Q90 no cenário A1B-AIM apresenta menores incertezas nos meses junho a dezembro. No cenário A2-ASF as maiores incertezas são vistas de março a agosto. No cenário B2-MES tais incertezas diminuem de março a outubro. Um comportamento similar é visto para a Q95 salvo no cenário B2-MES onde a disparidade de tais séries compreende os meses de março a outubro. Já para a QMLP as maiores incertezas são apresentadas de fevereiro a maio nos três cenários de mudanças climáticas.

Para a Foz do Rio Ibicui Mirim e Foz do Jaguari, as séries de medianas Q90, Q95 e QMLP são bastante similares as do clima atual.

Análises estatísticas das médias, 10º e 90º percentis entre vazões máximas (Q90) e mínimas (Q5) também foram realizadas. Os resultados mostraram que o impacto é maior sobre as vazões máximas, enquanto que a mínimas são menos afetada pelas possíveis mudanças climáticas. As Figuras 37 a 40 mostram as modificações das vazões mínimas e máximas, representadas pela Q90 e Q5, para o Rio Itu e para a Foz do Rio Ibicui. Nos demais quatro pontos em análise observa-se a mesma tendência de sensibilidade das vazões em função das alterações de clima.

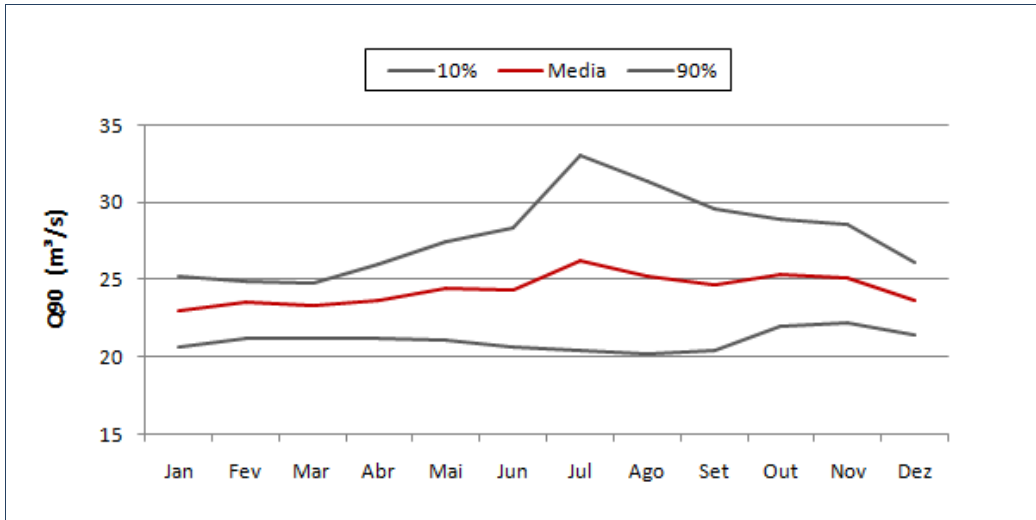


Figura 37 – Análise estatística das mudanças na vazão com 90% de permanência no Rio Itu: média, 10º e 90 percentis

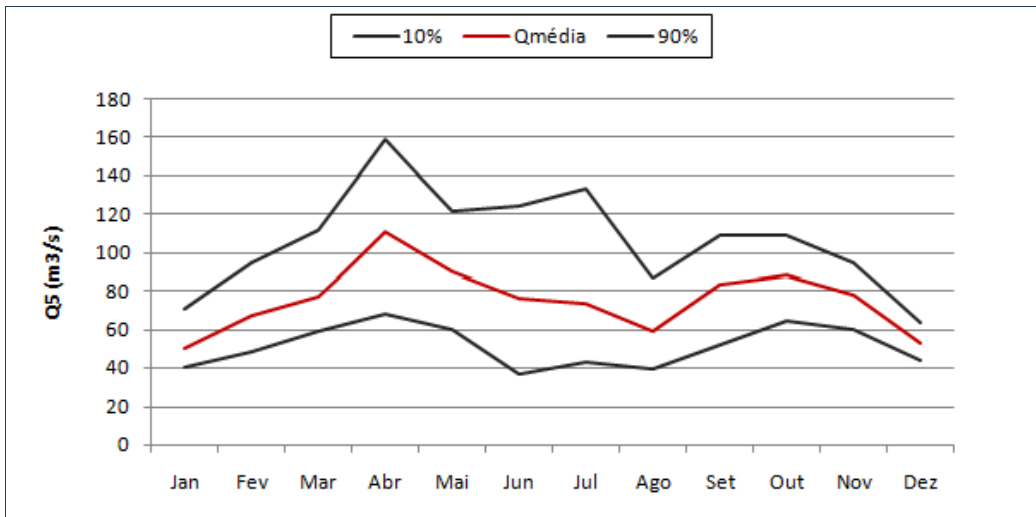


Figura 38 – Análise estatística das mudanças na vazão com 5% de permanência no Rio Itu: média, 10º e 90 percentis

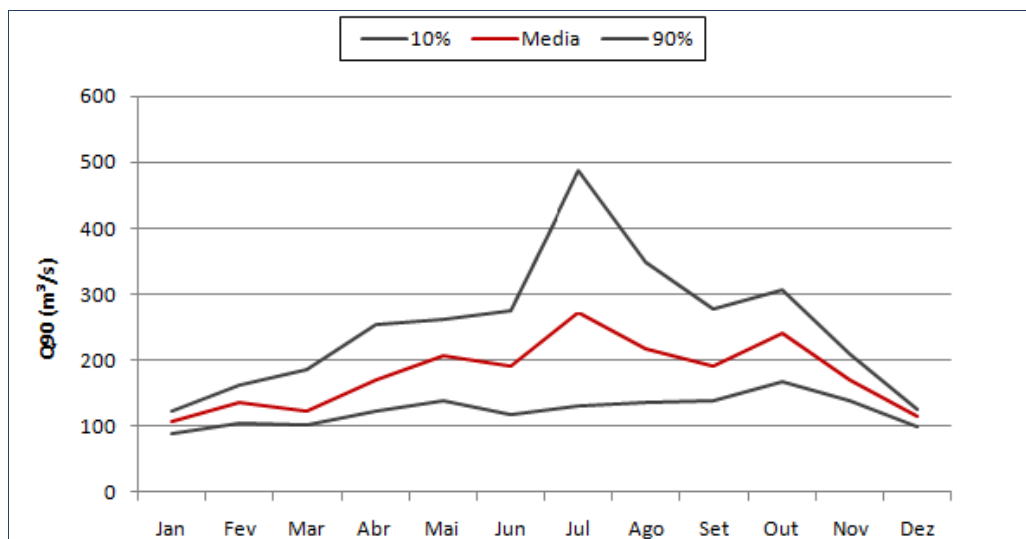


Figura 39 – Análise estatística das mudanças na vazão com 90% de permanência na Foz do Rio Ibicui: média, 10º e 90 percentis

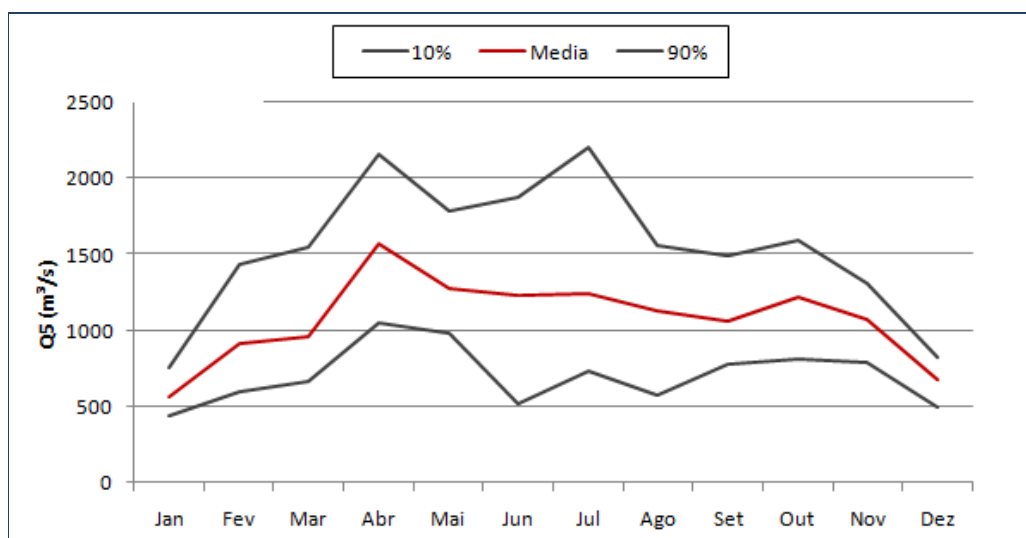


Figura 40 – Análise estatística das mudanças na vazão com 5% de permanência na Foz do Rio Ibicui: média, 10º e 90 percentis

As análises realizadas até aqui usaram o conjunto de resultados dos 20 modelos climáticos. Algumas destas séries, como a mediana da QMLP (nos três cenários), apontam para um aumento de vazão nos meses a maio em todos os pontos analisados. Já as séries de mediana para a Q90 na Foz do Rio Santa Maria, apresenta redução das vazões para os meses de julho a outubro em todos os cenários. Cabe, portanto avaliar os impactos positivos e negativos de tais alterações no regime de vazões.

Dentre as atividades econômicas exercidas na Bacia do Rio Ibicui destaca-se a agricultura, com ênfase para o cultivo de arroz, seguido de soja e milho. Em função

desta atividade um dos principais usos consuntivos da água é a irrigação. Durante os meses de verão (novembro a fevereiro) ocorre o maior consumo de água para este fim. A maior concentração das lavouras de arroz está na região da Foz do Rio Ibicui e também ao longo do Rio Uruguai, um aumento nas vazões mínimas ajudaria a diminuir os conflitos pelo uso da água. Através da Figura 41 pode-se analisar o comportamento das séries previstas de vazões mínimas (Q90 na região da Foz do Ibicui).

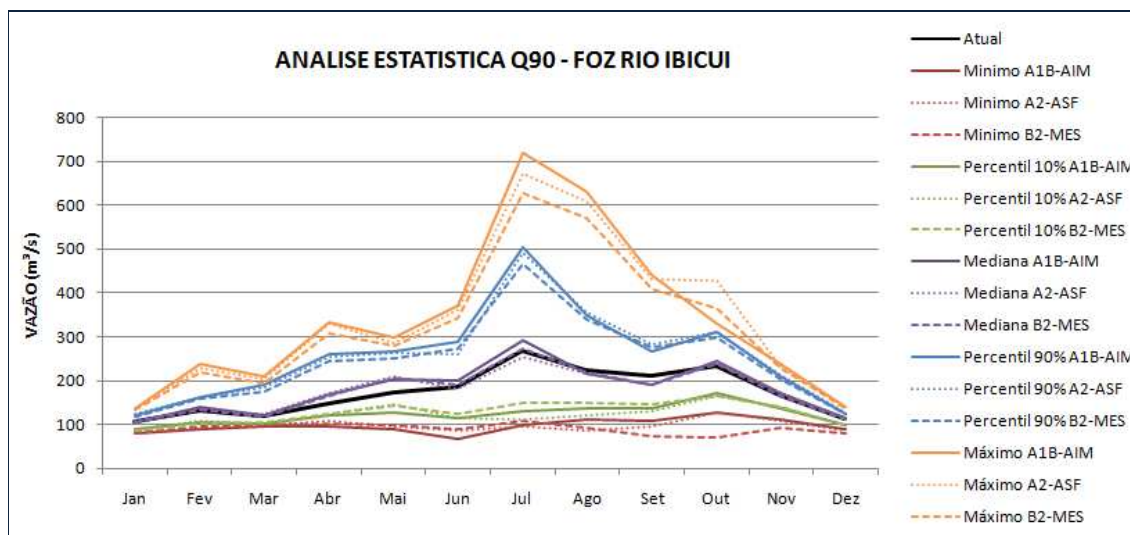


Figura 41 - Análise estatística Q90 – Foz Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

Para todos os cenários as séries medianas do conjunto de modelos climáticos são bem semelhantes às atuais para os meses de verão. Um acréscimo é percebido nos meses de abril a julho, com exceção do cenário A2-ASF, que prevê redução no mês de julho.

Com relação à área de contribuição à foz do Rio Jaguari, onde está instalada a hidrelétrica Furnas do Segredo é importante observar o comportamento previsto para a Q95, vazão utilizada para definir a Energia Assegurada de uma usina hidrelétrica (Figura 42).

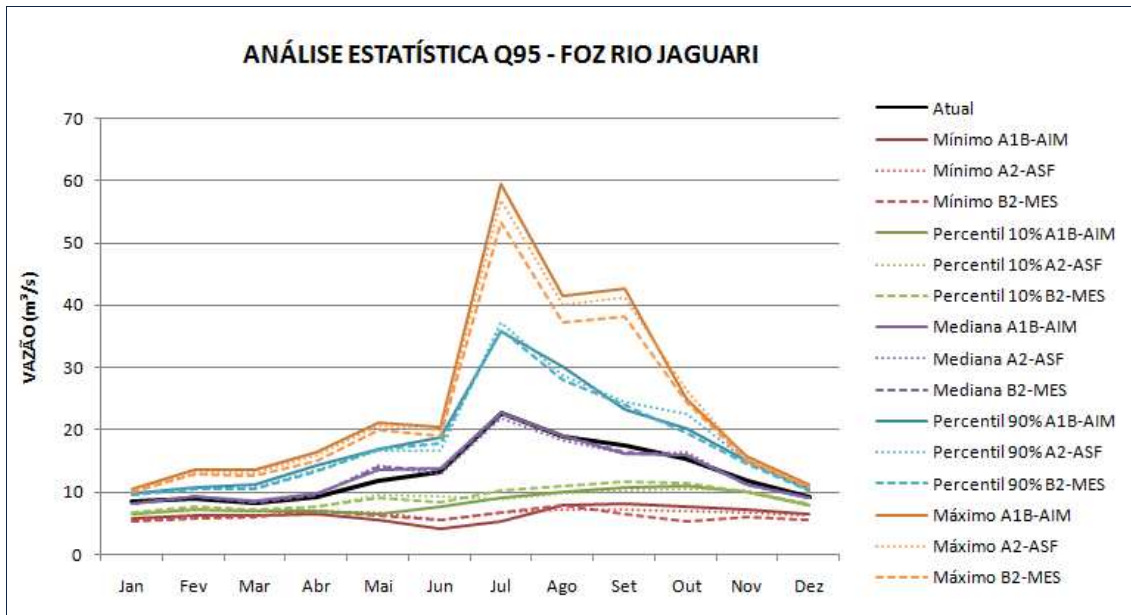


Figura 42 - Análise estatística Q90 – Foz Rio Jaguari – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

Observa-se que as mínimas vazões previstas aproximam-se de $5\text{m}^3/\text{s}$ para o mês de junho no cenário A1B-AIM e mês de outubro no cenário B2-MES.

No geral decréscimos nas vazões mínimas seriam mais impactantes para a bacia do Ibicui do que alterações nas vazões máximas e médias, devido à geração de conflitos quanto ao uso da água.

As incertezas relacionadas às projeções de anomalias de precipitação e temperatura, já demonstradas neste trabalho, foram amplificadas ao avaliar o impacto de mudanças climáticas no regime de vazões. Logo surge a dúvida se realmente podemos confiar nos resultados obtidos e como usá-los para o gerenciamento dos recursos hídricos.

As maiores incertezas encontradas estão relacionadas à precipitação, o que consequentemente afeta os resultados obtidos para as vazões em ordem ainda maior. A discrepância entre a magnitude das modificações para precipitação é muito grande, além do que não há concordância, entre os GCM's, se esta variável irá aumentar ou diminuir no futuro.

Com base nisso, outra questão se faz importante: Selecionar, dentre os 20 GCM's, apenas os que, supostamente, representem melhor as mudanças climáticas pode ajudar a diminuir as incertezas encontradas para as projeções de precipitação?

Selecionar modelos climáticos que melhor representem as variações de clima parece ser uma boa solução. O impacto no regime de vazão dos rios tende a ser mais realista se for baseado nas projeções dos melhores GCM's. Porém como escolher, como saber dentre tantos, quais os GCM's mais adequados ou confiáveis para prever o clima

futuro? Alguns estudos tem selecionados modelos climáticos com base em suas habilidades de reproduzir as séries históricas de precipitação (Perkins et al, 2007; Suppiah et al., 2007; Watterson, 2008) e outros estudos têm considerado que os melhores modelos são os que melhor representam os processo de larga escala atmosfera-oceano (van Oldenborgh et al., 2005; Overland and Wang, 2007; Shi et al.,2008).

Chiew et al (2009), avaliou a escolha de GCM's com base na capacidade destes modelos representarem as séries históricas de precipitação. Para tanto foram considerados os 23 GCM's utilizados no AR4 do IPCC considerando as séries de precipitação observada (1961-2000) no sudeste da Austrália. Os resultados mostraram que não há diferença significativa quanto aos resultados previstos para o conjunto de melhores modelos em relação aos previstos pelo conjunto total dos 23 GCM's.

No item seguinte desta dissertação será apresentada uma metodologia para escolha de modelos climáticos.

6. SELEÇÃO DE MODELOS CLIMÁTICOS

Para muitas aplicações do MAGGIC/SCENGEN é comum a utilização dos 20 modelos climáticos que compõem seu banco de dados e não de apenas um ou uma pequena parte desses modelos (Wigley, 2008). No entanto, visando a necessidade de diminuir as incertezas dos resultados, uma seleção de modelos climáticos foi realizada.

Giorgi e Meams (2002) têm enfatizado a idéia de que quanto melhor é a representação do clima atual por um modelo climático, melhor será a representação deste modelo para o clima futuro.

A escolha de modelos climáticos será considerada neste trabalho com base na capacidade dos modelos climáticos em representar o clima atual, aqui representado pela serie histórica de 1961 a 1990. Para tanto foi realizado, através do próprio MAGGIC/SCENGEN, uma estimativa do erro existente entre os modelos analisados.

O Scengen contém um banco de dados de series observadas de temperatura e precipitação, bem como resultados de diferentes experimentos de modelos climáticos globais para todo o globo. Os resultados de tais experimentos, ou seja, as projeções de clima são comparados com as series observadas para o período de 1961 a 1990.

Utilizando a precipitação como variável de interesse e a área da bacia do Rio Ibicui, esta seleção de modelos climáticos foi realizada a fim de estimar o erro existente entre os vinte modelos analisados (Figura 43). Segundo Wigley (2008) a modelagem da precipitação é mais difícil do que a de temperatura, além disso, a maioria dos modelos apresenta menores incertezas na geração de séries de temperatura. Portanto a escolha da precipitação como variável de interesse torna a escolha de modelos mais criteriosa.

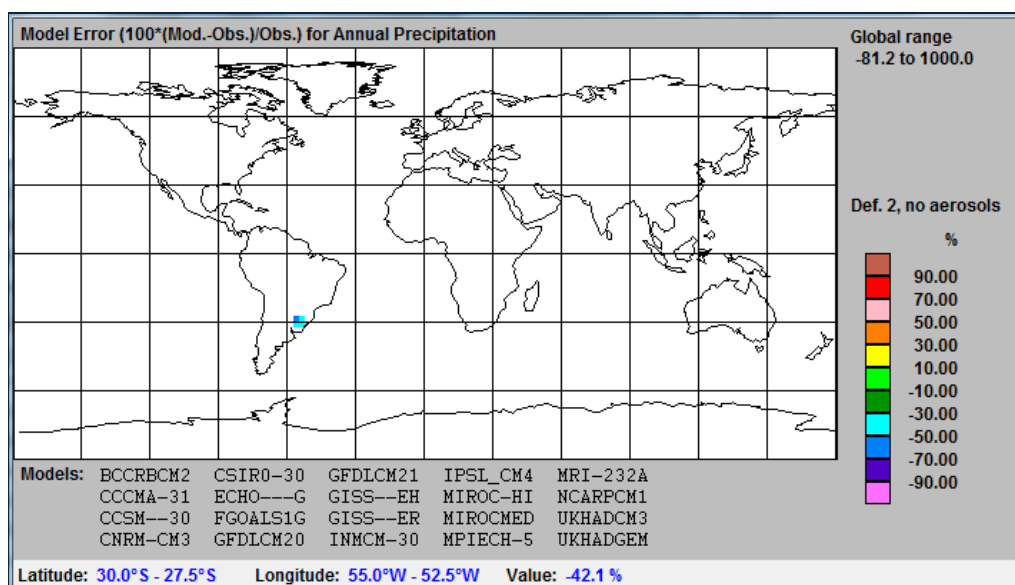


Figura 43 - Estimativa do erro entre os 20 modelos climáticos analisados

O resultado desta simulação é um arquivo que mostra estatísticas para avaliação dos modelos, considerando o erro estimado pela comparação da série simulada por cada um dos modelos e as séries históricas de precipitação. Essas estatísticas podem ser calculadas por estação, mensal ou anualmente. Neste trabalho utilizou-se o cálculo anual para os vinte modelos e na região correspondente a Bacia do Ibicuí.

As estatísticas usadas nesta análise foram: pattern correlation (r), RMSE e BIAS.

A Tabela 6 mostra tais estatísticas e os respectivos modelos analisados. A partir desta tabela é possível gerar um ranking dos melhores e piores modelos climáticos. Isto foi feito atribuindo-se uma nota (neste trabalho 1, 0 e -1) para cada modelo com base em suas respectivas estatísticas de erro.

Sendo BIAS a diferença entre clima atual e futuro os modelos que recebem um valor de bias o mais próximo de zero ganham nota 1, os mais distantes do zero ganham nota -1 e os intermediários nota 0. Além dessas notas os modelos devem ser divididos em três

grupos: melhores (correspondente aos sete primeiros modelos), medianos (os sete subseqüente) e piores (os seis últimos, já que só estão sendo analisados 20 modelos).

Logo os sete modelos que para BIAS mais se aproximem do zero são considerados no grupo “melhores” e assim sucessivamente. No entanto esta análise deve ser feita também para as estatísticas pattern correlation, que representa a correlação entre os GCM’s e a média anual de precipitação observada (nota 1 para maiores valores, 0 para valores intermediários e -1 para valores mais baixos) e RMSE (root-mean-square deviation ou raiz do erro quadrático médio RMSD) cálculo das diferenças entre os valores previstos pelos modelos climáticos e os valores efetivamente observados no período de 1961 a 1990 (nota 1 para valores mais baixos, 0 para valores intermediários e -1 para valores mais altos).

Tabela 6 - Estatísticas de avaliação do erro para os GCM’s

MODELOS	PATTERN CORRELATION		RMSE		BIAS	
BCCRBCM2	0.629	(-1)	1.987	(1)	-1.942	(1)
CCCMA-31	0.736	(-1)	0.672	(1)	-0.612	(1)
CCSM--30	0.708	(-1)	1.438	(1)	-1.41	(1)
CNRM-CM3	0.774	(0)	2.329	(0)	-2.308	(0)
CSIRO-30	0.944	(1)	2.038	(0)	-2.027	(0)
ECHO--G	0.695	(-1)	2.462	(-1)	-2.43	(-1)
FGOALS1G	0.847	(0)	2.118	(0)	-2.107	(0)
GFDLCM20	0.742	(0)	2.467	(-1)	-2.45	(-1)
GFDLCM21	0.76	(0)	2.292	(0)	-2.277	(0)
GISS--EH	0.965	(1)	2.727	(-1)	-2.725	(-1)
GISS--ER	0.87	(1)	3.044	(-1)	-3.037	(-1)
INMCM-30	0.91	(1)	2.6	(-1)	-2.577	(-1)
IPSL_CM4	0.648	(-1)	3.07	(-1)	-3.055	(-1)
MIROC-HI	0.968	(1)	1.141	(1)	-1.135	(1)
MIROCMED	0.774	(0)	2.087	(0)	-2.072	(0)
MPIECH-5	0.657	(-1)	0.627	(1)	-0.53	(1)
MRI-232A	0.81	(0)	2.372	(0)	-2.36	(0)
NCARPCM1	0.98	(1)	2.192	(0)	-2.172	(0)
UKHADCM3	0.827	(0)	1.459	(1)	-1.442	(1)
UKHADGEM	0.922	(1)	0.631	(1)	-0.53	(1)

Após a atribuição de notas para cada uma dessa estatística, faz-se o somatório entre os três valores, e então é que será determinado o ranking dos modelos. Se um determinado modelo recebeu nota 1 para cada uma das estatísticas no final terá a nota máxima três (3) e estará no topo do ranking, no grupo dos “melhores”. Já um modelo

que recebeu nota -1 em todas as estatísticas estará em última colocação no ranking e fará parte do grupo “piores”. A tabela 7 mostra o resultado final para o ranking de modelos. Este ranking foi dividido em três tercís: o primeiro representa os supostos melhores modelos; o segundo, os modelos intermediários e; o terceiro os piores modelos.

Tabela 7- Ranking de GCM's

UKHADGEM	3
MIROC-HI	3
UKHADCM3	2
BCCRBCM2	1
CCCMA-31	1
CCSM--30	1
MPIECH-5	1
CSIRO-30	1
NCARPCM1	1
CNRM-CM3	0
FGOALS1G	0
GFDLCM21	0
MIROCMED	0
MRI-232A	0
GISS--EH	-1
GISS--ER	-1
INMCM-30	-1
GFDLCM20	-2
ECHO---G	-3
IPSL_CM4	-3

Após este resultado o critério de escolha dos modelos torna-se subjetivo. Para fins de análise neste trabalho foram utilizados os modelos do 1º e 3º tercís, representando os melhores e piores modelos.

As Figuras 44, 45 e 46 mostram as mudanças de temperatura (°C) e precipitação (%) médias anuais na bacia do Rio Ibicui previstas para o ano de 2050 pelos modelos climáticos escolhidos (modelos do 1º tercil representados pela cor verde e os modelos do 3º tercil representados pela cor vermelha) e para cada um dos cenários de mudanças climáticas.

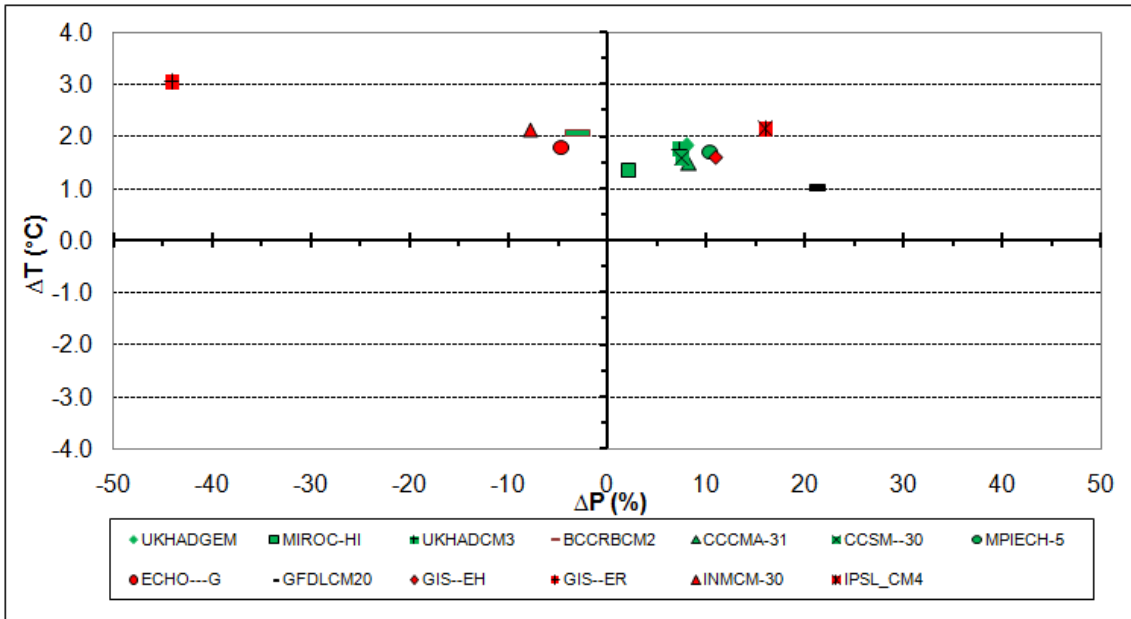


Figura 44 – Mudanças na temperatura e precipitação médias anuais na região da bacia do Rio Ibicui previstas para 2050 considerando apenas os CM's selecionados (melhores modelos: cor verde; piores modelos: cor vermelha) – Cenário A1B-AIM

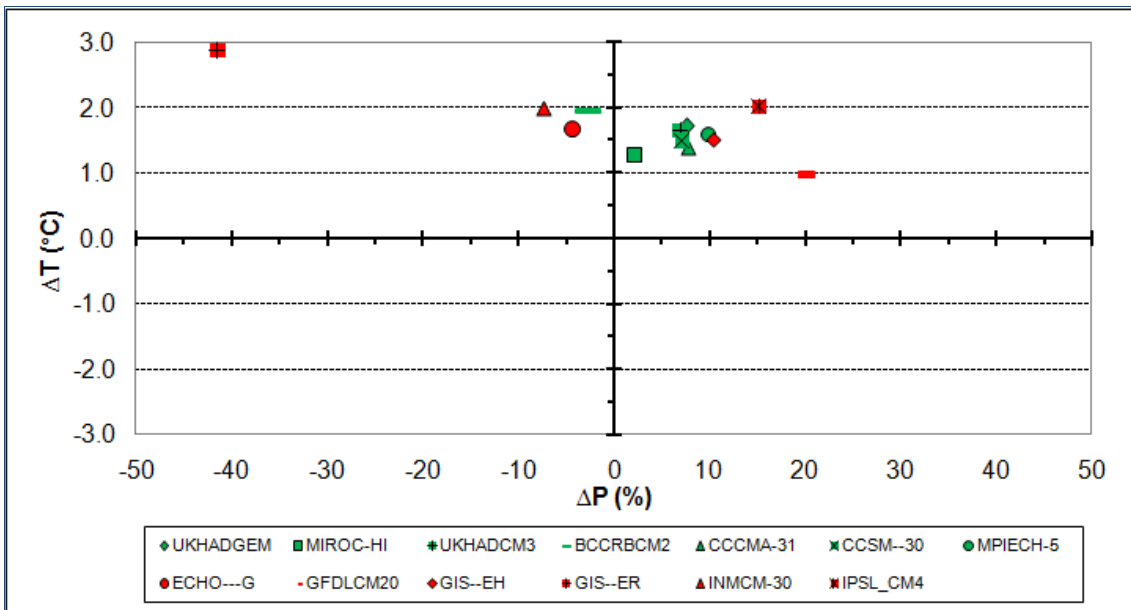


Figura 45 – Mudanças na temperatura e precipitação médias anuais na região da bacia do Rio Ibicui previstas para 2050 considerando apenas os GCM's selecionados (melhores modelos: cor verde; piores modelos: cor vermelha) – Cenário A2-ASF

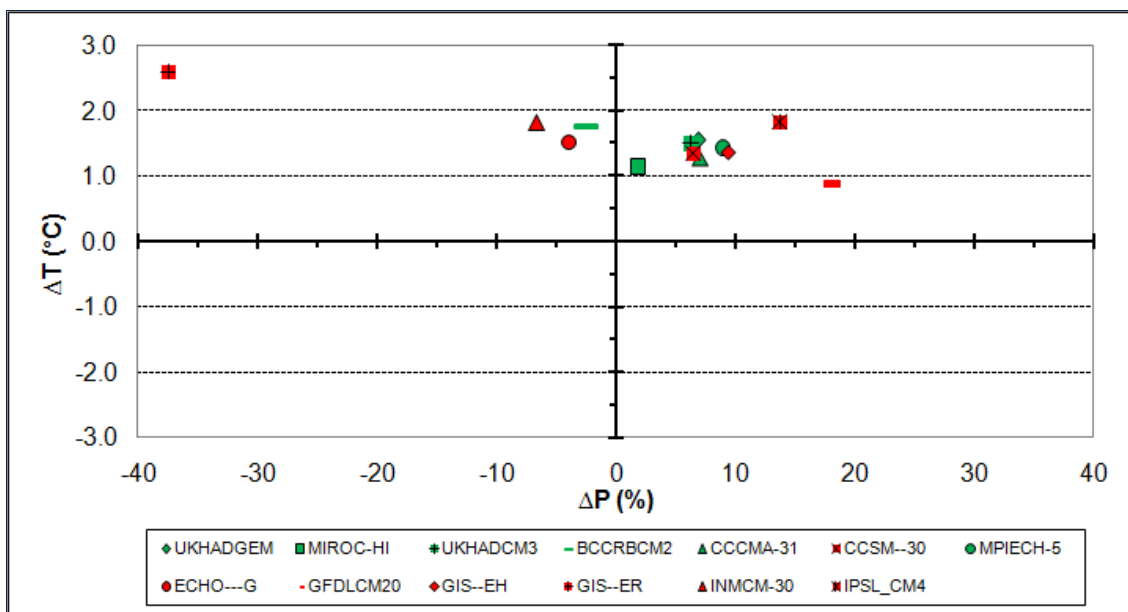


Figura 46 – Mudanças na temperatura e precipitação médias anuais na região da bacia do Rio Ibicui previstas para 2050 considerando apenas os GCM's selecionados (melhores modelos: cor verde; piores modelos: cor vermelha) – Cenário B2-MES

Percebe-se que para todos os cenários, os 13 modelos em questão apontam para um aumento da temperatura. Quanto à precipitação há divergências entre os resultados. Os modelos tidos como melhores indicam aumento desta variável, com exceção do modelo BCCRBCM2 que mostra decréscimo das chuvas para o ano de 2050. Mesmo que os sete melhores modelos não concordem em sua totalidade com aumento ou redução de chuvas, a incerteza em suas respectivas projeções são menores do que a dos piores modelos. Como se observa nas Figuras 44 a 46 a magnitude das projeções dos melhores modelos tendem a estar agrupadas dentro de uma faixa de valores mais próximos, ao contrario do que ocorre as projeções dos piores modelos.

Dentre os modelos tidos como piores a metade deles mostra aumento da precipitação enquanto outra a outra metade decréscimo.

Para avaliar a repercussão destas variações de precipitação nas vazões da bacia do Rio Ibicui foi aplicada a mesma metodologia do Item 5 desta dissertação, só que agora utilizando apenas os dados dos modelos em questão (melhores modelos: os sete modelos contidos no 1º tercil do ranking; piores modelos: os seis modelos contidos no 3º tercil do ranking) para perturbar as séries observadas e gerar as séries previstas de vazão para o ano de 2050. As séries de vazões utilizadas foram: Q90, Q95 e QMLP. Estas análises foram realizadas em seis diferentes pontos da bacia do Ibicui: Rio Itu, foz do Rio Ibicui e Ibicui Mirim, Foz Rio Jaguari, foz do Rio Ibirapuitã e foz do Rio Santa Maria. Os resultados são apresentados em forma de gráficos: com a estatística das séries

de medianas, mínimas, máximas, 10° e 90° percentis para as séries previstas; e a mediana das séries da vazão atual ou vazão observada. Os resultados do grupo de modelos selecionados como melhores (BCCRBCM2, CCCMA-31, MPIECH-5, CCSM-30, MIROC-HI, UKHADCM3 e UKHADGEM) foram analisados separadamente do resultado do grupo de modelos tido como piores (GIS-EH, GIS-ER, INMCM-30, IPSL-CM4, ECHO-G e GFDLCM20). A Figuras 47 a 52 mostram os resultados para a Foz do Rio Ibicui. Gráficos como estes foram gerados para todos os pontos da bacia do Ibicui em análise e estão dispostos no Anexo C.

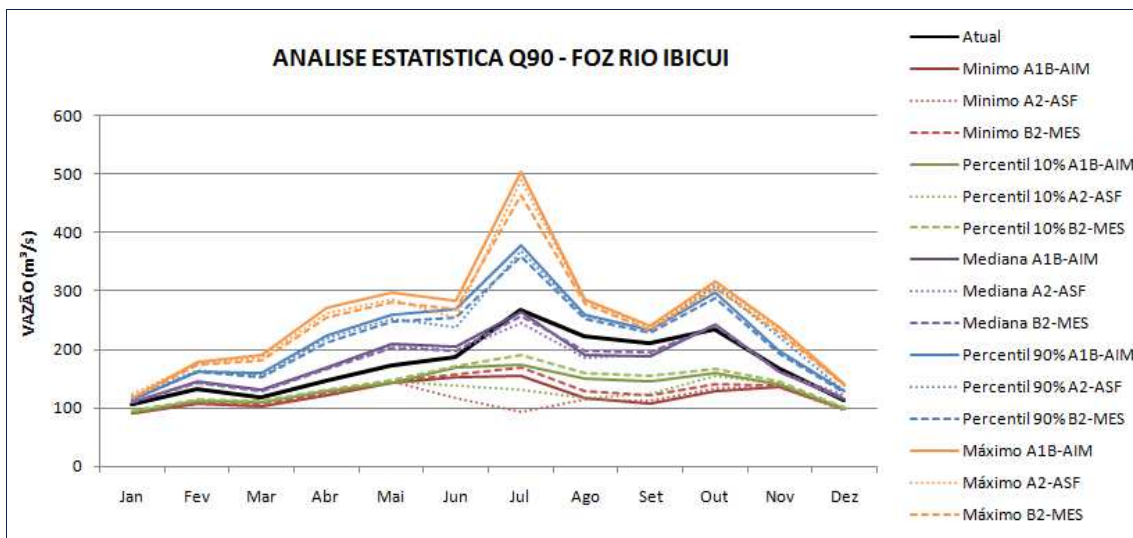


Figura 47 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos - Foz do Rio Ibicui

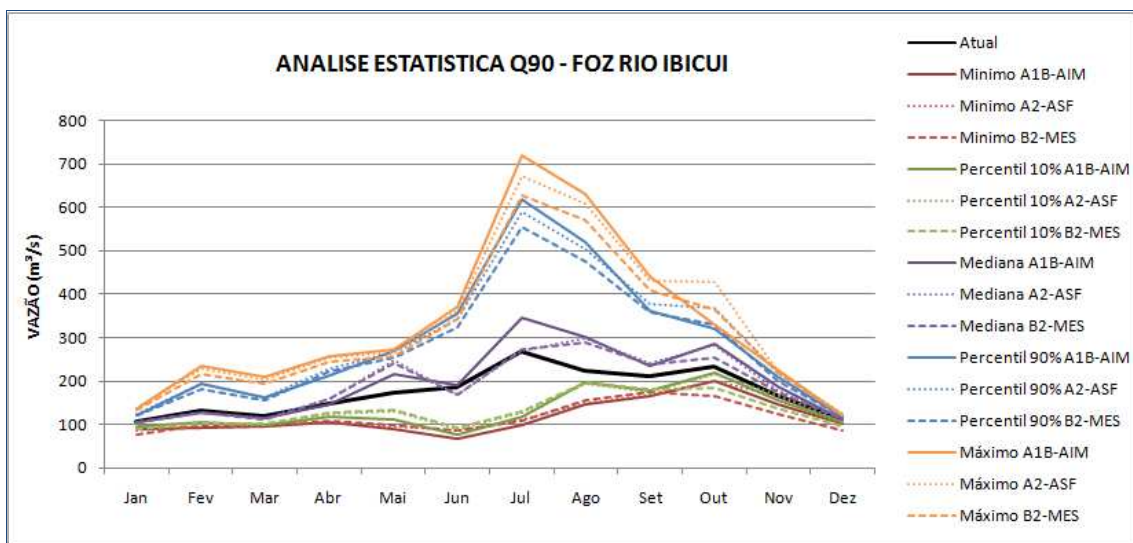


Figura 48 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos - Foz do Rio Ibicui

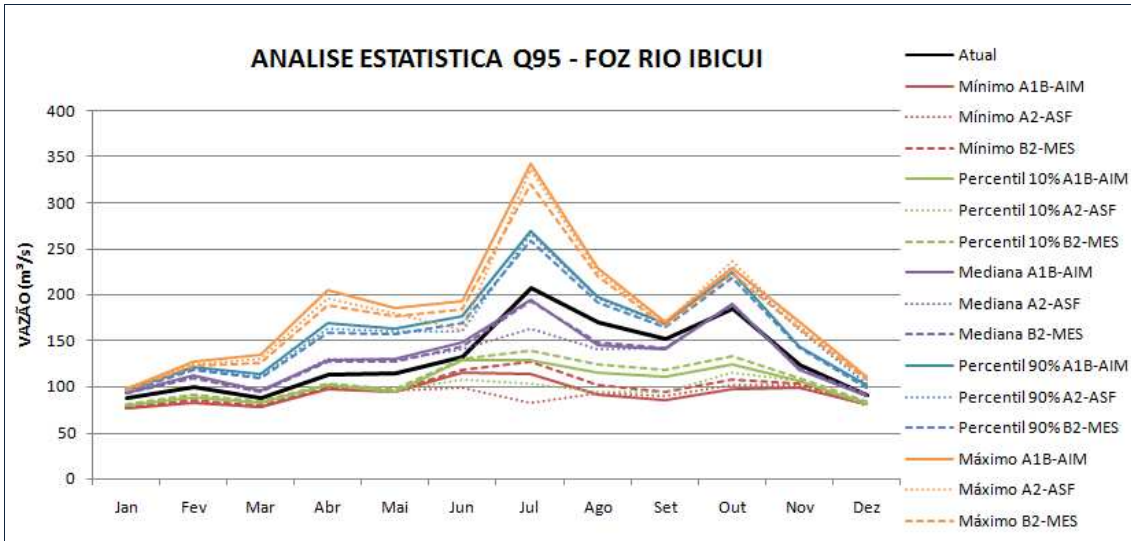


Figura 49 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos - Foz do Rio Ibicui

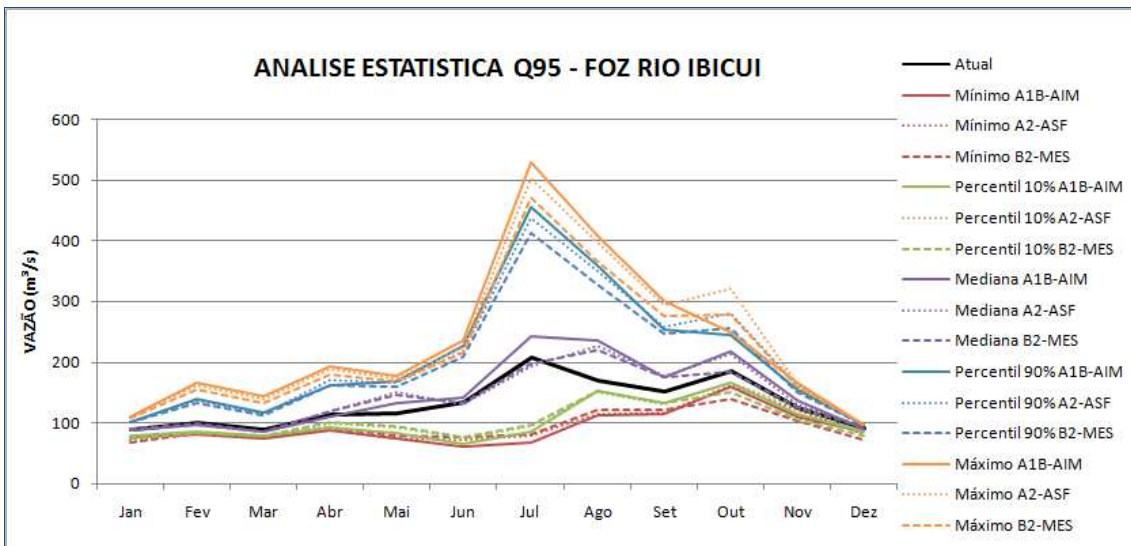


Figura 50 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos - Foz do Rio Ibicui

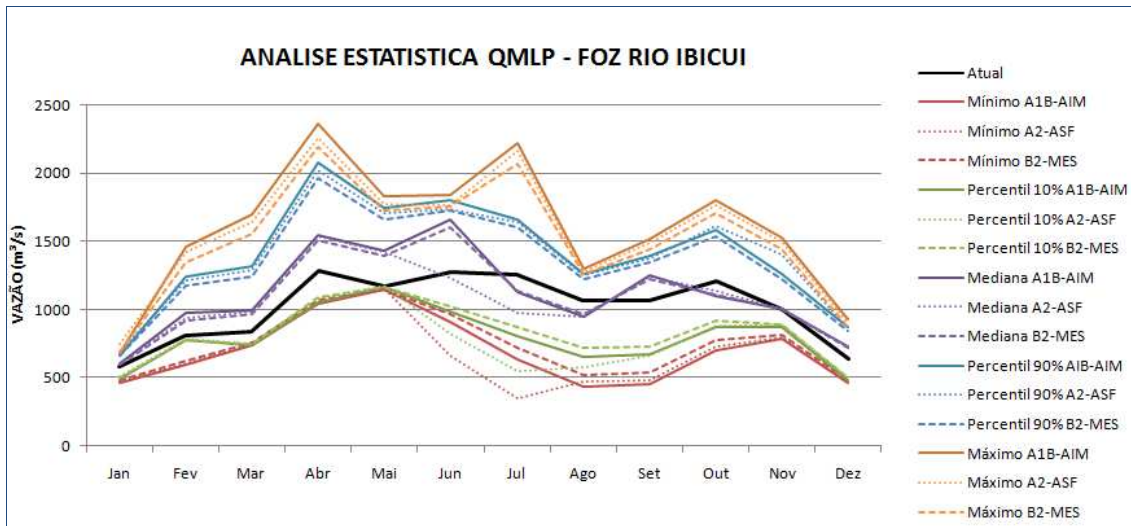


Figura 51 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos - Foz do Rio Ibicui

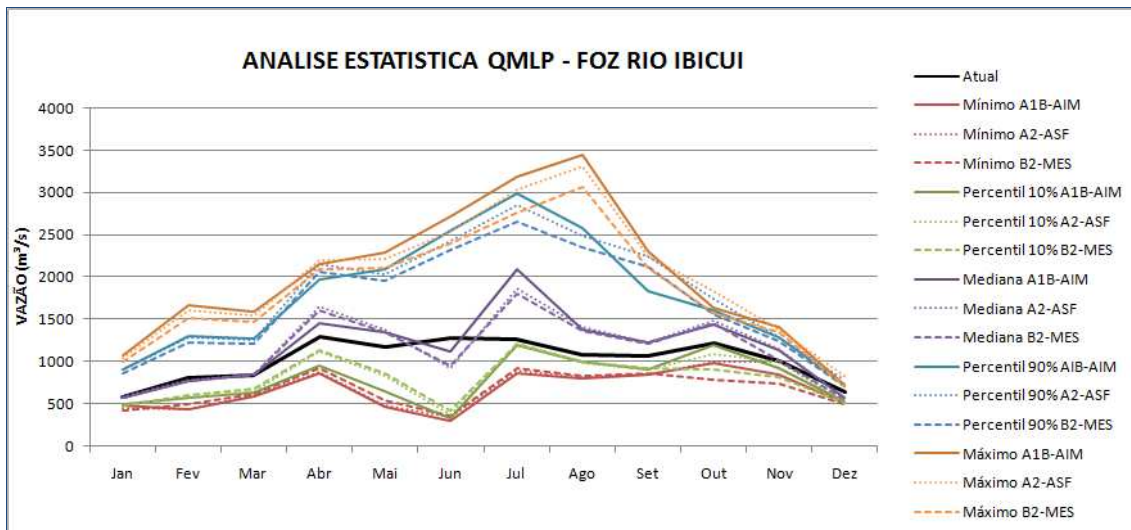


Figura 52 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos - Foz do Rio Ibicui

Com base nas figuras acima, se observa que os sete melhores modelos apresentam menores incertezas quanto às séries de máxima para as vazões Q90 e Q95.

Com relação às projeções dos piores modelos não se observa relevante diferença entre seus resultados e os obtidos pelo conjunto de 20 modelos analisados anteriormente, com exceção da série de mediana que ficaram diminutas nos meses de junho a setembro. Esta mesma tendência é vista para a vazão QMLP, sendo aqui as séries de mediana divergentes das previstas pelo conjunto de 20 modelos nos meses de maio a agosto.

No geral é perceptível que os melhores modelos apresentam maiores diferenças entre os cenários analisados, o que não acontece com os resultados dos piores modelos. O cenário A2-ASF apresenta maiores divergências em relação aos demais cenários, principalmente nas séries de vazões mínimas. Isso ocorre também para a Q90 dos demais pontos analisados como pode ser visto na Figura 53 mostra que os resultados encontrados para a Foz do Rio Santa Maria.

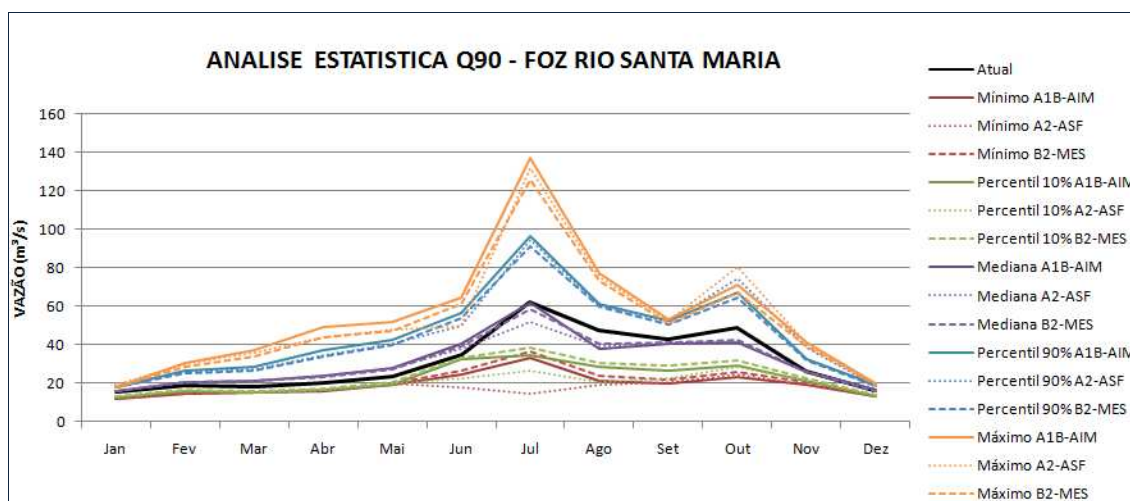


Figura 53 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos - Foz do Rio Santa Maria

Ao analisar os modelos separadamente observa-se que o modelo MPIECH-5 (Figura 54 e 55) sempre apresenta, para o cenário A2-ASF valores de Q90 e QMLP mais baixos do que nos demais cenários, isto explica a variação do 10º percentil referente a este cenário nas Figuras 45, 47 e 49. Isso pode significar que este modelo representa melhor a variação dos cenários do que os demais. Porém o fato de que em outros modelos esta diferença não é tão acentuada pode não significar pouca precisão ou capacidade de representar adequadamente estas variações de cenários, mas sim o fato de que a bacia hidrográfica é pouco sensível a estas mudanças de cenários e até mesmo a pouca relevância que estes cenários possam ter.

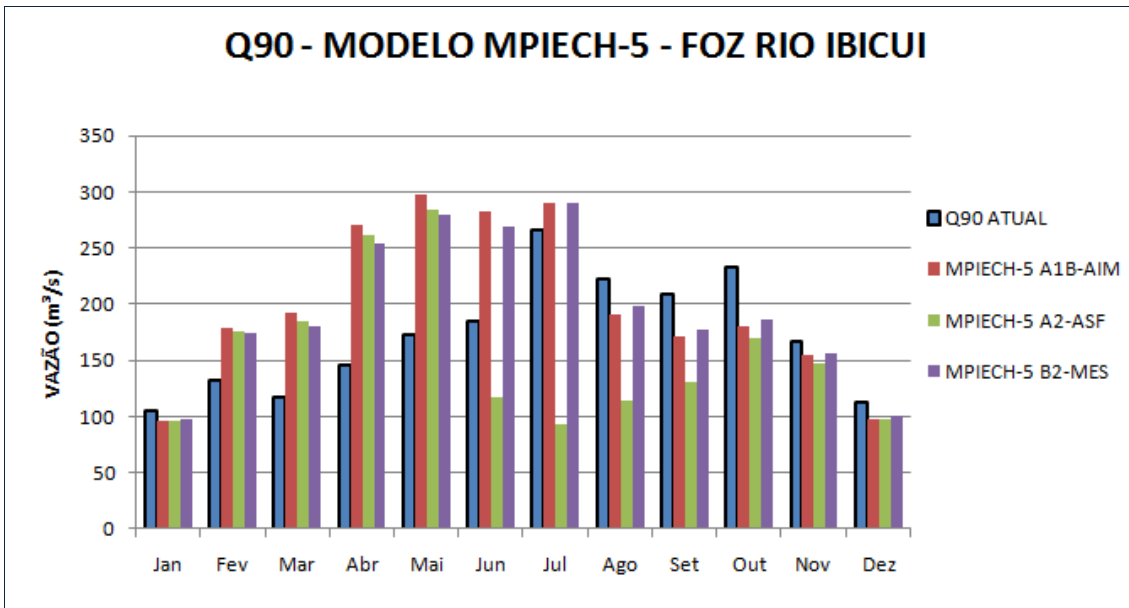


Figura 54 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelo modelo MPIECH-5 Foz do Rio Ibicui: mediana das séries de vazão atual e previstas para 2050 nos três cenários analisados

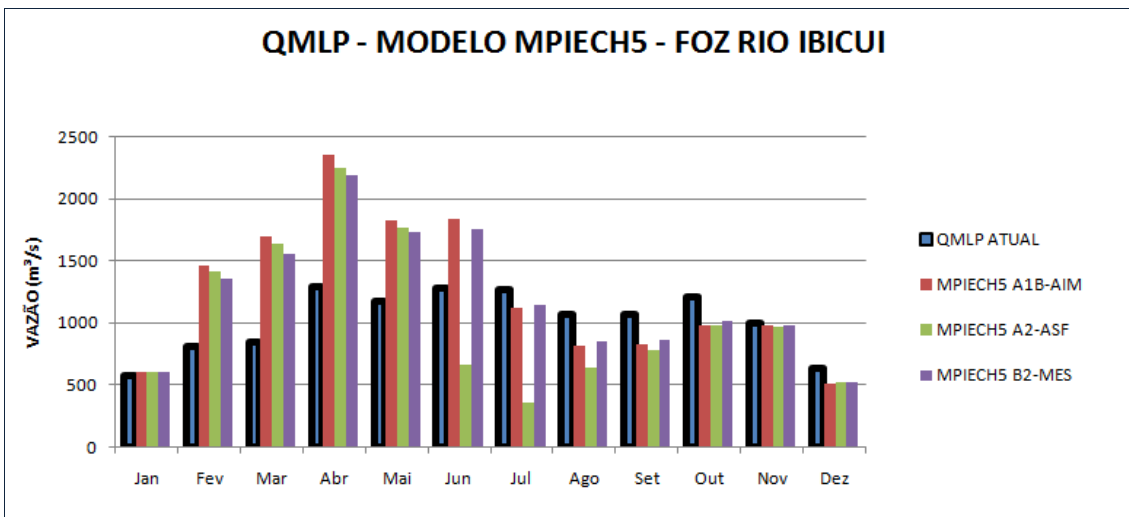


Figura 55 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelo modelo MPIECH-5 Foz do Rio Ibicui: mediana das séries de vazão atual e previstas para 2050 nos três cenários analisados

Os resultados obtidos para Foz do Rio Ibicui, são semelhantes para os demais pontos analisados.

Sendo as incertezas diminutas para as vazões máximas, torna-se relevante considerar os resultados obtidos a partir da seleção de modelos climáticos se a vazão de interesse for a máxima. As Figuras 56 a 58 representam as séries de vazões máximas (para Q90, Q95 e QMLP) previstas pelos melhores modelos em comparação com a série

de vazões máximas obtidas pelo conjunto dos 20 GCM's analisados. Também está indicada a série de mediana da vazão atual.

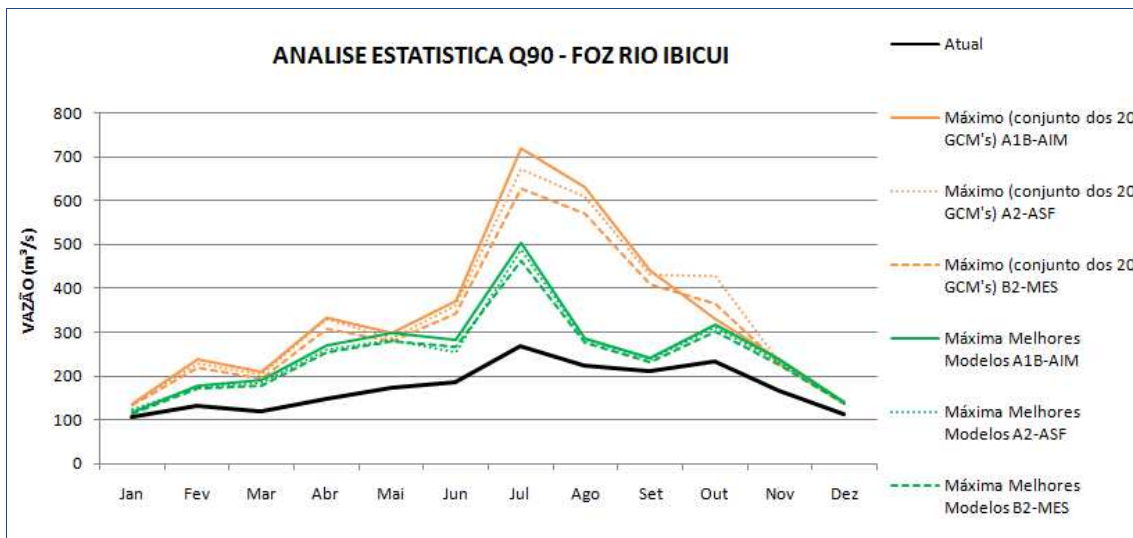


Figura 56 – Comparação entre as série máximas Q90: melhores modelos e conjunto dos 20 GCM's analisados - Foz do Rio Ibicuí

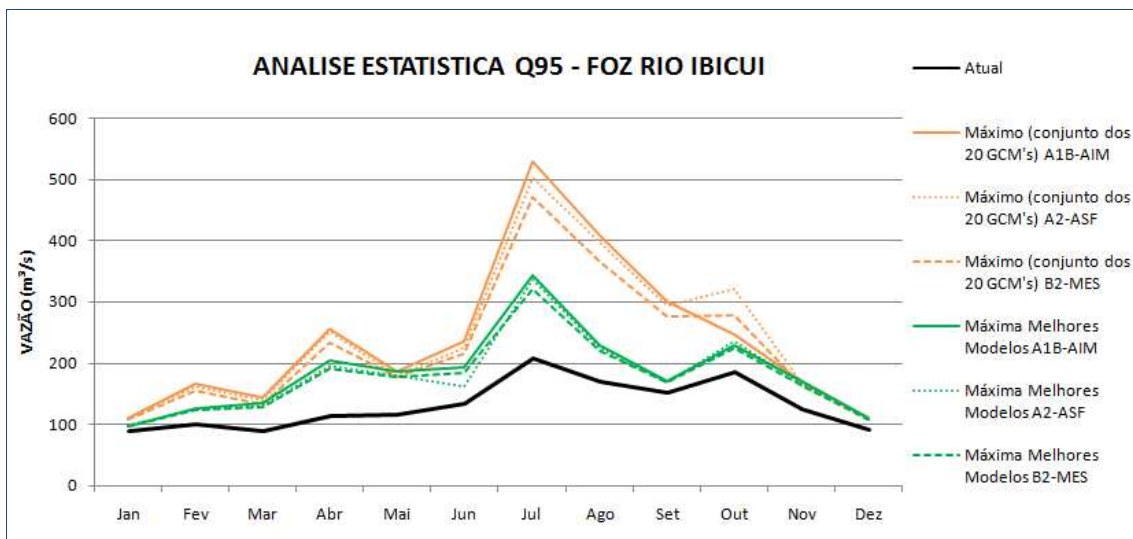


Figura 57 – Comparação entre as série máximas Q95: melhores modelos e conjunto dos 20 GCM's analisados. Foz do Rio Ibicuí

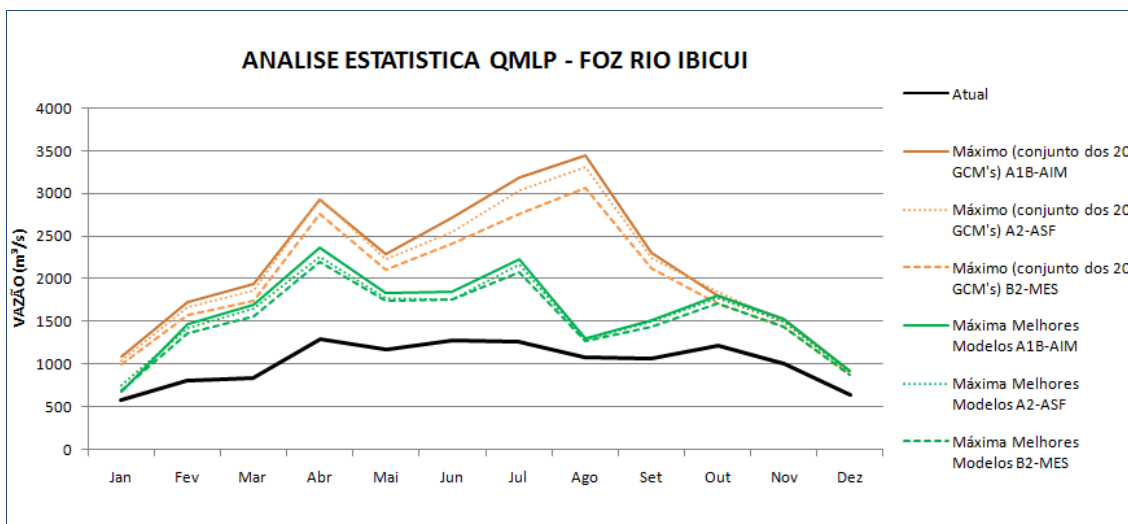


Figura 58 – Comparação entre as série máximas QMLP: melhores modelos e conjunto dos 20 GCM's analisados. Foz do Rio Ibicuí

O comportamento das séries máximas é similar para os demais pontos analisados. No entanto os maiores conflitos relacionados ao uso da água na bacia do Ibicuí estão relacionados às vazões mínimas e neste sentido, ou seja, considerando as séries de mínima, não há diferenças relevantes entre os resultados obtidos pelo conjunto de 20 GCM's e dos modelos selecionados, tanto os melhores quanto os piores (Figura 59).

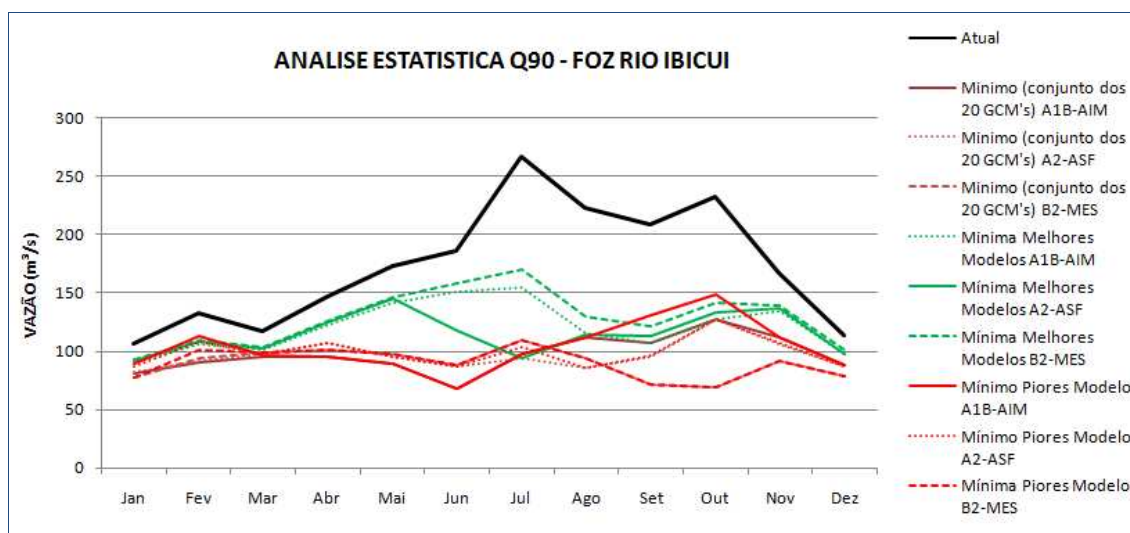


Figura 59 – Comparação entre as séries mínimas Q90: melhores e piores modelos e conjunto dos 20 GCM's analisados. Foz do Rio Ibicuí

Observa-se na Figura 59 que as séries de mínima previstas pelos piores modelos é bastante similar a do conjunto dos 20 GCM's. Já os resultados dos melhores modelos, mostram tendência de aumento das séries mínimas de Q90 para determinados meses do

ano, porém a magnitude deste aumento pode não ser relevante, ou até mesmo indicativo de que seja mais seguro utilizar os resultados do conjunto de vinte modelos e ter, por exemplo, maior margem de segurança quanto à avaliação de disponibilidade de água do futuro.

Resultados semelhantes foram obtidos também para Q95 e QMLP em todos os pontos analisados e seus respectivos gráficos estão dispostos no Anexo D.

Analisando apenas as série de mediana (Q90, Q95 e QMLP) resultantes das projeções dos melhores e piores modelos, observa-se que as incertezas não foram diminuídas com o critério de seleção, principalmente no que se refere aos meses de inverno. De novembro a março os 13 modelos selecionados apresentam concordância em seus resultados, porém nos demais meses isso não ocorre.

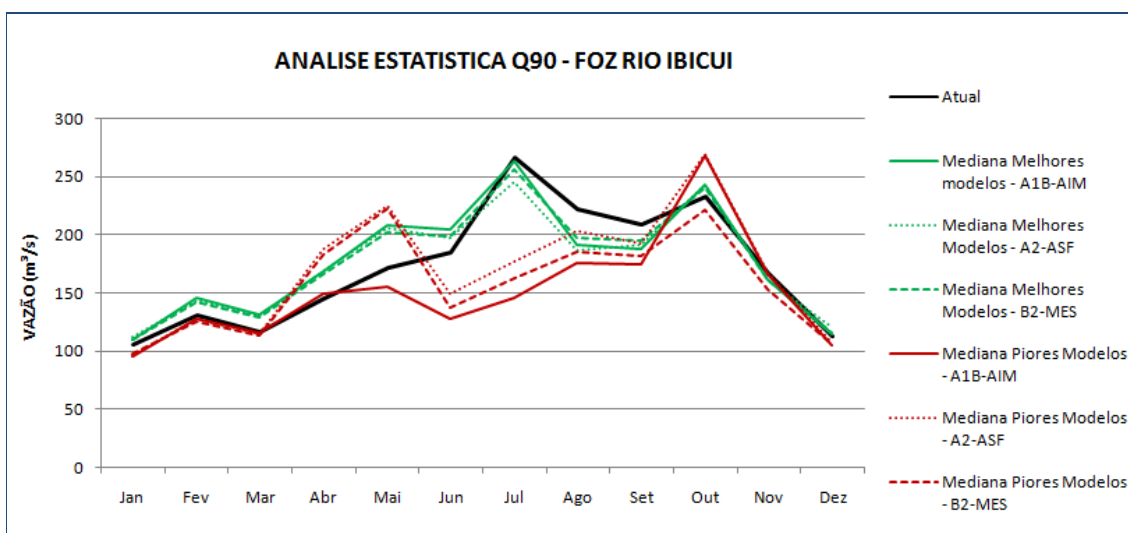


Figura 60 – Análise estatística da vazão Q90: comparação entre séries de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

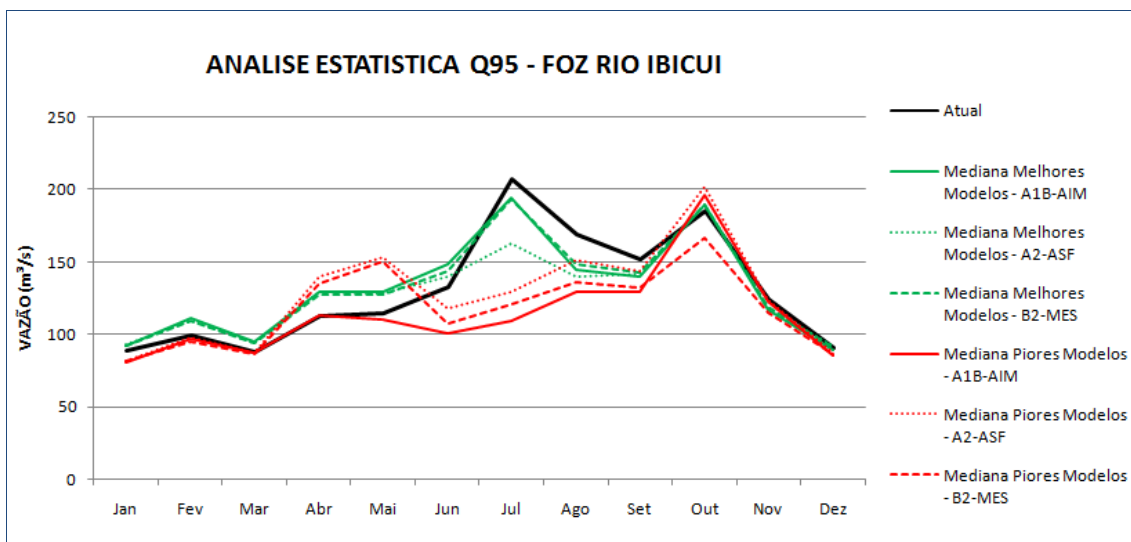


Figura 61 – Análise estatística da vazão Q95: comparação entre séries de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

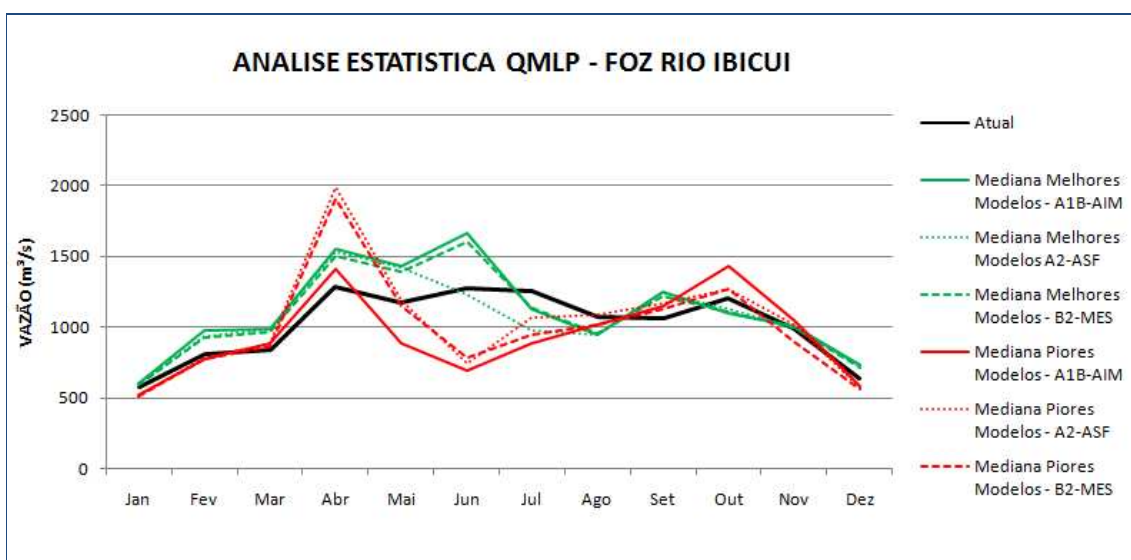


Figura 62 – Análise estatística da vazão QMLP: comparação entre séries de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

Incluindo aos gráficos acima as séries de mediana (Q90, Q95 e QMLP) obtidas pelo conjunto dos 20 GCM's, tem-se as Figuras 63, 64 e 65.

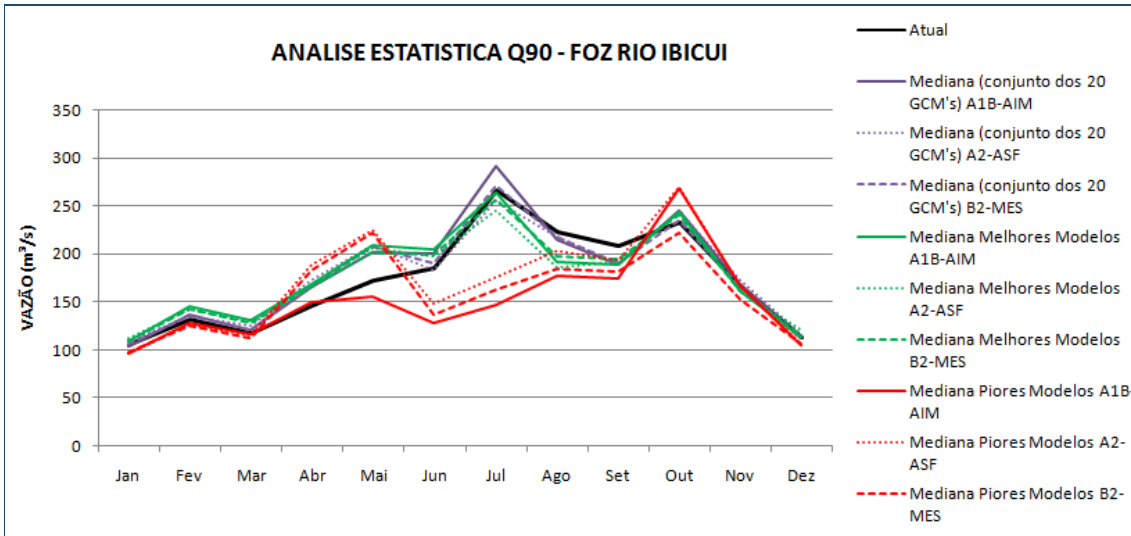


Figura 63 – Análise estatística da vazão Q90: comparação entre séries de medianas dos melhores e piores modelos, conjunto de 20 GCM's e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

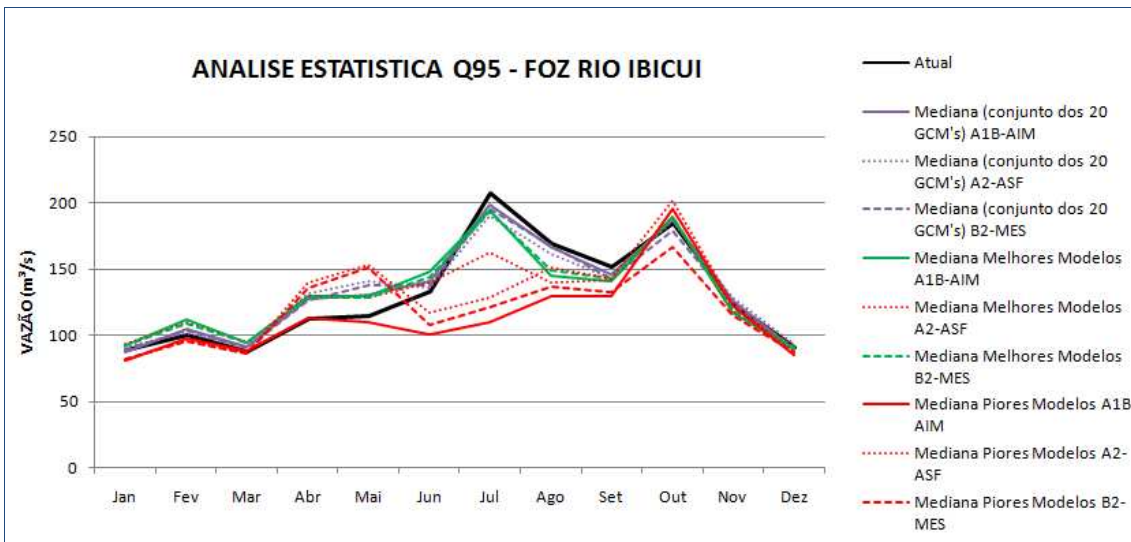


Figura 64 – Análise estatística da vazão Q95: comparação entre séries de medianas dos melhores e piores modelos, conjunto de 20 GCM's e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

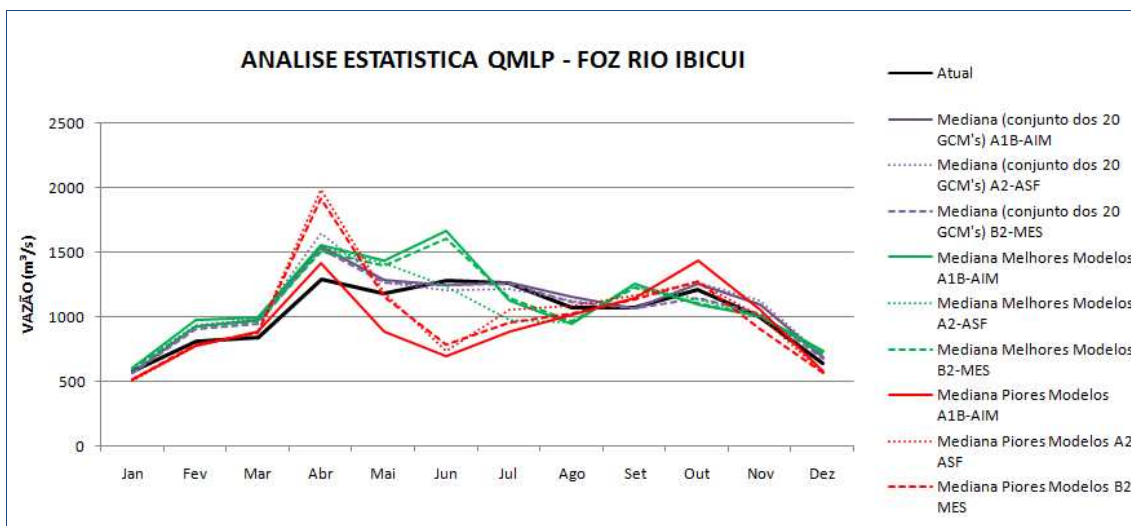


Figura 65 – Análise estatística da vazão QMLP: comparação entre séries de medianas dos melhores e piores modelos, conjunto de 20 GCM's e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

A partir das Figuras 63, 64 e 65 nota-se que os resultados dos melhores modelos são mais similares aos resultados do conjunto de 20 GCM's e da mediana da vazão atual do que os resultados dos piores modelos.

No geral não há significativa diferença entre os resultados, referentes às vazões mínimas, dos melhores e piores modelos. Tais resultados também são similares aos do previstos pelo conjunto total dos vinte modelos climáticos para vazões mínimas, indicando neste caso pouca relevância em adotar o critério de seleção de modelos climáticos.

Ao comparar os resultados das series de vazões máximas obtidas pelos melhores modelos, piores modelos e pelo conjunto dos 20 GCM's, a seleção de modelos torna-se vantajosa, pois as incertezas, quanto à magnitude do evento, foram diminutas nas séries previstas pelos melhores modelos (Figura 66).

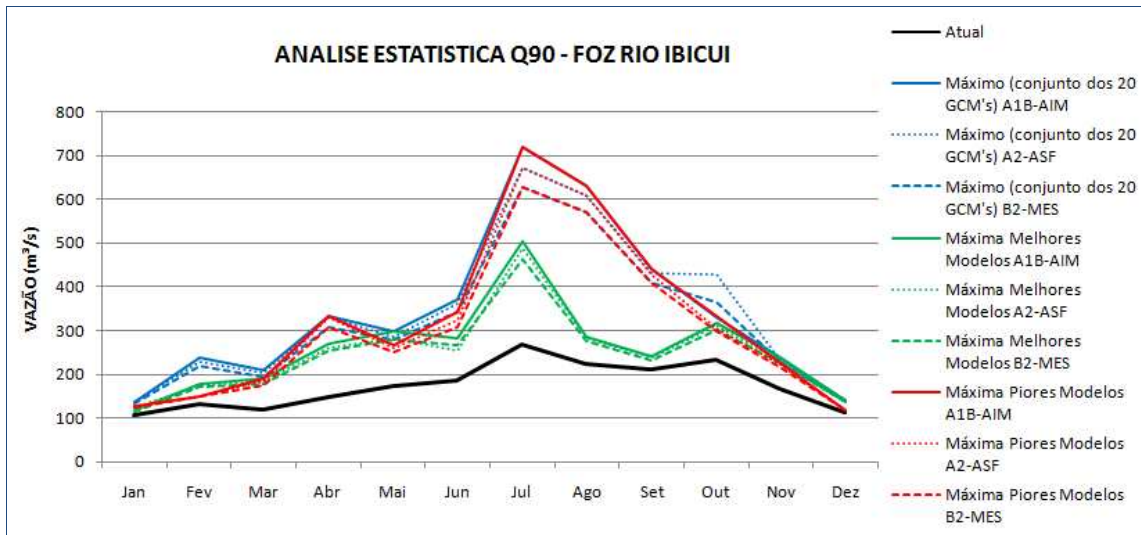


Figura 66 – Análise estatística da vazão Q90: comparação entre séries de máxima dos melhores e piores modelos, conjunto de 20 GCM's e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

7. CONCLUSÕES

Neste trabalho avaliou-se o impacto de possíveis mudanças climáticas sobre o regime de precipitação e vazão na Bacia do Rio Ibicui.

Análises de sensibilidade de vazão a mudanças de precipitação mostraram que as vazões médias e altas são mais sensíveis a mudanças na precipitação. As vazões mínimas são menos afetadas em caso de redução ou aumento das chuvas na região.

A estimativa de anomalias previstas pelo conjunto de GCM's analisados para o ano de 2050 aponta, quanto à totalidade dos modelos, para acréscimo de temperatura. Porém quanto às projeções de anomalias da variável precipitação há maiores incertezas, principalmente quanto à magnitude destas variações. Há também, como de se esperar, variações entre os cenários de mudanças climáticas. As maiores anomalias de precipitação são previstas pelo cenário A1B-AIM, já as menores pelo cenário de melhores condições ambientais o B2-MES.

Os resultados das simulações hidrológicas, utilizando as séries perturbadas de temperatura e precipitação, mostraram que as vazões mínimas são menos afetadas pelos impactos de mudanças climáticas do que as vazões médias e altas. As incertezas relacionadas às projeções de anomalias de precipitação e temperatura, previstas pelo conjunto de 20 GCM's, foram amplificadas ao avaliar o impacto de mudanças climáticas no regime de vazões.

No geral decréscimos nas vazões mínimas seriam mais impactantes para a bacia do Ibicui do que alterações nas vazões máximas e médias, devido à geração de conflitos quanto ao uso da água, com ênfase ao cultivo de arroz, principal fonte econômica da região e maior fonte de demanda de água.

A fim de diminuir as incertezas obtidas e garantir maior confiabilidade das previsões para o gerenciamento adequado dos recursos hídricos da região, foi abordada uma metodologia para seleção de modelos climáticos globais com base na capacidade destes modelos representarem o clima atual.

Considerando o critério de seleção de modelos baseado na habilidade destes GCM's em representar o clima atual, vale adotar esta metodologia para avaliação de vazões máximas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2010) Relatório de Acompanhamento de Estudos e Projetos da ANEEL 2010.

BEVEN, K.J. (2009) Environmental Modelling: na Uncertain Future? Routledge, London.

BINDER, L.C.W. (2006) Climate Change and Watershed Planning in Washington State. Journal of the American Water Resources Association, v.42, p.915-926.

BOUWER, L. M.; AERTS, J. C. J. H.; COTERLET, G. M. van de; GIESEN, N. van de; GIESKE, A.; MANNAERTS, C. (2004) Evaluating downscaling methods for preparing global circulation model (GCM) data for hydrological impact modelling. In: AERTS, J. C. J. H.; DROOGERS, P. (Ed.). Climate change in contrasting river basins: adaptation strategies for water, food and environment. Wallingford: CABI p. 25-47.

BRAVO, J. M. ; COLLISCHONN, Walter ; PAZ, A. R. ; DOMEQ, F. (2010) Avaliação Preliminar de Tendências de Variação da Temperatura e da Precipitação em Cenários Climáticos Futuros na Bacia do Rio Paraguai. In: ADAPTCLIM: Os desafios da mudança climática e da adaptação nas bacias tropicais, 2010, Asunción, Paraguai. Anais do ADAPTLIM, 2010. v. 1. p. 1-2.

CANE, M. A. (2005) Earth and Planetary Science. Letters, 164, 1-10, 2005.

CARTER, T. (2007) General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and adaptation Assessment. IPCC Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment (TG CIA). Disponível em: http://www.ipcc-data.org/guidelines/TGCIA_guidance_sd-ciaa_v2_final.pdf

CHRISTENSEN, J.H.; HEWITSON, B.; BUSUIOC, A. (2007b) Regional Climate Projections. In: SOLOMON, S.; QUIN, D.; MANNING, M. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, UK.

CHIEW, F.H.S.; (2006). Estimation of Rainfall Elasticity of Streamflow in Australia. Hydrological Sciences Journal, 51(4), pp. 613 – 625.

CHIEW, F.H.S.; TENG, J.; VAZE, J.; KIRONO, D.G.C. (2009) Influence of Global Climate Model Selection on Runoff Impact Assessment. Journal of Hydrology 379, 172-180.

COLLISCHONN, W. (2001) Simulação Hidrológica de Grandes Bacias. Porto Alegre: UFRGS. Tese. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 194p.

COLLISCHONN, W. (2011) Avaliação da Disponibilidade de Água na Bacia do Rio Ibicuí. Relatório da Disponibilidade de Água na Bacia do Rio Ibicuí . 67p. Porto Alegre.

COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.G.; SILVA, B.C.; TUCCI, C.E.M. The MGB-IPH Model for Large-Scale Rainfall-Runoff Modeling. *Hydrological Sciences Journal*, 52, 878-895 pp, 2007.

COLLISCHONN, W. (2008). Identificação de Mudanças e Variabilidade em Series Fluviométricas. Disponível em : www.iea.usp.br/online/midiateca/sic2_waltercollischonn.pdf. Acesso em : 26 de junho de 2011.

COX, P.M.; BETTS, R. A.; JONES, C. D.; SPALL, S. A.; TOTTERDELL, I. (2004) *Nature* 408,184–187, *Theoretical and Applied Climatology*, 78, 137-156.

DIBIKE, Y.B.; COULIBALY, P. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of Hydrology*, v.307, p.145-163, 2005.

DRH (2009) Diagnóstico dos Recursos Hídricos. Plano Estadual de Recursos Hídricos. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. Departamento de Recursos Hídricos. Rio Grande do Sul.

DRH (2008) A Avaliação das Disponibilidades e Demandas de Água na Bacia do Rio Ibicuí. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. Departamento de Recursos Hídricos. Rio Grande do Sul.

DRH/CPRM (2006) Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: www.sema.rs.gov.br. Acesso em: 25 de agosto de 2010.

EMATER/RS-Ascar, (2008). Solos do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do rio Grande do Sul. 222 p.

FAI FUNG, C.; FARQUHARSON, F; CHOWDHURY, J.; (2006). Exploring the impacts of climate change on water resources – regional impacts at a regional scale: Bangladesh. In: *Climate Variability and Change – Hydrological Impacts*. IAHS Published. 308, pp. 389 – 393.

FEPAM (2008). Banco de Dados: Arquivos Digitais para Uso em SIG. Unidade de Paisagem Natural. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/geo/bases_geo.asp. Acesso em: 20 set. 2010.

FOWLER, H. J.; BLENKINSOP, S.; TEBALDI, C. (2007) Linking Climate Change Modelling to Impacts Studies: Recent Advances in Downscaling Techniques for Hydrological Modelling. *International Journal of Climatology*, 27, 1547-1578.

FU, G.; CHARLES, S.P.; CHIEW, F.H.S. (2007). A two-parameter climate elasticity of streamflow index to assess climate change effects on annual streamflow. In: *Water Resources Research*, 43.

GALVÃO, C.O.; NOBRE, P.; BRAGA, A.C.F.M.; OLIVEIRA, K.F.; SILVA, R.M.; SILVA, S.R.; GOMES FILHO, M.F.; SANTOS, C.A.G.; LACERDA F.; MONCUNILI, D. (2005) Climatic Predictability, Hydrology and water Resources Over Nordeste

Brazil. In: WAGENER, T.; FRANKS, S.; GUPTA, H. V.; BOGH, E., BASTIDAS, L., NOBRE, C., GALVÃO, C. O. (eds). Regional Hydrological Impacts of Climatic Change – Impact Assessment and Decision making. IAHS publ. n. 295, p. 211-220.

GASTALDINI, M. C.C.; SEFFRIN, G.F.F.; PAZ, M.F. (2002) Modelagem da Qualidade da Água do Rio Ibicuí. IV Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABRH, 2002.

GIORGI, F. (1990) Simulation of regional climate using a limited area model in a circulation model. *J. Clim.*, vol. 3, pág. 941-963.

GIORGI, F.; HEWITSON, B.C. (2001) Regional Climate Information – evaluation and Projections. In: Houghton, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge.

GIORGI, F.; MEARNES, L.O. (1991) Approaches to the Simulation of Regional Climate Change: a Review. *Reviews of Geophysics*, 29, 191-216.

GIORGI, F.; MEARNES, L.O. (2002) Calculation of Average, Uncertainty Range, and Reliability of Regional Climate Change from AOGCM Simulations Via the Reliability Ensemble Averaging (REA) Method. *Journal of Climate* 15, 1141–1158.

HARVEY, D.; GREGORY, J.M.; HOFFERT, M.; JAIN, A.; LAL, M.L; LEEMANS, R.; RAPER, S.; WIGLEY, T.M.L., Y J.DE WOLDE DE J.(1997): An Introduction to Simple Climate Models Used in the IPCC Second Assessment Report. IPCC Technical Paper II, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra, Suiza, 47 págs.

HEWITSON, B.C.; CRANE, R.G.(1996) Climate Downscaling: Techniques and Application. *Climate Resources.*, Vol. 7, p. 85-95.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA (2007). *Dados Demográficos e Taxa de Urbanização, 2007*. Rio Grande do Sul.

IPCC (2001 a) Summary for policymakers. A Report of working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC (2001 b) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. A Report of Working Group II of 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

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.

JOHNS, T.C.; GREGORY, J.M.; IGRAM, W.J.; JOHNSON, C.E.; JONES, A.; LOWE, A.; MITCHELL, J.F.B.; ROBERTS, D.L.; SEXTON, D.M.H.; STEVESON, D.S.; TETT, S.F.B.; WOODAGE, M.J. (2003) Anthropogenic Climate Change for 1860 to 2100 Simulated with the HadCM3 Model under Updated Emissions Scenarios. *Climate Dynamics*, v.20, p.583-612.

JONES, R.G.; NOGUER, M.; HASSELL, D.C.; HUDSON, D.; WILSON, S.S.; JENKINS, G.J.; MITCHELL, J.F.B. (2004) Generating High Resolution Climate Change Scenarios using Precis. Exeter: Meteorological Office Hadley Centre, 39p.

LEGETT, J. W.J. PEPPER; R.J. SWART; J. EDMONDS; L.G. MEIRA FILHO; I. MINTZER; M.X. WANG; e J. WATSON. (1992) Emissions Scenarios for the IPCC: An Update. In Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment, Cambridge University Press, UK.

LEITH, N.A.; CHANDLER, R.E. (2010) A Framework for Interpreting Climate Models Output. Journal of The Royal Statistical Society series C-Applied Statistics 59, 279-296.

LOPEZ, A.; FUNG, F.; NEW, M.; WATTS, G.; WESTON, A.; WILBY, R.L. (2009) From Climate Models Ensembles to climate Change Impacts and Adaptation: A Case Study of water resource Management in the Southwest of England. Water Resources Research, 45, W08419, doi: 10.1029/2008WR007499.

MAGRIN, G. et al. Latin America. In: PARRY, M. L. et al. (Ed.) (2007) Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: 581-615. Cambridge University Press.

MARENGO, J. A. et al. (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 – 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.

MEARNS, L.O.; GIORGI, F.; WHETTON, P.; PABON, D. HULME, M.; LAL, M. (2003) Guidelines for use of Climate Scenarios Developed from Regional Climate Model Experiments. Data Distribution Centre of the IPCC. Disponível em : http://www.ipcc-data.org/guidelines/dgm_no1_v1_10-2003.pdf.

MILLY, P. C. D. et al. (2005) Global Pattern of Trends in Streamflow and Water Availability in a Changing Climate. Nature, v.438, 347-50.

MITCHELL, T.D. (2003). Pattern Scaling: Technique for Describing Future Climates. In: Climate Change , 60, 217-242.

MÖLDERS, N.; RÜHAAK, W (2002) On the Impact of Explicitly Predicted Runoff on the Simulated Atmospheric Reponse to Small-scale Land-use Changes – an Integrated Modeling Approach. Atmospheric Research, 63, pp. 3-38.

MOORE, R.J.; CLARKE, R.T.(1981) A distribution function approach to rainfall-runoff modeling. Water Resources Research, 17(5), pp. 1367-1382.

MORIONDO, M.; BINDI, M. (2006) Comparations of Temperature Simulated by GCM's, RCM's and Statistical Downscaling: Potencial Aplicacion in Studies of Future Crop Development. *Climate Research*, 30, 149-160.

NOBRE, P.; A. D. MOURA.; L. SUN. (2001) Dynamical Downscaling of Seasonal Climate Prediction over Nordeste Brazil with ECHAM3 and NCEP'S Regional Spectral Model at IRI. *Bull. Amer. Meteoroly Science.*, v.82, p.2787-2796.

OVERLAND, J.E.; WANG, M. (2007) Future Climate of the North Pacific Ocean. *Eos* 88, 16.

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.

PERKINS, S.E.; PITMAN, A.J.; HOLBROOK, N.J.; McANENEY, J. (2007) Evaluation of the Ar4 Climate Models Simulated Daily Maximum Temperature, Minimum Temperature and Precipitation over Australia Using Probability density Functions. *Journal of Climate* 20, 4356-4376.

RÄISEN, J. (2007) How Reliable are Climate Models? In: *Tellus series A-Dynamic Meteorology and Oceanography*, 59, 2-29.

SHI, G.; RIBLE, J.; CAI, W.; COWAN, T. (2008) An Interpretation of Australian Rainfall Projections. *Geophysical Research Letters* 35, L02702.

SUPPIAH, R.; HENNESSY, K.J.; WHETTON, P.H.; McINNES, K.; MACADAM, I.; BATHOLS, J.; RICKETTS, J.; PAGE, C.M. (2007) Australian Climate Change Projections Derived from Simulations Performed for the IPCC 4th Assessment Report. *Australian Meteorological Magazine* 56, 131-152.

SPECIAL REPORT ON EMISSIONS SCENARIOS (SRES) Open Process. Intergovernmental Panel on Climate Change - Working Group III: Mitigation of Climate Change <http://sres.ciesin.org/>

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHENEIDER, P. (2002) *Solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, EMATER/RS, UFRGS, 2002.

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, L.; MONCUNNIL, D. F.; LI, H.; MOURA, A. D.; FILHO, F. D. D. S. (2005) Climate downscaling over Nordeste Brazil Using NCEP RSM97. In: *Journal of Climate*, v.18, p.551-567.

TODINI, E. (1996) The ARNO Rainfall – Runoff Model. *Journal of Hydrology*, Vol. 175 pp. 293-338.

TUCCI, C.E.M. (2009) A Elasticidade da Vazão. Disponível em: <<http://blog.rhama.net/2009/02/01/a-elasticidade-da-vazao>>. Acesso em: 25 abril 2009.

TUCCI, C.E.M. (2005) Modelos hidrológicos. Editora da UFRGS (ABRH). Porto Alegre. 2.ed.669p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T.; COLLISCHONN, W.; DIAS, P. L. S.; SAMPAIO, G. O. (2003) Long Term Flow Forecast Based on Climate and Hydrological Modeling: Uruguay River Basin. *Water Resources Research*, v.39, n.7, p.3(1-11).

Van OLDENBORGH, G.J.; PHILIP, Y. S.; COLLINS, M. (2005) El Nino in a Changing Climate: A Multi-model Study. *Ocean Science* 1, 81-95.

VIDAL, J.P.; WADE, S. (2008) A Framework for Developing high-resolution multi-model climate projections: 21 st century scenarios for the UK. *International Journal of Climatology*, 28, 843-858.

WATTERSON, P.(2008) Calculation of Probability Density Functions for Temperature and Precipitation Change Under Global Warming. *Journal of Geophysical Research* 113, D12106.

WATTS, G. (2010) Climate Change and Water Availability. 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.

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

WILBY, R.L.; CHARLES, S.; MEARNS, L.O.; WHETOTON, P.; ZORITO, E.; TIMBAL, B. (2004) Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods. IPCC Task Group on scenarios for Climate Impacts Assessment (TGCI). Disponível em: http://www.ipcc-data.org/guidelines/dgm_no2_v1_09_2004.pdf.

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., WIGLEY, T.M.L ; CONWAY, D.; JONES, P.D.; HEWITSON, B.C. ; MAIN, J.; WILKS, D.S. (1998) Statistical Downscaling of General Circulation Model Output: A Comparison of Methods. *Water Resources Research*, Vol. 34, pág. 2995-3008.

WILBY, R.L.; WIGLEY, T.M.L (2000) Precipitation Predictors for Downscaling: Observed and General Circulation Model Relationships. *International Journal of Climatology*, 20, 641-661.

WILBY, R.L.; WHITEHEAD, P.G.; WADE, A.J.; BUTTERFIELD, D.; DAVIS, R.; WATTS, G. (2006) Integrated Modeling of Climate Change Impacts on the Water

Resources and Quality in a lowland Catchment: River Kennet, UK. *Journal of Hydrology*, 330, 204-220.

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). 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.; WIDÉN, E.; HALLDIN, S. (2005) Modelling Hydrological Consequences of Climate Change – Progress and Challenges. *Advances in Atmospheric Sciences*, 22(6), pp. 789-797. 2005.

YU, Z.; POLLARD, D.; CHENG, L (2006). On Continental-Scale Hydrologic Simulations with a Coupled Hydrologic Model. *Journal of Hydrology*, 331. pp. 110-124.

ZHANG, X. B.; ZWIERS, F. W.; HEGEL, G. C. (2007). Detection of Human Influence on Twentieth-century Precipitation Trends. *Nature*, 448, 461-465.

ZORITA, E.; von STORCH, H. (1999) The Analog Method as a Simple Statistical Downscaling Technique: Comparison with more Complicated Methods. In: *Journal of Climate*, 8, 1023-1042.

ANEXO A- SUB-BACIAS, USOS DO SOLO E PARAMETROS

Bacia 1

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
agri_prof	283.0	0.16	0.229	42.70	0.60	0.00	0.00
camp_prof	230.0	0.16	0.229	42.70	0.60	0.00	0.00
flor_prof	404.0	0.16	0.229	42.70	0.60	0.00	0.00
agri_raso	113.0	0.16	0.229	42.70	0.60	0.00	0.00
camp_raso	92.0	0.16	0.229	42.70	0.60	0.00	0.00
flor_raso	162.0	0.16	0.229	42.70	0.60	0.00	0.00
agri_var	170.0	0.16	0.229	42.70	0.60	0.00	0.00
camp_var	140.0	0.16	0.229	42.70	0.60	0.00	0.00
flor_var	250.0	0.16	0.229	42.70	0.60	0.00	0.00
agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	17.00						
CI	46.00						
CB	680.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 2

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
agri_prof	88.0	0.12	0.10	26.80	0.60	0.00	0.00
camp_prof	132.0	0.12	0.10	26.80	0.60	0.00	0.00
flor_prof	136.0	0.12	0.10	26.80	0.60	0.00	0.00
agri_raso	29.0	0.12	0.10	26.80	0.60	0.00	0.00
camp_raso	44.0	0.12	0.10	26.80	0.60	0.00	0.00
flor_raso	45.0	0.12	0.10	26.80	0.60	0.00	0.00
agri_var	51.0	0.12	0.10	26.80	0.60	0.00	0.00
camp_var	77.0	0.12	0.10	26.80	0.60	0.00	0.00
flor_var	85.0	0.12	0.10	26.80	0.60	0.00	0.00
agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	20.30						
CI	27.40						
CB	590.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 3

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
agri_prof	151.0	0.58	0.050	10.10	0.60	0.00	0.00
camp_prof	186.0	0.58	0.050	10.10	0.60	0.00	0.00
flor_prof	320.0	0.58	0.050	10.10	0.60	0.00	0.00
agri_raso	41.0	0.58	0.050	10.10	0.60	0.00	0.00
camp_raso	50.0	0.58	0.050	10.10	0.60	0.00	0.00
flor_raso	86.0	0.58	0.050	10.10	0.60	0.00	0.00

agri_var	101.0	0.58	0.050	10.10	0.60	0.00	0.00
camp_var	124.0	0.58	0.050	10.10	0.60	0.00	0.00
flor_var	215.0	0.58	0.050	10.10	0.60	0.00	0.00
agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	11.65						
CI	40.50						
CB	600.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 4

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
agri_prof	190.0	0.01	0.035	1.50	0.60	0.00	0.00
camp_prof	190.0	0.01	0.035	1.50	0.60	0.00	0.00
flor_prof	236.0	0.01	0.035	1.50	0.60	0.00	0.00
agri_raso	47.0	0.01	0.035	1.50	0.60	0.00	0.00
camp_raso	55.0	0.01	0.035	1.50	0.60	0.00	0.00
flor_raso	76.0	0.01	0.035	1.50	0.60	0.00	0.00
agri_var	152.0	0.01	0.035	1.50	0.60	0.00	0.00
camp_var	176.0	0.01	0.035	1.50	0.60	0.00	0.00
flor_var	236.0	0.01	0.035	1.50	0.60	0.00	0.00
agua	0.0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	14.00						
CI	40.00						
CB	200.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 5

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
agri_prof	330.0	0.21	0.193	26.00	0.60	0.00	0.00
camp_prof	231.0	0.21	0.193	26.00	0.60	0.00	0.00
flor_prof	330.0	0.21	0.193	26.00	0.60	0.00	0.00
agri_raso	118.0	0.21	0.193	26.00	0.60	0.00	0.00
camp_raso	95.0	0.21	0.193	26.00	0.60	0.00	0.00
flor_raso	124.0	0.21	0.193	26.00	0.60	0.00	0.00
agri_var	200.0	0.21	0.193	26.00	0.60	0.00	0.00
camp_var	170.0	0.21	0.193	26.00	0.60	0.00	0.00
flor_var	210.0	0.21	0.193	26.00	0.60	0.00	0.00
agua	0.0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	13.00						
CI	64.00						
CB	1200.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 6

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
agri_prof	190.0	0.42	0.17	9.20	0.60	0.00	0.00
camp_prof	230.0	0.42	0.17	9.20	0.60	0.00	0.00
flor_prof	310.0	0.42	0.17	9.20	0.60	0.00	0.00
agri_raso	70.0	0.42	0.17	9.20	0.60	0.00	0.00
camp_raso	90.0	0.42	0.17	9.20	0.60	0.00	0.00
flor_raso	140.0	0.42	0.17	9.20	0.60	0.00	0.00
agri_var	130.0	0.42	0.17	9.20	0.60	0.00	0.00
camp_var	160.0	0.42	0.17	9.20	0.60	0.00	0.00
flor_var	230.0	0.42	0.17	9.20	0.60	0.00	0.00
agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	16.00						
CI	54.00						
CB	810.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 7

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
agri_prof	185.0	0.35	0.356	21.00	0.60	0.00	0.00
camp_prof	163.0	0.35	0.356	21.00	0.60	0.00	0.00
flor_prof	185.0	0.35	0.356	21.00	0.60	0.00	0.00
agri_raso	55.5	0.35	0.356	21.00	0.60	0.00	0.00
camp_raso	50.0	0.35	0.356	21.00	0.60	0.00	0.00
flor_raso	68.0	0.35	0.356	21.00	0.60	0.00	0.00
agri_var	92.0	0.35	0.356	21.00	0.60	0.00	0.00
camp_var	82.0	0.35	0.356	21.00	0.60	0.00	0.00
flor_var	136.0	0.35	0.356	21.00	0.60	0.00	0.00
agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	10.60						
CI	74.00						
CB	728.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 8

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
agri_prof	413.0	0.24	2.202	9.40	0.60	0.00	0.00
camp_prof	126.0	0.24	2.202	9.40	0.60	0.00	0.00
flor_prof	386.0	0.24	2.202	9.40	0.60	0.00	0.00
agri_raso	149.0	0.24	2.202	9.40	0.60	0.00	0.00
camp_raso	51.0	0.24	2.202	9.40	0.60	0.00	0.00
flor_raso	173.0	0.24	2.202	9.40	0.60	0.00	0.00
agri_var	275.0	0.24	2.202	9.40	0.60	0.00	0.00
camp_var	86.0	0.24	2.202	9.40	0.60	0.00	0.00

flor_var	289.0	0.24	2.202	9.40	0.60	0.00	0.00
agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	18.67						
CI	62.10						
CB	3905.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 9

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
agri_prof	199.0	0.35	0.738	36.40	0.60	0.00	0.00
camp_prof	195.0	0.35	0.738	36.40	0.60	0.00	0.00
flor_prof	262.0	0.35	0.738	36.40	0.60	0.00	0.00
agri_raso	99.0	0.35	0.738	36.40	0.60	0.00	0.00
camp_raso	97.0	0.35	0.738	36.40	0.60	0.00	0.00
flor_raso	131.0	0.35	0.738	36.40	0.60	0.00	0.00
agri_var	149.0	0.35	0.738	36.40	0.60	0.00	0.00
camp_var	146.0	0.35	0.738	36.40	0.60	0.00	0.00
flor_var	197.0	0.35	0.738	36.40	0.60	0.00	0.00
agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	17.70						
CI	78.80						
CB	860.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 10

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
agri_prof	150.0	0.45	0.438	36.40	0.60	0.00	0.00
camp_prof	150.0	0.45	0.438	36.40	0.60	0.00	0.00
flor_prof	300.0	0.45	0.438	36.40	0.60	0.00	0.00
agri_raso	70.0	0.45	0.438	36.40	0.60	0.00	0.00
camp_raso	70.0	0.45	0.438	36.40	0.60	0.00	0.00
flor_raso	140.0	0.45	0.438	36.40	0.60	0.00	0.00
agri_var	120.0	0.45	0.438	36.40	0.60	0.00	0.00
camp_var	120.0	0.45	0.438	36.40	0.60	0.00	0.00
flor_var	240.0	0.45	0.438	36.40	0.60	0.00	0.00
agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	17.70						
CI	78.80						
CB	860.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 11

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
agri_prof	107.0	0.67	1.044	38.30	0.60	0.00	0.00
camp_prof	120.0	0.67	1.044	38.30	0.60	0.00	0.00
flor_prof	286.0	0.67	1.044	38.30	0.60	0.00	0.00
agri_raso	36.0	0.67	1.044	38.30	0.60	0.00	0.00
camp_raso	40.0	0.67	1.044	38.30	0.60	0.00	0.00
flor_raso	95.0	0.67	1.044	38.30	0.60	0.00	0.00
agri_var	90.0	0.67	1.044	38.30	0.60	0.00	0.00
camp_var	103.0	0.67	1.044	38.30	0.60	0.00	0.00
flor_var	236.0	0.67	1.044	38.30	0.60	0.00	0.00
agua	0.0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	29.50						
CI	33.00						
CB	392.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 12

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
agri_prof	160.0	0.56	0.327	40.70	0.60	0.00	0.00
camp_prof	230.0	0.56	0.327	40.70	0.60	0.00	0.00
flor_prof	480.0	0.56	0.327	40.70	0.60	0.00	0.00
agri_raso	60.0	0.56	0.327	40.70	0.60	0.00	0.00
camp_raso	82.0	0.56	0.327	40.70	0.60	0.00	0.00
flor_raso	164.0	0.56	0.327	40.70	0.60	0.00	0.00
agri_var	130.0	0.56	0.327	40.70	0.60	0.00	0.00
camp_var	175.0	0.56	0.327	40.70	0.60	0.00	0.00
flor_var	360.0	0.56	0.327	40.70	0.60	0.00	0.00
agua	0.0	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	23.00						
CI	46.00						
CB	650.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 13

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
agri_prof	218.0	0.80	0.066	37.30	0.60	0.00	0.00
camp_prof	242.0	0.80	0.066	37.30	0.60	0.00	0.00
flor_prof	320.0	0.80	0.066	37.30	0.60	0.00	0.00
agri_raso	60.0	0.80	0.066	37.30	0.60	0.00	0.00
camp_raso	67.0	0.80	0.066	37.30	0.60	0.00	0.00
flor_raso	102.0	0.80	0.066	37.30	0.60	0.00	0.00
agri_var	129.0	0.80	0.066	37.30	0.60	0.00	0.00

camp_var	143.0	0.80	0.066	37.30	0.60	0.00	0.00
flor_var	215.0	0.80	0.066	37.30	0.60	0.00	0.00
agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	21.00						
CI	29.00						
CB	771.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 14

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
agri_prof	250.0	0.20	0.70	35.00	0.60	0.00	0.00
camp_prof	250.0	0.20	0.70	35.00	0.60	0.00	0.00
flor_prof	500.0	0.20	0.70	35.00	0.60	0.00	0.00
agri_raso	100.0	0.20	0.70	35.00	0.60	0.00	0.00
camp_raso	100.0	0.20	0.70	35.00	0.60	0.00	0.00
flor_raso	200.0	0.20	0.70	35.00	0.60	0.00	0.00
agri_var	150.0	0.20	0.70	35.00	0.60	0.00	0.00
camp_var	150.0	0.20	0.70	35.00	0.60	0.00	0.00
flor_var	300.0	0.20	0.70	35.00	0.60	0.00	0.00
agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	20.00						
CI	70.00						
CB	700.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

Bacia 15

uso	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
agri_prof	210.0	0.50	0.36	37.00	0.60	0.00	0.00
camp_prof	240.0	0.50	0.36	37.00	0.60	0.00	0.00
flor_prof	430.0	0.50	0.36	37.00	0.60	0.00	0.00
agri_raso	75.0	0.50	0.36	37.00	0.60	0.00	0.00
camp_raso	80.0	0.50	0.36	37.00	0.60	0.00	0.00
flor_raso	150.0	0.50	0.36	37.00	0.60	0.00	0.00
agri_var	140.0	0.50	0.36	37.00	0.60	0.00	0.00
camp_var	150.0	0.50	0.36	37.00	0.60	0.00	0.00
flor_var	300.0	0.50	0.36	37.00	0.60	0.00	0.00
agua	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CS	21.00						
CI	48.00						
CB	700.00						
QB_M3/SKM2	0.0100						

ANEXO B – GRAFICOS DAS ANALISES ESTATISTICAS (Q90, Q95 e QMLP) NOS PONTOS EM ANALISE NA BACIA DO RIO IBICUI CONSIDERANDO OS TRÊS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

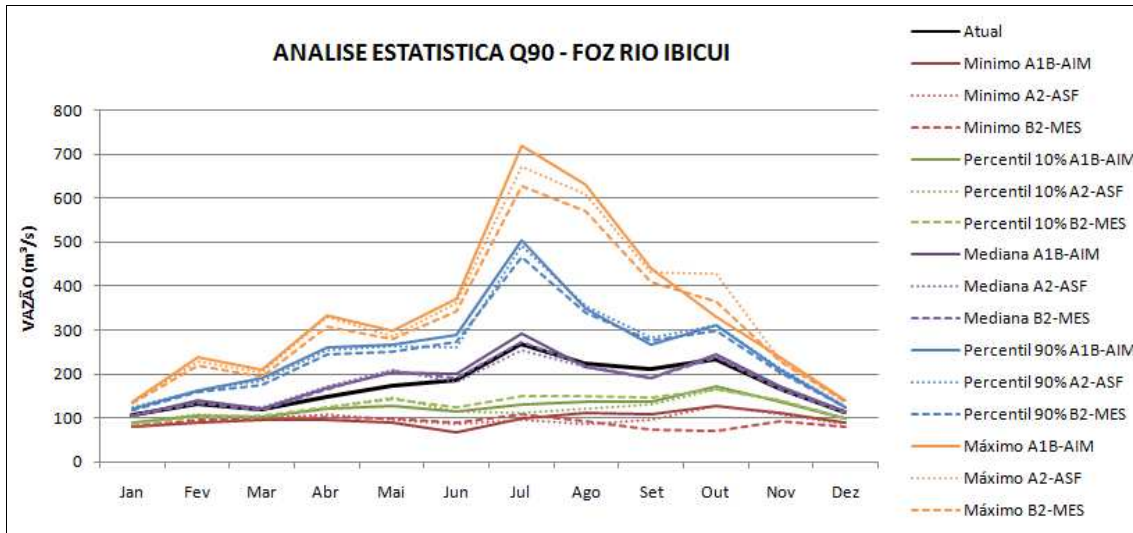


Figura B1 - Analise estatística Q90 – Foz Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

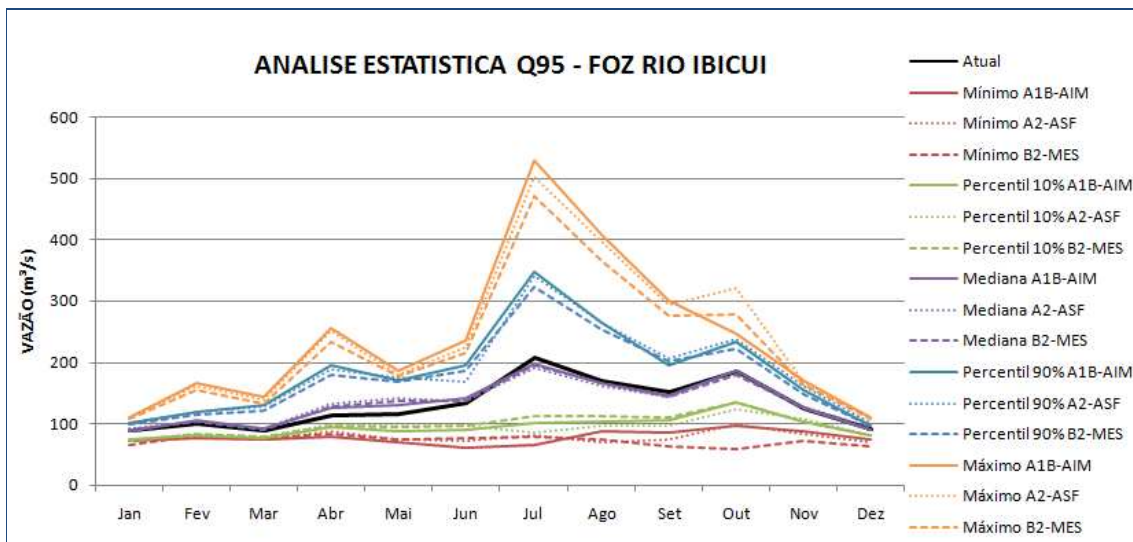


Figura B2 - Analise estatística Q95 – Foz Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

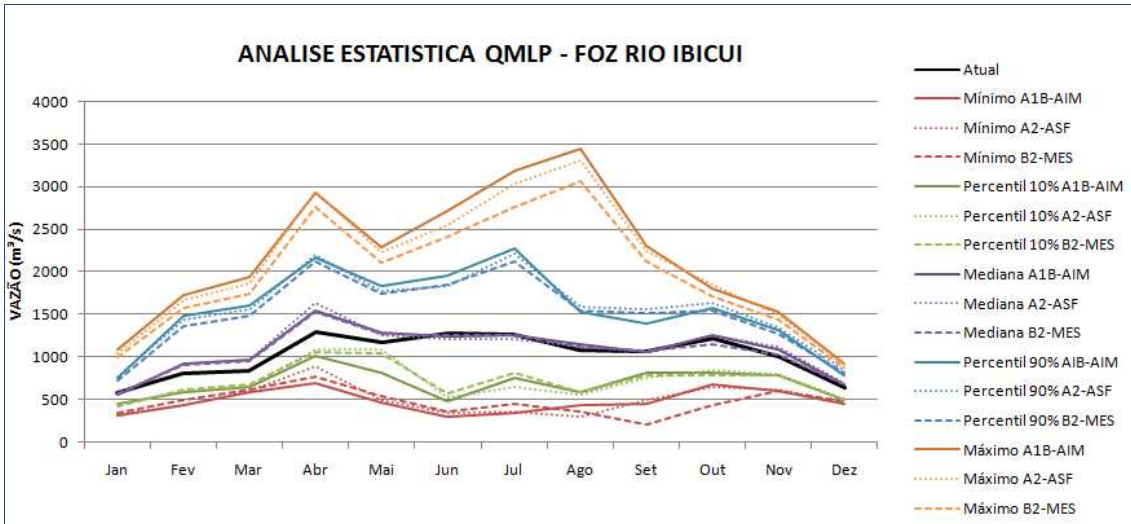


Figura B3 - Analise estatística QMLP – Foz Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

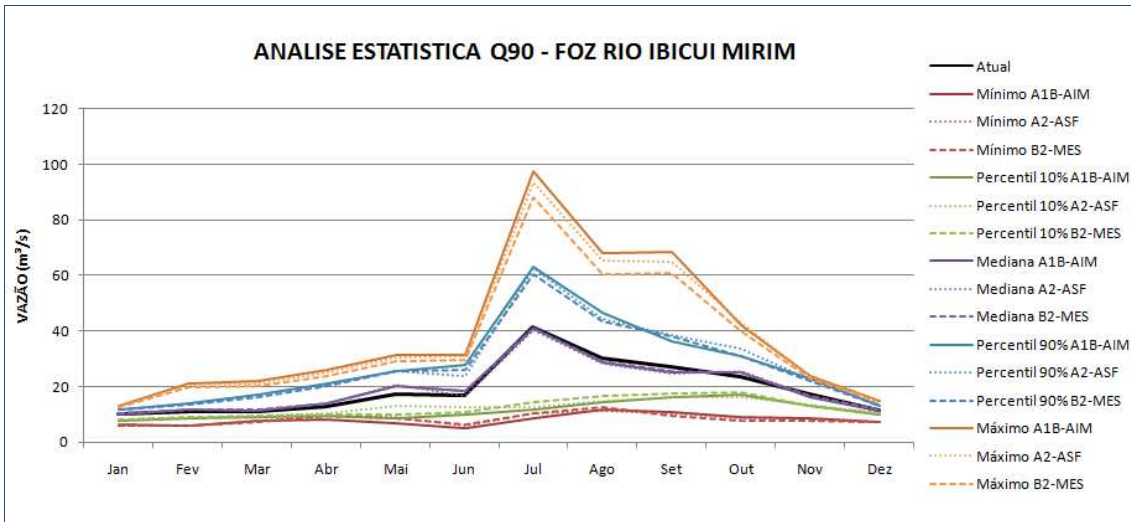


Figura B4 - Analise estatística Q90 – Foz Rio Ibicui Mirim – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

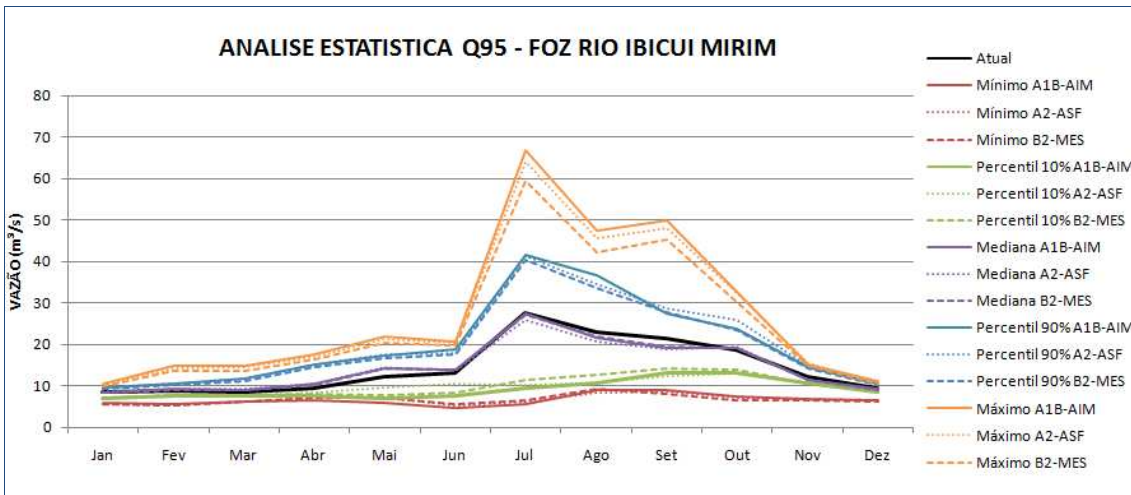


Figura B5 - Análise estatística Q95 – Foz Rio Ibicui Mirim – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

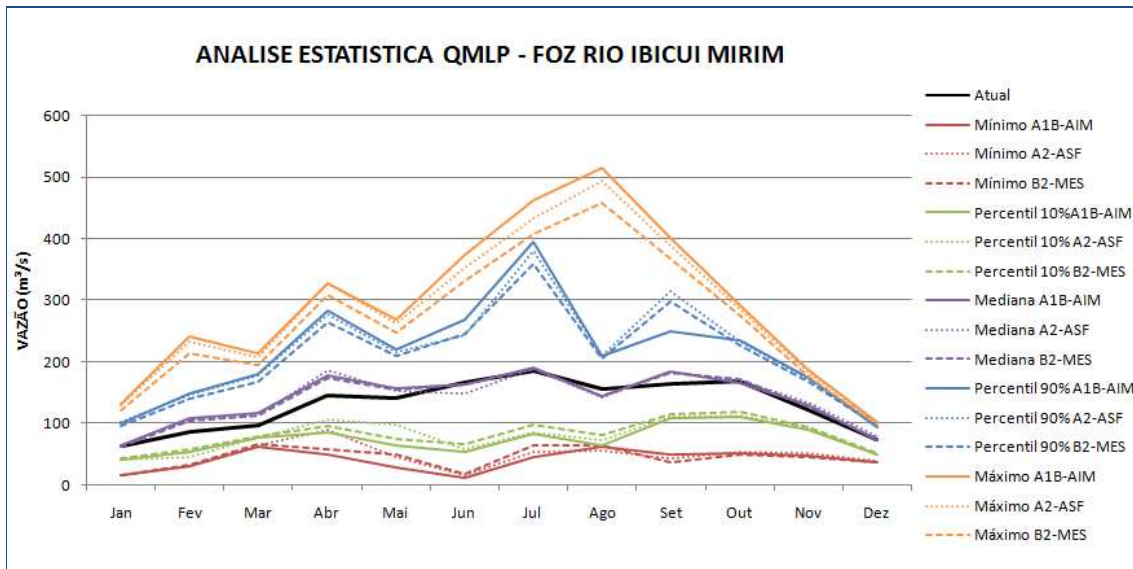


Figura B6 - Análise estatística QMLP – Foz Rio Ibicui Mirim – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

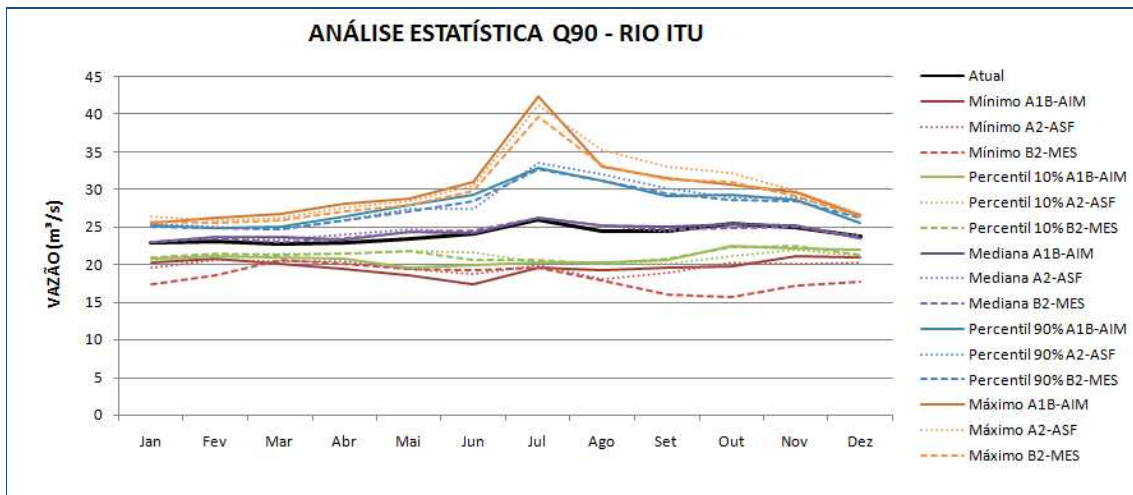


Figura B7 - Análise estatística Q90 – Foz Rio Itu – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

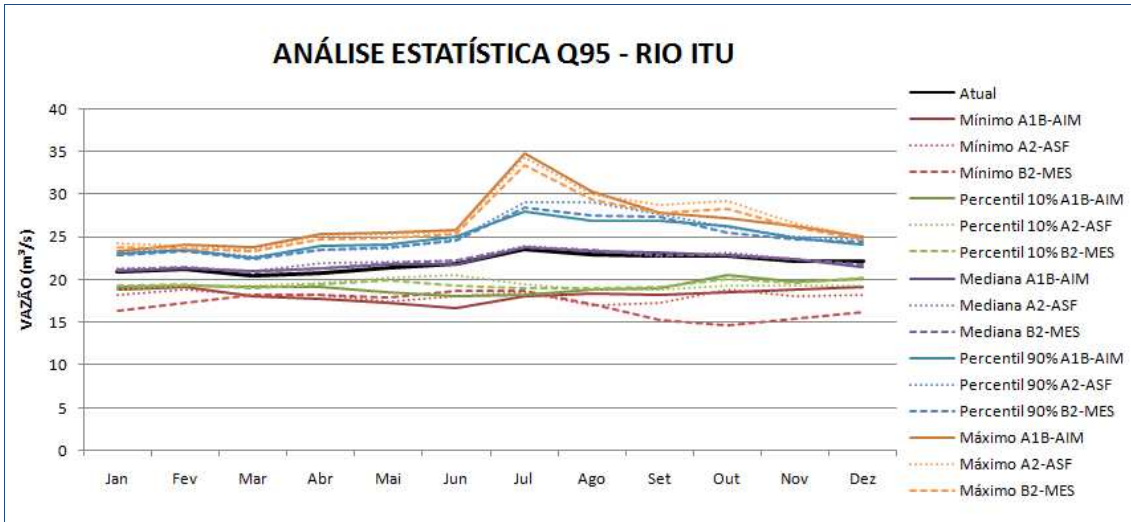


Figura B8 - Analise estatística Q95 – Foz Rio Itu – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

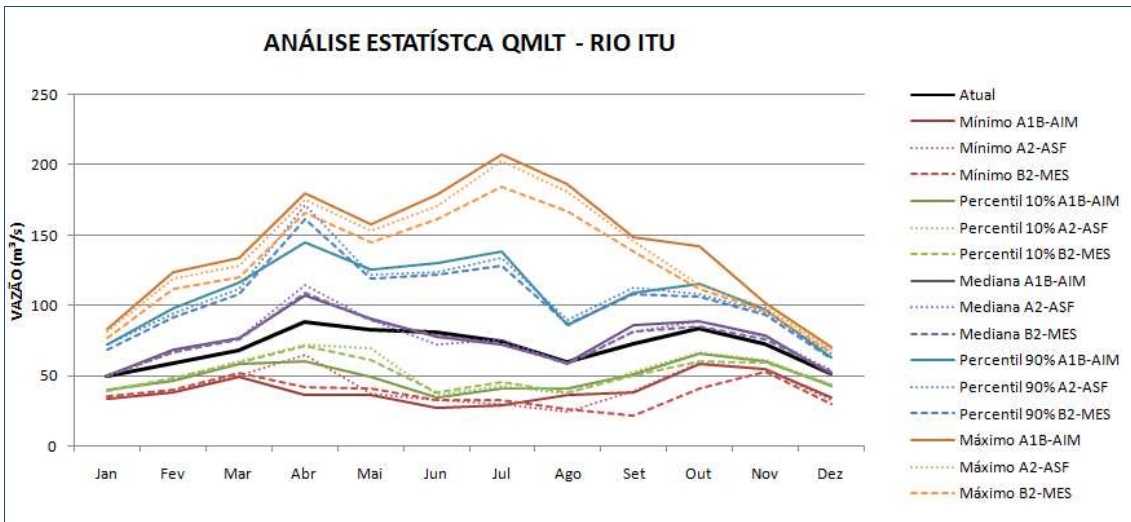


Figura B9 - Analise estatística QMLP – Foz Rio Itu – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

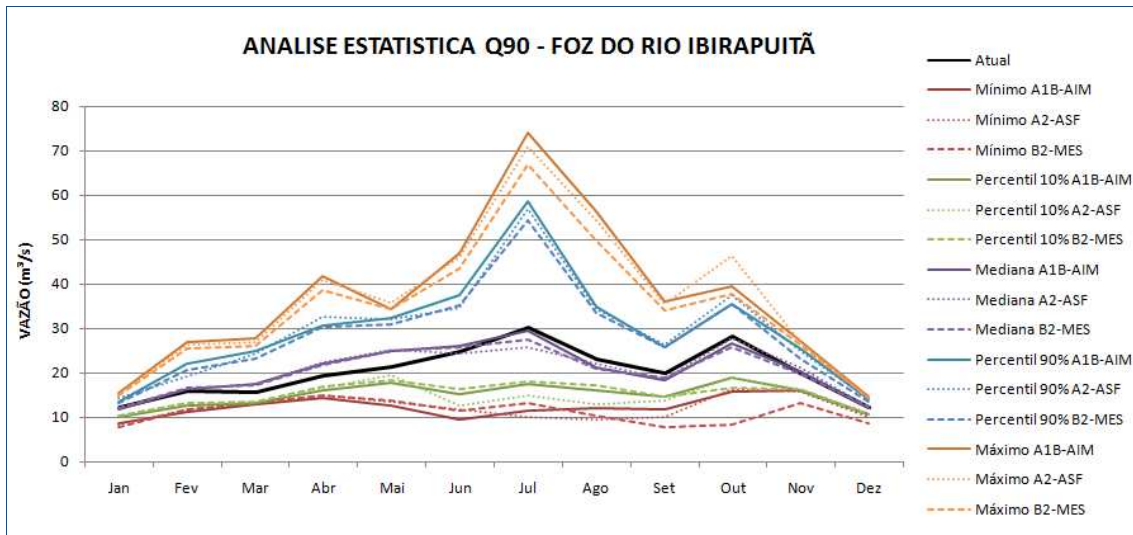


Figura B10 - Análise estatística Q90 – Foz Rio Ibirapuitã – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

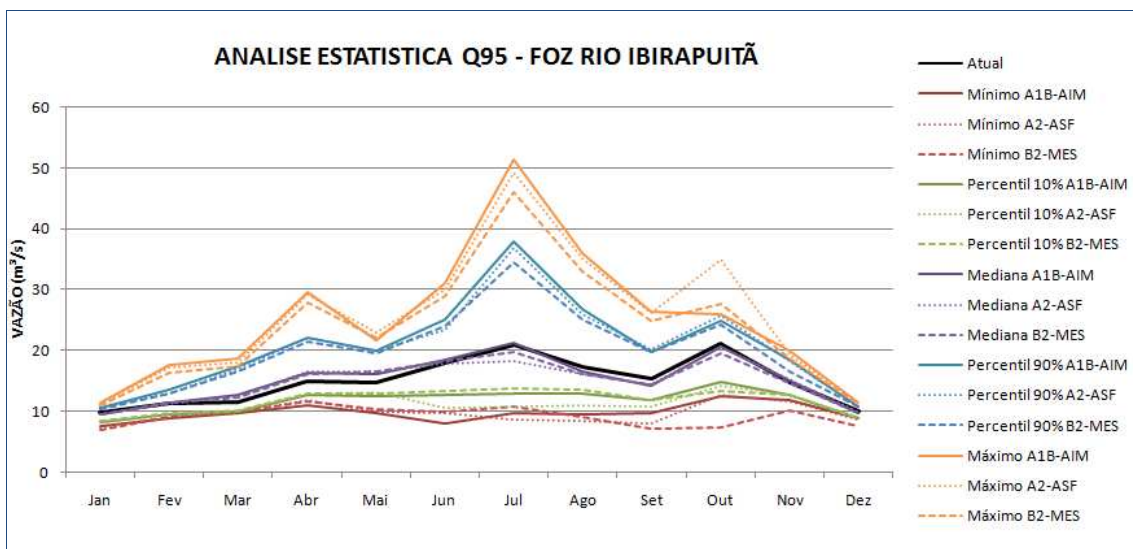


Figura B11 - Análise estatística Q95 – Foz Rio Ibirapuitã – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

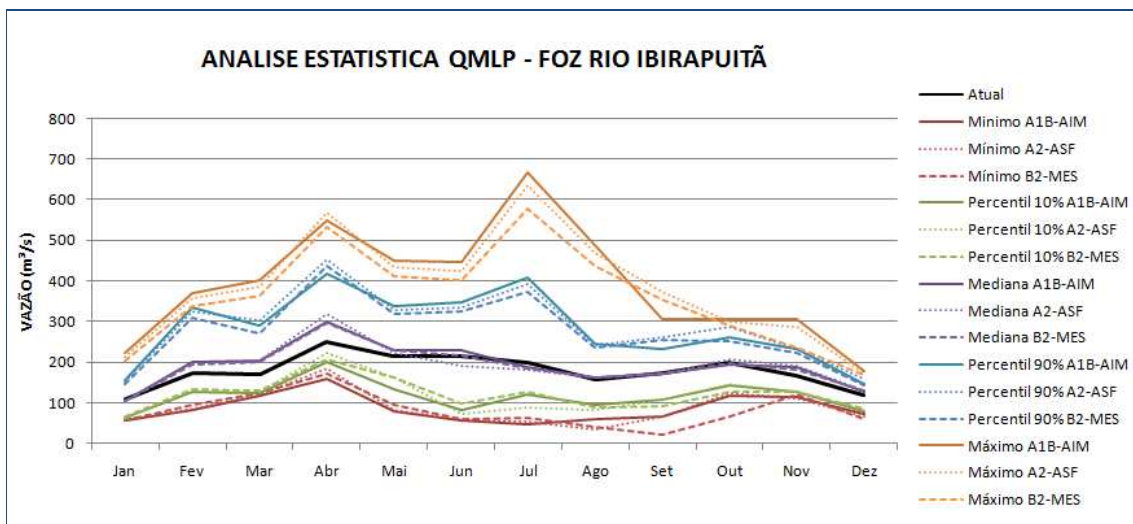


Figura B12 - Análise estatística QMLP – Foz Rio Ibirapuitã – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

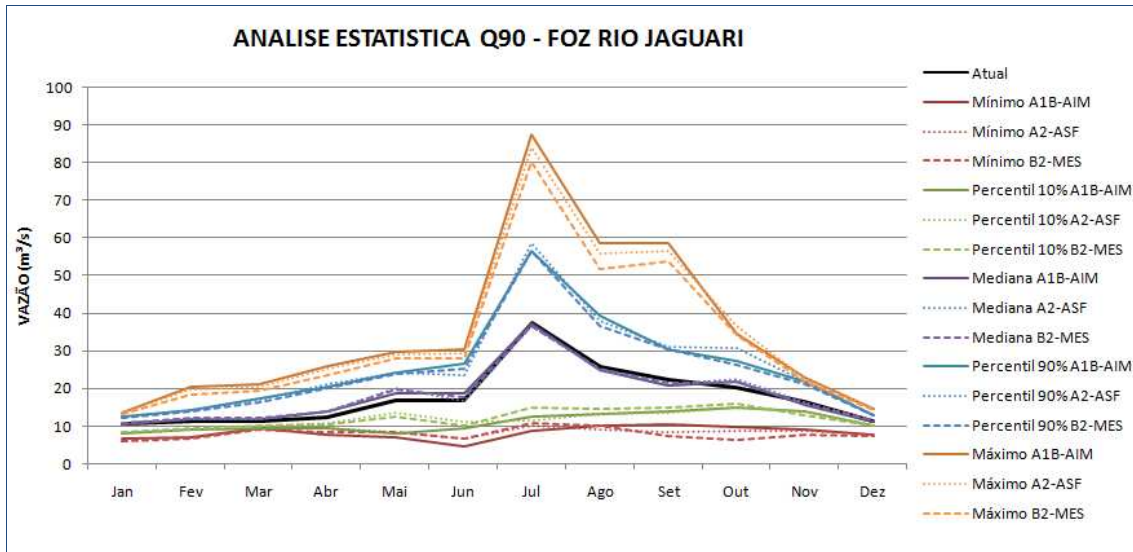


Figura B13 - Análise estatística Q90 – Foz Rio Jaguari – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

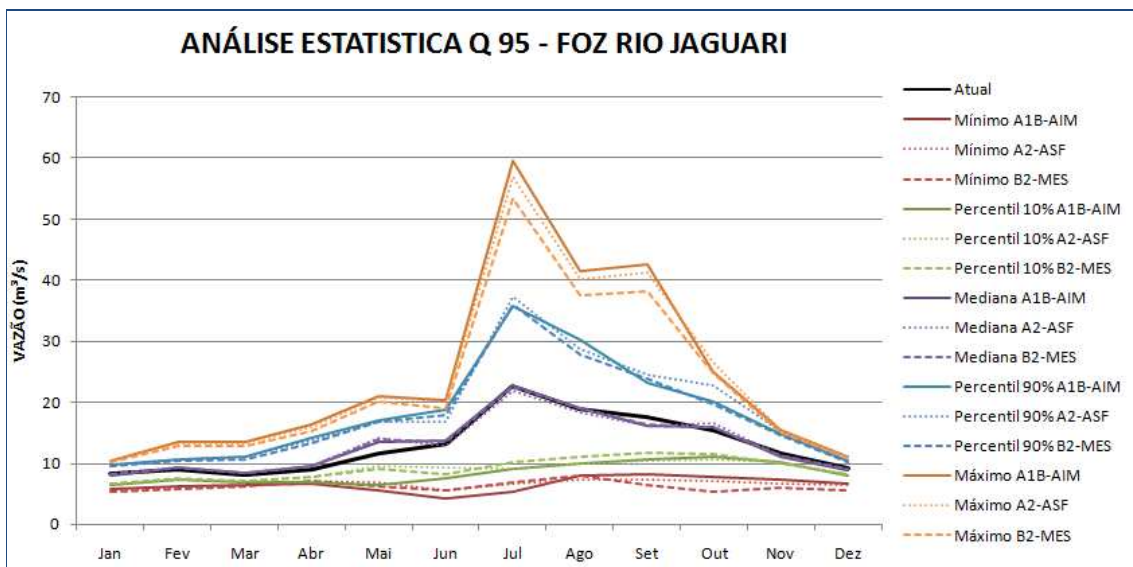


Figura B14 - Análise estatística Q95 – Foz Rio Jaguari – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

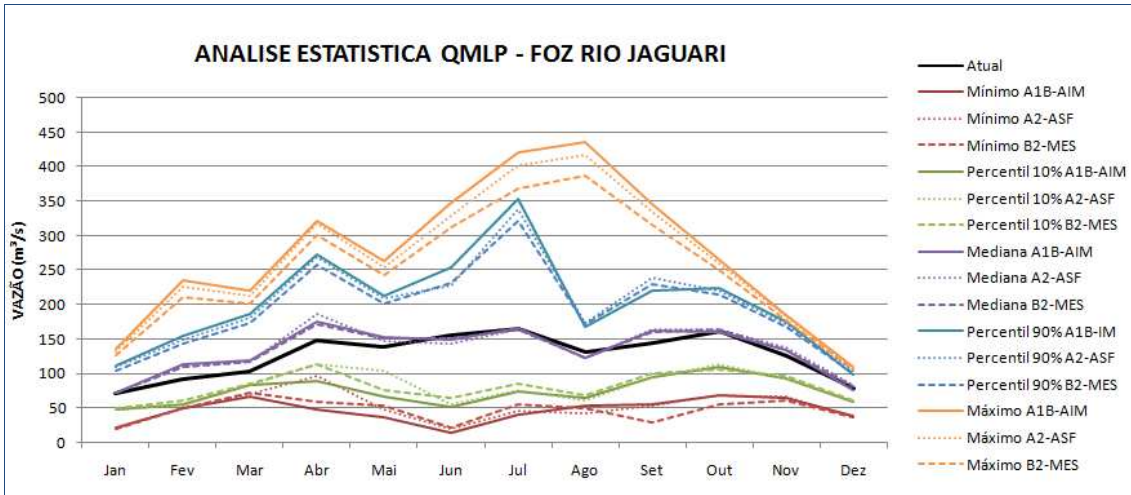


Figura B15 - Analise estatística QMLP – Foz Rio Jaguari – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

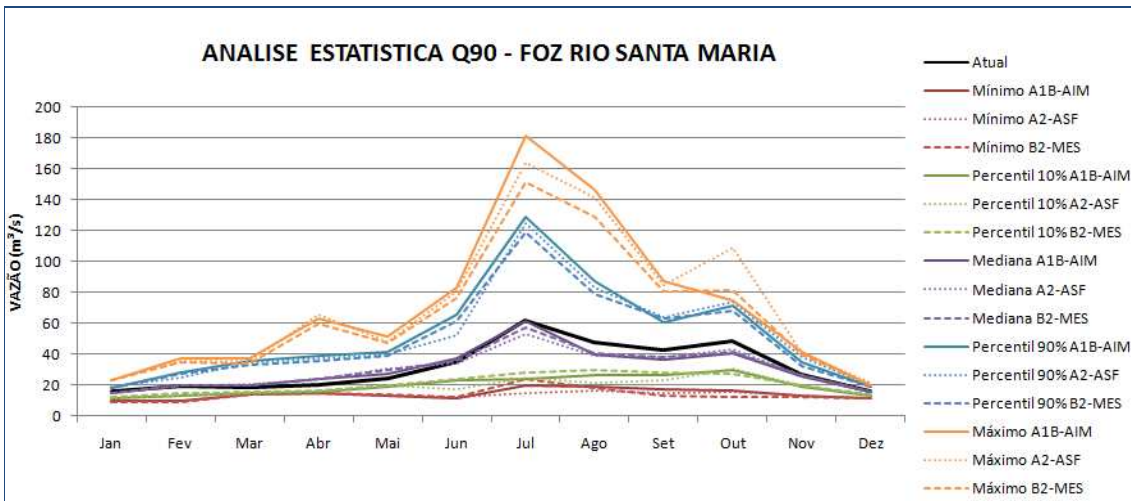


Figura B16 - Analise estatística Q90 – Foz Rio Santa Maria – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

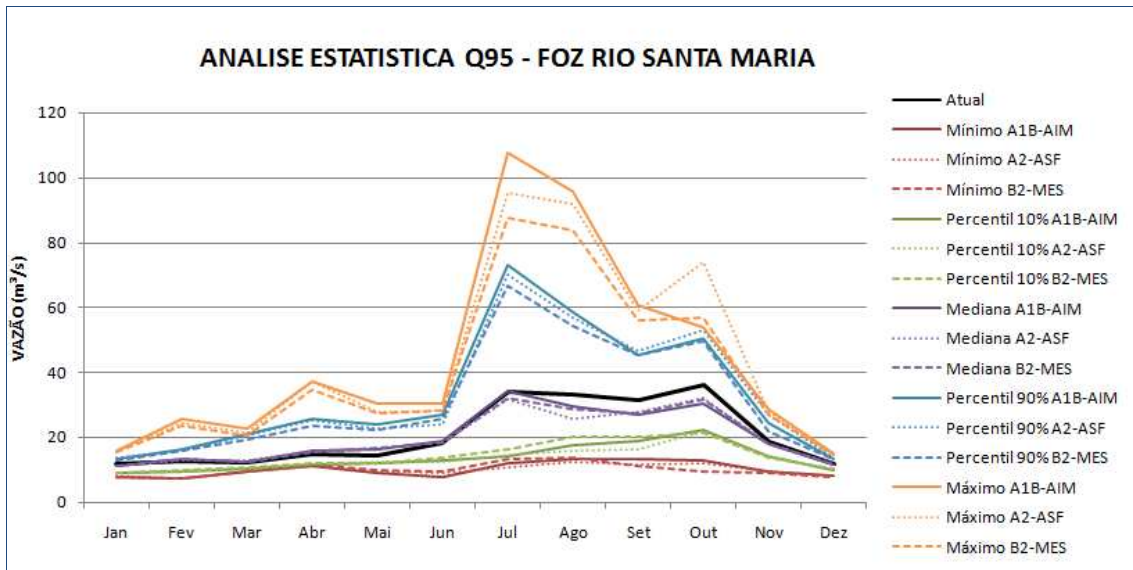


Figura B17 - Analise estatística Q95 – Foz Rio Santa Maria – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

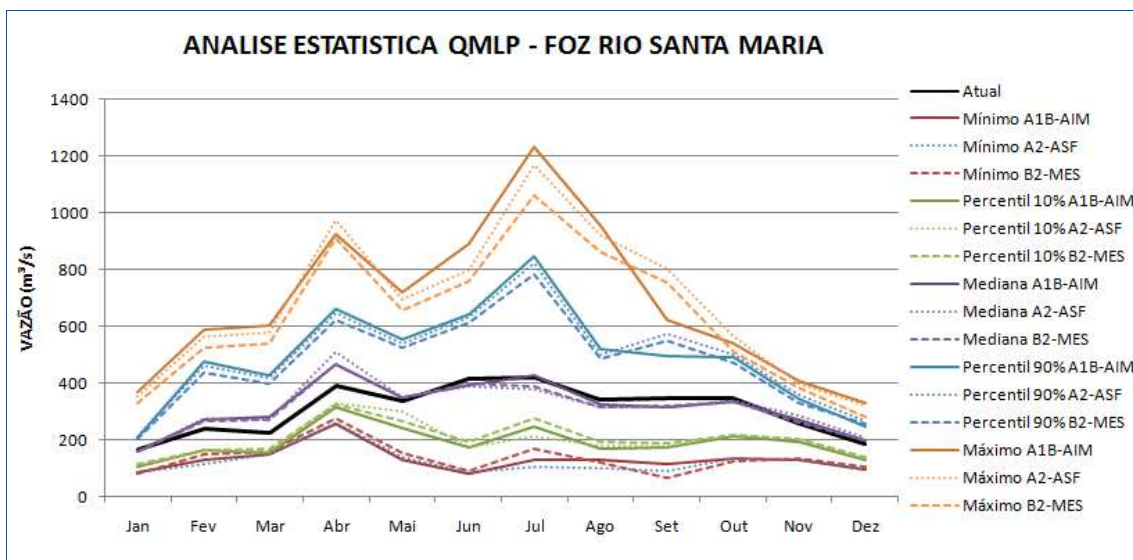


Figura B18 - Analise estatística QMLP – Foz Rio Santa Maria – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

ANEXO C - GRAFICOS DAS ANALISES ESTATISTICAS (Q90, Q95 e QMLP) NOS PONTOS EM ANALISE NA BACIA DO RIO IBICUI (CENÁRIOS A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES) CONSIDERANDO A SELEÇÃO DE MODELOS CLIMÁTICOS

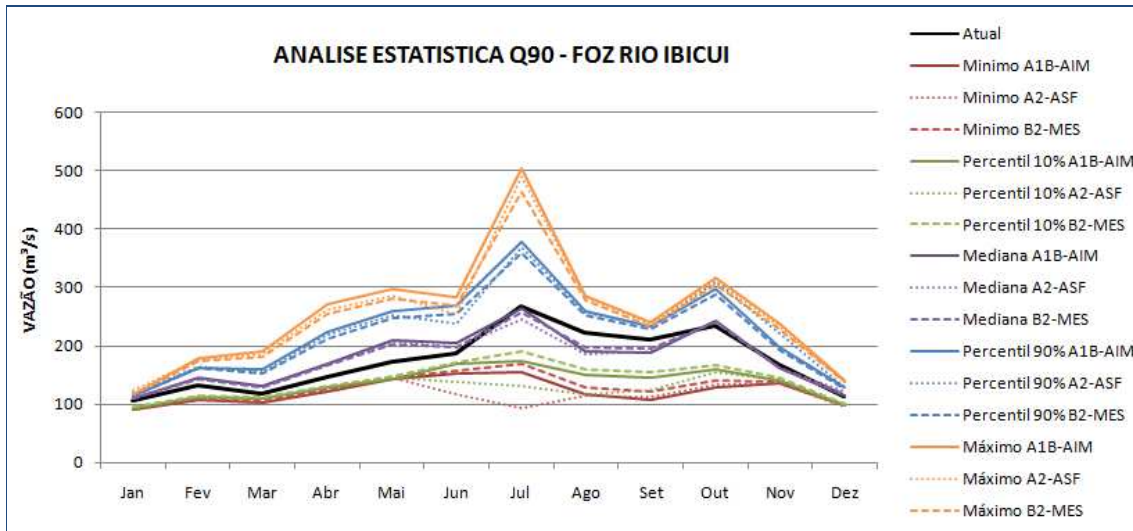


Figura C1 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

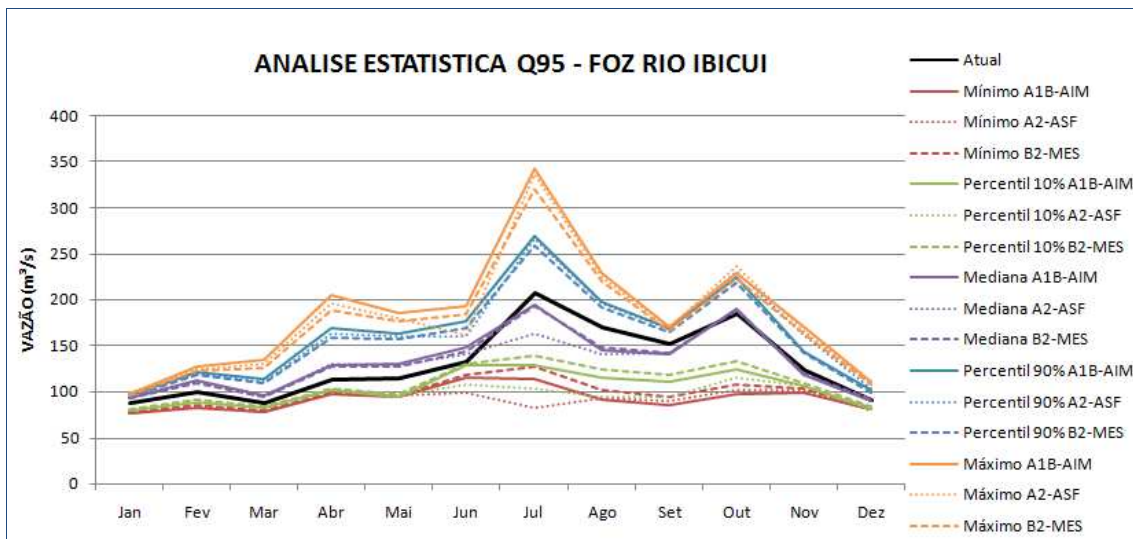


Figura C2 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

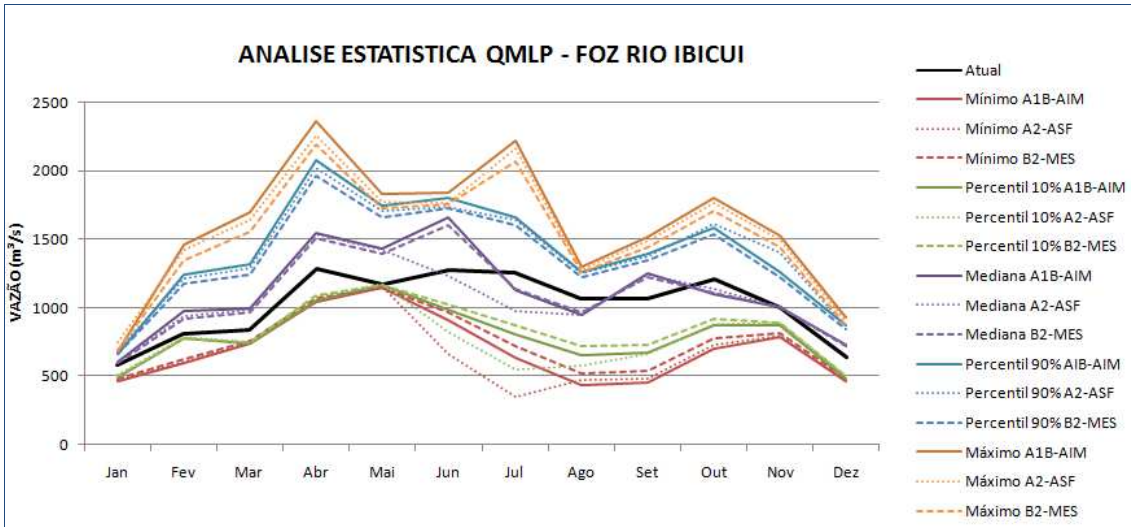


Figura C3 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

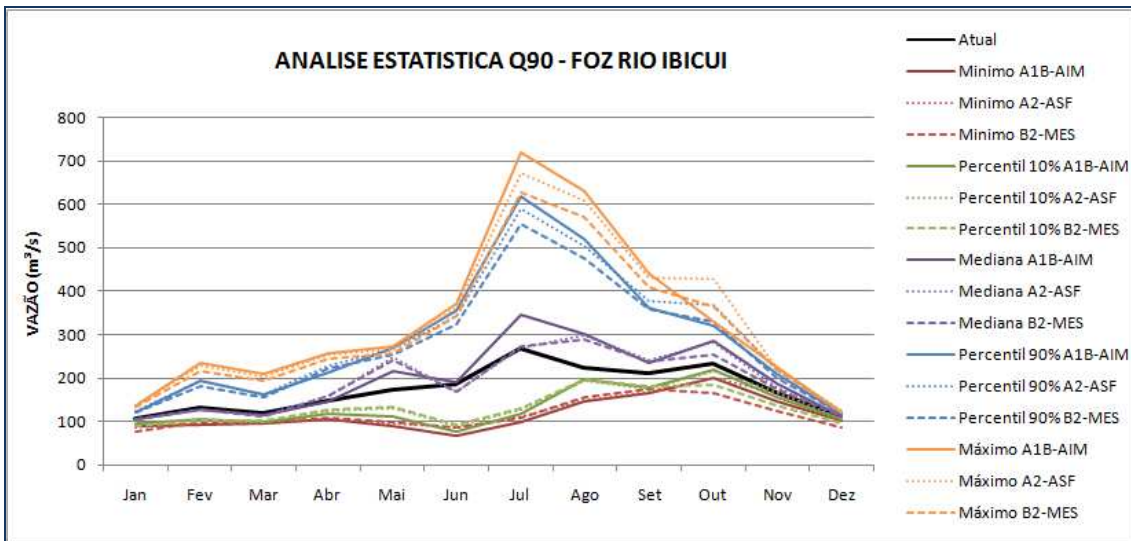


Figura C4 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

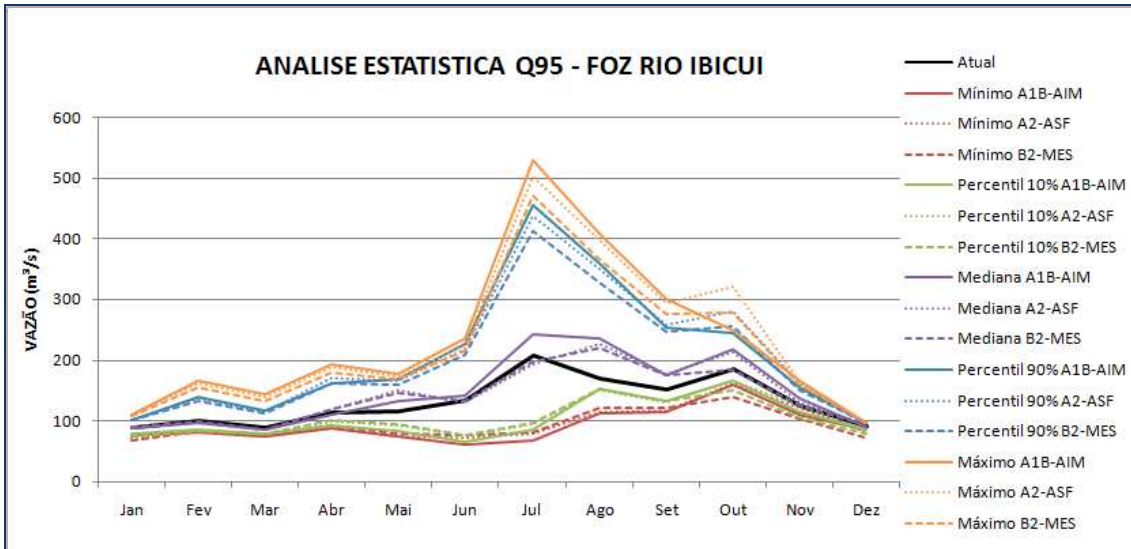


Figura C5 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

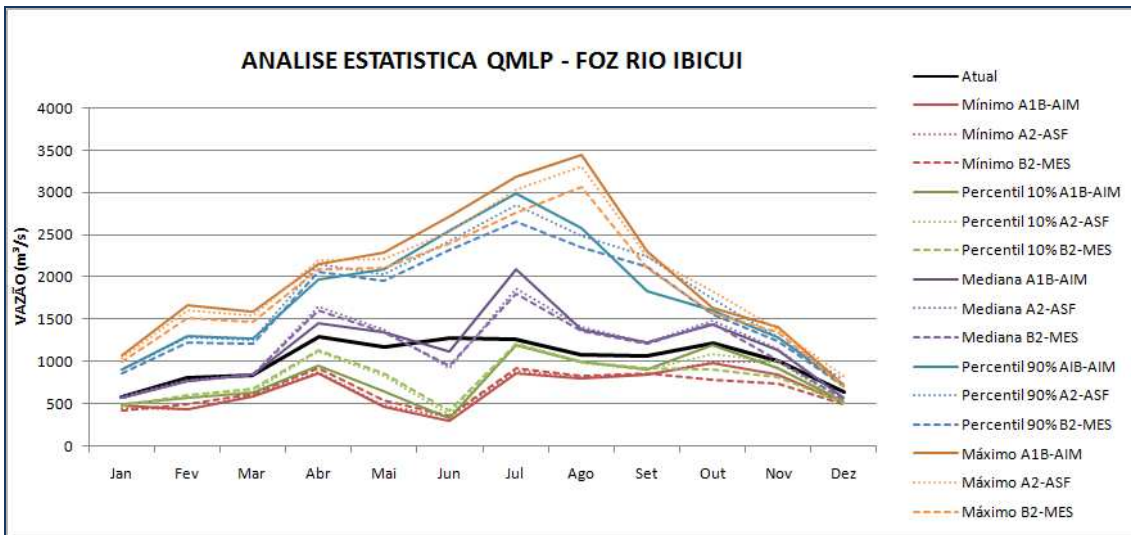


Figura C6 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

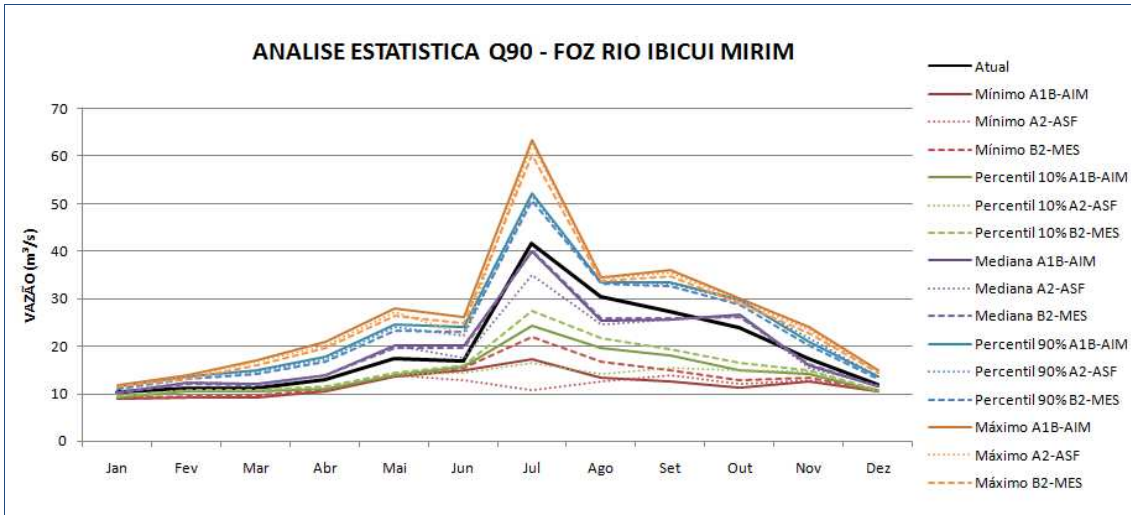


Figura C7– Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Ibicui Mirim – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

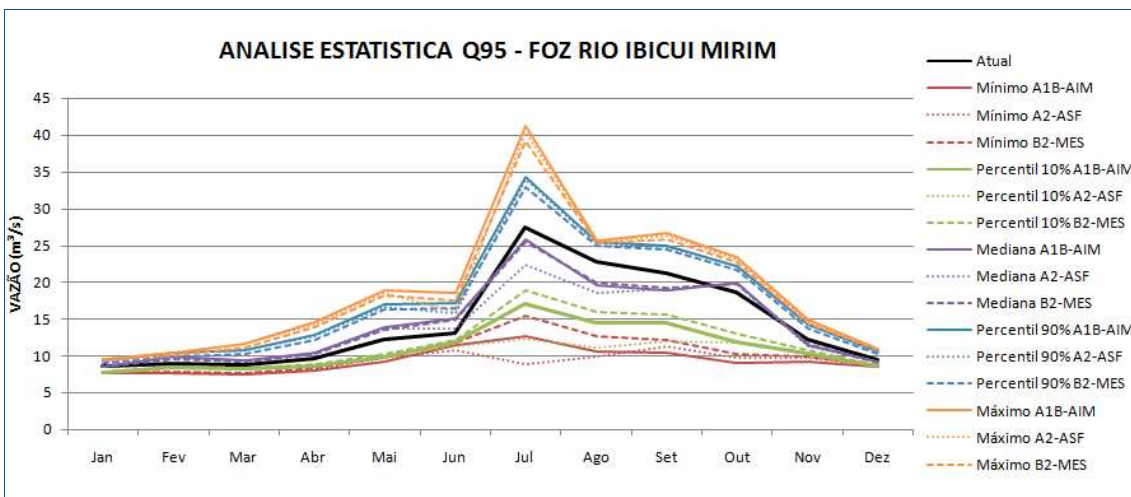


Figura C8 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

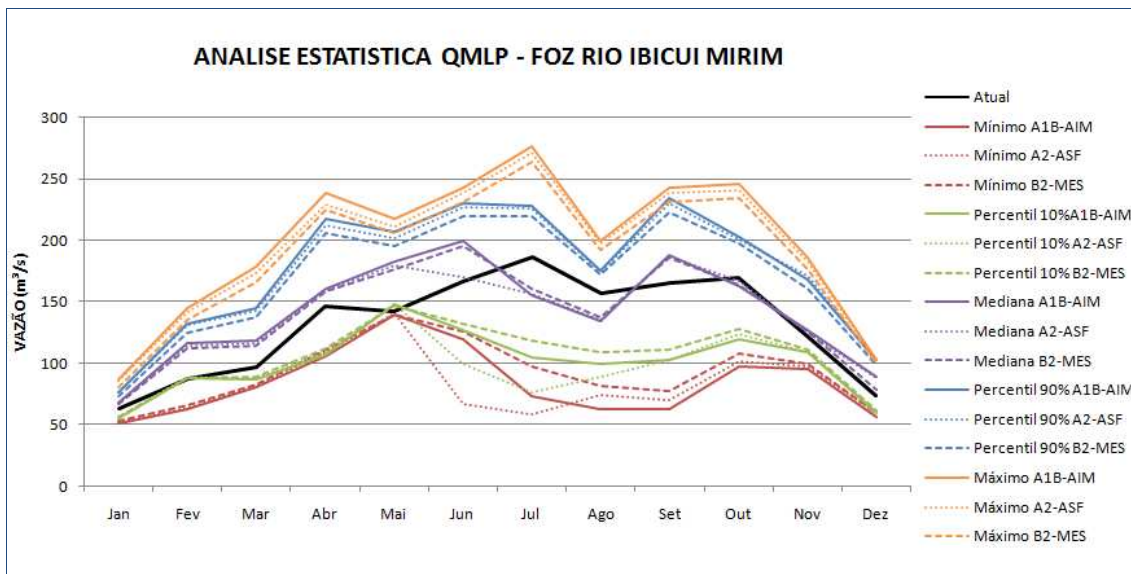


Figura C9 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Ibicui Mirim– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

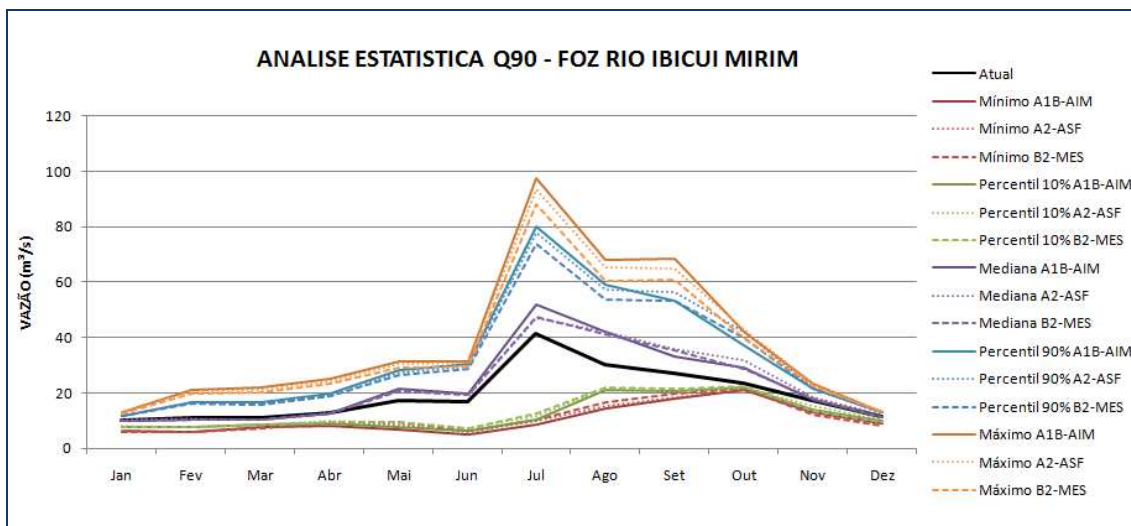


Figura C10 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Ibicui Mirim– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

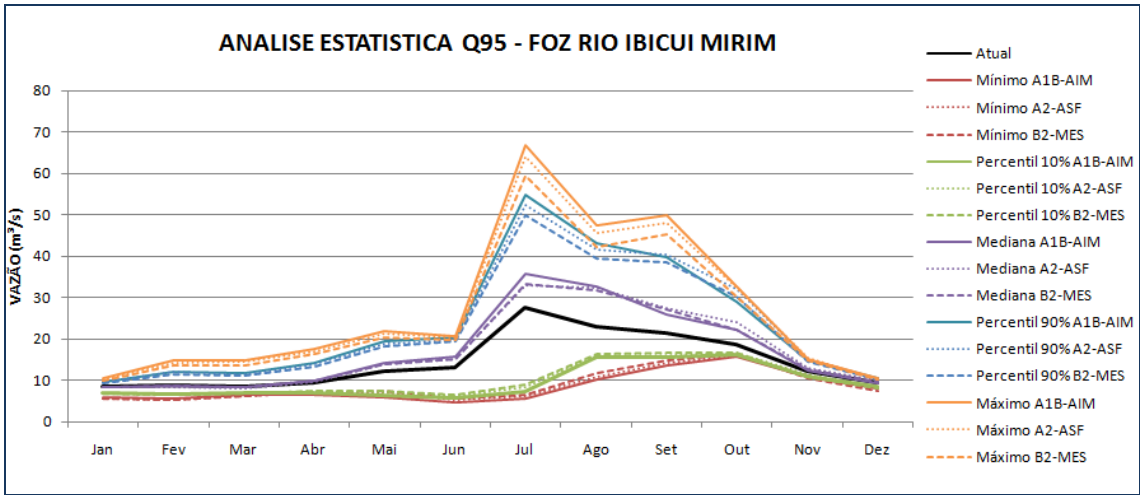


Figura C11 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Ibicui Mirim– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

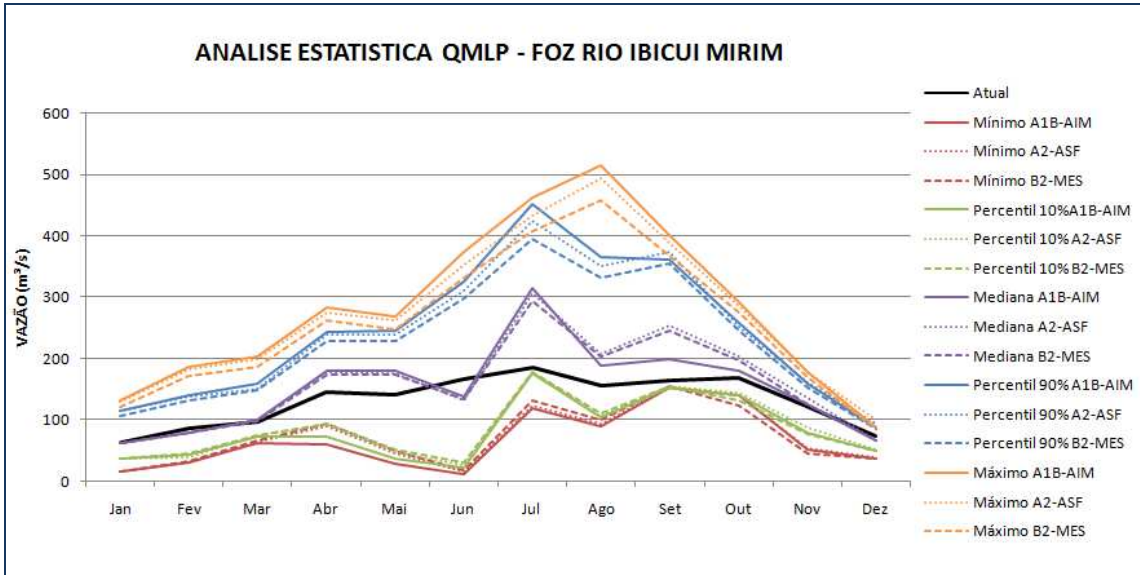


Figura C12 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Ibicui Mirim– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

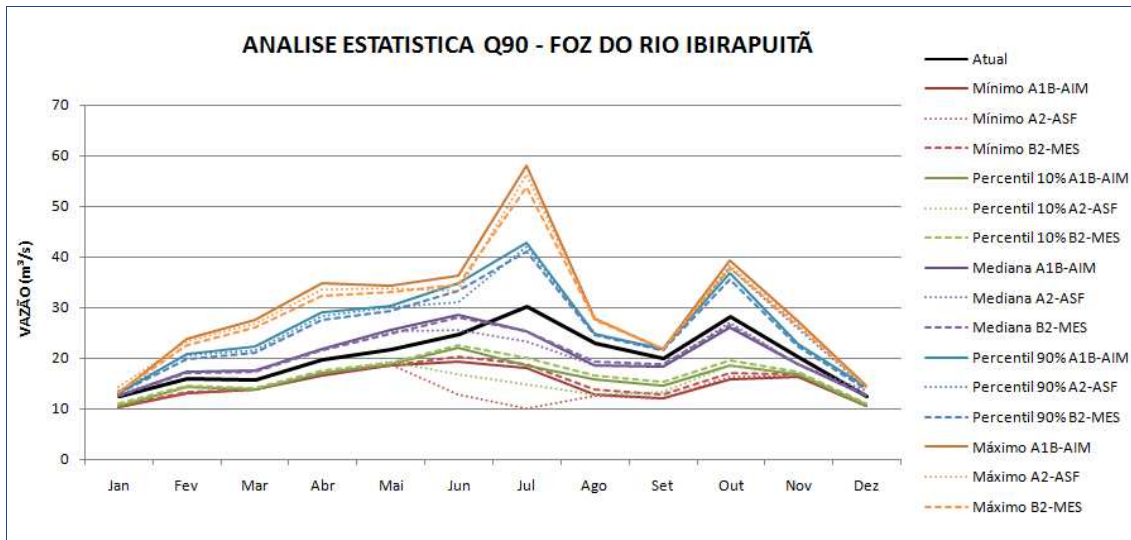


Figura C13 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Ibirapuitã– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

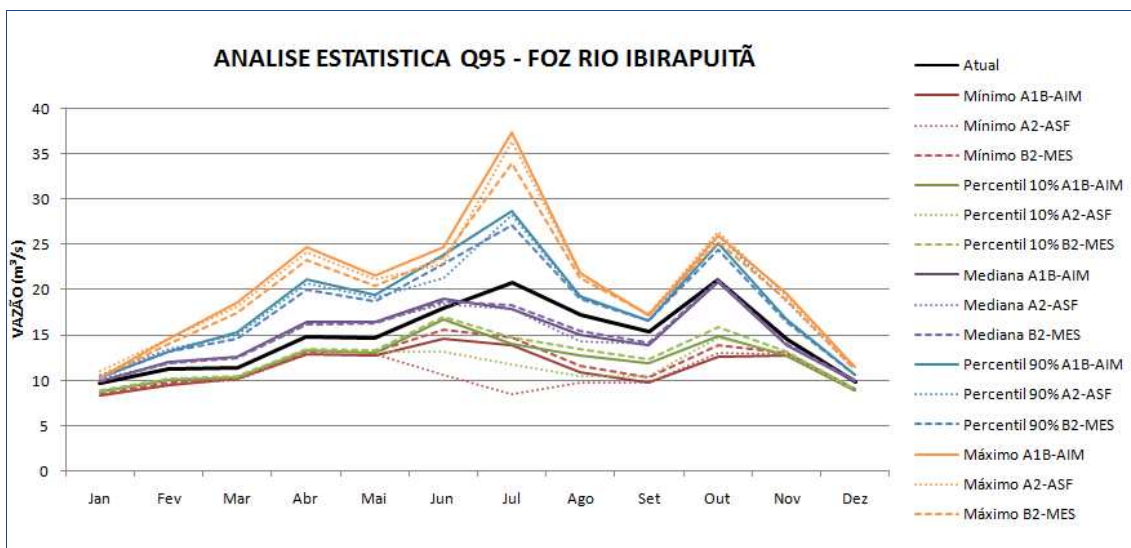


Figura C14 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Ibirapuitã– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

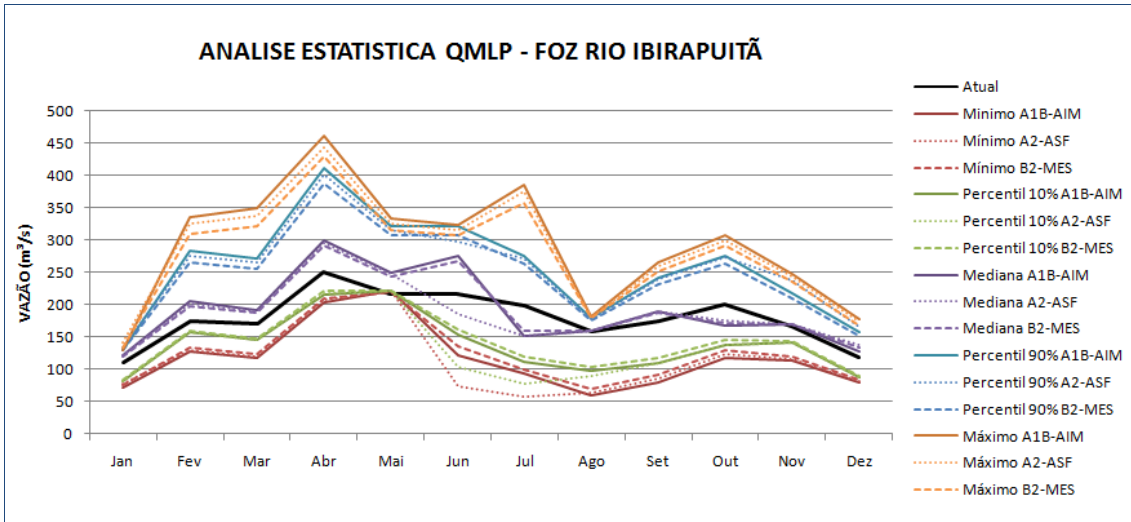


Figura C15 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Ibirapuitã– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

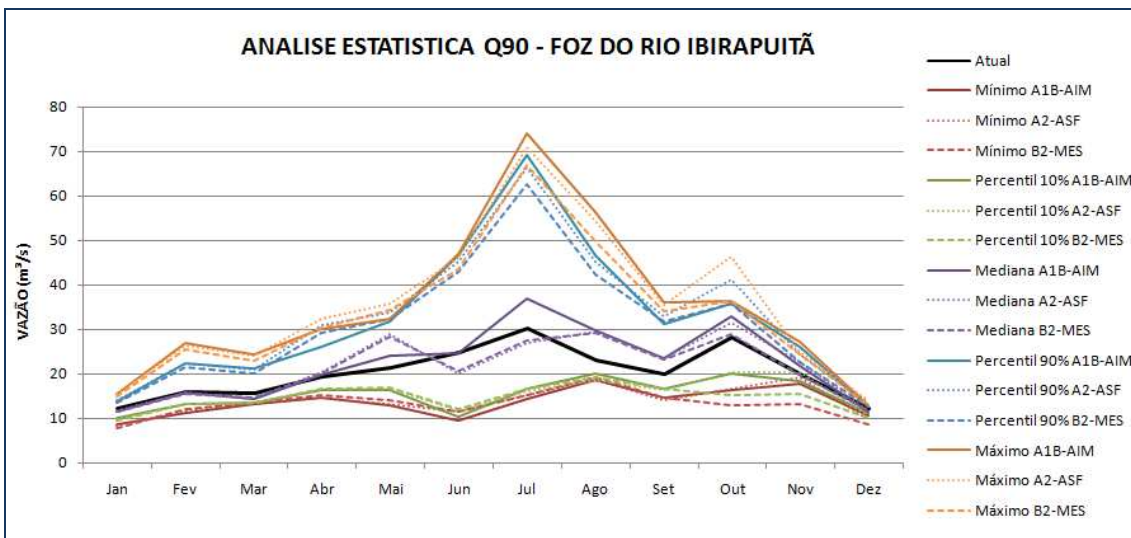


Figura C16 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Ibirapuitã– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

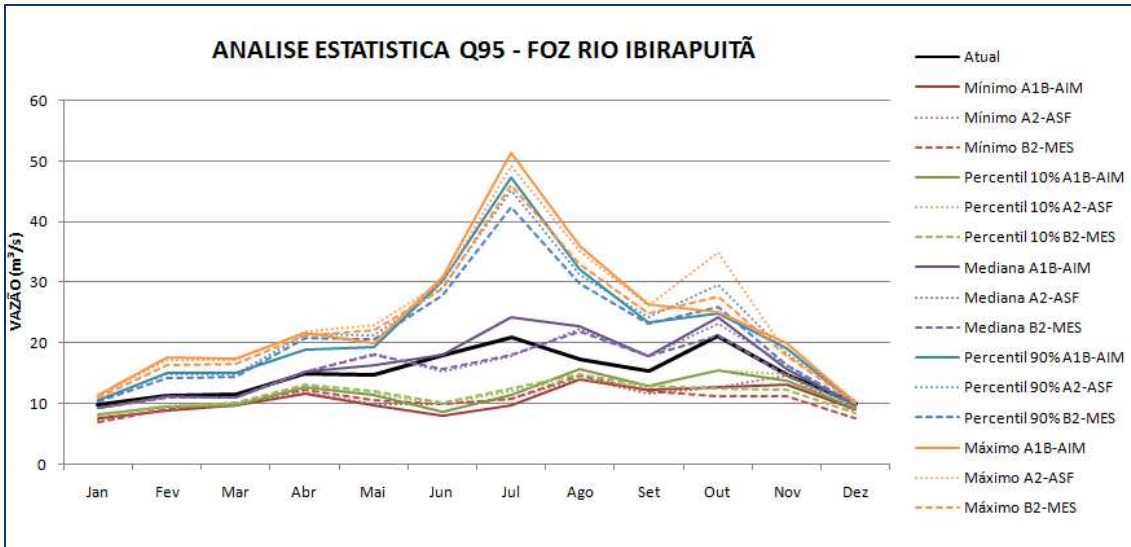


Figura C17 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Ibirapuitã– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

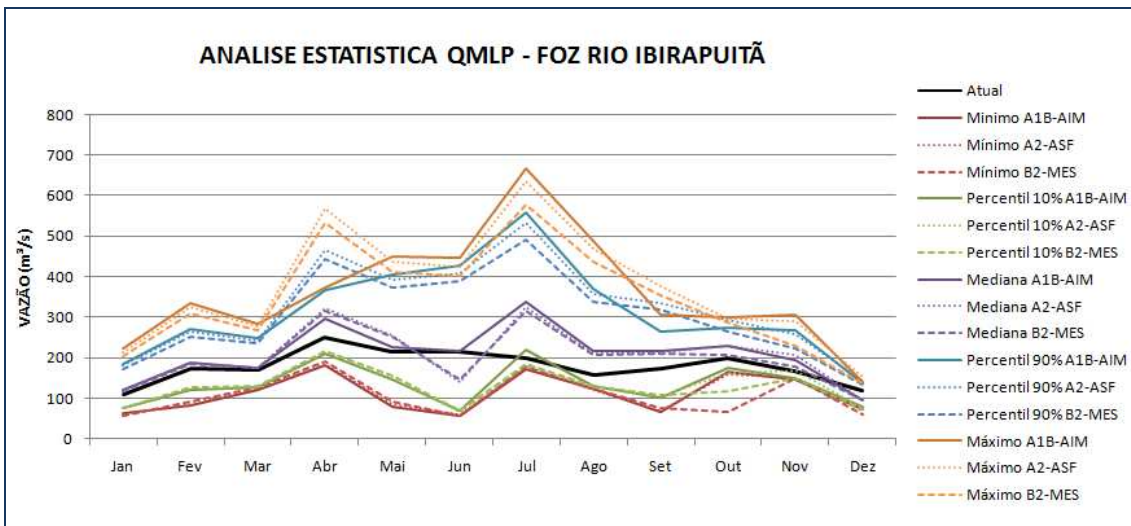


Figura C18 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Ibirapuitã– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

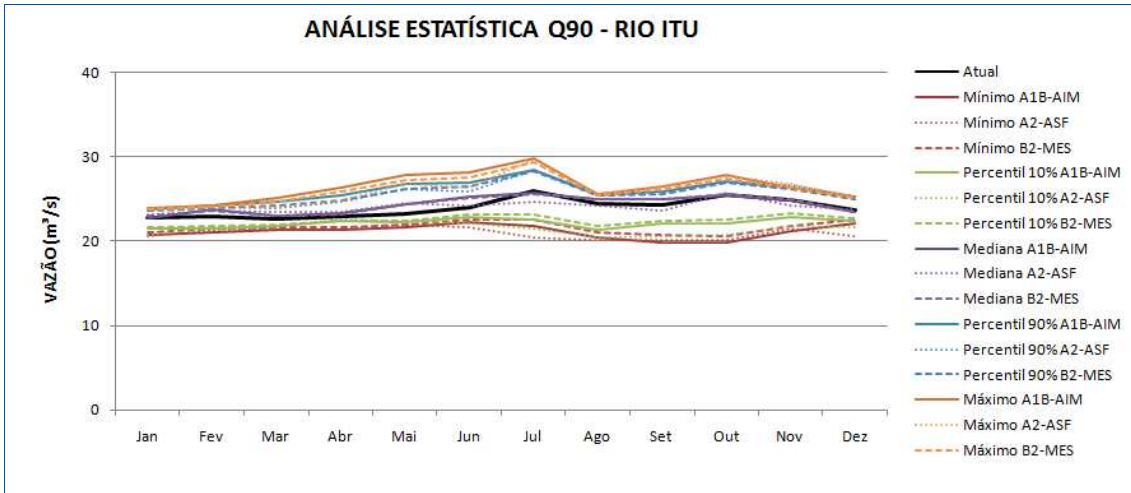


Figura C19 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Itu– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

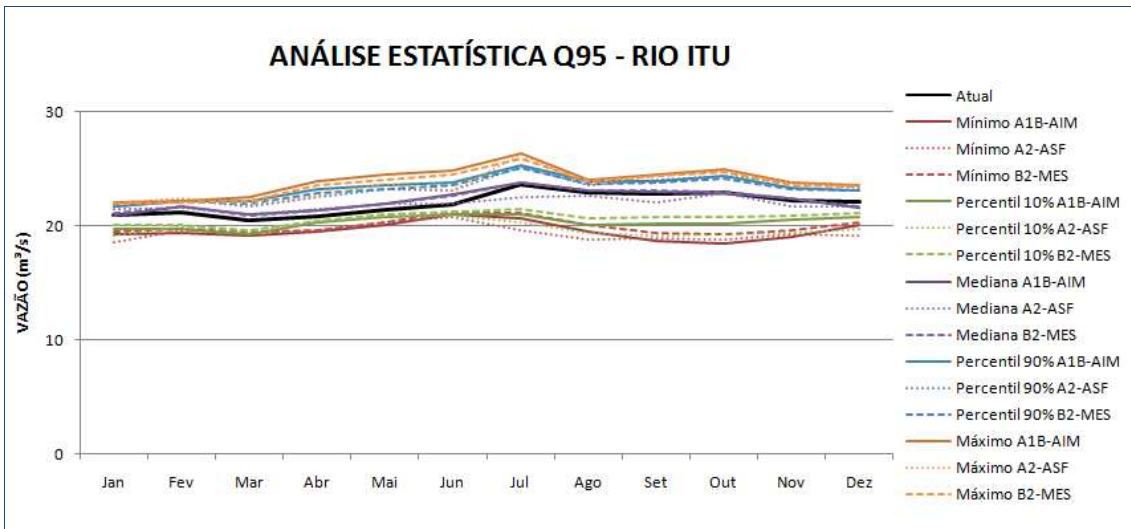


Figura C20 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Itu– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

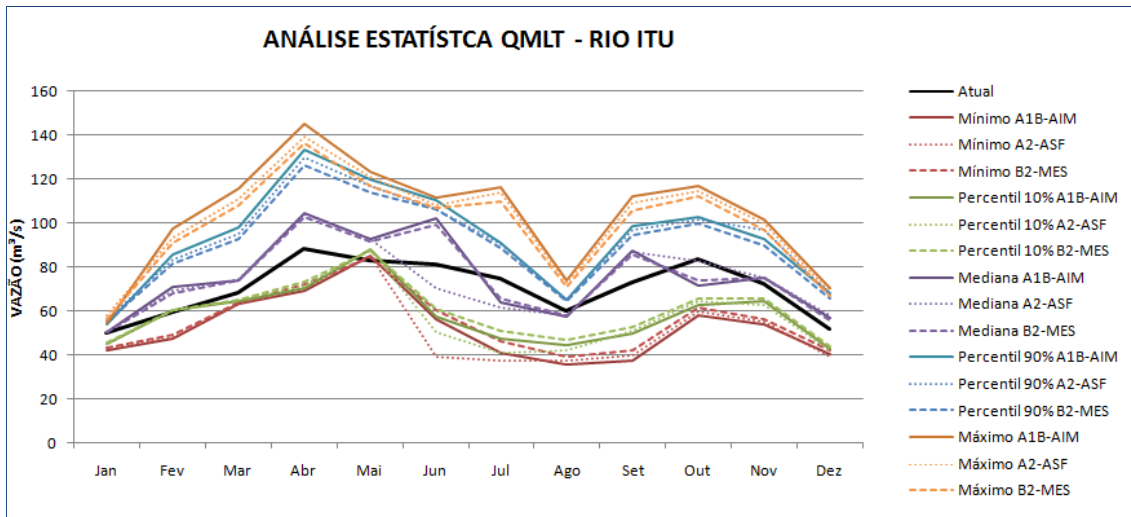


Figura C21– Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Itu– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

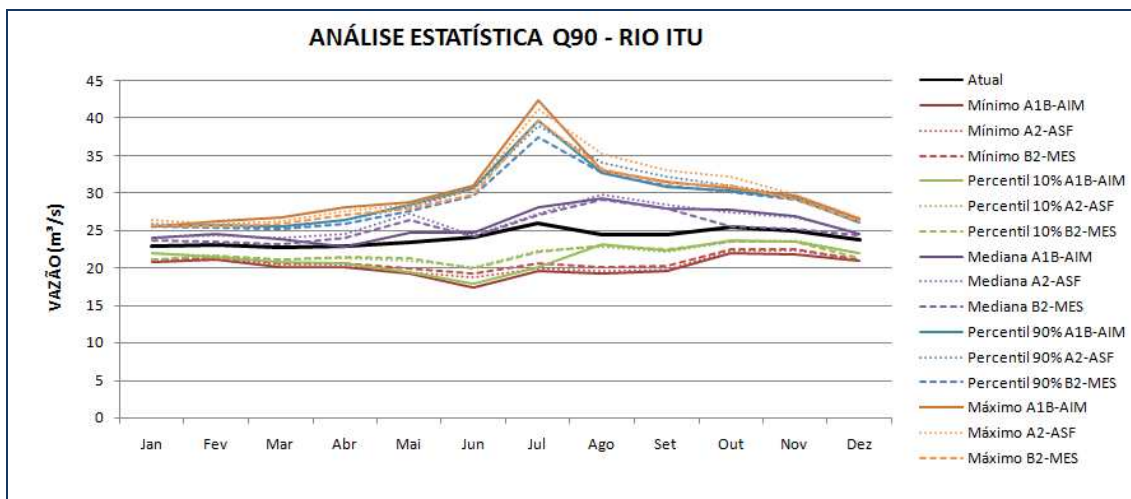


Figura C22 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Itu– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

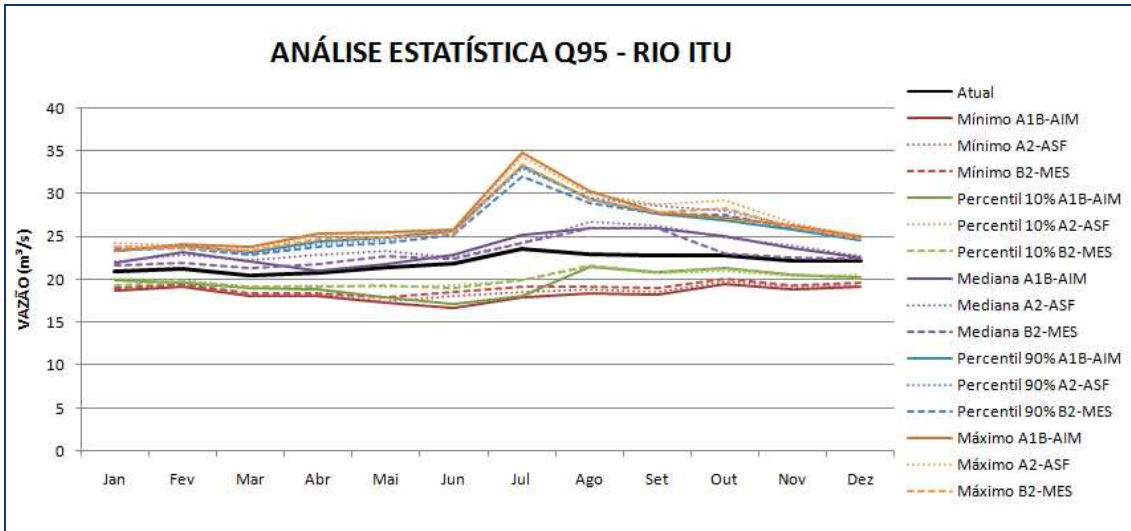


Figura C23 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Itu– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

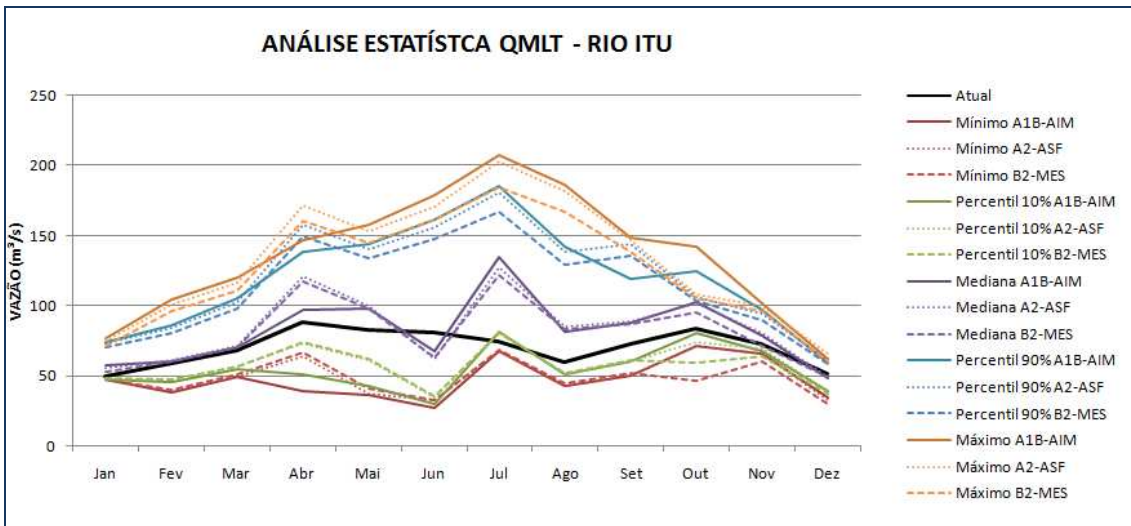


Figura C24 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Itu– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

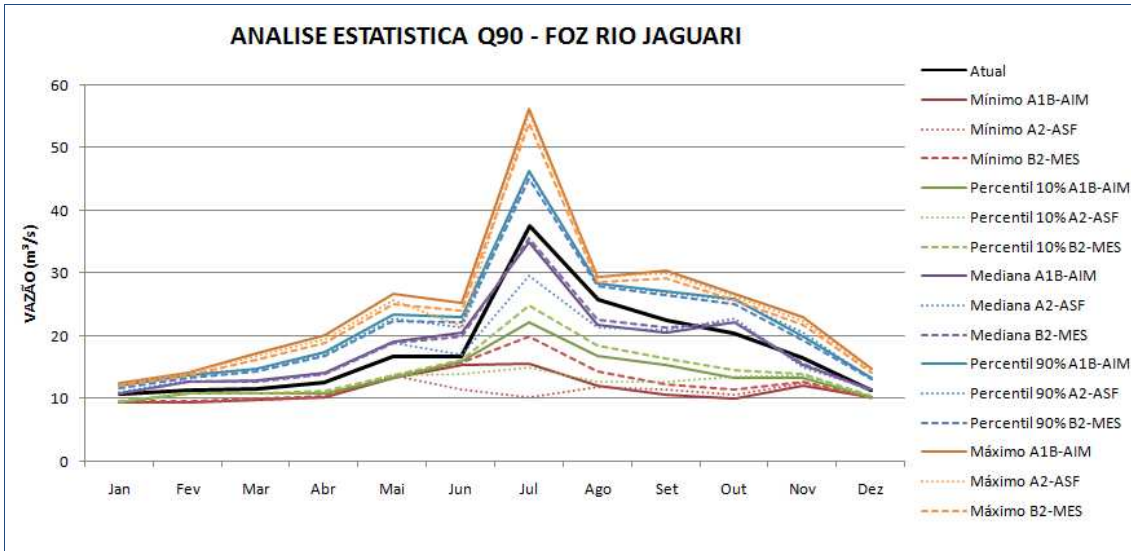


Figura C25 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Jaguari– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

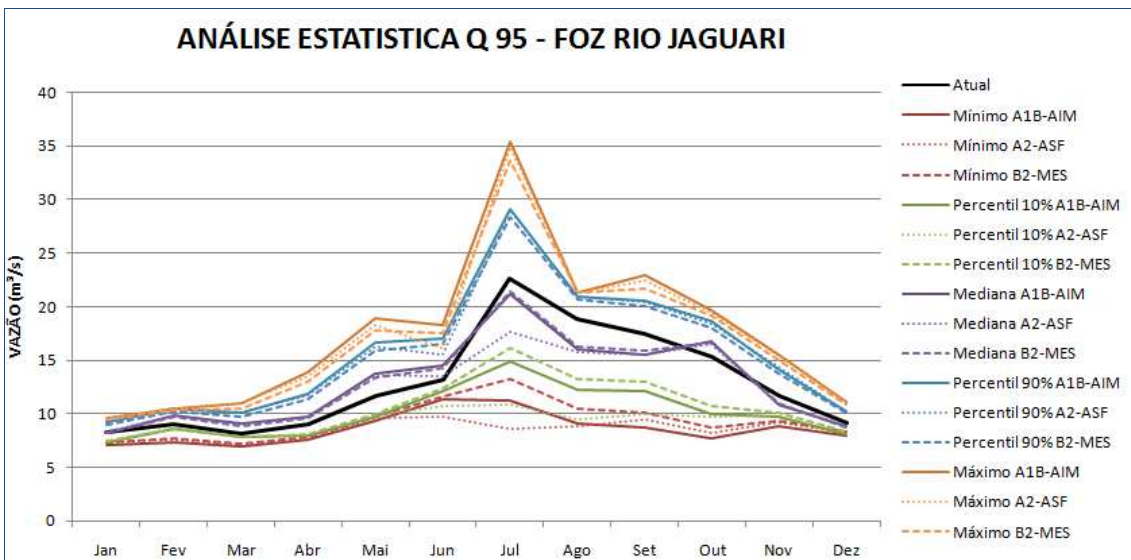


Figura C26 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Jaguari– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

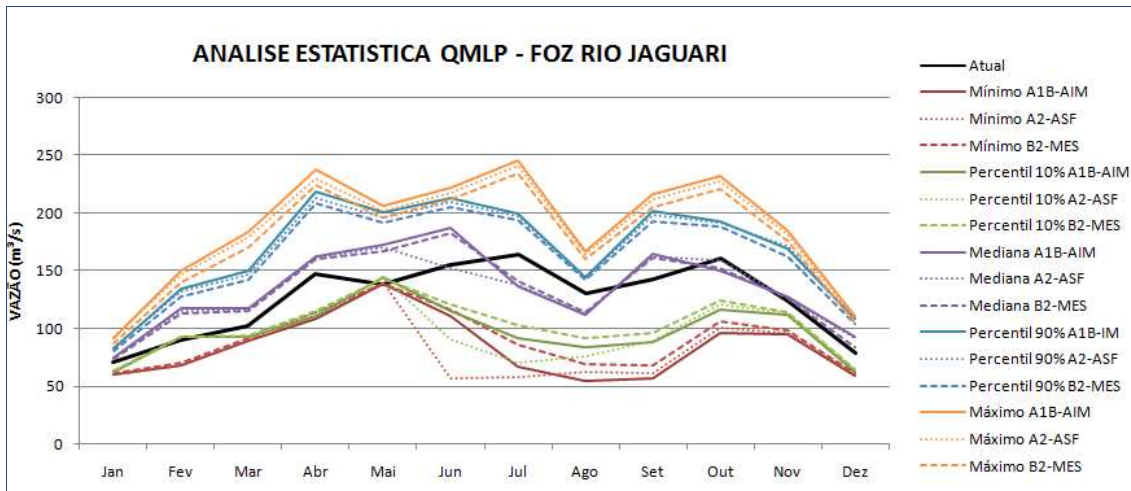


Figura C27 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Jaguari– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

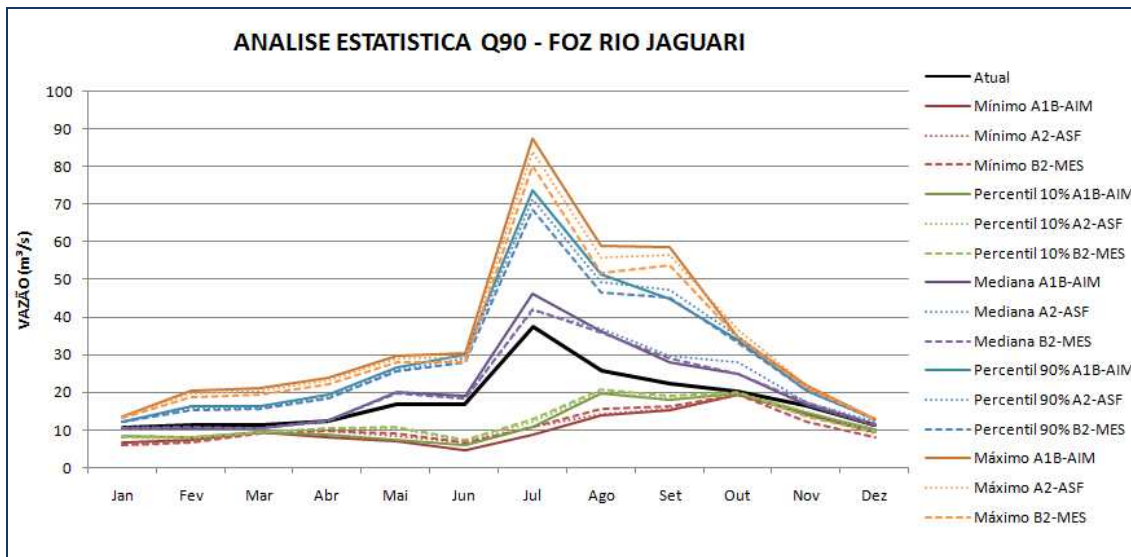


Figura C28 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Jaguari– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

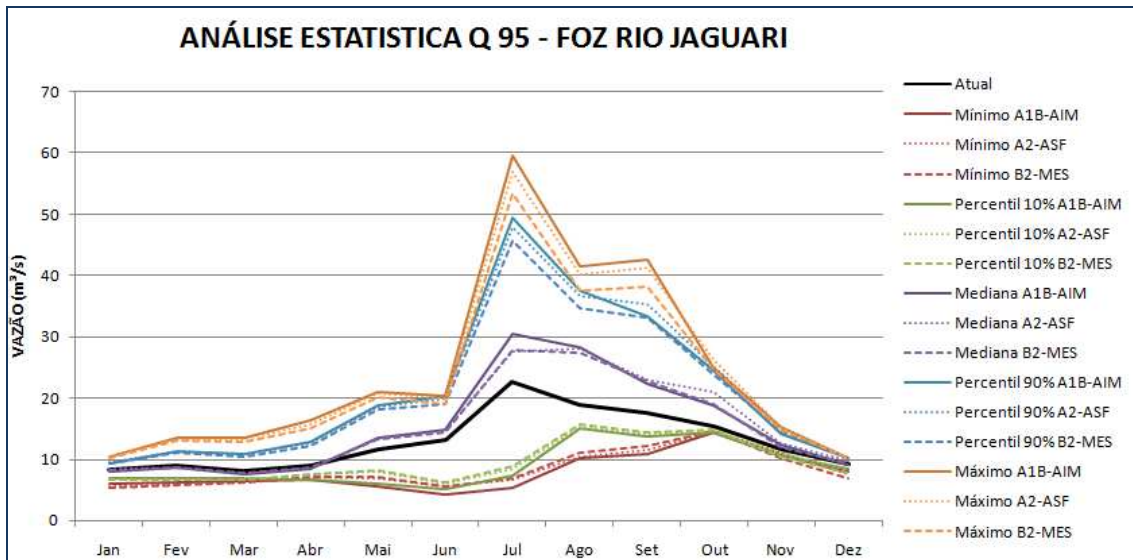


Figura C29 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Jaguari– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

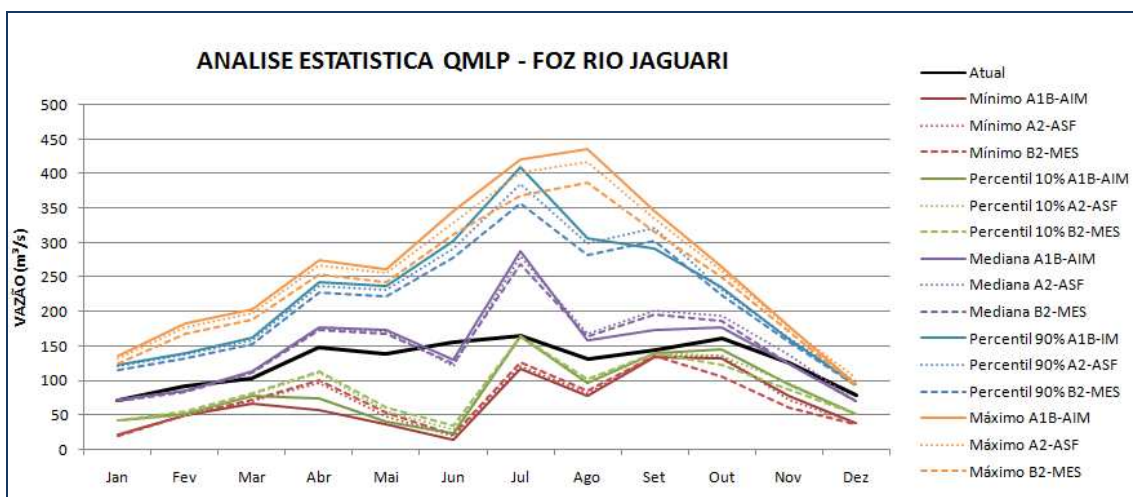


Figura C30 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Jaguari– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

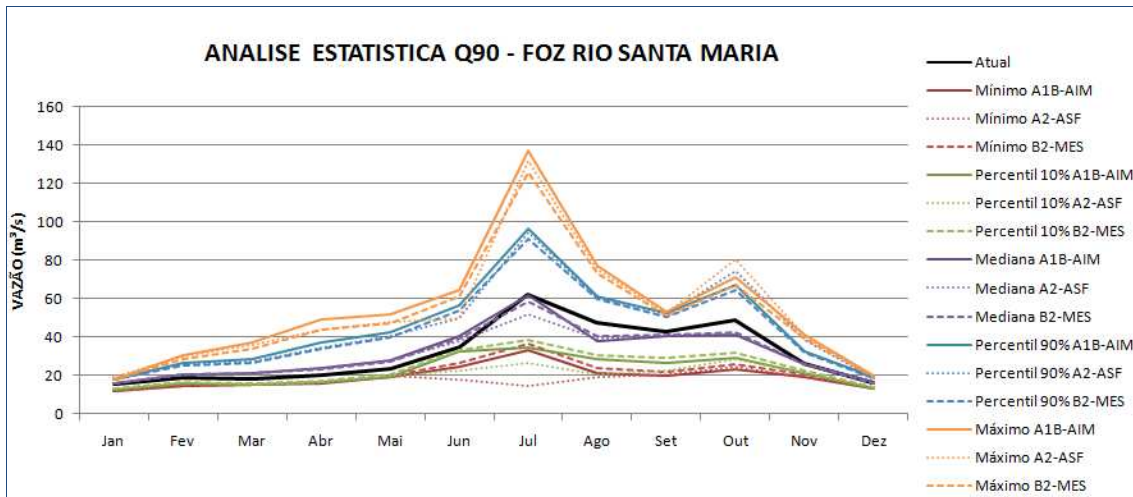


Figura C31 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Santa Maria– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

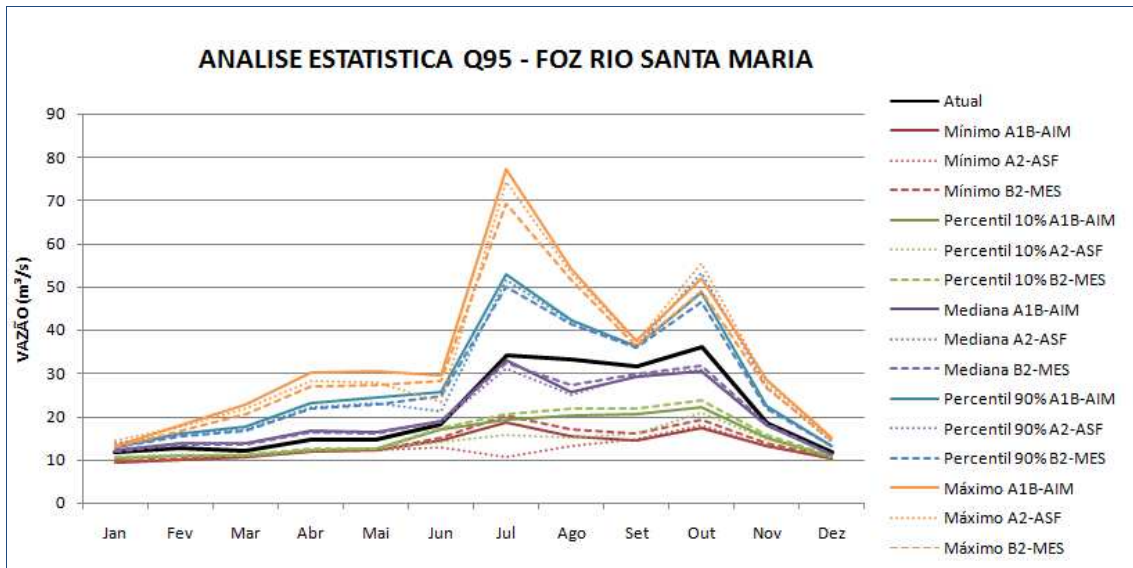


Figura C32 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Santa Maria– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

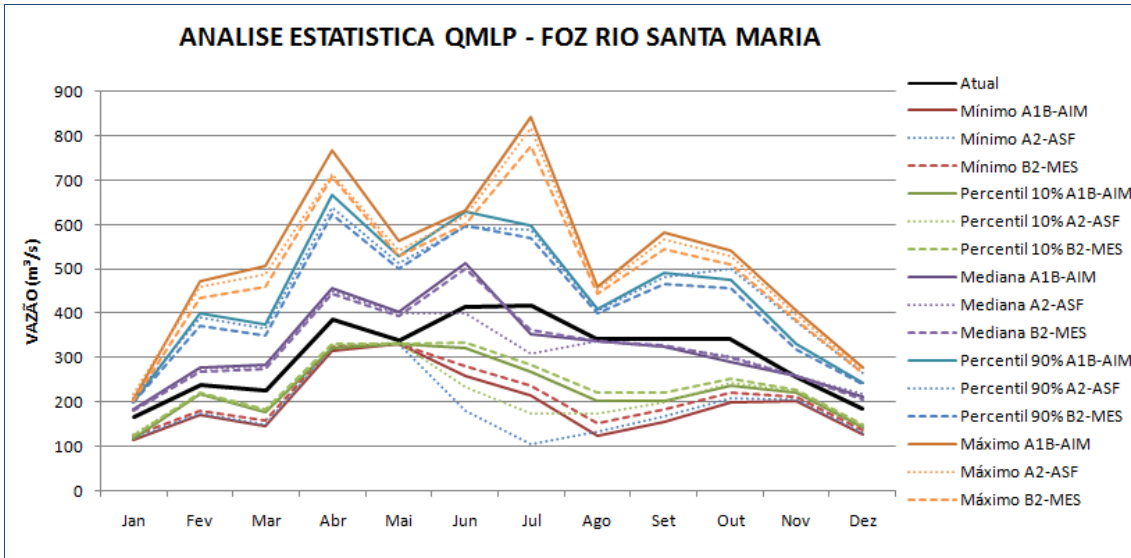


Figura C33 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelos modelos do 1º tercil do ranking de modelos (melhores modelos) - Foz do Rio Santa Maria– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

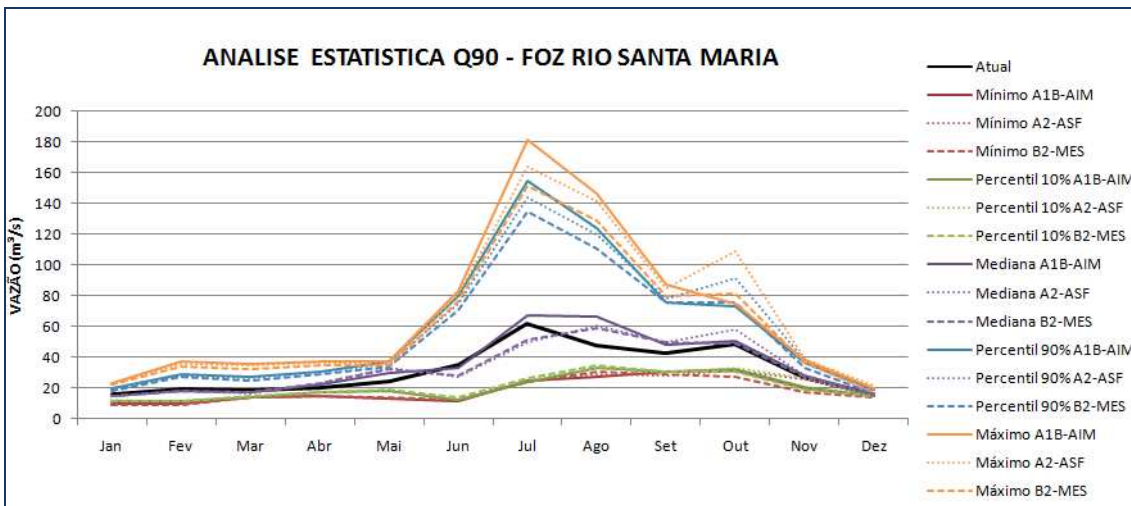


Figura C34 – Análise estatística das mudanças na vazão Q90 previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Santa Maria– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

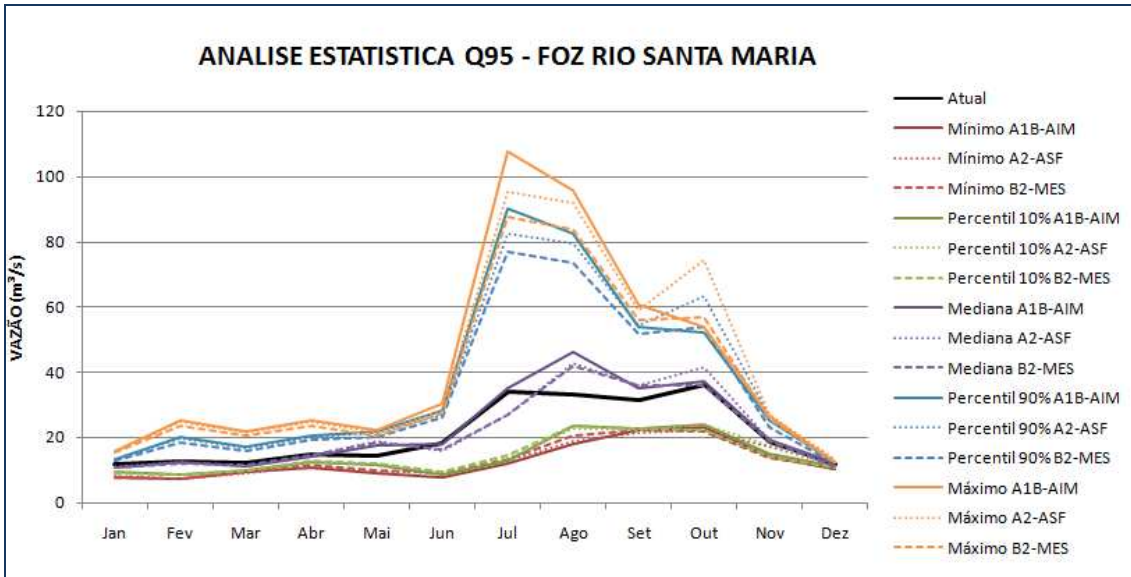


Figura C35 – Análise estatística das mudanças na vazão Q95 previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Sanata Maria– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

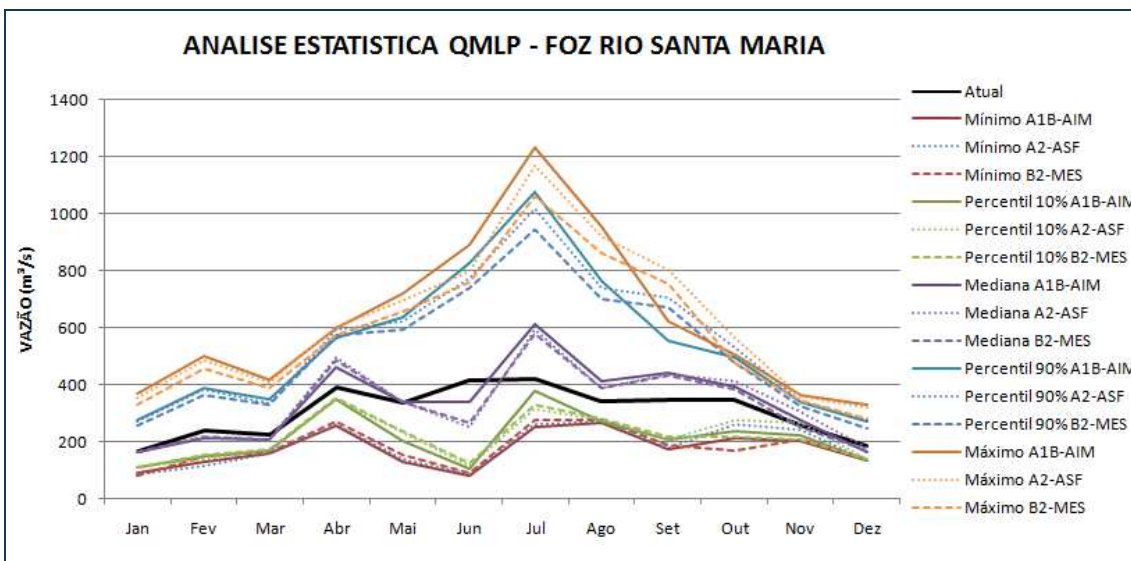


Figura C36 – Análise estatística das mudanças na vazão QMLP previstas pelos modelos do 3º tercil do ranking de modelos (piores modelos) - Foz do Rio Sanata Maria– Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

ANEXO D – GRÁFICOS DAS SERIES DE MEDIANA DOS PIORES E MELHORES MODELOS E SERIE ATUAL

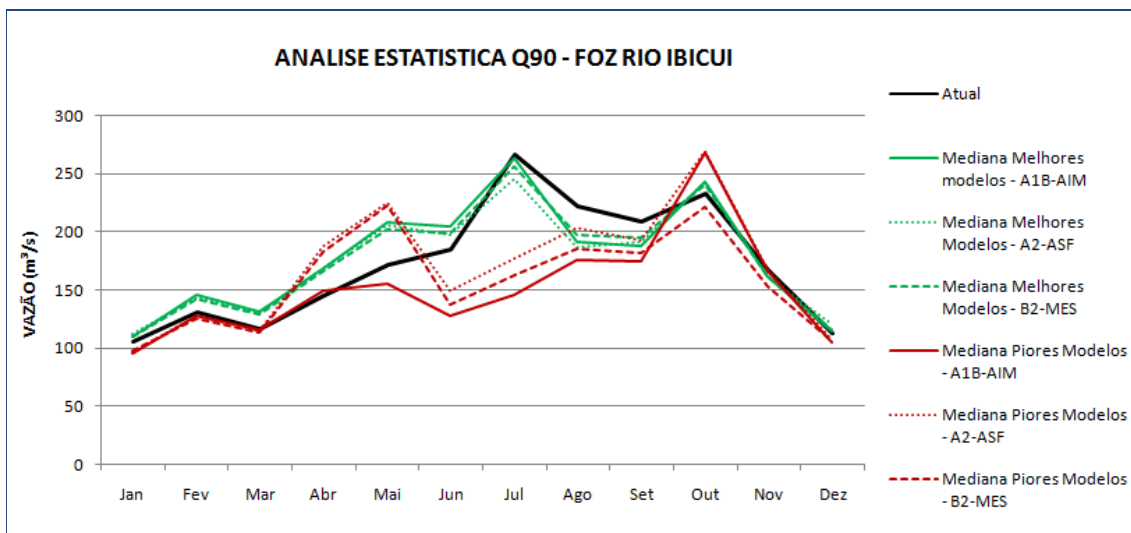


Figura D1 – Análise estatística da vazão Q90: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.

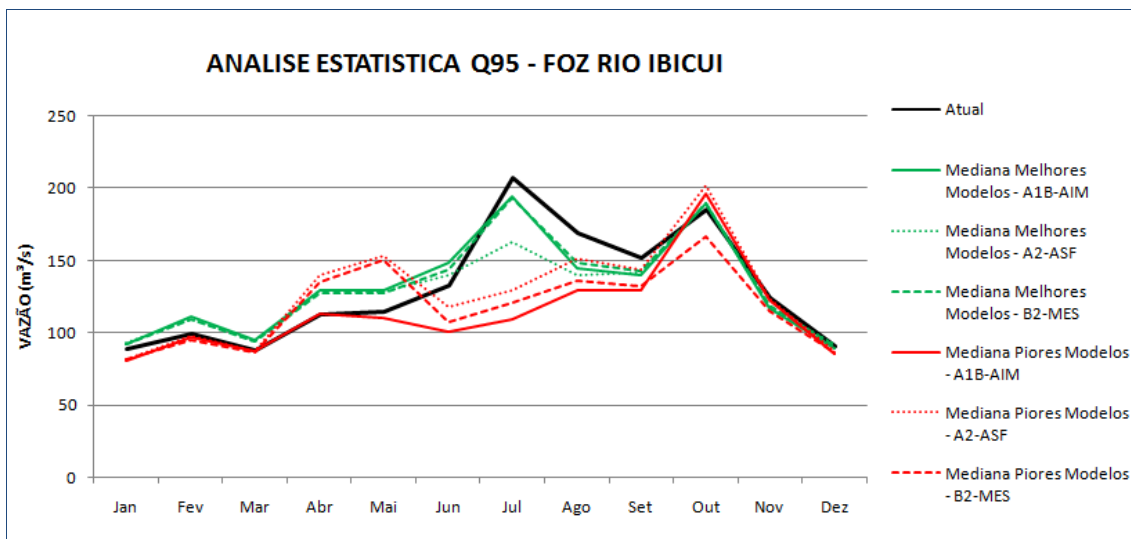


Figura D2 – Análise estatística da vazão Q95: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.

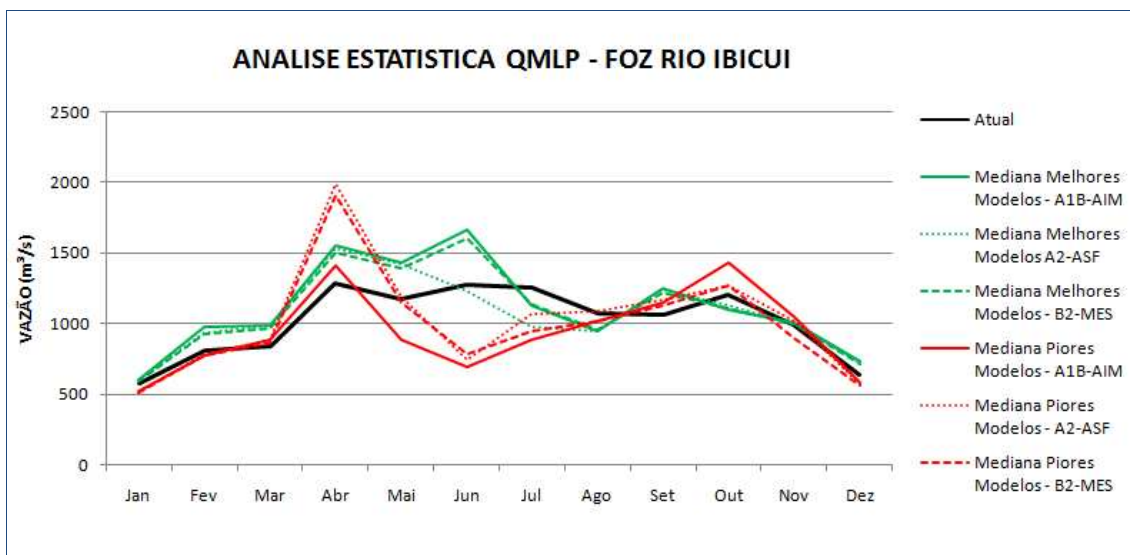


Figura D3 – Análise estatística da vazão QMLP: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Ibicui – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.

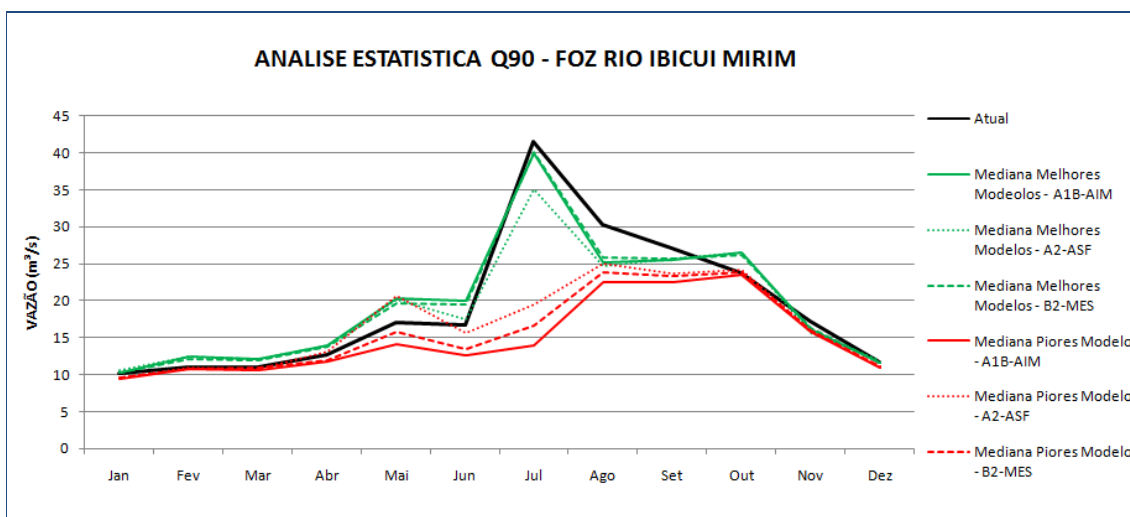


Figura D4 – Análise estatística da vazão Q90: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Ibicui Mirim – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.

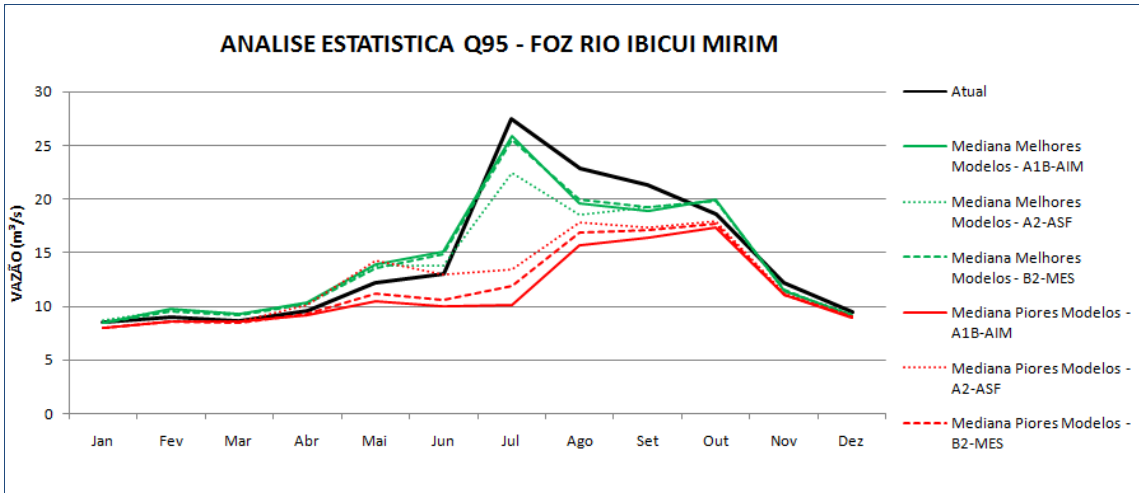


Figura D5 – Análise estatística da vazão Q95: comparação entre séries de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Ibicui Mirim – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.

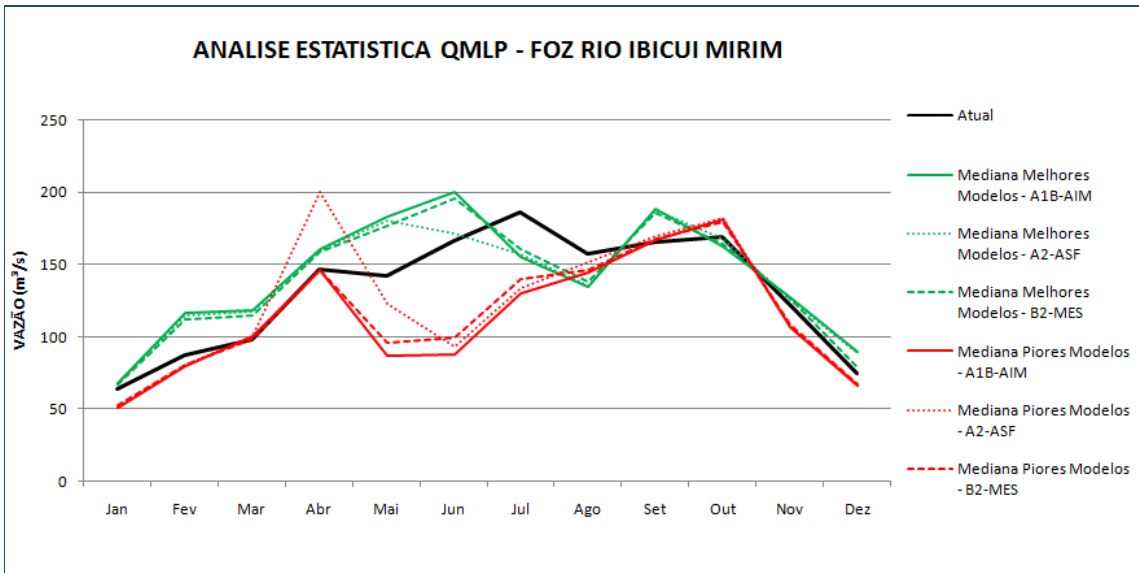


Figura D6 – Análise estatística da vazão QMLP: comparação entre séries de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Ibicui Mirim – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.

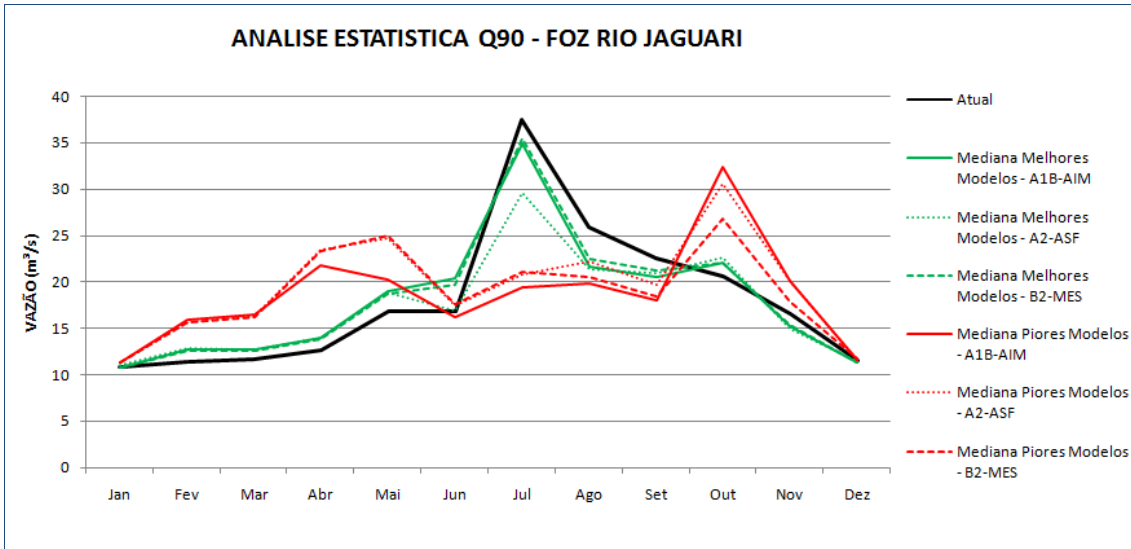


Figura D7 – Análise estatística da vazão Q90: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Jaguari – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.

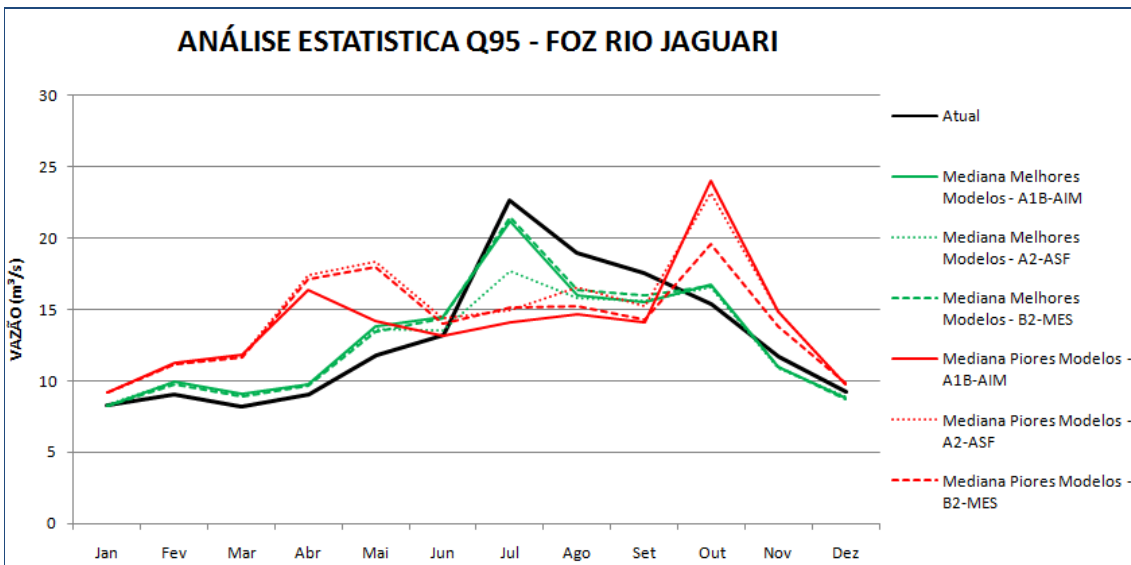


Figura D8 – Análise estatística da vazão Q95: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Jaguari – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.

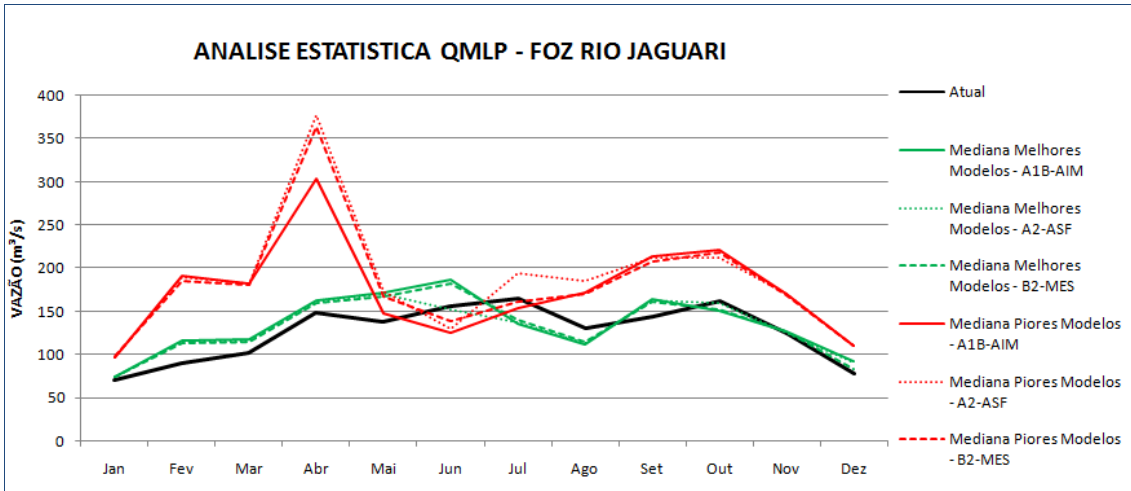


Figura D9 – Análise estatística da vazão QMLP: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Jaguari – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.

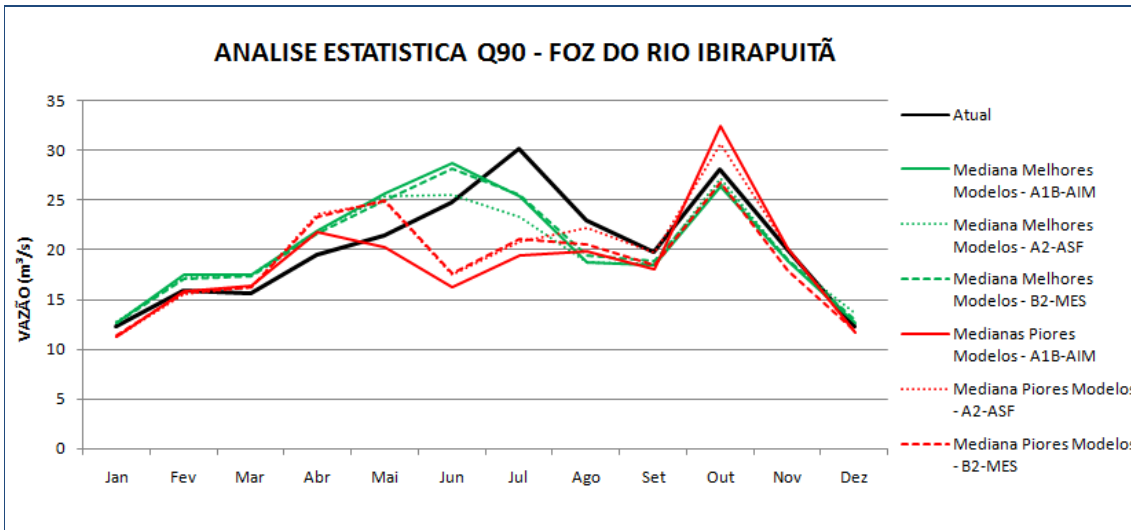


Figura D10 – Análise estatística da vazão Q90: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Ibirapuitã – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES.

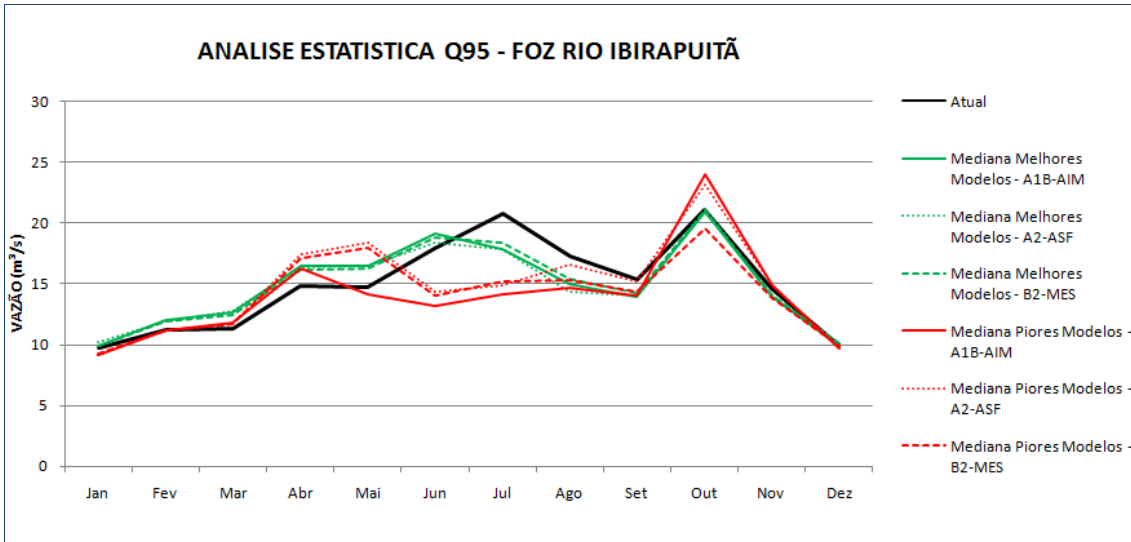


Figura D11 – Análise estatística da vazão Q95: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Ibirapuitã – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

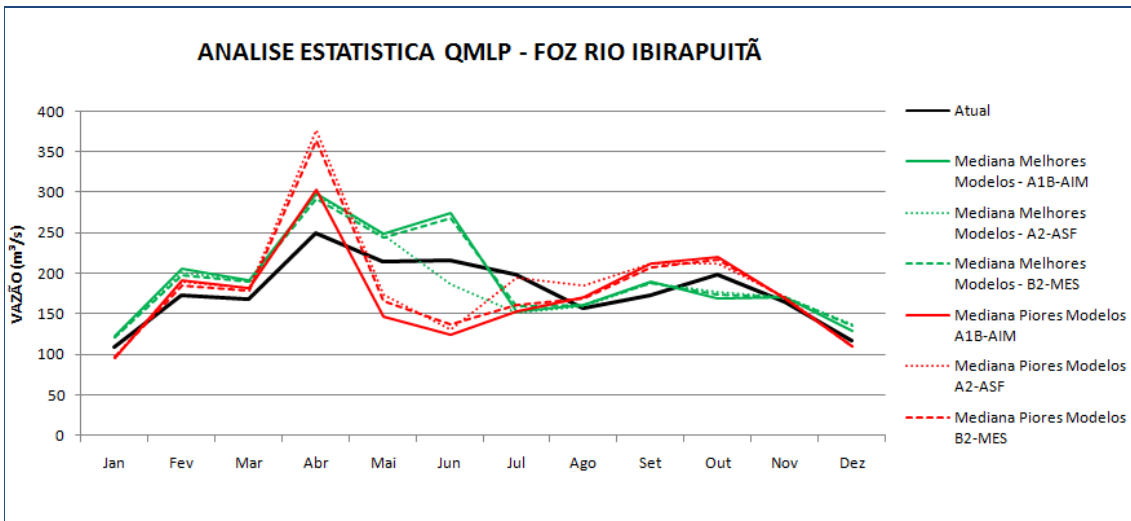


Figura D12 – Análise estatística da vazão QMLP: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Ibirapuitã – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

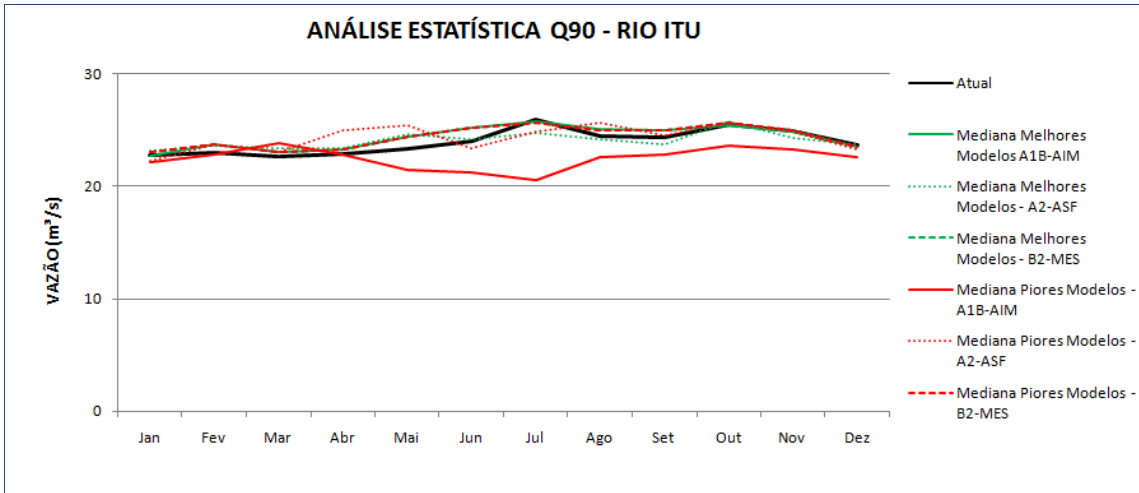


Figura D13 – Análise estatística da vazão Q90: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Itu – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

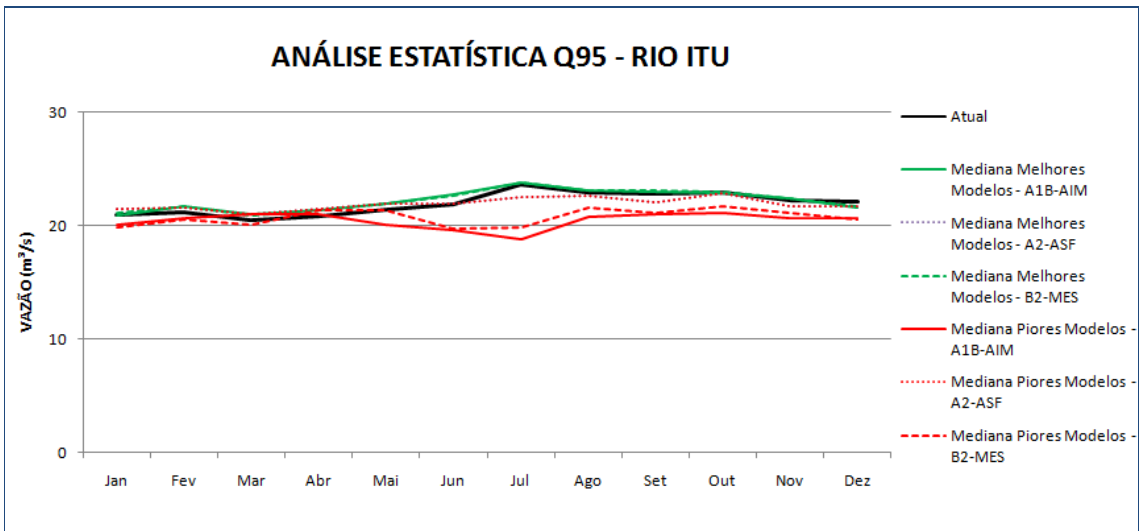


Figura D14 – Análise estatística da vazão Q95: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Itu – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

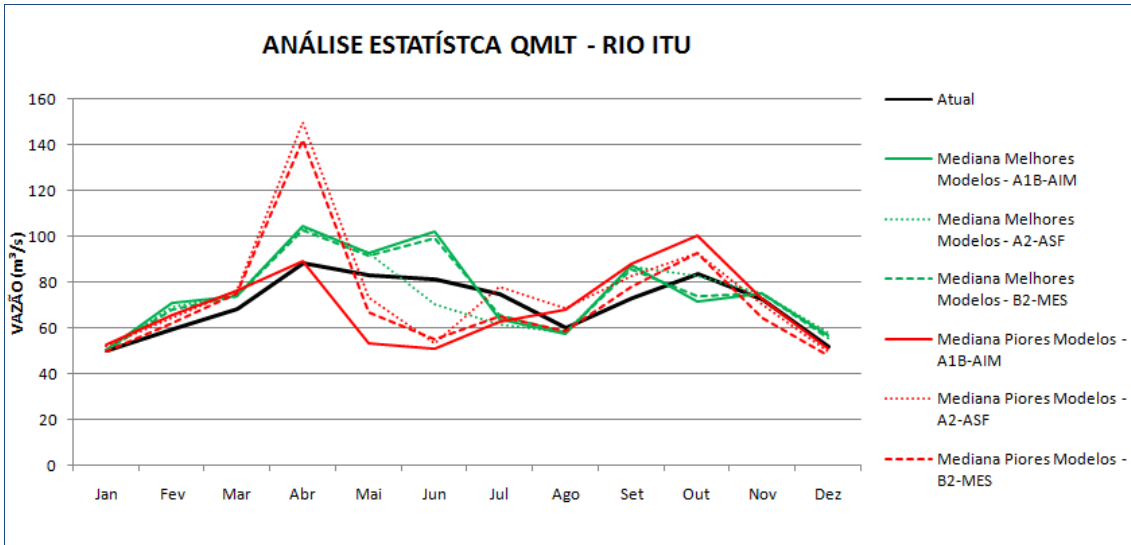


Figura D15 – Análise estatística da vazão QMLP: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Itu – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

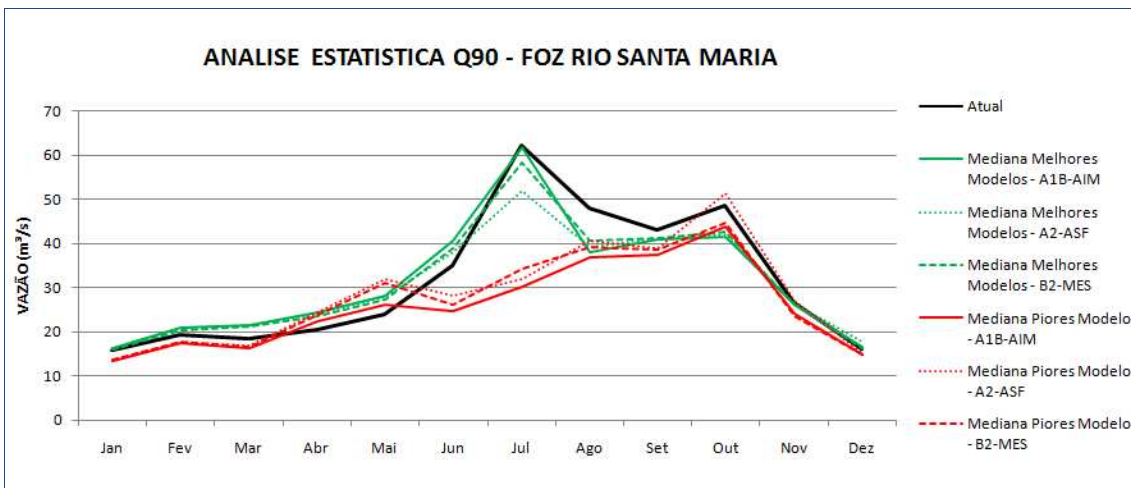


Figura D16 – Análise estatística da vazão Q90: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Santa Maria – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

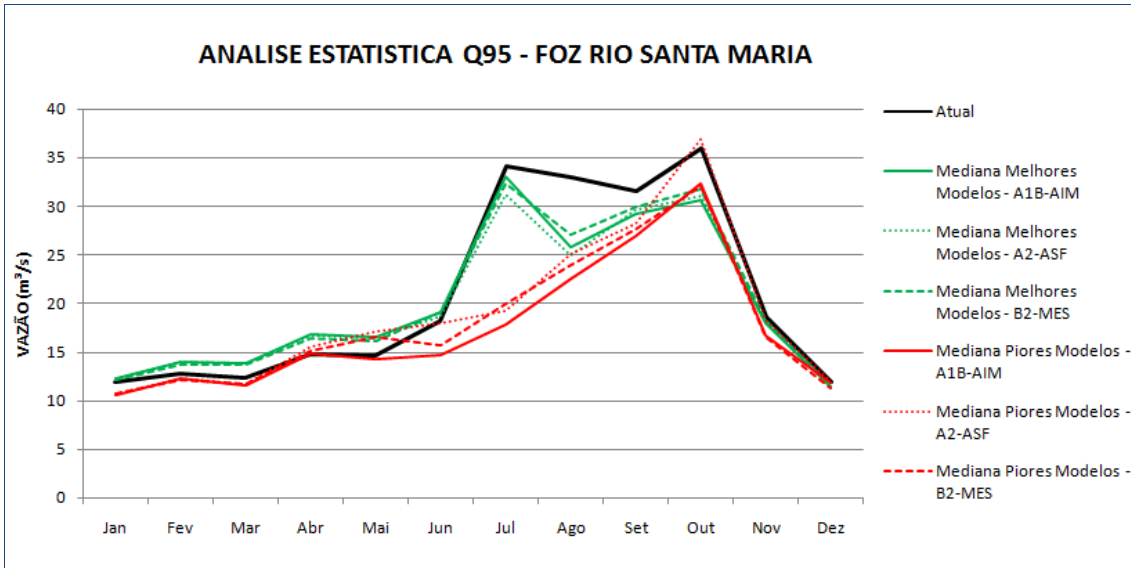


Figura D17 – Análise estatística da vazão Q95: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Santa Maria – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

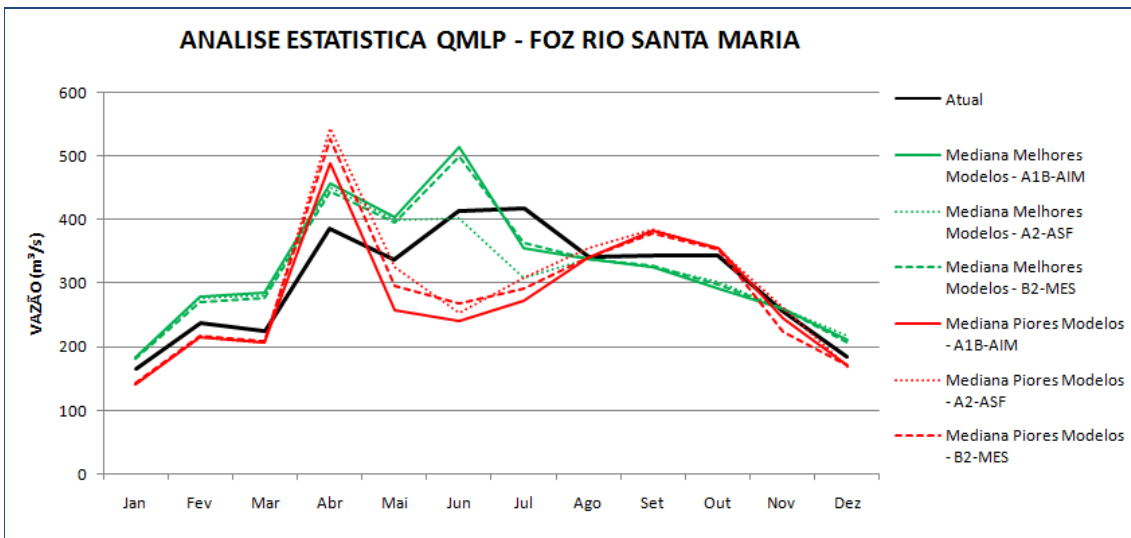


Figura D18 – Análise estatística da vazão QMLP: comparação entre series de medianas dos melhores e piores modelos e vazão atual - Foz do Rio Santa Maria – Cenários A1B-AIM, A2-ASF e B2-MES

