

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**GABRIELLA PEIXOTO BARROS
LUANA BORCHARDT HENCKER**

**VARIABILIDADE DAS VAZÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
ITAPEMIRIM - ES FRENTE A CENÁRIOS DE MUDANÇAS
CLIMÁTICAS**

Vitória
2021

GABRIELLA PEIXOTO BARROS
LUANA BORCHARDT HENCKER

**VARIABILIDADE DAS VAZÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
ITAPEMIRIM - ES FRENTE A CENÁRIOS DE MUDANÇAS
CLIMÁTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental. Orientador: Prof. Dr. Diogo Costa Buarque

Vitória
2021

GABRIELLA PEIXOTO BARROS
LUANA BORCHARDT HENCKER

**VARIABILIDADE DAS VAZÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
ITAPEMIRIM - ES FRENTE A CENÁRIOS DE MUDANÇAS
CLIMÁTICAS**

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Diogo Costa Buarque

Universidade Federal do Espírito Santo

Orientador

José Antônio Tosta dos Reis

Avaliador Interno

Antônio Meira Neto

Avaliador Externo

Vitória

2021

RESUMO

O Brasil detém o título de país com maior potencial hídrico do planeta, entretanto, com os cenários de mudanças climáticas cada vez mais se tornando realidade, esse título não é garantia de um futuro sem interferência dessas mudanças. É de se esperar que com o aquecimento global, ocorra o aumento da intensidade de chuva e da variabilidade temporal e também espacial da mesma, o que poderá afetar, por exemplo, a disponibilidade da vazão nos rios. Com isso surge a necessidade da maior compreensão dessas mudanças. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, o IPCC, reúne as informações pertinentes acerca das mudanças climáticas, analisa e as avalia e assim gera relatórios para futuras análises e tomadas de decisão. No presente estudo foram avaliadas as variações nas vazões na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, no estado do Espírito Santo, frente a cenários de mudanças climáticas (RCP 4.5 e RCP 8.5) apresentados no quinto relatório científico (AR5) do IPCC. No processo de geração das vazões, o modelo hidrológico MGB (Modelo Hidrológico de Grandes Bacias) foi calibrado e validado com os dados de precipitação, vazão, temperatura, insolação, velocidade do vento, umidade relativa e pressão observados na região da bacia no período de 1985 - 2013. Para realizar as projeções de vazões, utilizou-se as variáveis climáticas de 3 modelos globais aninhados ao modelo climático regional ETA - 20km: BESM, CANESM2 e MIROC5. Os dados das variáveis dos modelos climáticos tiveram os vieses corrigidos através do método escalonamento linear e então foram utilizados como dados de entrada no modelo hidrológico, considerando o período de 2014 – 2099. Após a calibração e validação do modelo hidrológico, as projeções de vazão foram simuladas para os dois cenários de emissão e obteve-se para o cenário RCP 4.5 uma redução nas vazões médias mensais de 5%, 44% e 5% quando utilizados os dados climáticos dos modelos BESM, CANESM2 e MIROC5, respectivamente. Enquanto para o cenário RCP 8.5 a redução nas médias mensais de vazão foi de 26%, 67% e 10% para as simulações com os modelos BESM, CANESM2 e MIROC5, nessa ordem. Além disso, ao analisar os dados de precipitação e temperatura dos modelos climáticos, no cenário de médias emissões, apenas o modelo CANESM2 apresentou um aumento na temperatura média mensal, enquanto que para precipitação apenas o modelo MIROC5 registrou aumento na precipitação média mensal. Já no cenário de altas emissões, todos os modelos apresentaram redução da precipitação média mensal e apenas o modelo CANESM2 apresentou elevação da temperatura média mensal.

Palavras-chave: modelo hidrológico MGB, modelo regional ETA, mudanças climáticas, modelos climáticos, vazão.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Deus por ter nos sustentado até aqui;

Aos nossos familiares, pais e irmãs, por todo apoio e por ter entendido nossas inúmeras ausências;

Aos amigos, por trazer motivação e tornar o clima mais leve;

Aos nossos namorados, pelo companheirismo e cuidado;

Ao professor Diogo, pela sugestão de tema e pelo auxílio ao longo desses meses;

Às colegas do grupo de pesquisa, Fran e Lizandra, por terem respondido as inúmeras dúvidas com muita paciência e disposição para ajudar.

E por fim, agradecemos a oportunidade de estudarmos na UFES, que nos proporcionou inúmeros momentos de aprendizado ao longo desses anos de graduação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim.	33
Figura 4.2 – Mapa de relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim.	35
Figura 4.3 – Classes de respostas hidrológicas para a Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim obtidas a partir do Mapa de URHs da América do Sul.	38
Figura 4.4 – Localização das Estações pluviométricas.	40
Figura 4.5 – Localização da Estação Climatológica.	42
Figura 4.6 – Localização das Estações Fluviométricas.	44
Figura 4.7 – Sub- bacias obtidas com base nas localizações das estações fluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim.	48
Figura 4.8 – Minibacias obtidas para a Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim.	49
Figura 5.1 – Precipitação média anual observada para a bacia do Rio Itapemirim no período de 1985 – 2013.	54
Figura 5.2 – Total diário médio de precipitação observada para a bacia do Rio Itapemirim no período de 1985 – 2013.	55
Figura 5.3 – Vazões médias anuais observadas para a bacia do Rio Itapemirim no período de 1985 – 2013.	56
Figura 5.4 – Vazões médias mensais observadas para a bacia do Rio Itapemirim no período de 1985 – 2013.	56
Figura 5.5 – Normais climatológicas da estação 00083646 referentes ao período de 1961 -1990:	58
Figura 5.6 – Comparação entre o total diário médio de precipitação observado e o total diário médio de precipitação para o modelo climático BESM com e sem correção de viés.	62
Figura 5.7 – Comparação entre o total diário médio de precipitação observado e o total diário médio de precipitação para o modelo climático CANESM2 com e sem correção de viés.	63
Figura 5.8 – Comparação entre o total diário médio de precipitação observado e o total diário médio de precipitação para o modelo climático MIROC5 com e sem correção de viés.	63
Figura 5.9 – Comparações entre os dados observados de precipitação, temperatura e insolação no período atual (1985 a 2013) e as projeções corrigidas dos modelos climáticos no período futuro (2014 a 2099) para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.	65
Figura 5.10 – Comparações entre os dados observados de umidade relativa, velocidade do vento e pressão no período atual (1985 a 2013) e as projeções corrigidas dos modelos climáticos no período futuro (2014 a 2099) para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.	66
Figura 5.11 – Variações das médias mensais de precipitação dos modelos climáticos BESM, CANESM2 e MIROC5 no cenário RCP 4.5 no período futuro.	63
Figura 5.12 – Variações das médias mensais de precipitação dos modelos climáticos BESM, CANESM2 e MIROC5 no cenário RCP 8.5 no período futuro.	63
Figura 5.13 – Comparação entre a precipitação média anual dos modelos climáticos BESM, CANESM2 e MIROC5 durante o período futuro e a precipitação média anual observada.	64

Figura 5.14 – Comparação entre a precipitação média anual dos modelos climáticos BESM, CANESM2 e MIROC5 para o cenário RCP 4.5 durante o período futuro e a precipitação média anual observada.....	65
Figura 5.15 – Comparação entre a precipitação média anual dos modelos climáticos BESM, CANESM2 e MIROC5 para o cenário RCP 8.5 durante o período futuro e a precipitação média anual observada.....	65
Figura 5.16 – Comparação entre as vazões médias mensais dos modelos BESM, CANESM2 e MIROC5 no cenário RCP 4.5 com as vazões observadas (linhas) e as respectivas variações (barras).	67
Figura 5.17 – Comparação entre as vazões médias mensais dos modelos BESM, CANESM2 e MIROC5 no cenário RCP 8.5 com as vazões observadas (linhas) e as respectivas variações (barras).	67
Figura 5.18 – Comparação entre as vazões médias anuais dos modelos BESM, CANESM2 e MIROC5 no cenário RCP 4.5 durante o período futuro com as vazões observadas durante o período atual.....	69
Figura 5.19 – Comparação entre as vazões médias anuais dos modelos BESM, CANESM2 e MIROC5 no cenário RCP 8.5 durante o período futuro com as vazões observadas durante o período atual.....	70
Figura F.1 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 183 na etapa de calibração.....	92
Figura F.2 – Curva de permanência para a minibacia 183 na etapa de calibração...92	92
Figura F.3 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 190 na etapa de calibração.....	93
Figura F.4 – Curva de permanência para a minibacia 190 na etapa de calibração...93	93
Figura F.5 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 200 na etapa de calibração.....	94
Figura F.6 – Curva de permanência para a minibacia 200 na etapa de calibração...94	94
Figura F.7 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 202 na etapa de calibração.....	95
Figura F.8 – Curva de permanência para a minibacia 202 na etapa de calibração...95	95
Figura F.9 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 213 na etapa de calibração.....	96
Figura F.10 – Curva de permanência para a minibacia 213 na etapa de calibração.96	96
Figura F.11 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 225 na etapa de calibração.....	97
Figura F.12 – Curva de permanência para a minibacia 225 na etapa de calibração.97	97
Figura F.13 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 227 na etapa de calibração.....	98
Figura F.14 – Curva de permanência para a minibacia 227 na etapa de calibração.98	98
Figura F.15 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 232 na etapa de calibração.....	99
Figura F.16 – Curva de permanência para a minibacia 232 na etapa de calibração.99	99
Figura F.17 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 243 na etapa de calibração.....	100
Figura F.18 – Curva de permanência para a minibacia 243 na etapa de calibração.....	100

Figura F.19 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 248 na etapa de calibração.	101
Figura F.20 – Curva de permanência para a minibacia 248 na etapa de calibração.	101
Figura F.21 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 254 na etapa de calibração.	102
Figura F.22 – Curva de permanência para a minibacia 254 na etapa de calibração.	102
Figura F.23 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 257 na etapa de calibração.	103
Figura F.24 – Curva de permanência para a minibacia 257 na etapa de calibração.	103
Figura F.25 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 268 na etapa de calibração.	104
Figura F.26 – Curva de permanência para a minibacia 268 na etapa de calibração.	104
Figura F.27 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 183 na etapa de validação.	105
Figura F.28 – Curva de permanência para a minibacia 183 na etapa de validação.	105
Figura F.29 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 190 na etapa de validação.	106
Figura F.30 – Curva de permanência para a minibacia 190 na etapa de validação.	106
Figura F.31 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 200 na etapa de validação.	107
Figura F.32 – Curva de permanência para a minibacia 200 na etapa de validação.	107
Figura F.33 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 202 na etapa de validação.	108
Figura F.34 – Curva de permanência para a minibacia 202 na etapa de validação.	108
Figura F.35 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 213 na etapa de validação.	109
Figura F.36 – Curva de permanência para a minibacia 213 na etapa de validação.	109
Figura F.37 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 225 na etapa de validação.	110
Figura F.38 – Curva de permanência para a minibacia 225 na etapa de validação.	110
Figura F.39 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 227 na etapa de validação.	111
Figura F.40 – Curva de permanência para a minibacia 227 na etapa de validação.	111
Figura F.41 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 232 na etapa de validação.	112

Figura F.42 – Curva de permanência para a minibacia 232 na etapa de validação.	112
Figura F.43 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 243 na etapa de validação.	113
Figura F.44 – Curva de permanência para a minibacia 243 na etapa de validação.	113
Figura F.45 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 248 na etapa de validação.	114
Figura F.46 – Curva de permanência para a minibacia 248 na etapa de validação.	114
Figura F.47 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 254 na etapa de validação.	115
Figura F.48 – Curva de permanência para a minibacia 254 na etapa de validação.	115
Figura F.49 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 257 na etapa de validação.	116
Figura F.50 – Curva de permanência para a minibacia 257 na etapa de validação.	116
Figura F.51 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 268 na etapa de validação.	117
Figura F.52 – Curva de permanência para a minibacia 268 na etapa de validação.	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Parâmetros do modelo MGB.	29
Tabela 4.1 – Classificação dos resultados da modelagem hidrológica, em função das medidas de desempenho de ENS e ΔV	52
Tabela 5.1 – Medidas de desempenho entre as vazões simuladas e observadas, obtidas com a calibração do modelo MGB, nas estações fluviométricas selecionadas na bacia do Rio Itapemirim.	59
Tabela 5.2 – Medidas de desempenho geradas na validação do modelo MGB na bacia do Rio Itapemirim.	60
Tabela 5.3 – Variações de Insolação, Umidade Relativa, Velocidade do Vento e Pressão entre os dados dos modelos climáticos BESM, CANESM2 e MIROC5 e os dados observados.	66
Tabela A.1 – Estações pluviométricas e suas localizações.	81
Tabela B.1 – Estações fluviométricas e suas localizações.	84
Tabela C.1 – Estação climatológica e sua localização.	85
Tabela D.1 – Parâmetros Fixos.	86
Tabela E.1 – Parâmetros Calibráveis.	87

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS	17
3.1.1. Impacto das Mudanças Climáticas nos Recursos Hídricos	18
3.1.2. Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC)	20
3.1.2.1. Cenários do IPCC	21
3.2. MODELOS CLIMÁTICOS	22
3.2.1. Modelos Climáticos Regionais	23
3.2.1.1. Modelo Climático Regional ETA	24
3.3. MODELAGEM HIDROLÓGICA	24
3.3.1. Modelagem Hidrológica para Mudanças Climáticas	26
3.3.2. Modelo Hidrológico MGB	26
3.3.2.1. Parâmetros do MGB	29
4. METODOLOGIA	32
4.1. ÁREA DE ESTUDO	32
4.2 DADOS UTILIZADOS	36
4.2.1 Dados Topográficos	37
4.2.2 Dados de Uso e Tipo de Solo	37
4.2.3 Dados Hidroclimatológicos	39
4.2.3.1 Chuva	39
4.2.3.2 Clima	40
4.2.3.3 Vazão	42
4.2.4 Dados dos Modelos Climáticos	44
4.3 DISCRETIZAÇÃO DA BACIA	45
4.3.1 Preenchimento de depressões	45
4.3.2 Direções e Acumulação de Fluxo	46
4.3.4 Delimitação da bacia, das subbacias e das minibacias	46
4.3.5 Unidades de Respostas Hidrológicas	49
4.4 MODELO CLIMÁTICO REGIONAL ETA E CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS	50
4.4.1 Correção de viés	50
4.5 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO MGB	51
4.5.1 Parâmetros Fixos	53

4.5.2 Parâmetros Calibráveis	53
4.5.3 Calibração Manual	53
5. RESULTADOS	54
5.1 ANÁLISE DOS DADOS OBSERVADOS DE CHUVA, VAZÃO E CLIMA	54
5.1.1 Dados Observados de Chuva	54
5.1.2 Dados Observados de Vazão	55
5.1.3 Dados Observados de Clima	57
5.2 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO MGB - IPH	59
5.3 ANÁLISE DA CORREÇÃO DE VIÉS	62
5.4 ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DOS DADOS DE CLIMA	64
5.5 VARIBILIDADE DAS VAZÕES	66
6. CONCLUSÕES	71
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
APÊNDICE A – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS	81
APÊNDICE B – ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS	84
APÊNDICE C – ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA	85
APÊNDICE D – PARÂMETROS FIXOS	86
APÊNDICE E – PARÂMETROS CALIBRÁVEIS	87
APÊNDICE F – HIDROGRAMAS E CURVAS DE PERMANÊNCIA DA CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO	92

1. INTRODUÇÃO

O potencial hídrico do Brasil é o maior do mundo, representando 12% de toda água doce superficial do planeta, na qual 80% é situada na Amazônia. Tem-se no Brasil o total de 200 mil microbacias distribuídas em 12 regiões hidrográficas (BRANCO, 2021); (FERREIRA; SILVA; SOUZA, 2018). Mesmo abundante, os recursos hídricos podem vir a se esgotar. O acesso à água não é igual para todos, tendo em vista que as características geográficas de cada região e as mudanças de vazão dos rios, que ocorrem, por exemplo, com as variações climáticas ao longo do ano, afetam a distribuição desse recurso. Além disso, tem-se ainda problemas enfrentados por diversos municípios com relação ao abastecimento público, que por vezes também afeta essa distribuição. (FERREIRA; SILVA; SOUZA, 2018; BORGES, 2019).

É através da água, esse item tão abundante, que a população deverá perceber primeiro e com mais intensidade os efeitos da mudança do clima, considerando as prováveis alterações nos padrões de precipitação e no escoamento dos rios (ANA, 2015). Isso ocorre pelo fato de o ciclo hidrológico estar relacionado às mudanças de temperatura atmosférica e ao balanço de radiação.

É de se esperar que com o aquecimento global ocorra o aumento da intensidade de chuva e da variabilidade temporal e também espacial da mesma, o que poderá afetar, por exemplo, a disponibilidade da vazão nos rios (ANA, 2015). Desta forma, além de alterações nas disponibilidades médias, as secas e as enchentes poderão ser mais frequentes (ANA, 2015). Visando uma maior compreensão dessas mudanças, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) reúne, analisa e avalia as informações sobre essas alterações climáticas, produzindo relatórios para que sejam analisados e utilizados em futuras decisões políticas.

Para auxiliar os processos de tomada de decisão nas políticas públicas e para prever condições futuras relacionadas às tendências de alterações climáticas, os modelos computacionais tem sido bastante úteis para lidar com problemas ambientais e possíveis alternativas para atenuar impactos (ALMEIDA; SERRA, 2017).

Com os dados hidrológicos mais disponíveis a modelagem hidrológica tem sido uma ferramenta importante de análise. De acordo com Almeida e Serra (2017) a

modelagem hidrológica é essencial para uma predição e quantificação de fenômenos físicos, quando da impossibilidade da quantificação direta de tais fenômenos.

Neste sentido, diversos estudos com modelagem hidrológica têm sido conduzidos buscando avaliar os impactos das Mudanças Climáticas, como por exemplo nas alterações de biomas (NOBRE et al, 2007; VIANA, 2015), no regime de vazões (ADAM; COLLISCHONN, 2013; SANTANA, 2013; ADAM, 2016) na previsão de cheias (GIACOMELLI et al. 2019) nos fluxos de sedimentos (NERANTZAKI et al., 2015; BUSSI et al., 2016; ZHOU et al., 2017; SCHUSTER; FAN; COLLISCHONN, 2020) em bacias hidrográficas. Tais estudos utilizam as projeções de alterações climáticas futuras provenientes de modelos climáticos. Os modelos chamados climáticos globais projetam as probabilidades dos cenários de alterações climáticas futuras em escala continental. São totalizados mais de 60 modelos de centros de pesquisa em modelagem climática global disponíveis para análises de impactos das mudanças climáticas no projeto CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison*) (CGEE, 2014).

Para o último relatório do IPCC (AR5) divulgado em 2013, foram desenvolvidos quatro cenários chamados de RCP's (Representative Concentration Pathways): RCP2.6 (cenário de mitigação), RCP4.5 (cenário de estabilização, médias emissões), RCP6 (cenário de estabilização, médias emissões), e RCP8.5 (cenário de altas emissões de gases de efeito estufa). Com base nas distribuições espaciais de uso dos solos e na emissão atmosférica de poluentes, os dados de cada RCP especificam as concentrações anuais de GEE (Gases de Efeito Estufa) e as emissões antropogênicas até 2100 (Burkett et al., 2014).

Os números que acompanham as siglas indicam a forçante radiativa, que é uma perturbação no equilíbrio energético do planeta e, em geral, é expressa em $W m^{-2}$. Por exemplo, no cenário RCP2.6, projeta-se um aumento da temperatura do ar de cerca de $2^{\circ}C$ comparada ao período pré industrial, o que significa que a forçante radiativa atinge $3 W m^{-2}$ antes do ano 2100 sendo seguida por uma redução em seu valor, já o RCP8.5 é o cenário mais pessimista, em que a temperatura global pode aumentar até $8^{\circ}C$ quando comparada aos valores pré-industriais (REBOITA et al., 2018).

Dentre os modelos hidrológicos utilizados para a avaliação das mudanças climáticas sobre a vazão nos cursos d'água tem-se o MGB, com aplicações em diferentes

regiões do país (GAMA, 2011; PRADO; RODRIGUEZ; TOMASELLA, 2011; MELLER; BRAVO; COLLISCHONN, 2012; PEREIRA; KAYSER; COLLISCHONN, 2012; BARRIOS, 2013; RODRIGUES, 2013; ADAM et al. 2015; PONTES et al., 2017; QUEEN, 2016; GIACOMELLI et al. 2019; KORNOWSKI; FAN, 2019; PELINSON, 2019; POSSA et. al. 2019; SCHUSTER, 2019; DELA COSTA et. al. 2020b).

O estado do Espírito Santo (Brasil) decretou, em 2015, situação de emergência na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim devido à crise hídrica daquele ano e até mesmo de calamidade pública em 38% do estado de acordo com o Informe da Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil da ANA (2016). Com essa crise hídrica ficou explícita a sensibilidade do estado perante as mudanças climáticas e conseqüentemente o abastecimento de água. A Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim contempla um número considerável de municípios sendo 16 dos 78 que o estado possui. Ela é de grande importância social, econômica e ambiental para a região sul do estado principalmente, sendo utilizado para abastecimento público, irrigação, abastecimento do setor industrial, para pesca, criação de animais, entre outros usos (AGERH, 2018).

Entender os efeitos que as mudanças climáticas têm nos processos hidrológicos é importante para o auxílio, junto às esferas governamentais, em tomadas de decisões futuras de políticas públicas. Desta forma, o presente estudo busca avaliar os impactos de cenários de mudanças climáticas sobre o regime de vazões da bacia do rio Itapemirim com o uso do modelo MGB.

2. OBJETIVOS

Avaliar a variação nas vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, no estado do Espírito Santo, frente a cenários de mudanças climáticas apresentados no quinto relatório científico (AR5) do IPCC.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Representar a dinâmica das vazões na bacia do rio Itapemirim utilizando modelagem hidrológica
- Avaliar as modificações no regime de precipitação e temperatura frente aos cenários de mudanças climáticas na bacia do rio Itapemirim
- Avaliar os impactos das mudanças climáticas no regime de vazões da bacia

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O IPCC (2007) define Mudança Climática como as mudanças de clima devido à variabilidade da temperatura seja de forma natural ou também por resultado das atividades antropológicas.

A energia proveniente do sol e os processos que ocorrem na Terra e na atmosfera, como a reflexão, absorção e emissão de energia, são os responsáveis pela existência do clima terrestre (CARLOS; SANTOS, 2009). Tais processos também são capazes de proporcionar a variação temporal e espacial do clima, podendo se caracterizar como variação sazonal, interanual, interdecadal entre outros (ANA, 2015).

De toda energia que vem do sol para a Terra, cerca de 30% do que atinge a parte superior da atmosfera é refletida diretamente para o espaço. A parcela que não é refletida de volta para o espaço, é absorvida pela superfície da Terra e pela atmosfera. Visando manter o equilíbrio, a própria Terra irradia a mesma quantidade de energia de volta para o espaço, através da emissão de radiação com comprimento de onda mais longo, ou seja, radiação térmica infravermelha (CARLOS; SANTOS, 2009).

O mecanismo natural na qual parte dessa radiação de comprimento mais longo que é emitida pela superfície terrestre seja absorvido por substâncias contidas na atmosfera, como por exemplo água e gás carbônico, é denominado efeito estufa, sendo tal fenômeno o que permite manter a temperatura da atmosfera em níveis que possibilitam a existência de vida no planeta (CARLOS; SANTOS, 2009).

As substâncias absorvedoras da radiação proveniente da superfície terrestre na atmosfera, que são conhecidas como gases de efeito estufa (GEE), atuam, então, como um cobertor para manter na superfície da terra uma temperatura média superior à que teria se a atmosfera não absorvesse a radiação emitida pela superfície. A quantidade dessas substâncias na atmosfera é determinada por um equilíbrio entre fontes e sumidouros. Sendo as fontes os processos que geram GEE e os sumidouros são processos que os destroem ou absorvem. Como exemplos de sumidouro de carbono, estão as plantas que, para seu crescimento, retiram CO₂ da atmosfera através da fotossíntese, armazenando carbono em sua biomassa, reduzindo as concentrações de CO₂ na atmosfera (CARLOS; SANTOS, 2009).

Os GEE estão presentes de forma natural na atmosfera há milhões de anos. Entretanto, os seres humanos vêm alterando os níveis desses gases ao introduzir novas fontes e interferir nos sumidouros naturais, acarretando em uma alteração do clima global. Com o aumento das emissões dos GEE, observado principalmente nos últimos 150 anos, mais calor do que o normal passou a ficar retido (CARLOS; SANTOS, 2009; MARENGO, 2006).

Outro fator que tem contribuído para a alteração do clima global é o acelerado crescimento demográfico e a evolução nas condições de vida da civilização, que tem exercido significativa pressão sobre a demanda de recursos naturais e alterado as condições ambientais. Uma dessas pressões é o aumento do efeito estufa, resultando em alteração climática de forma diferenciada em diversas regiões do planeta e aumento da temperatura média do globo (ANA, 2015).

As atividades industriais também têm afetado o clima terrestre na sua variação natural, indicando que a atividade humana é um fator determinante no aquecimento (MARENGO, 2006).

3.1.1. Impacto das Mudanças Climáticas nos Recursos Hídricos

As mudanças climáticas que estão ocorrendo no planeta em decorrência das emissões de gases e do aumento do efeito estufa, podem alterar o ciclo hidrológico, e conseqüentemente o regime e a disponibilidade hídrica nas bacias hidrográficas, visto que variações de temperatura levam a alterações nos padrões de pressão atmosférica e dos ventos. Dessa forma, é esperado mudanças nos padrões de precipitação, que por sua vez podem propiciar a geração de conflitos pelo uso da água (FREITAS; SOITO, 2008). Portanto é necessário o estudo destes impactos para o gerenciamento dos recursos hídricos de forma adequada.

Além disso, o aumento da temperatura média da Terra devido a intensificação das mudanças climáticas tem ocasionado o derretimento de geleiras, que propicia inúmeros problemas, dentre os principais: o aumento do nível do mar. Esse aumento do nível do mar pode ocasionar o avanço de água salgada nas áreas de foz de rios, o que resulta em escassez de água, visto que prejudica o sistema de abastecimento de água potável, o uso da mesma na agricultura e também nas indústrias. A salinização que pode ocorrer devido ao aumento do nível do mar pode ser ainda mais grave se a

região em questão já estiver passando por períodos de seca, pois uma maior área da calha do rio pode ser invadida pela água do mar.

De acordo com o quinto Relatório do IPCC, a parcela da população mundial que está a enfrentar escassez de água e a parcela a ser afetada por grandes inundações de rios cresce com o nível de aquecimento no século XXI. O relatório também prevê que as alterações climáticas no decorrer desse século acarretem em uma significativa redução dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos nas regiões subtropicais mais secas, intensificando a competição e os conflitos pela água. Sendo que nas regiões atualmente secas, a frequência das secas irá, provavelmente, aumentar no final do século XXI (no âmbito do RCP8.5). Em contrapartida, estima-se que os recursos hídricos aumentem com o aumento da latitude e que ocorra redução da qualidade da água não tratada além de possibilitar riscos adicionais para a qualidade da água potável com tratamento convencional, devido a fatores de interação; aumento dos sedimentos, nutrientes e cargas poluentes de chuvas torrenciais; aumento da concentração de poluentes durante as secas; e perturbação das estações de tratamento durante as inundações (IPCC, 2014).

Outro impacto a ser mencionado trata-se do sistema hidrelétrico brasileiro para geração de energia, que é fortemente dependente dos regimes hidrológicos das bacias hidrográficas. Como existe um desequilíbrio regional na disponibilidade da água – que pode ser observado através das secas recorrentes na região Nordeste, da degradação de rios e solos na região Sudeste, dos riscos socioambientais de cada região e da rápida elevação da demanda por água e energia em todo o território nacional – novos e antigos empreendimentos hidrelétricos estão, em maior ou menor grau, vulneráveis às mudanças climáticas (FREITAS; SOITO, 2008).

Logo, percebe-se que entender o impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos de determinada região se torna fundamental. Além disso, tem-se que as respostas obtidas em decorrência de modificações climáticas podem ser divergentes entre diferentes bacias hidrográficas, visto que em cada unidade hidrológica podem existir diversas características físicas específicas da região, como tipo de solos, litologia, relevo e outros (ADAM, 2011).

Dessa forma, estudar a vulnerabilidade e os impactos da modificação climática potencial sobre os recursos hídricos no Brasil, tendo como base a unidade da bacia

hidrográfica é um assunto estratégico para o país, visto que um dos principais efeitos das mudanças e variabilidade do clima se faz sentir nos escoamentos gerados nas bacias hidrográficas (ADAM; COLLISCHONN, 2013). Assim, torna-se essencial a análise desses impactos para o adequado gerenciamento dos recursos hídricos (TUCCI, 2002).

3.1.2. Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC)

A discussão acerca de possíveis mudanças no clima da Terra, tem sido abordada desde a década de 80, na qual em 1988 a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma) criaram o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). O IPCC foi destinado a apoiar com trabalhos técnicos e científicos as avaliações do clima e os cenários de mudanças climáticas para o futuro. Tal produção de avaliações surgiu com a finalidade de assegurar alta credibilidade tanto na comunidade científica como na política (MARENGO, 2008).

Dentro do IPCC, existem três grupos de trabalho para elaboração das avaliações: O Grupo 1, que avalia os aspectos científicos do sistema climático e de mudança do clima; o Grupo 2, que avalia os efeitos das mudanças climáticas sobre a natureza e a sociedade; e o Grupo 3, que discute os métodos de adaptação e mitigação das mudanças climáticas (MARENGO, 2008).

No ano de 1990 o IPCC publicou seu primeiro relatório, (FAR – *First Assessment Report*), na qual fomentou-se o surgimento de um fórum internacional onde os governos pudessem debater questões referentes ao clima e ao meio ambiente. Além disso, o primeiro relatório foi crucial para a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*). Em 1995 o segundo relatório (SAR – *Second Assessment Report*), apontou a influência humana como a principal causa das mudanças climáticas. O relatório também serviu como base científica para as discussões da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima de 1997, e a formulação das metas de redução de emissão dos gases poluentes para os países desenvolvidos, estabelecidas pelo Protocolo de Kyoto. Já o terceiro relatório foi lançado no ano de 2001 (TAR – *Third Assessment Report*), e enfatizou que o

aquecimento global do século 21 seria maior do que o previsto. O quarto relatório foi publicado em 2007 (AR4 – *Fourth Assessment Report*) e alertou que o aquecimento global e as mudanças climáticas chegaram a uma velocidade e uma intensidade inédita, sendo necessário apenas uma pequena variação na temperatura para que ocorresse eventos climáticos extremos, como tempestades, furacões, inundações e secas. Por fim, o quinto e mais recente relatório (AR5 – *Fifth Assessment Report*), publicado em 2014, deixou claro que os níveis de emissões atuais causarão impactos irreversíveis.

3.1.2.1. Cenários do IPCC

De acordo com o IPCC (2013), os riscos futuros com relação às mudanças climáticas variam substancialmente entre as diferentes possibilidades para o desenvolvimento, e a importância relativa do desenvolvimento e das mudanças climáticas sofrem modificações setoriais, regionais e temporais. Dessa forma, os cenários são ferramentas úteis para caracterizar possíveis caminhos para o desenvolvimento socioeconômico frente às mudanças climáticas, seus riscos e implicações políticas.

No último relatório publicado pelo IPCC, o AR5, foi utilizado um novo conjunto de cenários, os RCPs (Representative Concentration Pathways), sendo eles RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5. Os RCPs são nomeados de acordo com os níveis das forçantes radiativas. Dessa maneira, determinado RCP-Y representa um cenário no qual a forçante radiativa ao final do século XXI corresponde a $Y \text{ W.m}^{-2}$ (IPCC, 2014).

O cenário RCP4.5 pressupõe que a forçante radiativa estabiliza pouco depois de 2100, sem ultrapassar o nível de radiação a longo prazo de $4,5 \text{ W/m}^2$. Essa projeção é consistente com a estabilização da demanda energética mundial, programas de reflorestamento fortes e políticas climáticas rigorosas. Além disso, sugere uma estabilização das emissões de metano associada a um leve aumento das emissões de CO_2 (SILVEIRA et al., 2016).

Já o cenário RCP 8.5 sugere um crescimento contínuo da população associada a um desenvolvimento tecnológico lento, resultando em elevadas emissões de CO_2 . Este cenário é considerado o mais pessimista para o século XXI em termos de emissões de gases do efeito estufa, sendo consistente com nenhuma mudança política para

reduzir as emissões e forte dependência de combustíveis fósseis (SILVEIRA et al., 2016).

3.2. MODELOS CLIMÁTICOS

Modelos climáticos têm sido cada vez mais utilizados com o intuito de se obter projeções de cenários futuros e também para realizar estudos sobre impactos de ordem ambiental e socioeconômica (VALÉRIO; JÚNIOR, 2015).

Denomina-se de modelos simples aqueles que representam o clima global através de valores médios globais, porém não consideram as variabilidades temporais e espaciais do processo. Modelos verticais ou horizontais unidimensionais analisam vários elementos climáticos, mas com resultados limitados. Já os Modelos Globais Climáticos (GCM) são tridimensionais no espaço e consideram os principais processos e suas interações. Estes modelos buscam representar os diferentes processos na atmosfera e sua interação com a superfície da terra e água usando equações matemáticas. Os modelos discretizam o globo em elementos de 100 a 1000 km de lado e de 1 a 5 km de altura, e a topografia e os processos físicos do sistema em cada elemento são considerados valores médios (TUCCI, 2002).

A modelagem climática é a ferramenta base dos resultados divulgados pelo IPCC e tantos outros estudos sobre o clima, sendo de extrema importância na busca por soluções para mitigar os possíveis impactos das mudanças e para auxiliar a gestão. Com isso, nota-se que os modelos climáticos têm extrema relevância no processo de conhecimento dos cenários projetados e seus efeitos em diversas regiões (VALÉRIO; JÚNIOR, 2015).

Diferentes GCM's têm sido desenvolvidos para simular o clima atual e são usados para estimar futuras mudanças. Os GCM's são considerados pela maioria da comunidade científica como a melhor ferramenta, visto que abordam de maneira quantitativa o comportamento dos compartimentos climáticos (atmosfera, oceanos, vegetação, solos, etc.) e suas interações, tornando possível que se simulem prováveis cenários de evolução do clima para vários cenários de emissões dos gases de efeito estufa (ADAM; COLLISCHONN, 2013).

Modelos Climáticos Globais, apesar de citado anteriormente como a melhor ferramenta para prever o comportamento do clima global ao longo do tempo, possui

uma resolução grosseira, de acordo com Kendon et al (2010) e devido a isso são apenas capazes de fornecer as informações para grandes escalas. Aumentando a resolução espacial do Modelos Climáticos Globais pode-se haver uma melhoria das previsões Regionais, entretanto, o espaço de armazenamento dos arquivos deveria ser muito grande e o custo computacional aumentaria significativamente (Boyle, 1992).

Para então, aumentar a capacidade de compreensão do comportamento climático para regiões menores deve-se haver um aninhamento de Modelos Climáticos Regionais pois esses possuem maior resolução.

3.2.1. Modelos Climáticos Regionais

Como já citado, modelos globais climáticos são utilizados como ferramentas para projeções de futuras mudanças climáticas e isso ocorre como consequência de cenários futuros das chamadas forçantes climáticas, que incluem como exemplo gases de efeito estufa. O grau de incerteza do cenário climático projetado do planeta é maior quando se deseja fazê-lo para regiões usando modelos globais, e por esse motivo utilizam-se modelos regionais associados ao global (AMBRIZZI et al., 2007).

Apesar da complexidade dos processos físicos incorporados às versões mais recentes dos modelos globais, suas resoluções em geral podem não ser capazes de capturar detalhes consideráveis em escalas inferiores da grade, como por exemplo desses detalhes não capturados tem-se: as superfícies, cobertura das nuvens, uso dos solos e topografia que podem ser importantes para a avaliação dos impactos das mudanças climáticas futuras em escala local. Sendo assim, para obtenção de simulações de longo prazo das mudanças climáticas em alta resolução, os Modelos Climáticos Regionais (RCMs) são aninhados em Modelos Climáticos Globais (GCMs), para que o modelo climático regional forneça os detalhes necessários para o estudo dos impactos locais (CHOU et al., 2014; TSCHOKE, 2014).

Os Modelos Climáticos Regionais utilizam as condições de contorno dos Modelos Climáticos Globais, permitindo assim a redução do estudo para uma escala com ordem de 20 km. O maior detalhamento fornecido pelo modelo regional possibilita aumento da resolução permitindo simulação explícita de processos de mesoescala e

melhorias na representação da topografia, uso da terra e divisão terra-mar (MARENGO et al., 2012; CRUZ et al. 2017).

Alguns modelos regionais foram muito utilizados pela literatura, como exemplo temos RSM que conforme citado por Nobre et al. (2001) tem sido utilizado para previsões climáticas no Nordeste. Outro modelo Regional utilizado é o Eta, na qual Sousa (2017) utilizou o ETA-HADGEM2-ES e ETA-MIROC5 na avaliação de cenários climáticos futuros para o Estado do Tocantins. Outros exemplos de Modelos Climáticos Regionais que são utilizados são: HadRM3P, RegCM3, Eta-CCS.

Dentre esses Modelos Climáticos Regionais, o modelo ETA tem sido utilizado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) operacionalmente desde 1996 para fornecer previsões meteorológicas na América do Sul (MARENGO et al., 2012). Além disso, vários estudos têm sido realizados utilizando-se o modelo regional ETA para o desenvolvimento de cenários futuros de mudanças climáticas com suas projeções (MARENGO et al., 2012; LYRA et al., 2018; CHOU et al., 2014; ADAM et al., 2015).

3.2.1.1. Modelo Climático Regional ETA

O modelo climático regional Eta consiste em pontos de grade limitados por uma área de modelagem, sendo considerado abrangente, com dinâmica e física completa. Uma das características do modelo é a coordenada vertical Eta, que representa a topografia em etapas. As superfícies aproximadamente horizontais da coordenada reduzem os erros no cálculo das derivadas horizontais, em particular a força do gradiente de pressão; portanto, a coordenada Eta é especialmente adequada para trabalhar em regiões de topografia íngreme, como por exemplo a Cordilheira dos Andes na América do Sul (LYRA, et al., 2018).

3.3. MODELAGEM HIDROLÓGICA

O entendimento sobre os processos hidrológicos é fundamental principalmente na gestão dos recursos hídricos e em projetos de obras hidráulicas. Pode-se dizer que a modelagem hidrológica é a representação matemática do comportamento dos sistemas hídricos. Como por exemplo os modelos que transformam chuva em vazão,

representando os processos na qual a precipitação se transforma em escoamento e como este se propaga em determinada região (FAN, 2011).

Um modelo é um sistema de equações e procedimentos composto por variáveis e parâmetros. Os parâmetros mantêm seu valor inalterado durante todo o processo estudado. Assim, um parâmetro possui o mesmo valor para todos os intervalos de tempo, o que não significa que ele não possa variar espacialmente. Entretanto, pode ocorrer das variáveis mudarem ao longo do tempo que o modelo for executado (RENNÓ; SOARES, 2008).

Os modelos hidrológicos podem ser de base física, empíricos ou conceituais. Os modelos de base física são aqueles que buscam representar os processos hidrológicos internos, além da vazão de saída. Já os modelos empíricos são aqueles que representam apenas as variáveis de saída a partir das variáveis de entrada, sem a necessidade de representar os processos internos do sistema (FAN, 2011).

De acordo com TUCCI (1998), os modelos podem também ser divididos em concentrados e distribuídos, quando se leva em consideração a variabilidade espacial da bacia. Os modelos distribuídos são aqueles nos quais há representação da variabilidade espacial das variáveis de entrada e das variáveis de estado. Por outro lado, os modelos concentrados são aqueles que representam o sistema hídrico como uma entidade adimensional, geralmente utilizando equações empíricas.

O domínio sobre o ciclo hidrológico é imprescindível para a modelagem hidrológica conforme evidenciado por Santos (2009). Deve-se haver compreensão sobre os processos físicos que ocorrem em cada etapa do ciclo, desde a evapotranspiração até a precipitação e infiltração. Esses processos são apresentados por meio de métodos matemáticos.

Por meio da modelagem também é possível verificar a consistência dos dados disponíveis e observados que habitualmente apresentam séries de curta extensão, obtidas a partir das análises hidrológicas das bacias hidrográficas e assim, com esses dados os modelos hidrológicos podem ser calibrados, o que consente, por exemplo, na utilização de modelos para obter dados em bacias que não possuem monitoramento. Além disso, a representação promovida pela modelagem hidrológica auxilia no entendimento dos processos que ocorrem nos sistemas hídricos, e estão

sendo cada vez mais utilizadas em estudos ambientais, pois ajudam a entender impactos e prever alterações futuras (SANTOS, 2009; RENNÓ; SOARES, 2008).

3.3.1. Modelagem Hidrológica para Mudanças Climáticas

A modelagem hidrológica também é uma ferramenta para realizar projeções dos impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos a partir de cenários fornecidos por modelos climáticos (globais ou regionais). Os dados de um modelo climático fornecem ao modelo hidrológico as projeções sobre o estado dos componentes da fase atmosférica para a fase terrestre do ciclo hidrológico (MOURA, 2017).

Diversos estudos têm utilizado modelos hidrológicos, por exemplo combinados com dados de GCMs para analisar impactos das mudanças climáticas na geração de energia hidrelétrica (MOURA, 2017; CHILTOKI et al., 2017; MINVILLE et al., 2009). Já Amin et al. (2017) avaliaram os impactos das mudanças climáticas sobre os processos hidrológicos na península da Malásia utilizando um modelo hidrológico acoplado a GCM's.

Têm sido utilizados também os modelos hidrológicos para estudar os impactos causados pelas mudanças climáticas nos processos de armazenamento e geração de escoamento em bacias subtropicais (SIEFERT; MARAGON; SANTOS, 2018) e para impactos hidrológicos de mudanças climáticas nas bacias hidrográficas (BRAVO et al. 2014; KARLSSON et al., 2016; MOURA, 2017; ZHANG et al., 2015; SCHUSTER; FAN; COLLISCHONN, 2020).

O Modelo de Grandes Bacias desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (MGB) é um modelo já utilizado em diferentes aplicações, dentre elas a avaliação de impactos de mudanças do clima.

3.3.2. Modelo Hidrológico MGB

O modelo foi desenvolvido por Collischonn (2001) e desde então vem sendo aprimorado. O modelo hidrológico MGB é um modelo semidistribuído de transformação chuva-vazão e transporte do escoamento em rios, o qual utiliza dados de precipitação, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica para calcular as vazões dos rios de uma bacia hidrográfica.

Collischonn (2001) concluiu que para regiões maiores que 1000 km² ocorre uma melhora na qualidade dos resultados. As regiões devem ter outras características para que o modelo obtenha melhor aplicação, como descrito no site do grupo Hidrologia de Grande Escala, (<https://www.ufrgs.br/hge/mgb/o-que-e/>):

- Regiões nas quais os processos de propagação fluvial não podem ser desprezados, ou seja, que o tempo de viagem da água na rede de drenagem seja grande e que os processos de translação e atenuação de ondas das cheias sejam significantes na compreensão da situação da bacia.
- Regiões onde a diferença entre os divisores de água superficial e de água subterrânea pode ser desconsiderada;
- Regiões onde a chuva, tipo e uso de solo, entre outras características não podem ser consideradas uniformes em toda a área, e por isso os métodos utilizados mais tradicionalmente na hidrologia passam a não ser apropriados;
- Regiões onde a caracterização do terreno é difícil de ser realizada com medições in-loco, sendo preciso o amparo de técnicas de sistema de informações geográficas e sensoriamento remoto.

Como explica Collischonn (2001), o modelo foi desenvolvido para a simulação de grandes bacias e teve como base os modelos LARSIM e VIC com algumas modificações, e é composto pelos módulos: balanço de água no solo, evapotranspiração, escoamentos (superficial, subsuperficial e subterrâneo) e escoamento na rede de drenagem.

A bacia hidrográfica em que o modelo é aplicado é dividida em minibacias, que são unidades irregulares definidas a partir de dados de relevo de um modelo Digital de Elevação (MDE). No modelo, a bacia também pode ser subdividida em sub-bacias (macro áreas de drenagem que abrangem várias minibacias) para facilitar a calibração do modelo hidrológico (FAN, 2011).

Cada minibacia é dividida em Unidades de Resposta Hidrológica (URH) e o balanço de água vertical é realizado em cada uma dessas URH's. As URH's, são definidas considerando dados de Tipo de Solo e Uso do Solo (Cobertura vegetal). Uma série de parâmetros são utilizados, como por exemplo o armazenamento máximo no solo e o índice de área foliar (IAF) da vegetação. A quantidade de URH's utilizada depende

dos grupos resultantes das combinações das características de uso do solo, cobertura vegetal e tipo de solo, ou seja, são cada URH corresponde a áreas de comportamento hidrológico similares definidas.

Os dados climatológicos são obtidos a partir de dados de estações climatológicas e os de precipitação das minibacias são adquiridos por meio da interpolação dos de chuvas das estações próximas. Com os dados para cada minibacia, consegue-se realizar o balanço hídrico no solo para cada URH.

Para simular o processo vertical de evapotranspiração em cada minibacia o modelo utiliza a equação de Penman Monteith, que pode ser aplicada diretamente ao tipo de cobertura vegetal.

Em uma minibacia, os volumes drenados de cada URH dão origem ao escoamento gerado no seu interior e que chega até a rede de drenagem, onde pode se juntar com o escoamento de outras minibacias e propagado até o exutório da bacia. A versão atual do MGB, além da propagação das vazões pelo método de Muskingum-Cunge (COLLISCHONN, 2001), também inclui o método de propagação inercial de vazões ao algoritmo do modelo (PONTES et al., 2015). Mais detalhes e informações referentes aos processos do MGB podem ser encontrados nos estudos de COLLISCHONN (2001) e PONTES (2016).

Constata-se que o modelo MGB tem apresentado bons resultados em bacias brasileiras, com diferentes características, tanto para simulação quanto para previsão (LOPES et al. 2015; KORNOWSKI, MAINARDI, FAN, 2019; POSSA et al. 2019). Pelo fato de ter uma forte base física, o modelo MGB é adequado para ser utilizado em estudos de avaliação de impactos de mudanças no uso do solo ou mudanças climáticas (ADAM, 2011).

O MGB já foi utilizado e obteve sucesso em diversos estudos sobre impactos de mudanças climáticas em bacias hidrográficas, incluindo a bacia do rio Grande (NÓBREGA et al. 2011) na qual foram quantificadas as incertezas dos impactos que ocorrem das mudanças climáticas na descarga do rio Grande; a bacia do rio Ibicuí, importante afluente do rio Uruguai, na qual avaliou-se os impactos das mudanças climáticas e estimou as incertezas dessas previsões (ADAM, 2011); a bacia do rio Quaraí, entre o RS e o Uruguai (COLLISCHONN et al., 2011) onde foram analisadas a hidrologia local que não possui uma sazonalidade hidrológica bem definida; a bacia

do Rio Paraná, em que os autores avaliaram os impactos das mudanças climáticas sobre as vazões máximas e mínimas (ADAM et al. 2015); a bacia do Alto Teles Pires, onde foi analisado o uso e ocupação do solo da região (RODRIGUES et al. 2016); a bacia do Rio Piranhas Açu na qual os autores aplicaram o modelo MGB para definir o comportamento hidrológico da bacia para verificar se os dados obtidos reproduziam de maneira satisfatória os observados (SILVA; MEDEIROS, 2018); a bacia do Rio Negro no Rio Grande do Sul, na qual avaliou-se as variações nas vazões da bacia frente aos cenários de mudanças climáticas (PELINSON, 2019) e a bacia da Laguna dos Patos (SCHUSTER, 2019) onde foram avaliados cenários futuros de mudanças climáticas previstas por modelos globais do 5º relatório do IPCC como indicadores de disponibilidade hídrica.

3.3.2.1. Parâmetros do MGB

Conforme descrito no estudo de Collischonn (2001), que explica detalhadamente a estrutura do modelo MGB, existem dois tipos de parâmetros, os fixos e os calibráveis. De acordo com Fan (2011) os parâmetros fixos são aqueles nos quais pode haver medição dos seus valores, ou que podem também estar relacionados com a vegetação e não são modificados na calibração do modelo. Já os valores dos parâmetros calibráveis, modificam-se a cada aplicação do modelo, a fim de se obter um ajuste adequado entre as vazões simuladas e as observadas.

A Tabela 3.1 a seguir apresenta os parâmetros fixos e calibráveis utilizados pelo modelo MGB.

Tabela 3.1 – Parâmetros do modelo MGB.

PARÂMETROS FIXOS	
Índice de Área Foliar (IAF)	O IAF expressa a relação entre a área das folhas de todas as plantas e da área de uma parcela de solo. É um parâmetro adimensional ($m^2.m^2$) e que, em geral, pode ser medido ou estimado a partir de informações na bibliografia
Albedo	O albedo é a parcela da radiação solar que é refletida ao atingir a superfície do solo, considerando sua cobertura vegetal.

Resistência Superficial	A resistência superficial representa a resistência ao fluxo de umidade do solo, através das plantas, até a atmosfera. Esta resistência é diferente para os diversos tipos de plantas e depende de variáveis ambientais como a umidade do solo, a temperatura do ar e a radiação recebida pela planta.
Altura do Dossel	A altura média da vegetação é utilizada no modelo hidrológico para estimar a resistência aerodinâmica, que atua no controle da evapotranspiração. Quanto maior a resistência aerodinâmica, menor é o fluxo de evapotranspiração. A resistência aerodinâmica é considerada menor em florestas, onde a altura média da vegetação é maior e intensifica a turbulência do vento.
PARÂMETROS CALIBRÁVEIS	
Capacidade de Armazenamento do Solo (W_m)	Capacidade de armazenamento de água no solo
Forma da relação entre armazenamento e saturação (b)	Parâmetro empírico que define a variabilidade da capacidade de armazenamento do solo em torno de W_m
Vazão durante a estiagem (K_{bas})	Parâmetro que controla a vazão durante a estiagem. Valores mais altos implicam em maior escoamento subterrâneo
Quantidade de água que escoia subsuperficialmente (K_{int})	Parâmetro controla a quantidade de água da camada de solo que escoia subsuperficialmente
Forma da curva de redução da drenagem intermediária (XL)	Controla a forma da curva de redução da drenagem intermediária ou subsuperficial do solo
Fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial (CAP)	Controla a possibilidade de retorno de água subterrânea para a camada de solo
Armazenamento Residual (W_c)	Limita o armazenamento residual e subterrâneo
Calibração da propagação superficial (CI)	Parâmetro para calibração da propagação superficial das minibacias
Calibração da propagação sub superficial (CS)	Parâmetro para calibração da propagação subterrânea nas minibacias
Retardo do reservatório subterrâneo (CB)	Parâmetro que representa o retardo do reservatório subterrâneo.

Vazão de Base (QB)	Parâmetro que representa o fluxo de base da minibacia.
--------------------	--

Fonte: FAN (2011)

4. METODOLOGIA

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida como objeto desse estudo foi a Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, que se localiza na região sul do estado do Espírito Santo e é parte da região hidrográfica do Atlântico Sudeste. O rio Itapemirim é formado pela confluência dos rios Braço Norte Direito e Braço Norte Esquerdo, no município de Alegre, percorrendo cerca de 135 km até sua foz. Os principais afluentes da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim são os rios Castelo, rio Muqui do Norte, rio Braço Norte Esquerdo e Rio Braço Norte Direito. Após a contribuição desses principais corpos hídricos, o Rio Itapemirim deságua no oceano Atlântico, no município de Marataízes.

De acordo com AGERH (2018) essa bacia tem uma área de drenagem em torno de 6.181 km² e possui como limites físicos ao norte e noroeste a Bacia Hidrográfica do Rio Doce, à nordeste as Bacias Hidrográficas dos Rios Jucu, Benevente e Novo, ao sul a Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana e ao leste o Oceano Atlântico, e além disso abrange 17 municípios. Ainda de acordo com a AGERH (2018) a região da bacia apresentava uma população de aproximadamente 522.932 habitantes em 2017. Um mapa de localização da bacia pode ser observado na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim.



Legenda:

- Rede de Drenagem
- Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim
- Limites Municipais/Estaduais



Fonte: Autoria própria.

A densidade da rede de drenagem varia de média a alta na maior parte da bacia, onde afloram rochas do embasamento cristalino, evidenciando maior escoamento superficial e pouca infiltração das águas pluviais (OLIVEIRA et al., 2018).

De acordo com a classificação de Köppen, a região da bacia do Rio Itapemirim, possui os tipos climáticos subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno (Cwb), clima subtropical de inverno seco e verões quentes (Cwa) e clima tropical, com estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (Aw).

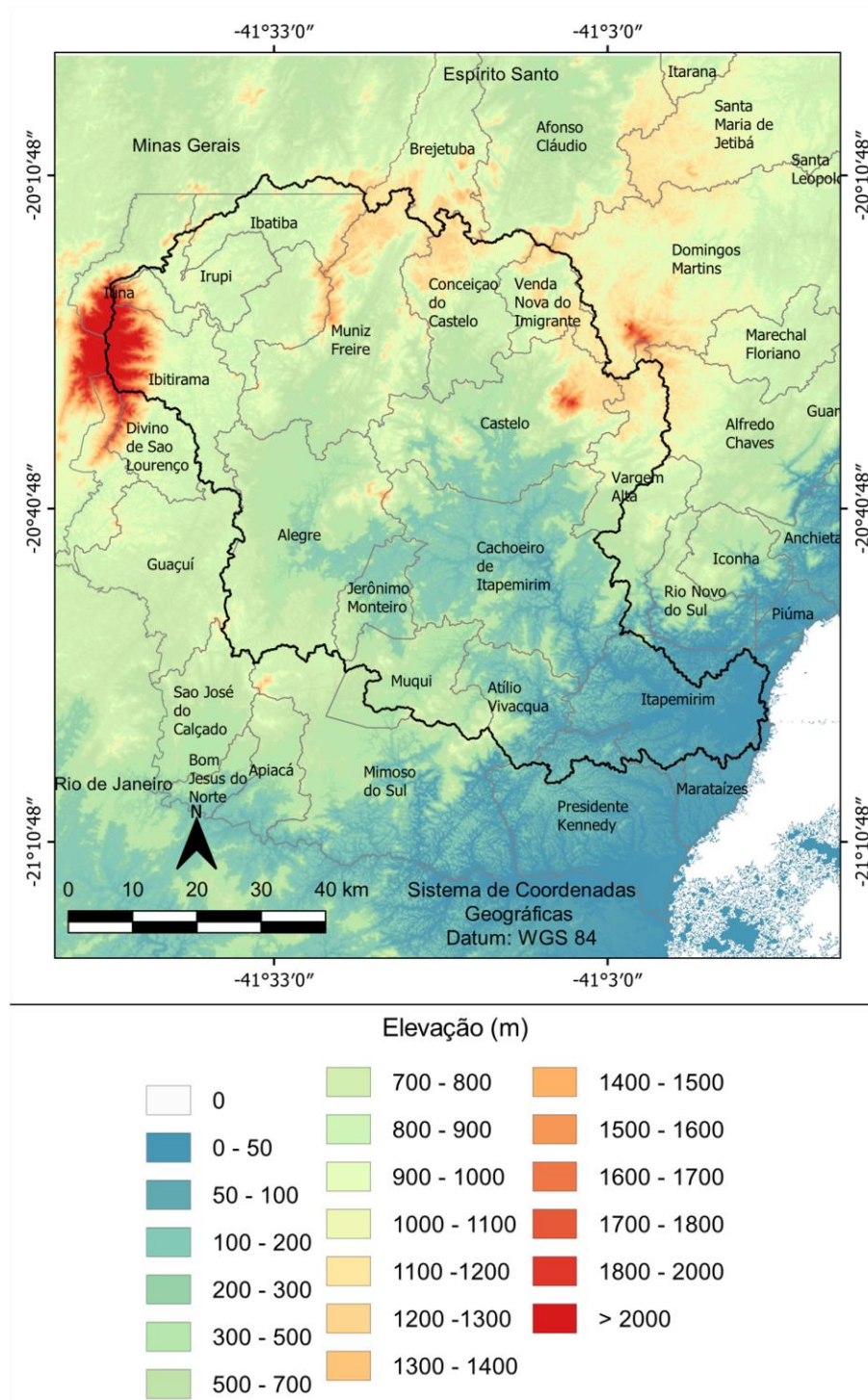
A cobertura vegetal na bacia é de Mata Atlântica, que se caracteriza como Floresta Ombrófila Densa na faixa norte, enquanto na porção sul verifica-se Floresta Estacional Semidecídua conforme informado no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo (2018).

A precipitação anual acumulada na região varia entre 1.500 e 1.800 mm, sendo que no trecho médio da bacia o valor se reduz para a faixa de 1.000 e 1.500 mm. Ressalta-se ainda que os valores mais baixos estão situados no litoral (PERHES, 2018).

Observa-se também que a região possui uma maior incidência de chuva quando comparada ao restante do Estado do Espírito Santo, o que se deve majoritariamente à topografia acidentada da Serra do Caparaó, onde se localizam as nascentes da bacia em questão (AGERH, 2018).

Quanto ao relevo da bacia, este é caracterizado como acidentado, ocorrendo na porção oeste e interior da bacia a presença de planaltos, e na região costeira ou litorânea a predominância de planícies. Na Figura 4.2 é apresentado o mapa de relevo da bacia, realizado com o Modelo Digital de Elevação (MDE) de 90 m do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), obtido através do projeto Brasil em Relevo <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/> disponibilizado pela Embrapa. Diversos estudos também tem considerado o SRTM como boa opção, como é o caso de Lopes (2017), Fagundes et al (2019), Fassoni e Paiva (2019), Fagundes et al (2020).

Figura 4.2 – Mapa de relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com o Diagnóstico e Prognóstico das Condições de Uso da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, publicado em janeiro de 2018, a área de estudo já enfrenta conflitos relacionados ao uso da água. Diversas ilegalidades como construção de poços escavados em Área de Proteção Permanente (APP), desvio de

cursos hídricos, construção de barragem entre outros já foram notificados ao longo da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim. Ressalta-se ainda que tais conflitos ocorreram com maior frequência durante o ano de 2015, ano no qual uma forte crise hídrica afetou a região e impactou a agricultura e o setor industrial, além de ter afetado o abastecimento a população. A situação durante o ano de 2015 foi tão crítica que mais da metade dos municípios da bacia decretaram estado de emergência e por ordem governamental, as companhias de abastecimento de água tiveram que revisar seus contratos com os setores industriais (VAREJÃO; ARPINI, 2015; SECA, 2015).

Com isso, tem-se um indicativo de que a ocorrência de conflitos como esses podem vir a se tornar recorrentes com as mudanças do clima, visto que uma das consequências é a ocorrência de períodos severos de secas.

Além disso, a bacia do Rio Itapemirim é a bacia no estado do Espírito Santo que possui o maior número de municípios dependentes, sendo fundamental na manutenção das principais atividades econômicas destes, como a extração e o beneficiamento de rochas ornamentais e a agricultura.

4.2 DADOS UTILIZADOS

Para a aplicação do modelo MGB são necessários alguns dados de entrada, como por exemplo dados hidrológicos e meteorológicos, os quais consistem em arquivos que contenham informações de vazão, chuva e clima, sendo este último constituído de dados de temperatura, pressão, insolação, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Os dados hidrológicos necessários para aplicação do modelo MGB são referentes à chuva e à vazão, e a principal finalidade da utilização das séries de vazão é na calibração dos parâmetros do modelo e na validação dos resultados.

Além destes dados, são necessários mapas de uso do solo (cobertura vegetal) e tipo de solo e Modelo Digital de Elevação (MDE).

Para realizar as simulações hidrológicas no período futuro, também é necessário obter os dados das variáveis climáticas provenientes dos modelos climáticos.

O processo de obtenção de todos esses dados mencionados acima está disposto nos itens a seguir.

4.2.1 Dados Topográficos

Como já descrito no item 4.1, o Modelo Digital de Elevação utilizado foi o do SRTM, com resolução de 90 m e disponibilizado pela Embrapa. Esse arquivo é útil para realização de diversos procedimentos durante a discretização da área de estudo, como por exemplo a delimitação da bacia, das sub – bacias, minibacias e da rede de drenagem.

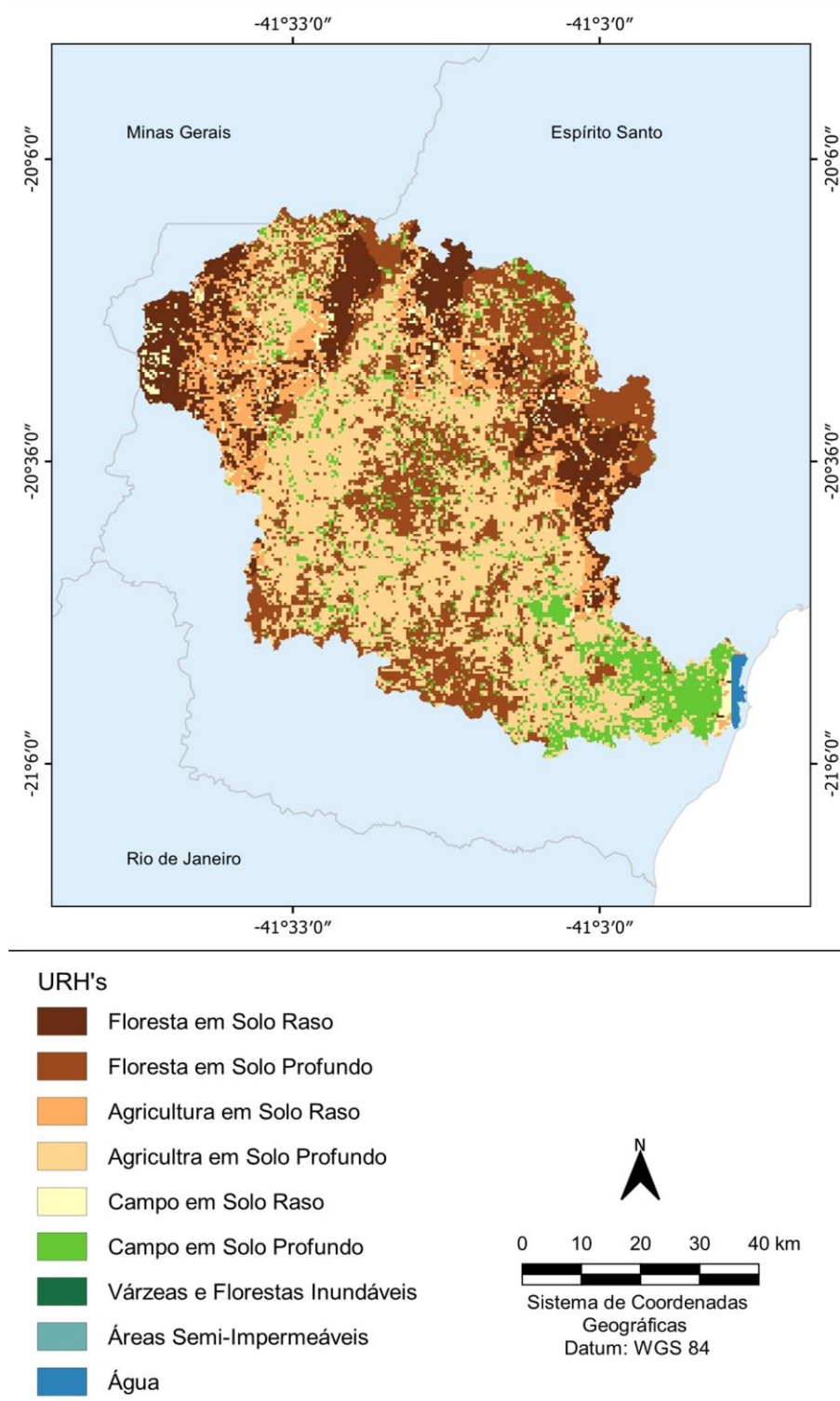
4.2.2 Dados de Uso e Tipo de Solo

Com as informações de uso e tipo de solo da bacia pode-se encontrar as Unidades de Resposta Hidrológica, que como o próprio Manual de Aplicação do MGB informa, são regiões da bacia que possuem mesmas características quanto a atributos geológicos e ao tipo de uso do solo. Em tese, essas unidades apresentariam as mesmas respostas quanto aos parâmetros da modelagem, como a capacidade de armazenamento do solo ou de geração de escoamento. Essas unidades de respostas podem ser obtidas de diversas maneiras, entre elas, utilizando uma base de dados externa do tipo vetorial ou utilizando o Mapa de Unidades de Respostas Hidrológicas (URHs) da América do Sul, que foi o caso deste trabalho.

O Mapa de Unidades de Respostas Hidrológicas (URHs) da América do Sul tem sido utilizado em diversas aplicações com o modelo MGB e os resultados das simulações tem sido satisfatórios nestes casos (Fan et al., 2015).

O mapa de Unidades de Resposta Hidrológica (URH) utilizado foi desenvolvido por Fan et al. (2015) e é disponibilizado no site do grupo de estudos em Hidrologia de Grandes Escalas - HGE (<https://www.ufrgs.br/hge/modelos-e-outros-produtos/sensoriamento-remoto/mapa-de-urhs-da-america-do-sul/>). O mapa possui resolução espacial de 400 m e fornece 9 blocos de URH cuja distribuição espacial para a bacia do Rio Itapemirim está apresentada na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Classes de respostas hidrológicas para a Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim obtidas a partir do Mapa de URH's da América do Sul.



Fonte: Autoria própria.

4.2.3 Dados Hidroclimatológicos

Para a simulação hidrológica realizada no período atual (1985 – 2013), foi necessário a utilização de dados de clima, precipitação e de vazão de postos existentes na área e no entorno da bacia.

4.2.3.1 Chuva

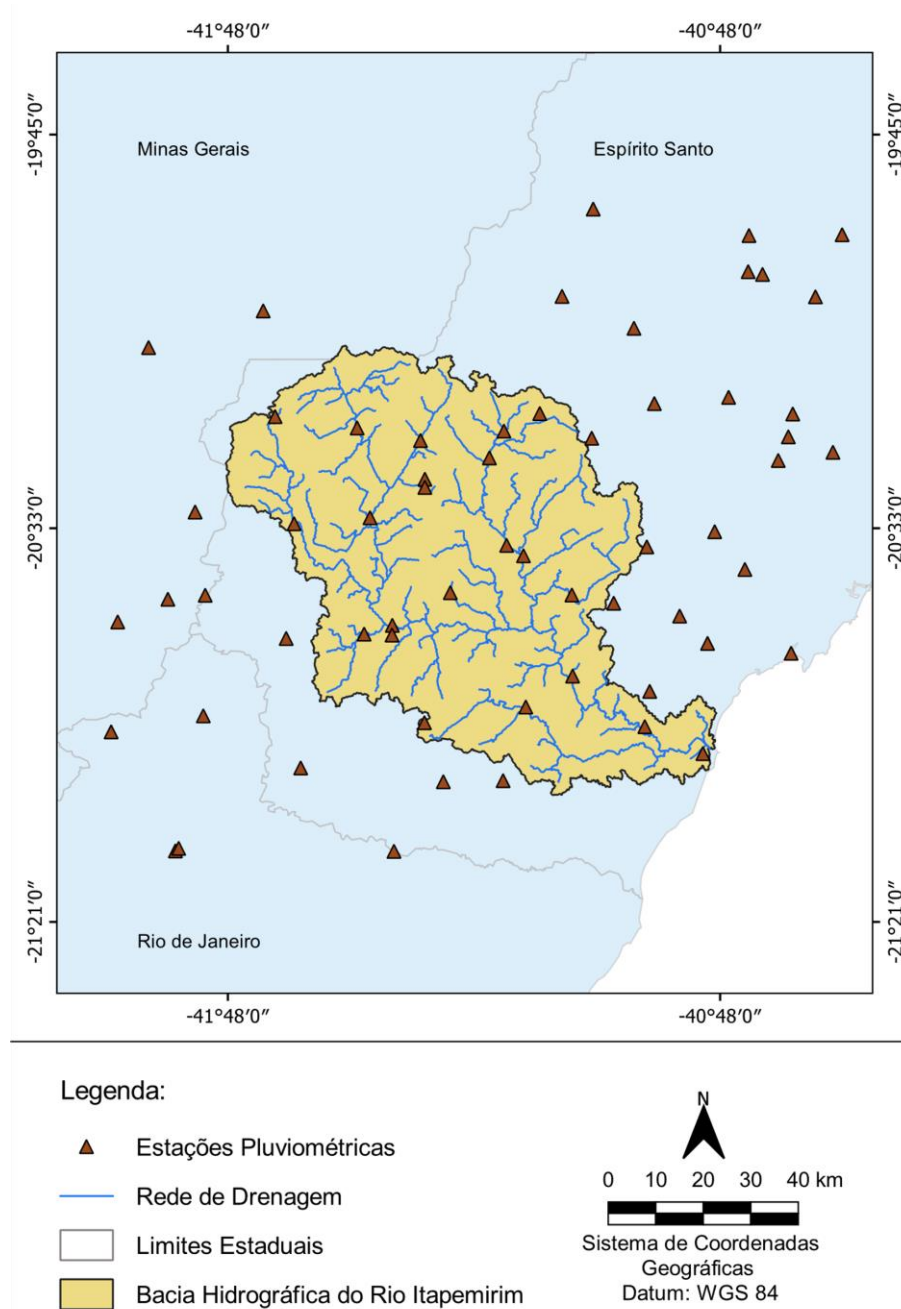
Os dados de chuva no modelo hidrológico MGB, são essenciais no processo de representação da dinâmica das vazões na bacia. Dessa forma, para o desenvolvimento da modelagem foi necessário gerar um arquivo de dados de chuva interpolados, que foi obtido através da interpolação dos dados de chuva de postos pluviométricos para a posição dos centróides das minibacias.

Através de uma ferramenta do próprio MGB os dados das estações pluviométricas da Agência Nacional de Águas foram baixados e através do programa Super Manejo de Dados Hidrológicos foi possível visualizar a disponibilidade dos dados na região de estudo.

Foram escolhidas 60 estações pluviométricas localizadas dentro e também fora da área da bacia, com o intuito de melhorar a qualidade do arquivo de chuva interpolada, visto que o modelo MGB utiliza o Inverso da Distância ao Quadrado para interpolar a chuva para o centróide de cada minibacia.

Os dados das estações são diários e o período considerado foi dos anos 1985 -2013, devido a maior quantidade de dados e menor quantidade de falhas. O mapa de localização das 60 estações pode ser observado na Figura 4.4 a seguir. As informações dos postos estão disponíveis no Apêndice A.

Figura 4.4 – Localização das Estações pluviométricas.



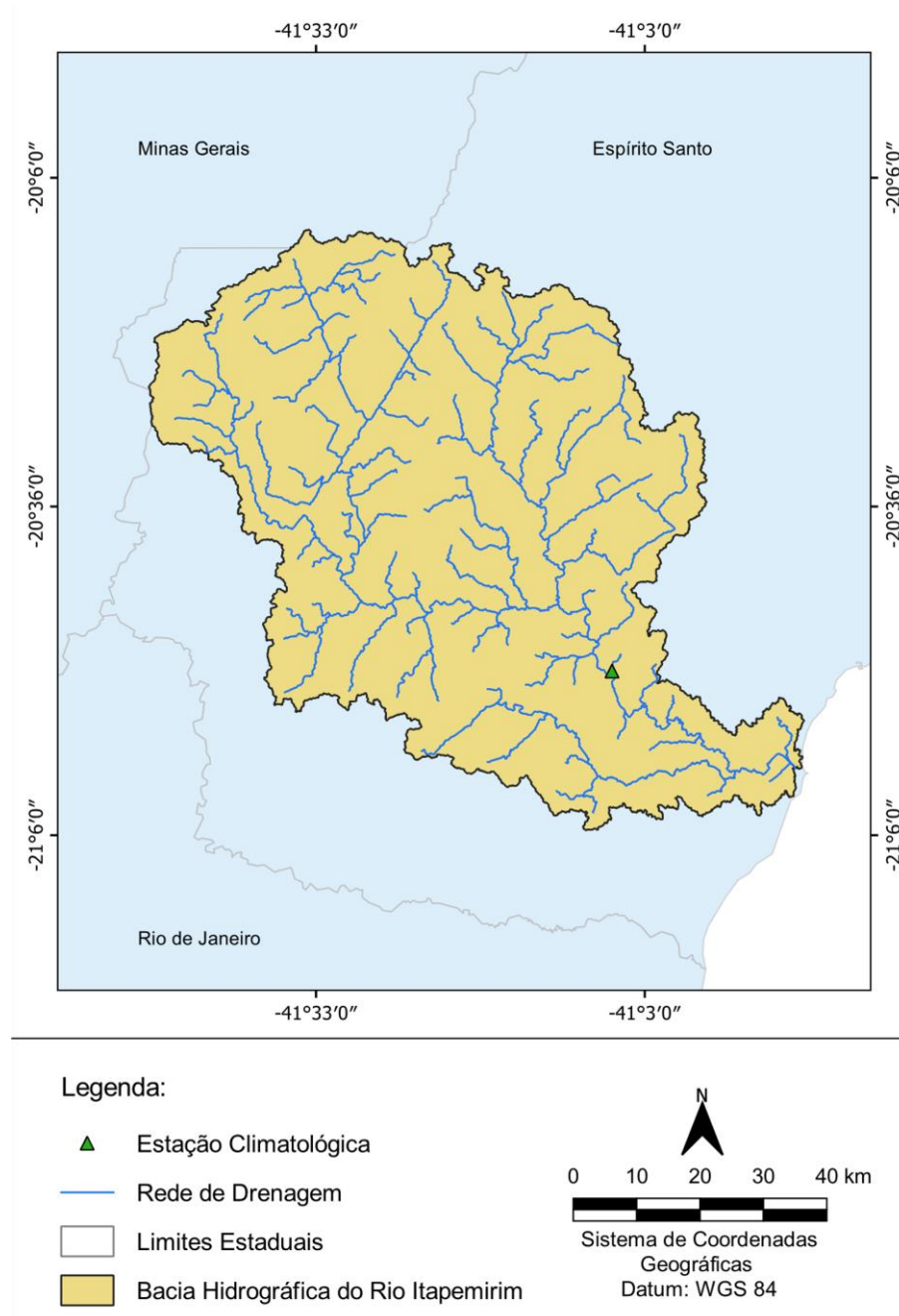
Fonte: Autoria própria.

4.2.3.2 Clima

Para o cálculo da evapotranspiração pelo modelo MGB, são utilizados dados de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pressão atmosférica e insolação (horas de sol por dia). Esses dados foram obtidos por meio da base de dados interna do MGB, que possui os dados das Normais Climatológicas de 1960 - 1990, calculadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para todo o Brasil.

Apesar de existirem 3 estações com normais climatológicas disponíveis na área de estudo, apenas a estação de Cachoeiro de Itapemirim (00083646) apresentou todos os dados necessários. Além disso, os dados horários encontrados para as estações automáticas existentes na bacia continham muitas falhas e não apresentavam muitos anos de medição. Sendo assim, optou-se por escolher a estação com a melhor qualidade de dados disponíveis, que foi de Cachoeiro de Itapemirim. A localização da estação pode ser observada na Figura 4.5. As informações do posto estão disponíveis no Apêndice C.

Figura 4.5 – Localização da Estação Climatológica.



Fonte: Autoria Própria.

4.2.3.3 Vazão

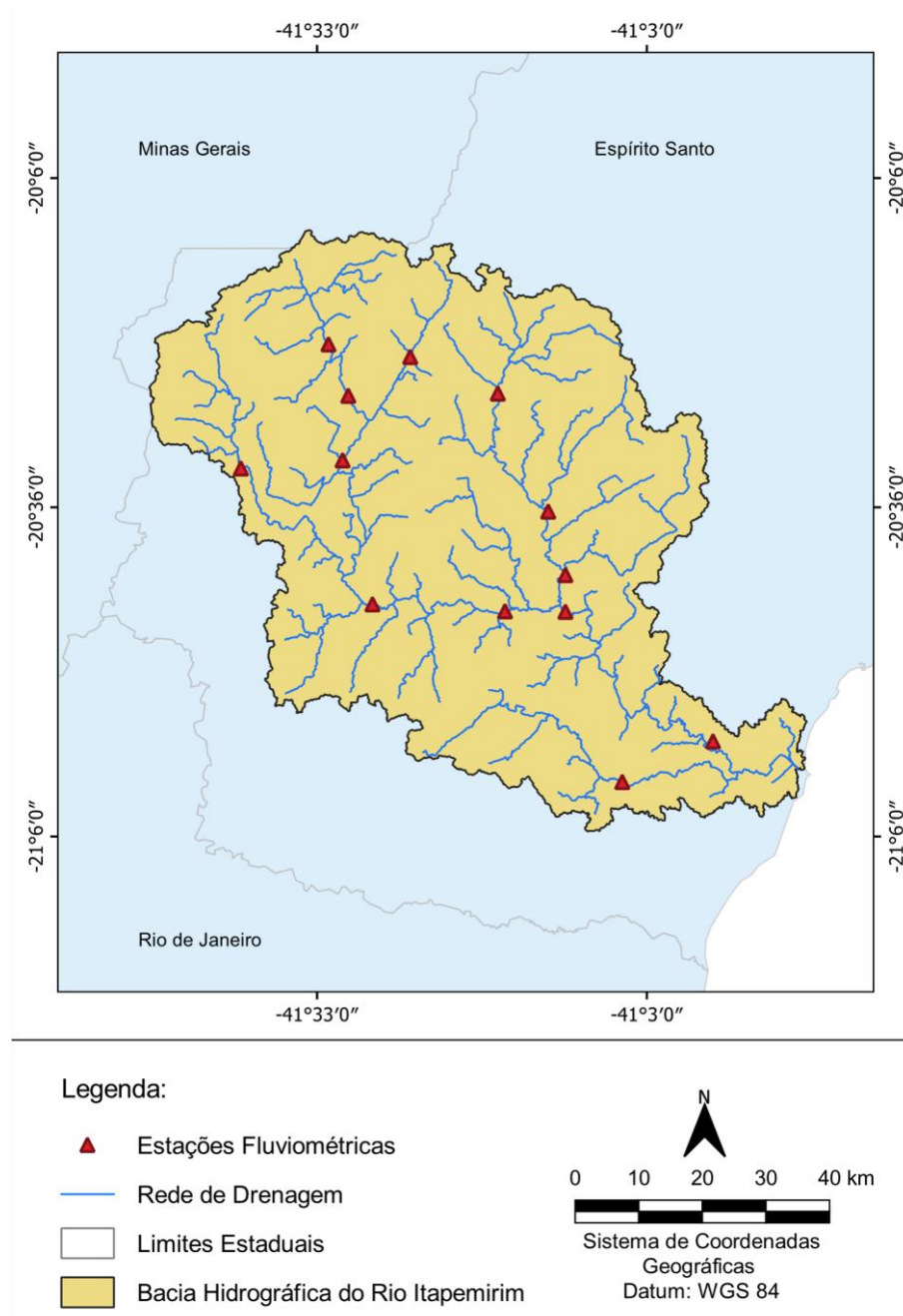
A modelagem com o MGB também precisou de dados fluviométricos, pois os dados de vazão calculados pelo MGB foram comparados aos dados de vazão observados nos postos fluviométricos, a fim de garantir a qualidade da calibração do modelo. Tais

dados também foram importantes na etapa de avaliação dos impactos das mudanças climáticas na bacia, pois estes foram comparados aos dados projetados.

Os dados de postos fluviométricos foram obtidos da Agência Nacional de Águas, através da base de dados interna do MGB, assim como os dados dos postos pluviométricos.

Foram consideradas 13 estações fluviométricas com dados diários entre o período de 1985 - 2013. A localização e dos postos estão apresentadas na Figura 4.6 a seguir. As informações dos postos estão disponíveis no Apêndice B.

Figura 4.6 – Localização das Estações Fluviométricas.



Fonte: Autoria Própria.

4.2.4 Dados dos Modelos Climáticos

Na etapa de simulação considerando o período atual de 1985 – 2013, os dados de chuva, vazão e clima foram provenientes de estações existentes na área ou no entorno da bacia. Entretanto, para que a simulação pudesse ser realizada para um período futuro, e também para que a análise da variabilidade das vazões e de outras variáveis pudessem ser calculadas, assim como a avaliação das modificações nos

regimes de precipitação e temperatura frente à cenários de mudanças climáticas, foi necessário a entrada de dados de projeções climáticas, provenientes dos modelos climáticos.

No presente estudo, o modelo climático regional utilizado foi o Eta forçado pelos modelos globais BESM, CANESM2 e MIROC5 com resolução espacial de 20km. Os dados de cada um destes modelos foram obtidos nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 e foi considerado um período futuro de 2014 à 2099. As variáveis utilizadas foram a precipitação, a temperatura, a radiação solar, a pressão atmosférica, a velocidade do vento e a umidade relativa, que foram disponibilizadas pelo CPTEC/INPE (<https://projeta.cptec.inpe.br/#/dashboard>).

4.3 DISCRETIZAÇÃO DA BACIA

Para que a simulação com o modelo hidrológico MGB fosse possível, uma série de arquivos de entrada característicos da bacia, como arquivo de terreno (MDE), arquivo de rede de drenagem, arquivo do contorno da bacia hidrográfica, arquivo de mini bacias e de definição das classes de respostas hidrológicas, foram preparados. Com esses arquivos de entrada, gerou-se um arquivo topológico que junto com os dados hidrometeorológicos das estações (chuva, vazão e clima) e com os parâmetros de vegetação e solo, a simulação pode ser realizada.

Neste tópico foram abordados os procedimentos realizados na discretização da bacia para que os arquivos de entrada pudessem ser gerados. Para isto, utilizou-se o pacote de ferramentas IPH – Hydro Tools, que é um plugin para o software de SIG Qgis disponível para download em <https://www.ufrgs.br/hge/mgb/downloads/>.

4.3.1 Preenchimento de depressões

Para obtenção de bacias e redes de drenagem utilizando um arquivo MDE, deve-se realizar o preenchimento das depressões do modelo. Essas depressões ocorrem quando o valor de altitude de uma célula é inferior ao valor de altitude das células adjacentes, impossibilitando que, ao processar as direções de fluxo, o software ache uma saída para a rede de drenagem (MEDEIROS et al, 2019).

As ferramentas do IPH-Hydro Tools disponibilizam 2 métodos para remoção das depressões: o MHS (Modify Heuristic Search) e o PFS (Priority-First-Search). Tais

métodos atuam de maneira distinta entretanto, de forma geral, fornecem bons resultados (Siqueira et al., 2016).

Neste estudo o método utilizado foi o MHS, na qual são utilizados trajetos que minimizem o comprimento do trecho até o término da depressão e também minimizem as diferenças de elevação no trecho, além de utilizar técnicas de preenchimento/rompimento na definição final das direções de fluxo (MARTZ; GARBRECHT, 1999).

4.3.2 Direções e Acumulação de Fluxo

Pra geração do arquivo de direções de fluxo, uma ferramenta do plugin IPH – *Hydro Tools* realiza a leitura das elevações de cada uma das células da grade do MDE e estabelece uma matriz de dados com estas informações. Nesta ferramenta, a elevação de cada célula, com exceção daquelas localizadas na borda da grade, é analisada em relação às suas células vizinhas. Uma vez identificada a direção com a maior declividade positiva, a célula central em questão recebe uma codificação em uma nova matriz com as dimensões do MDE, de acordo com o ângulo desta direção (Siqueira et al., 2016).

Após a geração do arquivo de direções de fluxo, gerou-se o arquivo de fluxo acumulado, no qual em cada célula foi atribuído um valor com o número de células que drenaram a água até aquela. Essa informação em cada célula, possibilita a geração de redes de drenagem, que pode ser feita a partir de um certo número de células ou área de drenagem com base na resolução espacial do arquivo.

Nesta etapa, o critério para delimitação da rede de drenagem foi a área de drenagem, tendo sido escolhido um valor de 20 km².

4.3.4 Delimitação da bacia, das sub-bacias e das minibacias

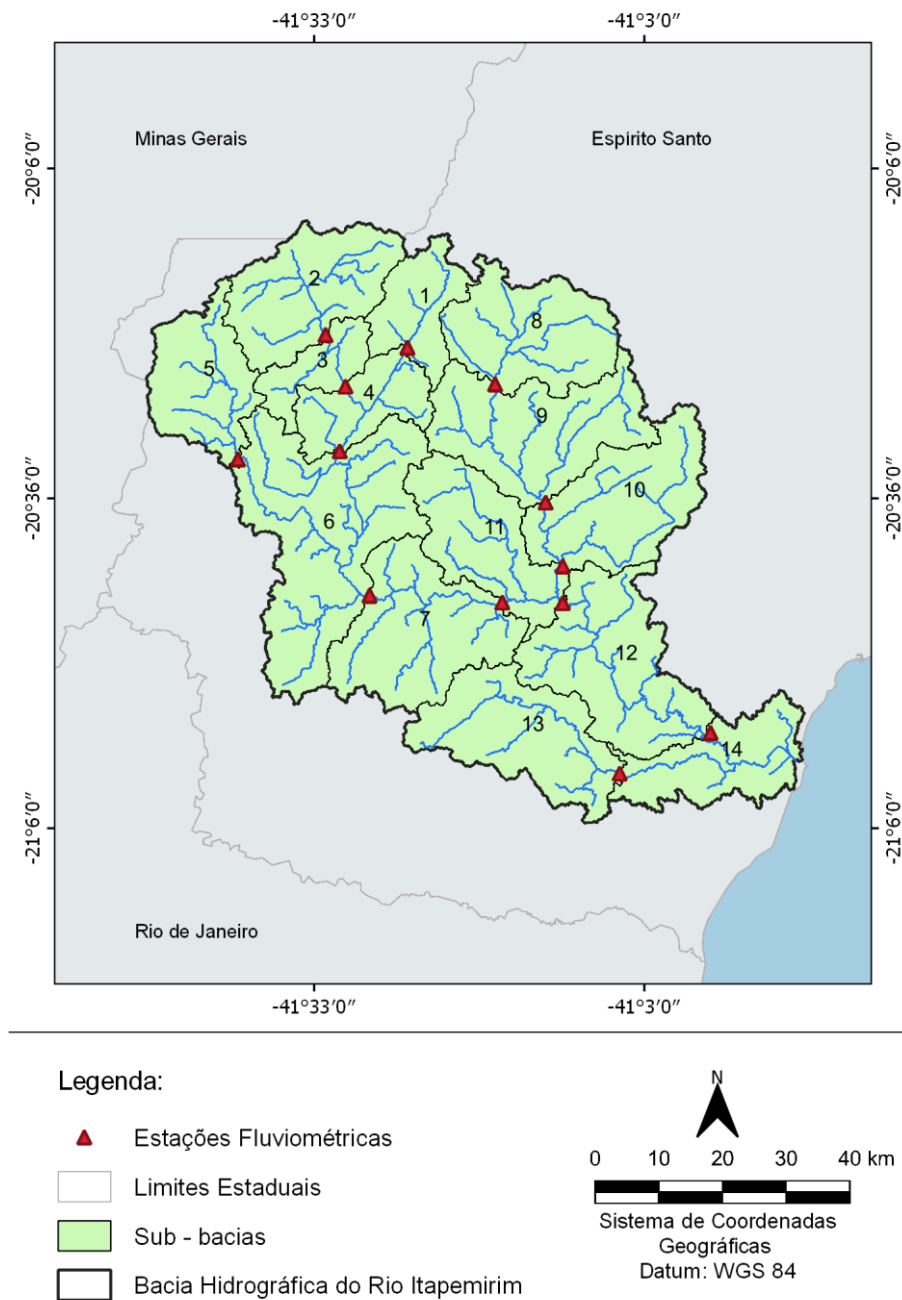
No modelo MGB os dados espaciais podem ser divididos em três níveis, definidos a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE): a bacia; as sub-bacias; e as minibacias. A bacia é a área total que será representada no modelo hidrológico. As minibacias são as menores unidades em que a bacia é discretizada (dividida). As sub-bacias são unidades menores do que a bacia e maiores do que as minibacias, que podem ser utilizadas para a definição de valores de parâmetros do modelo hidrológico e nos procedimentos de calibração.

As subbacias correspondem a um nível de divisão da bacia que não é obrigatório, mas é importante porque dessa forma é possível representar melhor a variabilidade espacial das características da bacia e seu comportamento hidrológico, visto que é possível estabelecer conjuntos de valores dos parâmetros calibráveis distintos em cada uma.

A delimitação da bacia do rio Itapemirim foi realizada pelas ferramentas do plugin IPH-Hidro Tools, na qual os dados de entrada para essa ferramenta foram o arquivo de direção de fluxo, a rede de drenagem e um arquivo shapefile localizando o exultório da bacia.

Para a delimitação de sub-bacias 3 critérios podem ser utilizados: o critério baseado em grandes áreas cujo tipo de ocupação do solo, geologia ou tipo de solo seja diferente do restante; o critério com base na separação de áreas mais declivosas de regiões mais planas; ou o critério baseado nas posições de pontos onde se sabe que existem dados de vazão (MEDEIROS et al, 2019). Neste trabalho utilizou-se o critério baseado na localização das estações fluviométricas e foram geradas 14 sub - bacias, como pode ser visto na Figura 4.7.

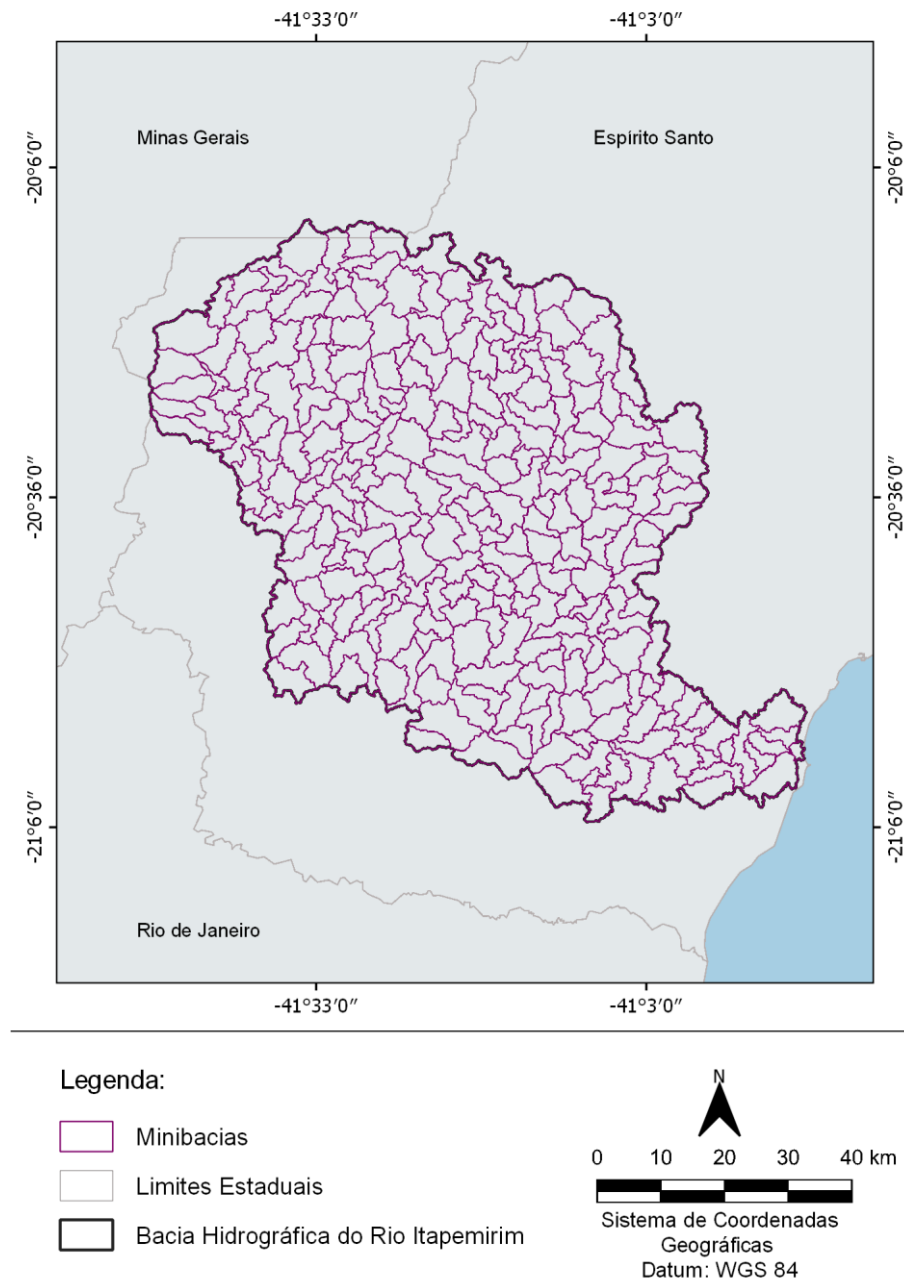
Figura 4.7 – Sub- bacias obtidas com base nas localizações das estações fluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim.



Fonte: Autoria própria.

As minibacias, que são pequenas áreas de contribuição para um determinado trecho da rede de drenagem onde ocorre a propagação de vazão, foram geradas através do arquivo MDE e do arquivo da rede de drenagem segmentada. Foram geradas 272 minibacias, como pode ser visto na Figura 4.8.

Figura 4.8 – Minibacias obtidas para a Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim.



Fonte: Autoria própria.

4.3.5 Unidades de Respostas Hidrológicas

Com a obtenção das minibacias e a sua combinação com o arquivo de URH da América do Sul, obtido conforme descrito no tópico 4.2.2, foi criado o arquivo de Unidade de Resposta Hidrológica. A partir das informações reunidas foram gerados arquivos fundamentais para as etapas seguintes de preparação de dados do modelo

hidrológico e simulação pelo MGB, como por exemplo o arquivo "MINI.gtp", que contém informações topológicas do modelo, fornecendo para cada minibacia informações como área de drenagem, comprimento e declividade do trecho, e fração de unidades de resposta hidrológica.

4.4 MODELO CLIMÁTICO REGIONAL ETA E CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Como já citado no item 4.2.4, os dados climáticos utilizados foram a precipitação, a temperatura, a radiação solar, a umidade relativa, a velocidade do vento e a pressão atmosférica, que antes de serem introduzidos no modelo hidrológico passaram pelo processo de correção de viés. Em seguida os dados corrigidos foram utilizados como dados de entrada para realizar a simulação hidrológica considerando o período futuro.

Os dados dos modelos climáticos também foram utilizados para avaliar as modificações no regime de precipitação e temperatura frente aos cenários de mudanças climáticas na bacia do rio Itapemirim.

4.4.1 Correção de viés

Os dados dos modelos climáticos por diversos motivos, dentre eles a ocorrência de erros sistemáticos e erros na discretização espacial dos modelos (TEUTSCHBEIN; SEIBERT, 2012) apresentam vieses. Buscando corrigir esses vieses, aplicam-se correções que podem ser realizadas por meio de diferentes técnicas.

Neste trabalho os vieses foram corrigidos pelo método de escalonamento linear (LENDERINK; BUIHAND; VAN DEURSEN, 2007) através de rotinas no matlab desenvolvidas por DELA COSTA et al (2020a), onde a correção foi realizada aplicando um fator de correção mensal às variáveis diárias. Esse fator de correção é obtido através das médias mensais observadas das variáveis e médias mensais simuladas das variáveis dos modelos climáticos no período atual.

Após a correção, para verificar se o ajuste alcançou o resultado esperado, analisou-se os dados de precipitação observada, dados de precipitação dos modelos sem correção e dados de precipitação dos modelos com correção.

4.5 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO MGB

A calibração do modelo hidrológico é a etapa na qual determina-se os valores dos parâmetros calibráveis do modelo. Logo após essa etapa ocorre a etapa de validação, onde utiliza-se os modelos com os parâmetros calibrados, com dados distintos dos usados anteriormente para fazer o ajuste (OLIVEIRA, 2016). Esta validação permite perceber a exatidão do modelo usado através da simulação de processos estacionários nas bacias hidrográficas com o monitoramento hidrológico.

A calibração envolve análises visuais subjetivas nos ajustes dos hidrogramas e também medidas de desempenho. Para avaliar quantitativamente o desempenho do modelo hidrológico as estatísticas consideradas na calibração foram o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe das vazões calculadas e observadas (ENS); o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões calculadas e observadas (ENSLog); e o erro relativo de volume total dos hidrogramas (ΔV).

O coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe (ENS) se aproxima da perfeição quanto mais próximo de 1 for o seu valor (PONTES, 2016). Esse coeficiente tem a tendência de valorizar erros nos picos das vazões, o que pode acarretar num mau ajuste nos períodos de recessão se o modelo for ajustado apenas com o objetivo de maximizar o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (PAIVA, 2009).

Da mesma forma que o ENS, o ENSLog também tem 1 como valor máximo e mais próximo da perfeição. O objetivo de calcular o coeficiente de eficiência usando os logaritmos das vazões é que desta forma se obtém uma medida de desempenho com menor sensibilidade aos picos e mais sensível aos períodos de recessão de vazão, favorecendo a regulagem de menores vazões (PAIVA, 2009).

Já o erro relativo de volume total do hidrograma, avalia a relação entre os valores simulados e os observados. Esse erro não contém um valor máximo ou mínimo, e também não é influenciado de forma diferenciada por períodos de cheias ou de estiagens, mas expressa a diferença relativa entre a soma de todas as vazões, simuladas e observadas, sem considerar sua sequência temporal. Esta função objetivo é útil para observar se as perdas de água por evapotranspiração estão sendo corretamente calculadas (COLLISCHONN, 2001).

Moriasi et al. (2007) propuseram uma classificação com base nos coeficientes de eficiência, as quais auxiliaram na avaliação das modelagens de vazão pelo modelo hidrológico.

A Tabela 4.1 apresenta as classificações para as medidas de desempenho utilizadas neste trabalho. A mesma classificação do ENS foi adotada para o coeficiente ENSLog.

Tabela 4.1 – Classificação dos resultados da modelagem hidrológica, em função das medidas de desempenho de ENS e ΔV .

Classificação	ENS e ENSLog	ΔV
Muito bom	$0,75 < ENS \leq 1,00$	$\Delta V < \pm 10$
Bom	$0,65 < ENS \leq 0,75$	$\pm 10 \leq \Delta V < \pm 15$
Satisfatório	$0,50 < ENS \leq 0,65$	$\pm 15 \leq \Delta V < \pm 25$
Insatisfatório	$ENS \leq 0,50$	$\Delta V \geq \pm 25$

Fonte: Adaptado de Moriasi et al. (2007)

4.5.1 Parâmetros Fixos

Os parâmetros fixos (albedo, índice de área foliar, altura das árvores e resistência superficial) foram definidos com base nos valores médios sugeridos como referência pelo próprio modelo, bem como em seu manual. Esses parâmetros estão relacionados com as características da vegetação, e os valores adotados são apresentados no Apêndice D.

4.5.2 Parâmetros Calibráveis

Os parâmetros calibráveis utilizados foram: armazenamento máximo de água no solo (W_m); parâmetros relacionados aos escoamentos subsuperficial (K_{int}) e subterrâneo (K_{bas}); parâmetro de correlação entre armazenamento e saturação (b); parâmetros relacionados ao tempo de propagação dos escoamentos superficial (CS) subsuperficial (CI) e subterrâneo (CB).

Alguns parâmetros, embora estejam no bloco de parâmetros variáveis, não foram calibrados, pois exercem pouca influência sobre os resultados. São eles: XL , que controla a redução da drenagem intermediária ou subsuperficial do solo; CAP , associado à capilaridade do solo; e W_c , representando o limite de armazenamento para que ocorra fluxo ascendente ou descendente no solo.

Desses parâmetros citados, alguns têm valores dados como sugestão pelo próprio modelo, são eles: XL , que inicialmente foram adotados como 0,67; CAP , que foi adotado como 0; e W_c , que no início da calibração foi considerado 10% de W_m .

Nesse trabalho, os valores iniciais dos parâmetros calibráveis utilizados foram adotados de acordo com as sugestões do próprio manual do modelo, e foram ajustados até a obtenção de valores de medidas de desempenho consideradas satisfatórias. Os valores dos parâmetros calibráveis utilizados estão disponíveis no Apêndice E.

4.5.3 Calibração Manual

Neste estudo a calibração do modelo hidrológico foi realizada de forma manual, analisando-se o comportamento dos hidrogramas e os valores das medidas de desempenho. Os parâmetros foram ajustados de montante à jusante para cada sub-bacia.

A calibração do modelo com os dados fluviométricos diários das estações escolhidas foi realizada de 2000 - 2013, enquanto a validação do modelo foi realizada de 1985 a 1999.

5. RESULTADOS

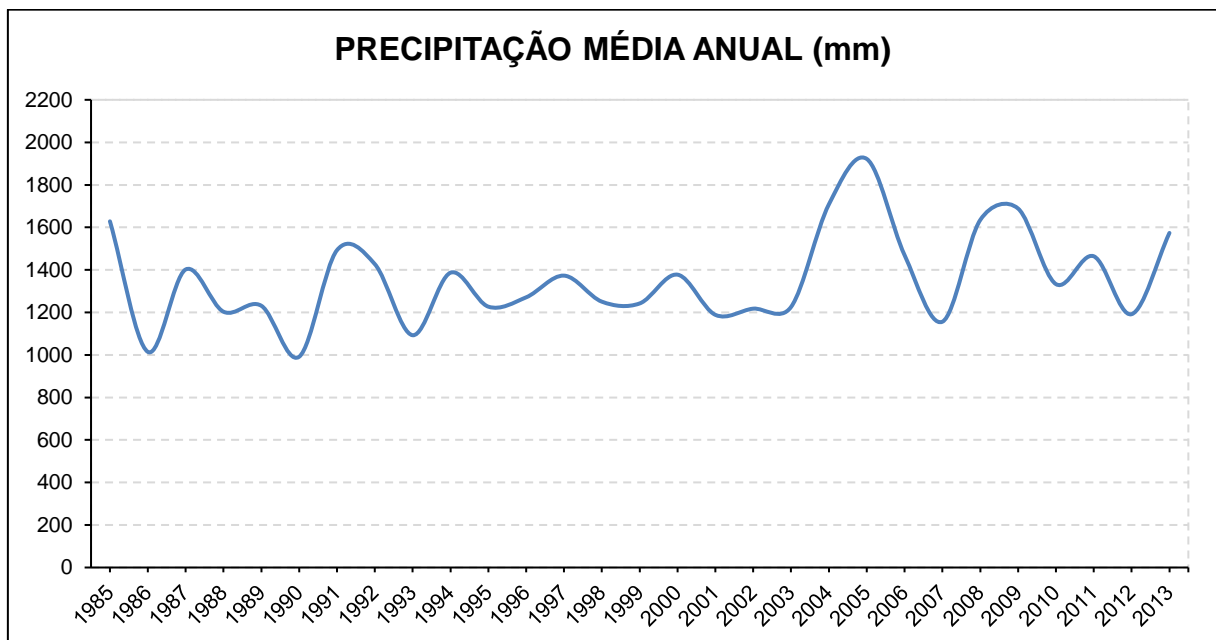
5.1 ANÁLISE DOS DADOS OBSERVADOS DE CHUVA, VAZÃO E CLIMA

Neste tópico serão abordadas as análises realizadas aos dados observados utilizados como dados de entrada para o modelo MGB para as simulações no período atual (1985 – 2013).

5.1.1 Dados Observados de Chuva

Os dados das 60 estações pluviométricas utilizadas foram agrupados e optou-se por fazer a representação desses dados através dos gráficos de média de precipitação anual e o total diário médio de precipitação para a área de estudo. As Figuras 5.1 e 5.2 representam tais informações.

Figura 5.1 – Precipitação média anual observada para a bacia do Rio Itapemirim no período de 1985 – 2013.

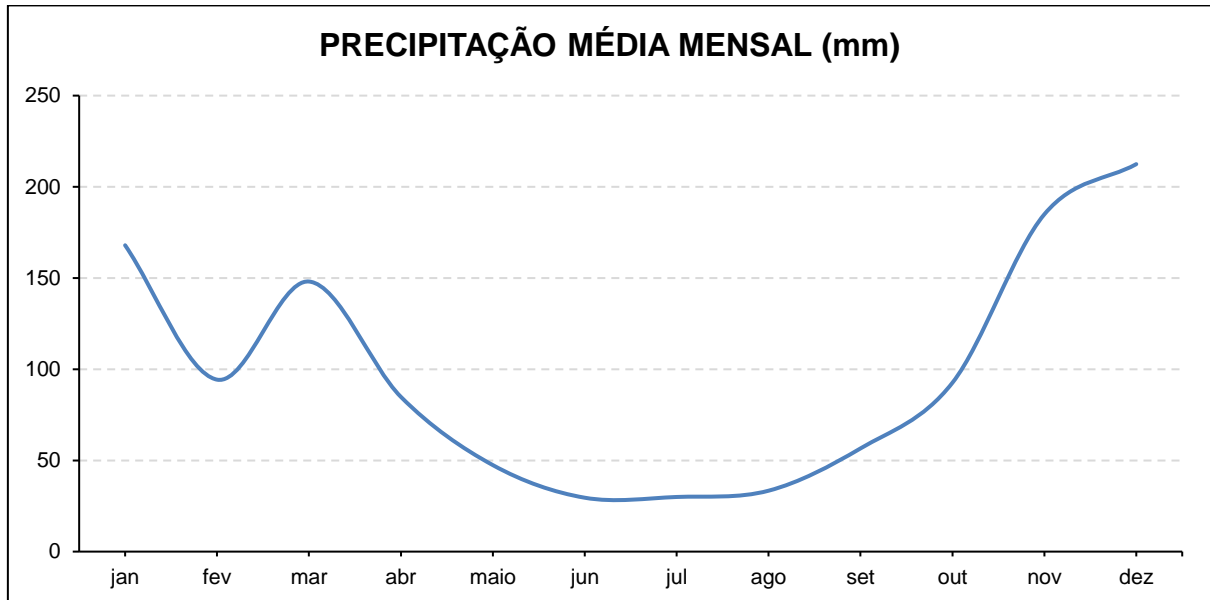


Fonte: Autoria própria.

Nota-se, no período em análise, a existência de variabilidade entre as precipitações acumuladas anualmente. Sendo o valor máximo de precipitação acumulada registrado em 2005 (1922 mm), o valor mínimo em 1990 (991 mm) e a média para o período todo

foi de 1358 mm. Além disso, a média das precipitações durante os anos de 1985 – 1999 foi de 1282 mm, enquanto a média para o período de 2000 – 2013 foi 1439 mm, o que aponta para uma tendência de aumento da precipitação acumulada anual.

Figura 5.2 – Total diário médio de precipitação observada para a bacia do Rio Itapemirim no período de 1985 – 2013.



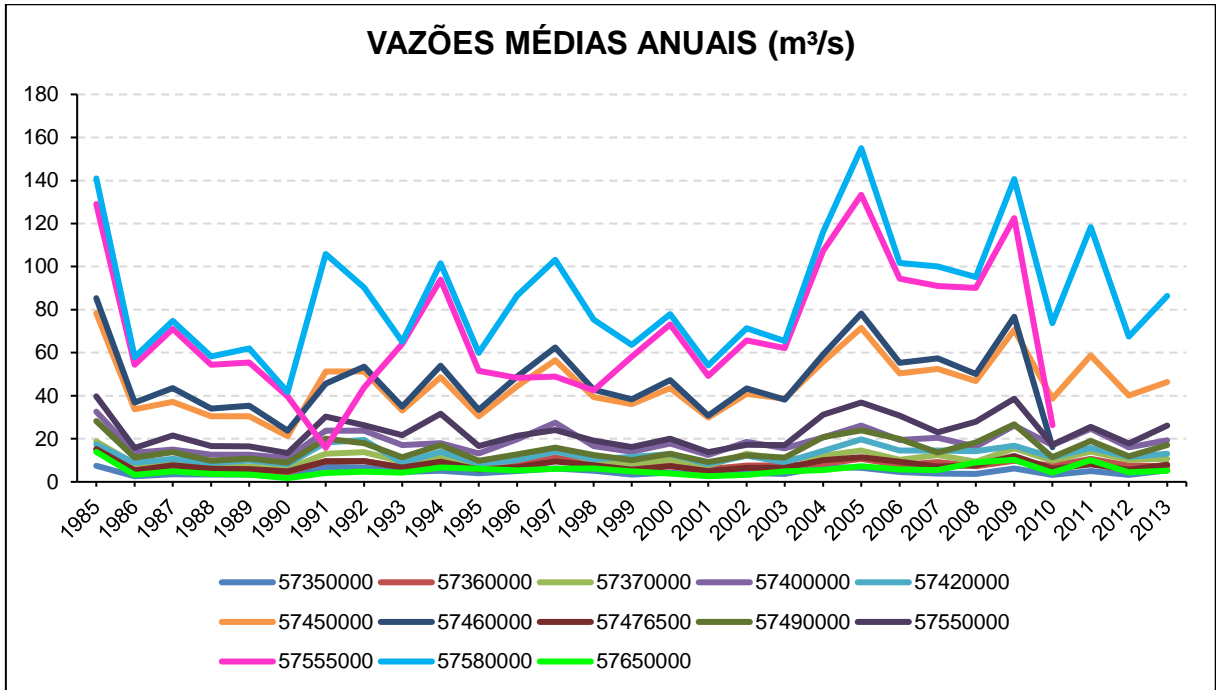
Fonte: Autoria própria.

Pela Figura 5.2 pode-se observar que os totais diários médios de precipitação ao longo dos meses variam ao longo do ano, apresentando maior valor em dezembro, o que condiz com a estação chuvosa característica do verão na região. Por outro lado, o menor valor foi registrado no mês de julho, mês tipicamente seco, também característico do inverno na bacia.

5.1.2 Dados Observados de Vazão

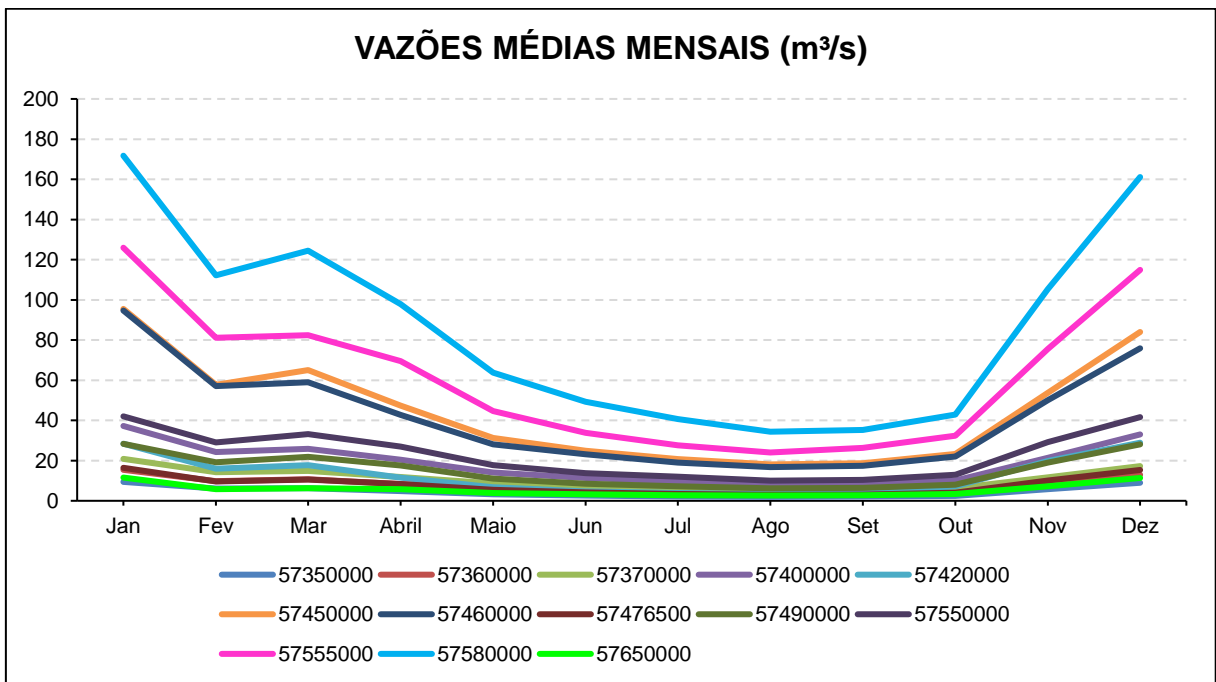
Os hidrogramas para as 13 estações fluviométricas selecionadas neste estudo foram agrupados e representados em forma de gráficos de vazões médias anuais e mensais de cada estação, como está disposto nas Figura 5.3 e 5.4.

Figura 5.3 – Vazões médias anuais observadas para a bacia do Rio Itapemirim no período de 1985 – 2013.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5.4 – Vazões médias mensais observadas para a bacia do Rio Itapemirim no período de 1985 – 2013.



Fonte: Autoria própria.

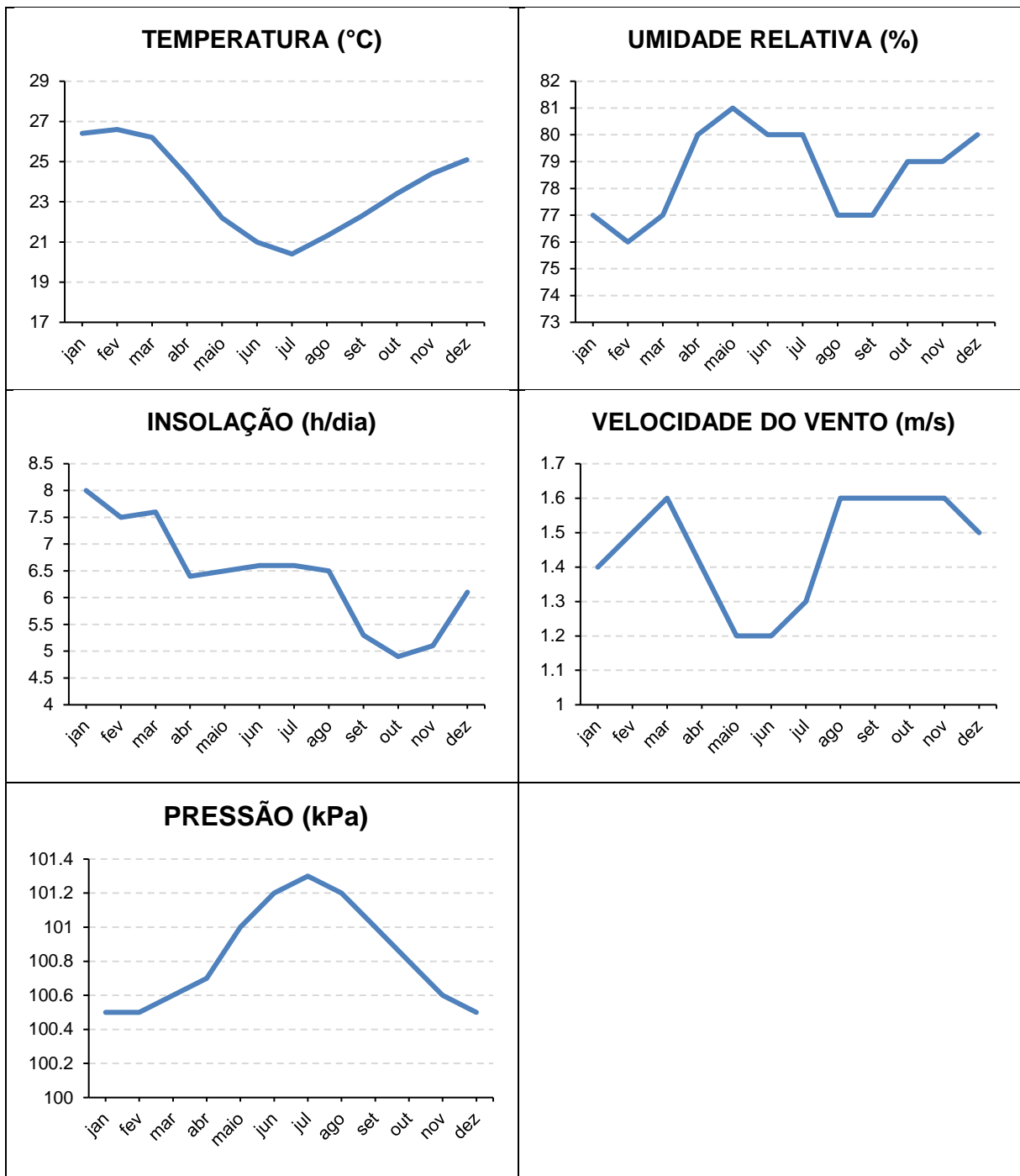
Nota-se, como esperado, que as estações que apresentam as maiores vazões médias anuais são aquelas mais próximas da foz e estão localizadas após pontos de confluência da rede de drenagem. Em contrapartida, as menores vazões médias anuais são referentes as estações localizadas nas extremidades da rede. O comportamento obtido ao longo dos anos é semelhante para todas as estações, com exceção da estação 57555000, que apresenta alguns comportamentos pontuais divergentes das outras estações. A referida estação está localizada após a confluência dos rios Itapemirim e Castelo (no município de Cachoeiro de Itapemirim), e nos anos 1991, 1992, 1996, 1997 e 2010 apresentou valores inferiores aos valores esperados, de acordo com o comportamento das outras estações.

Com relação às vazões médias mensais, todas as estações também seguem um comportamento similar, sendo possível observar maiores vazões nos meses de verão e menores vazões nos meses de inverno, o que condiz com os períodos de seca e de chuva observados nos dados de precipitação.

5.1.3 Dados Observados de Clima

Os comportamentos das normais climatológicas da estação utilizada são apresentados na Figura 5.5.

Figura 5.5 – Normais climatológicas da estação 00083646 referentes ao período de 1961 -1990:



Fonte: Autoria própria.

Com relação à temperatura média mensal, observa-se uma variação de cerca de 6°C entre os meses de inverno e verão. Enquanto a umidade relativa do ar apresenta maior teor no mês de maio e menor teor no mês de fevereiro. A variável insolação dispõe de maiores valores no mês de janeiro, enquanto o mês de outubro registra a menor média do ano. A figura também mostra que a velocidade do vento diminui nos meses de inverno enquanto a pressão atmosférica aumenta.

5.2 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO MGB

5.2.1 CALIBRAÇÃO

Os hidrogramas de saída resultantes do processo de calibração manual, apresentaram, de modo geral, similaridade visual entre as vazões observadas e as vazões simuladas. A Tabela 5.1 apresenta os valores e a classificação segundo Moriasi (2007), obtidos para as medidas de desempenho em cada estação fluviométrica enquanto o Apêndice F dispõe dos hidrogramas e curvas de permanência gerados em cada estação.

Tabela 5.1 – Medidas de desempenho entre as vazões simuladas e observadas, obtidas com a calibração do modelo MGB, nas estações fluviométricas selecionadas na bacia do Rio Itapemirim.

Código da Estação	Sub-bacia	Minibacia	Nash	Nash - log	ΔV
57350000	1	183	0,784	0,846	-8,775
57360000	2	190	0,744	0,791	1,485
57370000	3	213	0,798	0,838	-7,195
57400000	4	227	0,819	0,866	7,504
57420000	5	202	0,559	0,749	-32,811
57450000	6	248	0,823	0,879	-11,940
57460000	7	254	0,817	0,854	4,664
57476500	8	200	0,745	0,798	-1,736
57490000	9	232	0,804	0,823	-0,289
57550000	10	243	0,8	0,812	-2,580
57555000	11	257	0,755	0,845	-2,029
57580000	12	268	0,653	0,831	-5,892
57650000	13	225	0,525	0,579	-3,602

Nota: Verde – Muito Bom; Azul – Bom; Amarelo – Satisfatório; Vermelho – Insatisfatório.

Fonte: Autoria própria.

Considerando a classificação utilizada, os resultados com relação ao Nash são muito bons nas sub bacias 1, 3, 4, 6, 7, 9, 10 e 11, bons nas sub-bacias 2, 8 e 12 e satisfatórios nas sub-bacias 5 e 13.

Com relação a classificação feita pelo mesmo autor ao erro de volumes, todas as sub – bacias mostraram um resultado muito bom, exceto as sub- bacias 6 e 5 que apresentaram resultados bons e insatisfatórios, respectivamente.

5.2.2 VALIDAÇÃO

Considerando as estatísticas obtidas para cada sub – bacia e assumindo que estas foram boas de modo geral, realizou-se a validação do modelo MGB utilizando os mesmos parâmetros calibráveis, alterando apenas o período, que passou a ser de 1985 a 1999. A Tabela 5.2 expõe os valores e a classificação de Nash, Nash – log e ΔV obtido para cada sub- bacia durante a etapa de validação.

Tabela 5.2 – Medidas de desempenho geradas na validação do modelo MGB na bacia do Rio Itapemirim.

Código da Estação	Sub-bacia	Minibacia	Nash	Nash - log	ΔV
57350000	1	183	0,34	0,299	-22,324
57360000	2	190	0,687	0,71	-7,640
57370000	3	213	0,731	0,71	-12,702
57400000	4	227	0,788	0,772	-4,648
57420000	5	202	0,413	0,503	-42,135
57450000	6	248	0,767	0,807	-14,531
57460000	7	254	0,768	0,78	-1,234
57476500	8	200	0,65	0,74	-15,255
57490000	9	232	0,737	0,714	-6,638
57550000	10	243	0,644	0,694	-2,819
57555000	11	257	0,158	0,409	9,516
57580000	12	268	0,592	0,774	-5,882
57650000	13	225	0,384	0,204	-19,471

Nota: Verde – Muito Bom; Azul – Bom; Amarelo – Satisfatório; Vermelho – Insatisfatório.

Fonte: Autoria própria.

Pela tabela, pode-se constatar que em todas as sub-bacias houve piora nos índices de Nash e Nash Log, sendo o resultado de 3 sub - bacias classificados com relação ao Nash como muito bons (4, 6 e 7), 4 como bons (3, 2, 8 e 9), 2 como satisfatórios (10 e 12) e 4 como insatisfatórios (1, 5, 11 e 13). Ressalta-se que as 4 sub – bacias

com resultados insatisfatórios são bacias de cabeceira e possuem no máximo 2 postos pluviométricos em suas áreas, o que pode ser uma justificativa para o desempenho obtido.

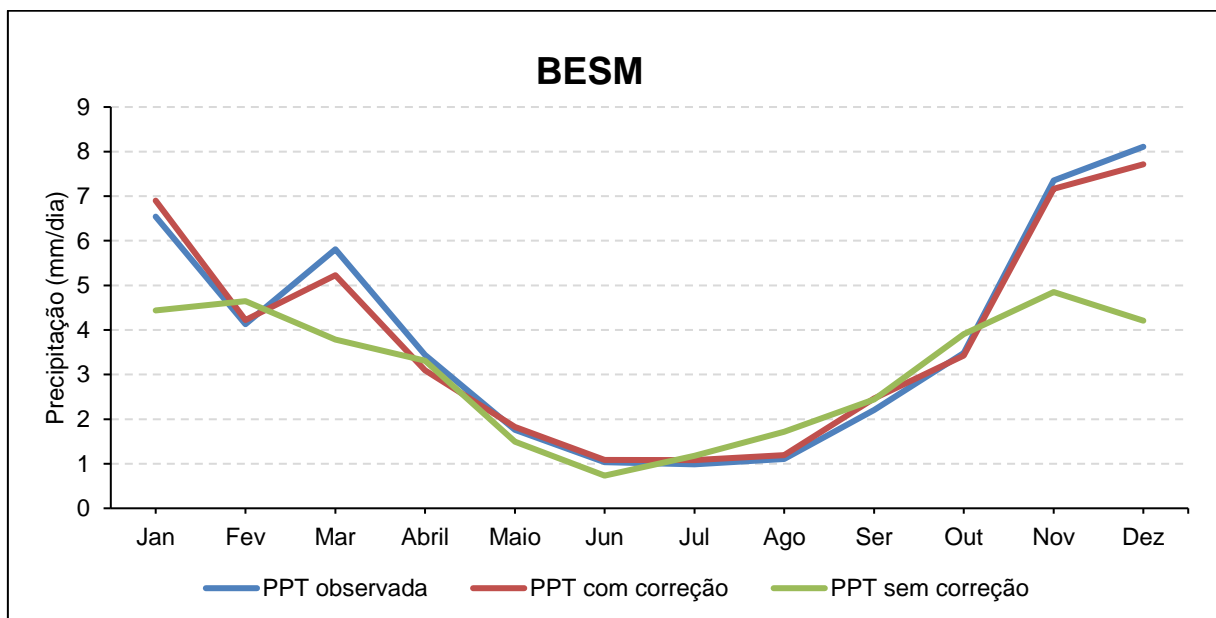
Analisando o erro de volume (ΔV) também nota-se uma piora em todas as sub-bacias, exceto nas sub-bacias 4, 7 e 12. Além disso, o erro de volume da sub-bacia 5 continuou classificado como insatisfatório. Por outro lado, as sub-bacias 4, 7 e 12 apresentaram melhora no índice, permanecendo com a classificação muito boa.

Os hidrogramas gerados na simulação durante o período de validação, juntamente com as curvas de permanência estão dispostas no Apêndice F.

5.3 ANÁLISE DA CORREÇÃO DE VIÉS

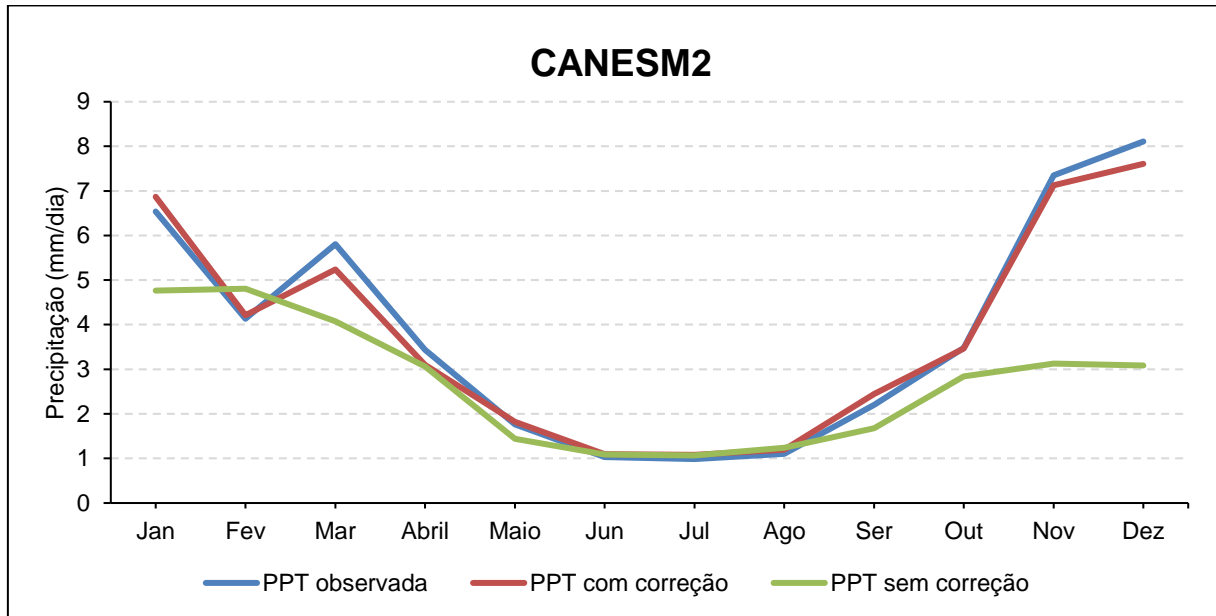
A correção de viés, realizada pelo método de escalonamento linear, foi aplicada aos dados do modelo ETA que são entradas para o modelo hidrológico MGB (precipitação, temperatura, radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e pressão atmosférica). As Figuras 5.6, 5.7 e 5.8 mostram o comportamento do total diário médio de precipitação em cada mês considerando os dados observados e os dados dos modelos climáticos com correção e sem correção, para os 3 modelos abordados neste estudo (BESM, CANESM2 e MIROC5).

Figura 5.6 – Comparação entre o total diário médio de precipitação observado e o total diário médio de precipitação para o modelo climático BESM com e sem correção de viés.



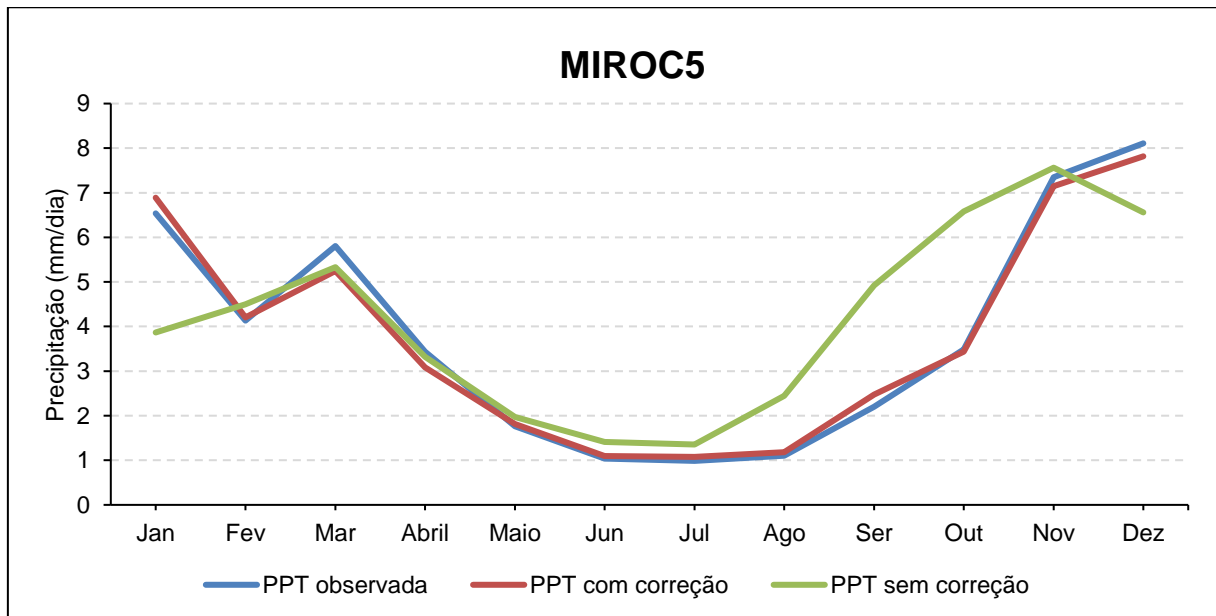
Fonte: Autoria própria.

Figura 5.7 – Comparação entre o total diário médio de precipitação observado e o total diário médio de precipitação para o modelo climático CANESM2 com e sem correção de viés.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5.8 – Comparação entre o total diário médio de precipitação observado e o total diário médio de precipitação para o modelo climático MIROC5 com e sem correção de viés.



Fonte: Autoria própria.

Analisando as figuras acima percebe-se que a correção do viés realizou o ajuste necessário as séries de dados do modelo, tornando-os representativos para a região

de estudo. De igual modo, as outras variáveis climáticas também tiveram seus dados devidamente corrigidos.

5.4 ANÁLISE DAS VARIAÇÕES DOS DADOS DE CLIMA

Após a correção do viés, foram gerados arquivos de entrada para o modelo hidrológico MGB, que realizou as simulações para o período futuro (2014 – 2099). Em seguida foi possível analisar os dados dos modelos climáticos interpolados para a bacia do Rio Itapemirim. Pode-se então realizar uma comparação entre os dados observados durante o período atual (1985 – 2013) considerado e as projeções no período futuro.

As Figuras 5.9 e 5.10 apresentam as comparações entre os dados observados no período atual e as projeções dos modelos climáticos corrigidas, no período futuro.

Figura 5.9 – Comparações entre os dados observados de precipitação, temperatura e insolação no período atual (1985 a 2013) e as projeções corrigidas dos modelos climáticos no período futuro (2014 a 2099) para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.

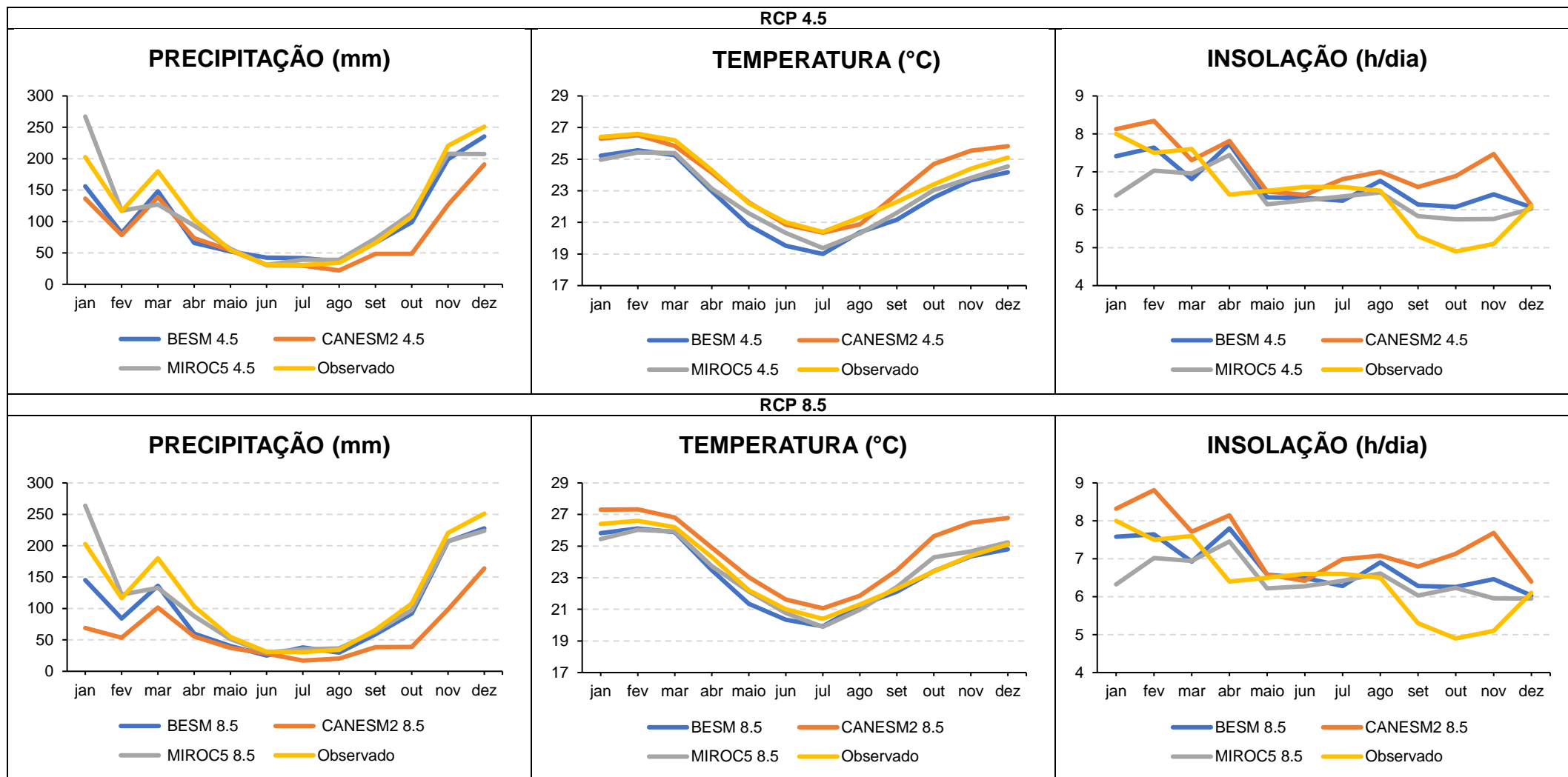
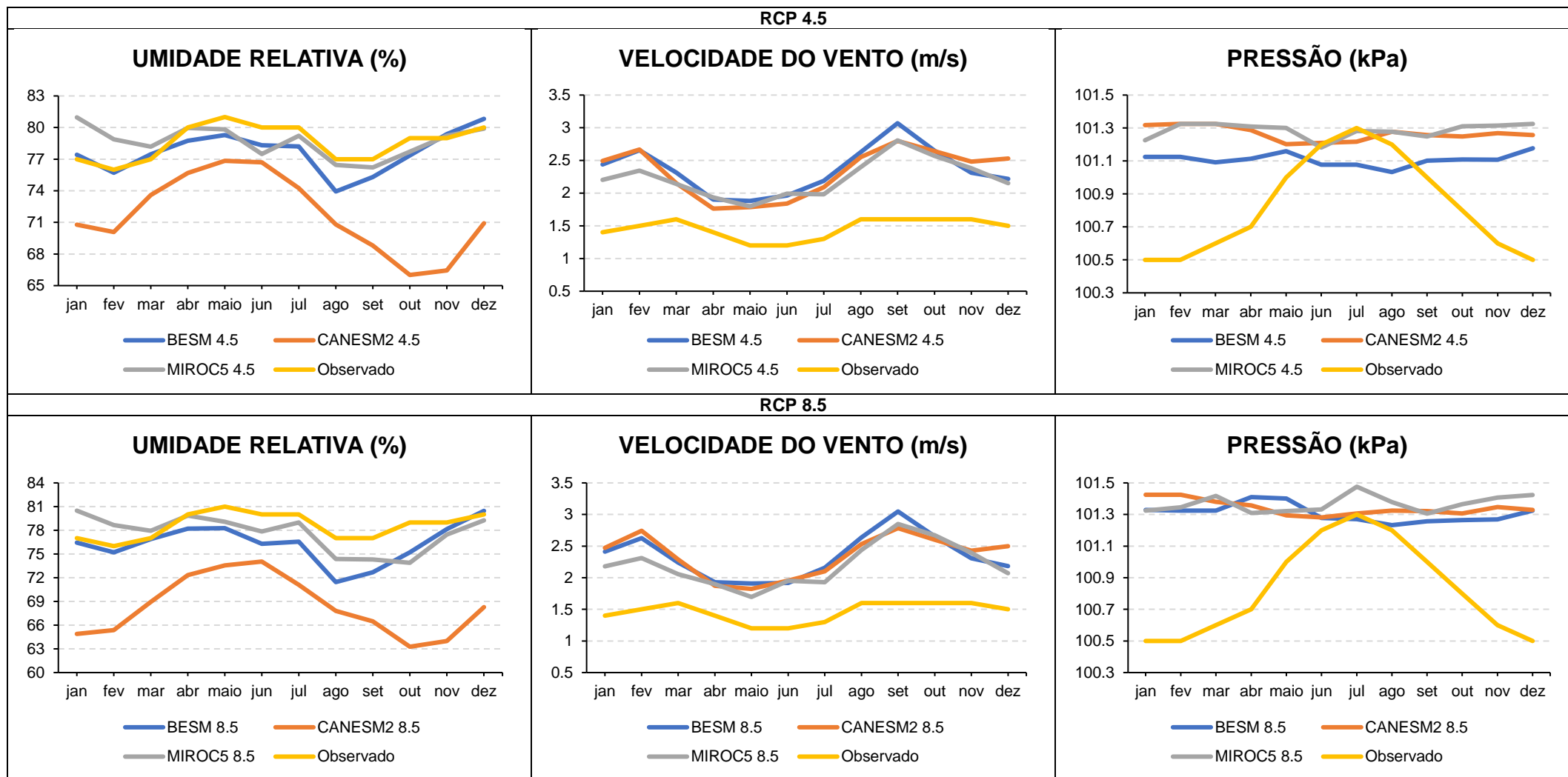


Figura 5.10 – Comparações entre os dados observados de umidade relativa, velocidade do vento e pressão no período atual (1985 a 2013) e as projeções corrigidas dos modelos climáticos no período futuro (2014 a 2099) para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.



Com relação a variável precipitação, nota-se que a média do acumulado mensal dos modelos para o período futuro tanto no cenário de altas emissões de GEE (RCP 8.5) como nos de médias emissões de GEE (RCP 4.5) tende, na maior parte do tempo, a ser menor do que as precipitações observadas durante o período atual. As Figuras 5.11 e 5.12 ilustram as variações das médias mensais de precipitação de cada modelo nos diferentes cenários, quando comparados aos valores atuais.

A temperatura projetada pelo modelo CANESM2 no cenário RCP 4.5 apresentou valores mais próximos da média observada, enquanto os outros modelos apresentaram temperaturas médias mensais inferiores às observadas. Já no cenário RCP 8.5 as médias mensais do modelo CANESM2 ultrapassaram as observadas, enquanto os outros modelos apresentaram somente alguns pontos de ultrapassagem.

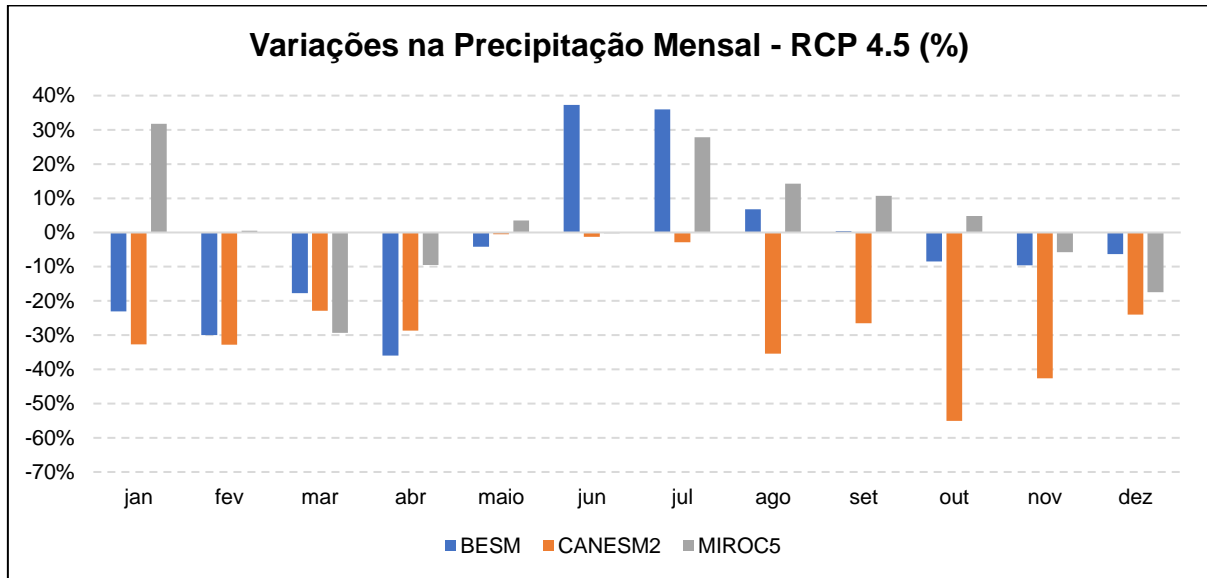
A insolação apresentou maiores valores nos meses de abril (para BESM e MIROC5) e fevereiro (para CANESM2) em ambos os cenários. Os valores mais baixos no RCP 4.5 foram registrados em dezembro para o BESM e o CANESM2 e em outubro para o MIROC5, enquanto no cenário RCP 8.5 os valores mínimos foram registrados em dezembro. Além disso, para os dados observados os valores mínimos foram registrados em janeiro e outubro, respectivamente. No geral, a insolação apresentada pelos modelos não teve um comportamento uniforme em relação aos dados observados, ora ultrapassando estes, ora não.

Para umidade relativa o modelo CANESM2 nos 2 cenários, projetou menores valores médios, enquanto os demais ficaram mais próximos dos valores observados.

A velocidade do vento para todos os modelos climáticos apresentou maiores valores do que para os dados observados.

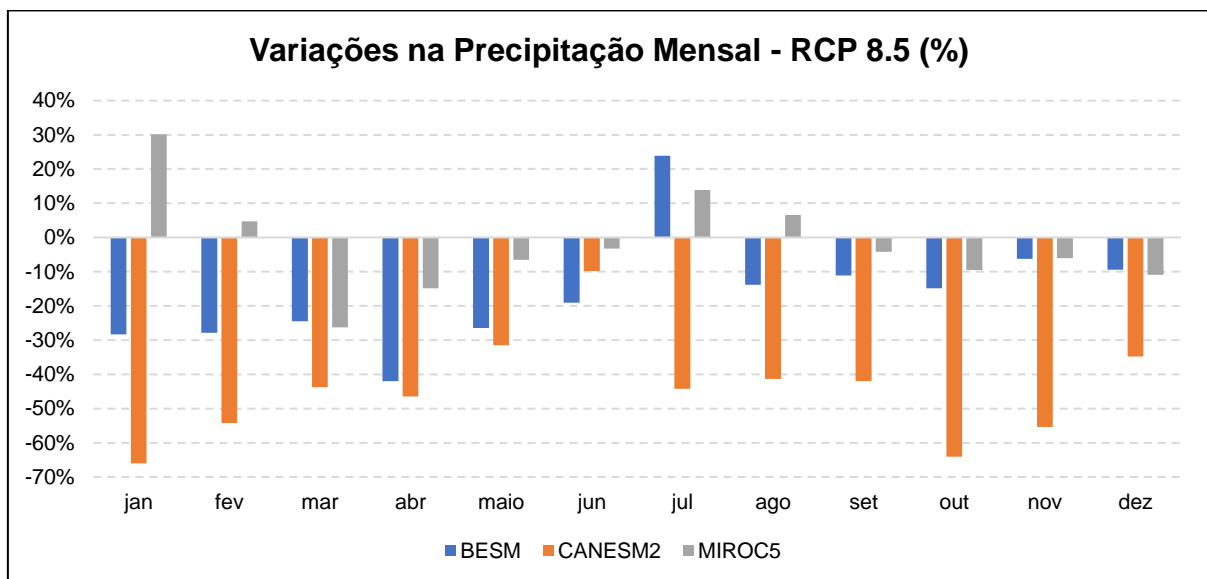
Para a pressão, os modelos apresentaram menos variações ao longo do ano em relação aos dados observados, além de apresentarem valores mais elevados no período futuro.

Figura 5.11 – Variações das médias mensais de precipitação dos modelos climáticos BESM, CANESM2 e MIROC5 no cenário RCP 4.5 no período futuro.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5.12 – Variações das médias mensais de precipitação dos modelos climáticos BESM, CANESM2 e MIROC5 no cenário RCP 8.5 no período futuro.



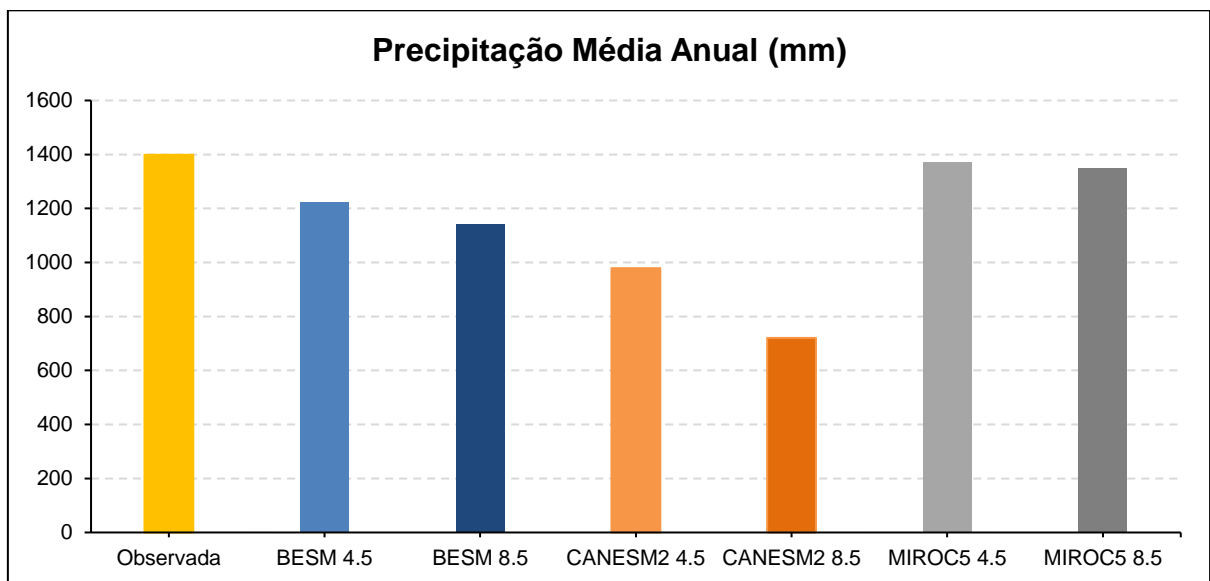
Fonte: Autoria própria.

Os valores negativos no eixo y representam a diminuição da precipitação, enquanto os valores positivos representam o contrário. Logo, observa-se a tendência de redução citada anteriormente, na qual o modelo BESM apresenta uma média anual de redução de 5% no cenário RCP 4.5 e de 17% no cenário RCP 8.5, o modelo CANESM2 registrou 25% e 44% de redução da precipitação média mensal nos cenários de médias e altas emissões, respectivamente, e por fim o modelo MIROC5

apresentou 3% de aumento da precipitação média mensal em relação a precipitação observada no cenário RCP 4.5 e 2% de redução no cenário RCP 8.5.

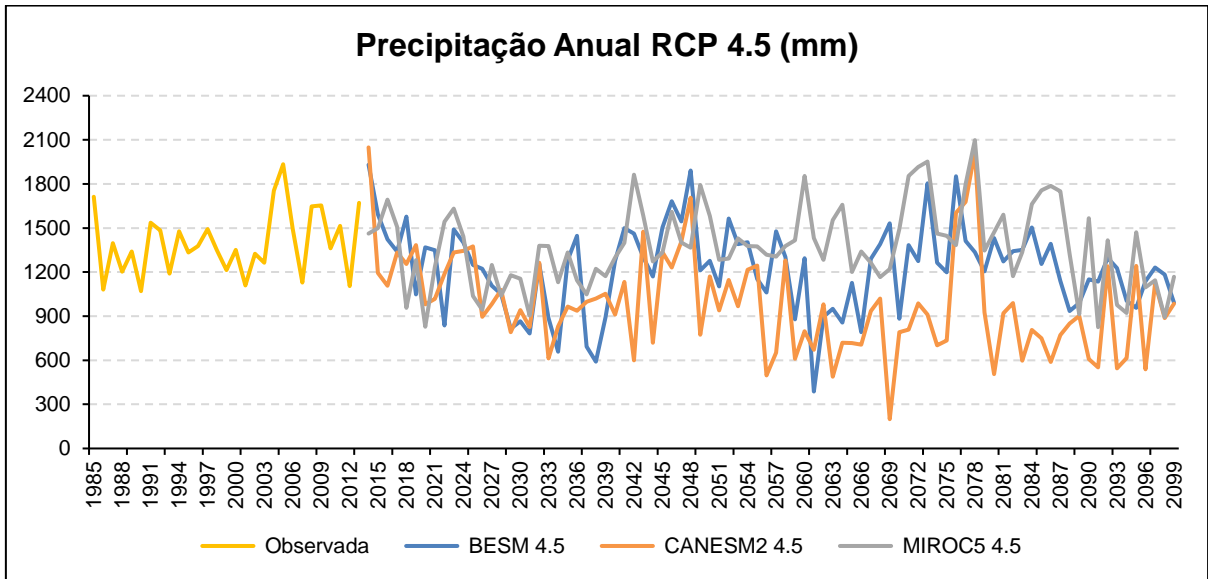
Através da análise das médias anuais de precipitação, pode-se perceber que todos os modelos apresentaram médias anuais futuras inferiores à média anual de precipitação observada no período atual. As Figuras 5.13, 5.14 e 5.15 abaixo, auxiliam no entendimento das tendências de comportamento das médias anuais de precipitação para cada modelo climático.

Figura 5.13 – Comparação entre a precipitação média anual dos modelos climáticos BESM, CANESM2 e MIROC5 durante o período futuro e a precipitação média anual observada.



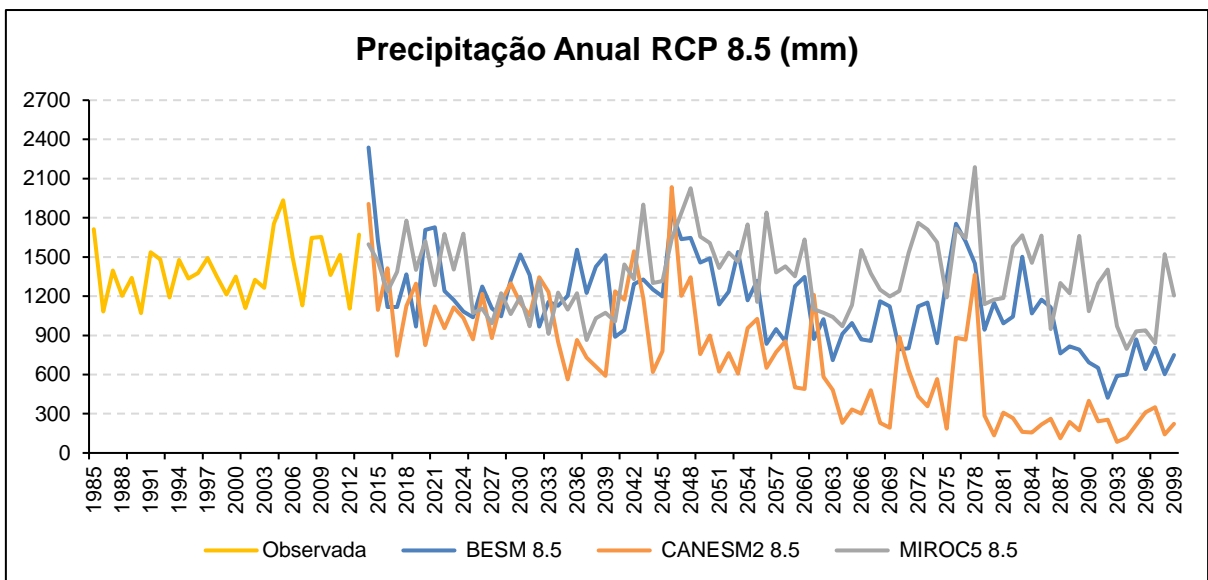
Fonte: Autoria própria.

Figura 5.14 – Comparação entre a precipitação média anual dos modelos climáticos BESM, CANESM2 e MIROC5 para o cenário RCP 4.5 durante o período futuro e a precipitação média anual observada.



Fonte: Autoria própria.

Figura 5.15 – Comparação entre a precipitação média anual dos modelos climáticos BESM, CANESM2 e MIROC5 para o cenário RCP 8.5 durante o período futuro e a precipitação média anual observada.



Fonte: Autoria própria.

Como pode ser visto nas figuras acima, o modelo CANESM2, em ambos os cenários, é o que apresenta maior redução da precipitação média anual.

Para a variável temperatura, no cenário de médias emissões, os modelos BESM e MIROC5 apresentaram temperaturas médias mensais inferiores as médias observadas. Neste cenário, o modelo CANESM2 foi o único que em alguns meses apresentou a média de temperatura maior que a observada no cenário atual. Já no cenário de altas emissões, o modelo CANESM2 também foi o que apresentou mais pontos acima da média observada. As variações de temperatura para cada modelo foram: redução de 5% e 2%, para o modelo BESM, nos cenários RCP 4.5 e 8.5, respectivamente, aumento de 1% e 4% para o modelo CANESM2, nos cenários RCP 4.5 e 8.5, respectivamente e para o MIROC5, redução na temperatura de 4% no RCP 4.5 e 1% no RCP 8.5. As variações encontradas para as outras variáveis climáticas estão expostas na Tabela 5.3 a seguir:

Tabela 5.3 – Variações de Insolação, Umidade Relativa, Velocidade do Vento e Pressão entre os dados dos modelos climáticos BESM, CANESM2 e MIROC5 e os dados observados.

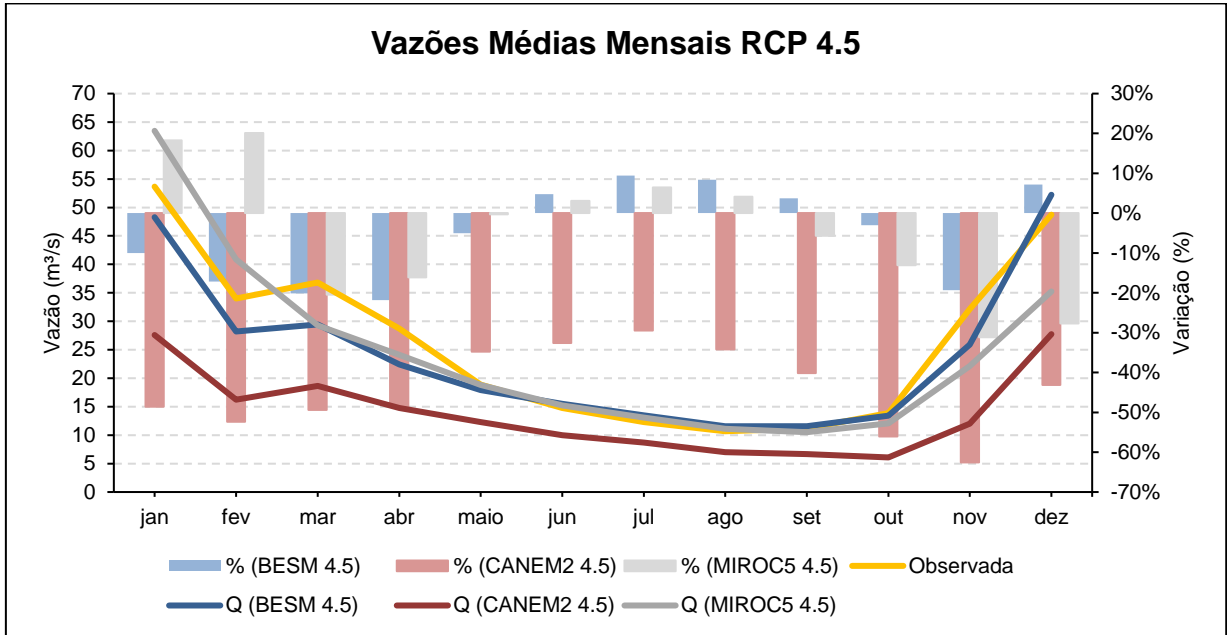
Variável	Variação (%)					
	BESM 4.5	BESM 8.5	CANESM2 4.5	CANESM2 8.5	MIROC5 4.5	MIROC5 8.5
Insolação	5	7	13	16	<0,5	2
Umidade Relativa	-1	-3	-9	-13	<0,5	-1
Velocidade do Vento	61	60	59	60	53	51
Pressão	<0,5	<0,5	<0,5	0,51	<0,5	0,54

Fonte: Autoria própria.

5.5 VARIBILIDADE DAS VAZÕES

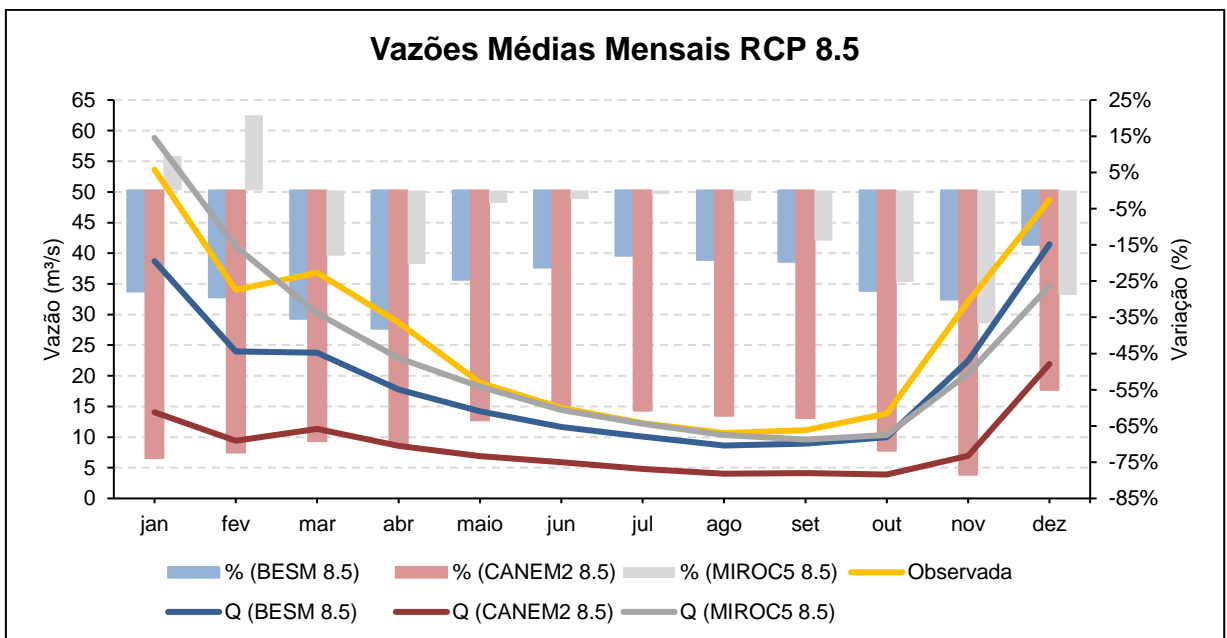
Os arquivos de precipitação e clima dos modelos climáticos foram inseridos no modelo MGB junto com os parâmetros de solo devidamente calibrados. A saída do modelo hidrológico consistiu na série de vazões para o período futuro analisado (2014 – 2099). As Figuras 5.16 e 5.17 apresentam as médias das vazões mensais para cada cenário, juntamente com a vazão média observada no período atual (1985 a 2013) e as variações obtidas por cada modelo no período futuro.

Figura 5.16 – Comparação entre as vazões médias mensais dos modelos BESM, CANESM2 e MIROC5 no cenário RCP 4.5 com as vazões observadas (linhas) e as respectivas variações (barras).



Fonte: Autoria própria.

Figura 5.17 – Comparação entre as vazões médias mensais dos modelos BESM, CANESM2 e MIROC5 no cenário RCP 8.5 com as vazões observadas (linhas) e as respectivas variações (barras).



Fonte: Autoria própria.

Através das figuras, observa-se que na maior parte dos meses as vazões médias de todos os modelos apresentaram valores inferiores às vazões observadas. Entretanto,

os modelos BESM e CANESM2, no cenário RCP 4.5, apresentaram um aumento das vazões no período seco. Isso possivelmente ocorreu devido a um pequeno aumento na precipitação que foi registrada por esses modelos em tal período.

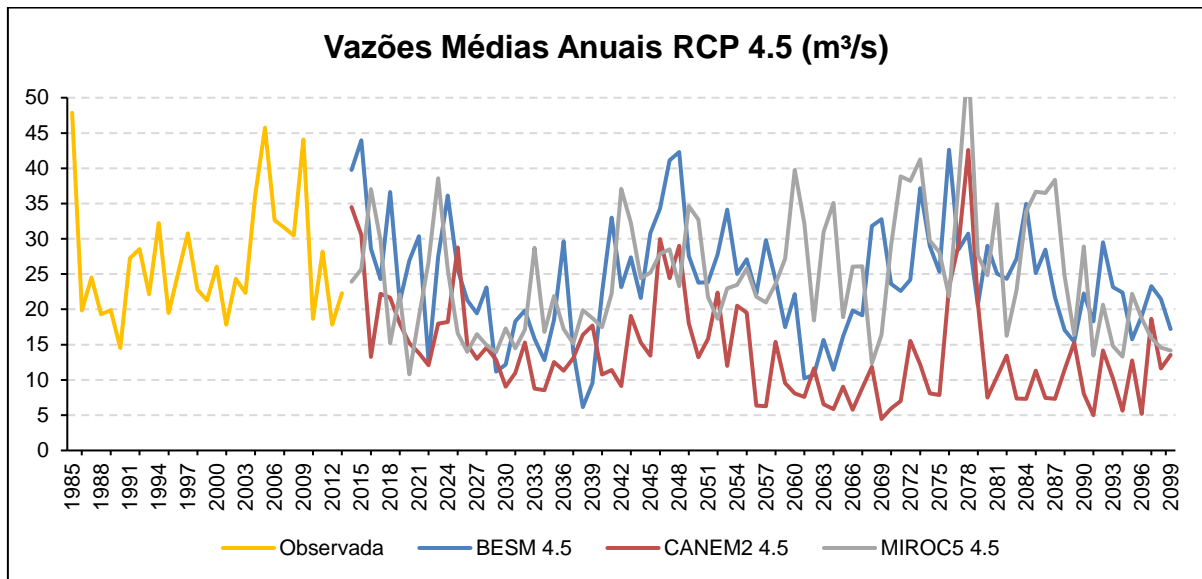
Para ambos os cenários climáticos analisados neste estudo, as maiores vazões médias mensais para o modelo BESM foram registradas no mês de dezembro, enquanto as menores foram registradas em setembro. Para o modelo CANESM2 as maiores vazões também foram em dezembro, e as menores foram registradas em outubro. Já o modelo MIROC5, assim como na série de vazões observadas, as maiores vazões médias mensais foram em janeiro e as menores vazões médias mensais foram registradas em setembro.

Nota-se que ao longo de todo ano, as vazões médias dos modelos e as médias dos dados observados apresentaram um comportamento similar, diferenciando-se, no geral, apenas em magnitude. Dessa forma, observa-se que as vazões são mais altas nos períodos de outubro a abril e são menores nos períodos de maio a setembro, que são respectivamente os períodos tipicamente chuvosos e tipicamente secos, como registrado nas análises de precipitação.

De modo geral, o modelo BESM apresentou uma redução de 5% nas vazões no cenário RCP 4.5 e de 26% no cenário RCP 8.5, o modelo CANESM2 foi que o apresentou a maior variação, reduzindo as vazões em 44% e 67% para os cenários de média e altas emissões, respectivamente. E por fim, o modelo MIROC5, que na média reduziu 5% das vazões no cenário RCP 4.5 enquanto no cenário RCP 8.5 reduziu 10% das vazões.

Analisou-se também as vazões médias anuais de cada modelo nos 2 cenários abordados. As Figura 5.18 e 5.19 permitem a visualização dessas médias ao longo do período de estudo e o comportamento de cada um dos modelos climáticos.

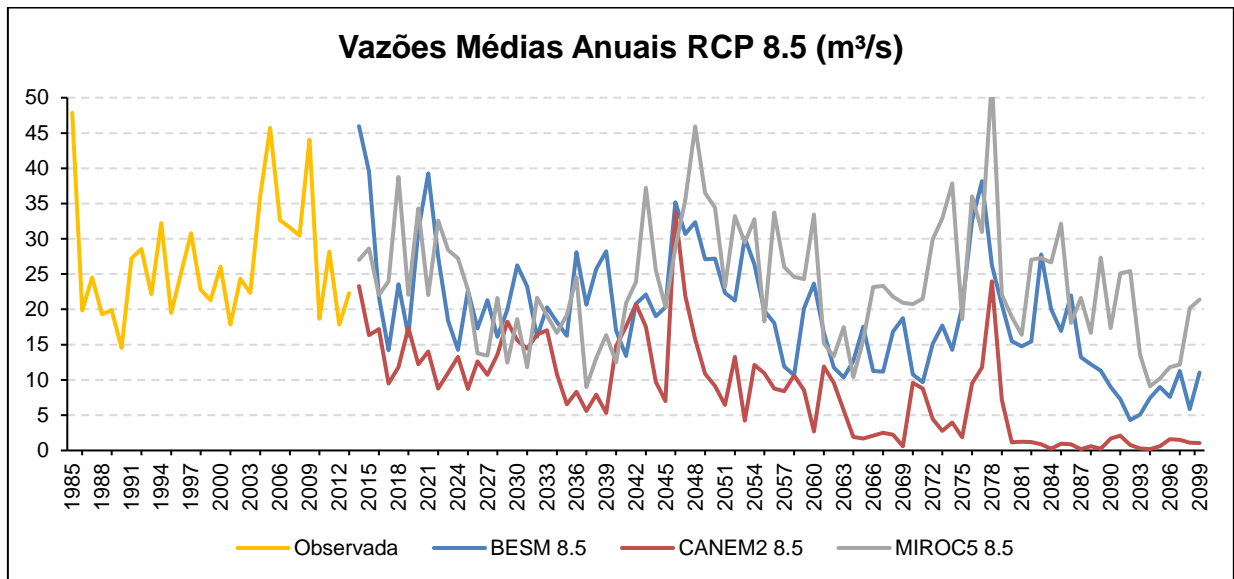
Figura 5.18 – Comparação entre as vazões médias anuais dos modelos BESM, CANESM2 e MIROC5 no cenário RCP 4.5 durante o período futuro com as vazões observadas durante o período atual.



Fonte: Autoria própria.

A vazão média observada para o período atual corresponde a 26,7 m³/s, enquanto a vazão média obtida para os modelos no cenário RCP 4.5 foram 24,2 m³/s, 14,0 m³/s e 24,6 m³/s para BESM, CANESM2 e MIROC5 respectivamente. Isso representa uma redução de 9%, 48% e 8% nas vazões médias anuais dos modelos BESM, CANESM2 e MIROC5, nessa ordem.

Figura 5.19 – Comparação entre as vazões médias anuais dos modelos BESM, CANESM2 e MIROC5 no cenário RCP 8.5 durante o período futuro com as vazões observadas durante o período atual.



Fonte: Autoria própria.

No cenário RCP 8.5 a da vazão média anual reduziu ainda mais, apresentando valores de 19,3 m³/s para o modelo BESM, 8,5 m³/s para o modelo CANESM2 e 23,5 m³/s para o MIROC5. Isso representa uma redução de 28%, 68% e 12% nas vazões médias anuais dos modelos BESM, CANESM2 e MIROC5, nessa ordem.

Na análise dos 2 cenários, o modelo CANESM2 se destaca pela maior variação negativa de vazão, inclusive alcançando vazões médias anuais muito próximas a zero após o ano de 2080.

6. CONCLUSÕES

Este estudo avaliou a variabilidade das vazões na bacia do Rio Itapemirim – ES frente aos cenários de mudanças climáticas (RCP 4.5 e RCP 8.5) propostos pelo IPCC. Sendo assim, utilizou-se o modelo hidrológico MGB para realizar as simulações de vazão para o período atual (1985 -2013), a qual permitiu calibrar e validar o modelo hidrológico para que este pudesse ser utilizado para realizar a previsão de vazão num período futuro.

Na simulação de vazões para o período futuro (2014 – 2099) os dados dos modelos climáticos tiveram a correção de viés realizada através do método escalonamento linear, a qual teve bons resultados, visto que os dados dos modelos climáticos foram aproximados dos dados observados, durante o período atual.

Através dos dados de precipitação dos modelos climáticos, observou-se que para o cenário RCP 4.5 todos os modelos apresentaram média anual no período futuro inferior à média anual no período atual. Além disso, os modelos BESM e CANESM2 apresentaram 5% e 25%, respectivamente, de redução na precipitação média mensal. Neste mesmo cenário, o modelo MIROC5 demonstrou um aumento de 3% nas precipitações médias mensais em relação as médias observadas. Com relação aos dados de temperatura, o modelo CANESM2 registrou um aumento de 1% nas médias mensais, enquanto os modelos BESM e MIROC5 apresentaram uma redução da temperatura em 5% e 4% das médias mensais, respectivamente.

No cenário RCP 8.5 todos os modelos climáticos analisados mostraram redução na precipitação média mensal (BESM com 17%, CANESM2 com 44% e MIROC5 com 2%) e todos eles também apresentaram média de precipitação anual no período inferior a média observada. Já a variável temperatura, apresentou um aumento nas médias mensais somente para o modelo CANESM2 (4%), enquanto para os modelos BESM e MIROC5 esta teve redução de 2% e 1% nas médias mensais, respectivamente.

Por fim, analisando os dados de vazão que foram gerados com os dados de clima e precipitação dos modelos climáticos, tem-se que todas as simulações apresentaram uma diminuição da vazão em ambos os cenários do IPCC. Para o cenário RCP 4.5 registrou-se uma redução nas vazões médias mensais de 5%, 44% e 5% quando utilizados os dados climáticos dos modelos BESM, CANESM2 e MIROC5,

respectivamente. Enquanto para o cenário RCP 8.5 a redução nas médias mensais de vazão foi de 26%, 67% e 10% para as simulações com os modelos BESM, CANESM2 e MIROC5, nessa ordem. Logo, percebe-se que o modelo climático que apresentou as maiores variações futuras, tanto em relação à vazão como em relação as variáveis precipitação e temperatura, foi o CANESM2.

Sabe -se que a bacia do Rio Itapemirim já apresentou episódios de conflito pelo uso da água, principalmente no período de crise hídrica que atingiu a bacia em 2015. Portanto, a diminuição da vazão projetada para a bacia hidrográfica poderá acarretar diversos problemas, entre eles o aumento do conflito pelo uso da água. Espera-se com esse trabalho, ajudar no planejamento de ações na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, buscando a mitigação dos conflitos pelo uso da água.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a aplicação de algumas melhorias como: utilizar outra base de dados para obtenção dos dados climáticos, como por exemplo o CRU (Climatic Research Unit), realizar a calibração do modelo de forma automática após a calibração manual, além de avaliar outros modelos climáticos, inclusive o modelo ETA com resolução espacial de 5km.

7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, K.N. **Impactos de Mudanças Climáticas nos Regimes de Precipitação e Vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí**. Dissertação de Mestrado. IPH, UFRGS, 147p. 2011.
- ADAM, K. N.; COLLISCHONN, W. Análise dos Impactos de Mudanças Climáticas nos Regimes de Precipitação e Vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 69-79. 2013.
- ADAM, K.N., FAN, F. M., PONTES, P. R. et al. Mudanças Climáticas e Vazões Extremas na Bacia do Rio Paraná. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre. v. 20. n. 4. p.999 - 1007. out./dez. 2015.
- ADAM, K. N. **Incertezas e Impactos de Mudanças Climáticas sobre o regime de vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai**. Tese. (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre. 147p. 2016.
- Agência Estadual de Recursos Hídricos (Agerh). **Diagnóstico e prognóstico das condições de uso da água na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim**. Relatório Etapa A. Vitória, 583p, 2018. Disponível em: [ambri<https://agerh.es.gov.br/>](https://agerh.es.gov.br/). Acesso em 03 de setembro de 2020.
- ALMEIDA, L., SERRA, J, C, V. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **Revista da FAE**. v. 20. n.1. 2017.
- AMBRIZZI, Tércio *et al.* **Cenários Regionalizados de Clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de Clima Futuro Usando Três Modelos Regionais**. 3. ed. São Paulo: Cptec/inpe, 112 p. 2007.
- AMIN, M. Z. M. et al. Future climate change impact assessment of watershed scale hydrologic processes in Peninsular Malaysia by a regional climate model coupled with a physically-based hydrology modelo. **Science of the Total Environment**, v. 575, p. 12–22, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.009>.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos. Subsídios ao Plano Nacional de Adaptação às Mudanças Climáticas**. 2015.
- BARRIOS, F. M. C. **Simulação Hidrológica em uma Bacia Hidrográfica Andina Sob Cenários de Mudanças Climáticas**. Tese de doutorado. UFMG. Belo Horizonte, 174p. 2013.
- BOYLE, J. S. Sensitivity of Dynamical Quantities to Horizontal Resolution for a Climate Simulation Using the ECMWF (Cycle 33) Model. **Journal of Climate**, v. 6, p. 796–815, abr. 1992. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1993JCLI...6..796B/abstract>.
- BORGES, T. C. S. **Gestão de Recursos Hídricos na Amazônia: Uma Análise do Uso Múltiplo da Água na Região e Suas Implicações Socioambientais**. Tese de mestrado. UFOPA. Santarém, Paraná, 86p. 2019.
- BRANCO, P.M. **Coisas que Você Deve Saber sobre a Água**. Elaborado por Serviço Geológico do Brasil CPRM. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/CPRM->

Divulga/Coisas-que-Voce-Deve-Saber-sobre-a-Agua-

1084.html#:~:text=Cerca%20de%2012%25%20da%20C3%A1gua,%2C%20conta%20com%20apenas%206%25.. Acesso em: 25 abr. 2021.

BRAVO, J. M. et al. Impact of projected climate change on hydrologic regime of the Upper Paraguay River basin. **Climatic Change**, v. 127, n. 1, p. 27–41, 2014.

BUSSI, Gianbattista et al. Modelling the future impacts of climate and land-use change on suspended sediment transport in the River Thames (UK). **Journal Of Hydrology**, [s.l.], v. 542, p.357-372, nov. 2016.

Burkett, V.R. et al. (2014). **Point of departure**. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 169-194.

CARLOS, M. E. M; SANTOS, M. M. O. **Mudanças Climáticas e Tecnologia**. Cadernos de Tecnologia 02. Instituto Nacional de Tecnologia. Rio de Janeiro, 72p, 2009.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (Org.). **Estudos relativos às Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos para embasar o Plano nacional de adaptação às Mudanças Climáticas: Eixo 1 - Cenários de Mudanças para Estudos de Adaptação no setor de Recursos Hídricos**. Fortaleza, 2014.

CHOU, S. C. et al. **Evaluation of the eta simulations nested in three global climate models**. **American Journal of Climate Change**. v. 3, n. 05, p. 438, 2014.

COLLISCHONN, W. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. Tese de doutorado. IPH, UFRGS. Porto Alegre, 194p. 2001.

COLLISCHONN, B. **Uso da Precipitação Estimada por Satélite TRMM em um Modelo Hidrológico Distribuído**. Dissertação de Mestrado, IPH-UFRGS, Porto Alegre, RS, 128p. 2006.

COLLISCHONN, B. et al. Modelagem Hidrológica de Uma Bacia com Uso Intensivo de Água: Caso do Rio Quaraí-RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 119-133, 2011.

CHILKOTI, V.; BOLISSETTI, T.; BALACHANDAR, R. Climate change impact assessment on hydropower generation using multi-model climate ensemble. **Renewable Energy**, v. 109, p. 510–517, ago. 2017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148117301271>>.

CRUZ, M. A. S. et al. Avaliação das precipitações geradas pelo modelo climático regional ETA-HadGEM2-ES para o Estado de Sergipe. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10. 2017.

DELA COSTA, F.P. et al. Impacto das mudanças climáticas na vazão e descarga sólida em suspensão na bacia do Rio Doce. In: XIV ENES - Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 2020, Campinas. **Anais....**Porto Alegre: ABRH, 2020a.p. 1 - 8.

DELA COSTA, F. P. et al. Modelagem de Sedimentos na Bacia do Rio Guaporé-RS. In: XIV ENES - Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 2020b, Campinas. **Anais....**Porto Alegre: ABRH, 2020.p. 1 - 8.

FAN, F.M. **Acoplamento entre Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica: Integração do Modelo MGB-IPH.** Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 183. 2011.

Fan F. M., Buarque D. C., Pontes, P.R.M., Collischonn W. Um mapa de unidades de resposta hidrológica para a América do Sul. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Novembro de 2015, Brasília-DF. **Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.** PAP019919. 2015.

FERREIRA, W. P. M., SILVA, M. A. V., SOUZA, C.F. Clima, Recursos Hídricos e Produção Agrícola: perspectivas, desafios e possibilidades para a gestão. Informe Agropecuário. **Gestão de recursos hídricos e ambientais.** Belo Horizonte, v. 39. n 304. p. 65 - 79, 2018.

FREITAS, M. A. V; SOITO, J. L. S. Mudança do clima no Brasil: vulnerabilidade, impactos e adaptação. Parcerias Estratégicas / Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Ministério da Ciência e Tecnologia**, v. 1. p. 177 -212. Brasília, 2008.

GAMA, W. M. **Impactos das Mudanças Climáticas na Resposta Hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio (AL/PE).** Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, Alagoas, 114p. 2011.

IPCC. **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability.** Contribution of the Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge (UK): Cambridge University Press, 976p. 2007.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis.** Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NI, EUA, 203p. 2013.

IPCC. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects.** Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 p. 2014.

KARLSSON, I. B. et al. Combined effects of climate models, hydrological model structures and land use scenarios on hydrological impacts of climate change. **Journal of Hydrology**, v. 535, p. 301–317, abr. 2016.

KENDON, E. J. et al. Using and Designing GCM–RCM Ensemble Regional Climate Projections. **Journal of Climate.** v. 23, p. 6485-6503. 2010.

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

LYRA, A., TAVARES, P., CHOU, S.C. *et al.* **Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution.** *Theor Appl Climatol* 132, 663–682 (2018).

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade.** Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI. Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Brasília, 2006.

MARENGO, J. A. **Água e Mudanças Climáticas. Estudos Avançados**, v.22 n.63 São Paulo 2008 doi: 10.1590/S0103-40142008000200006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a06.pdf>>. Acesso dia 05 de abril de 2020.

MARENGO, J.A., CHOU, S.C., KAY, G. *et al.* **Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins.** *Clim Dyn* 381829–1848 (2012).

MARTZ, L. W.; GARBRECHT, J. An outlet breaching algorithm for the treatment of closed depressions in a raster DEM. *Comput. Geoscienc.*, v. 25, n. 7, p. 835-844, Aug. 1999.

MEDEIROS, M. S., FLEISCHMANN, A. S., OLIVEIRA, A. M. **Manual de Exemplo de Aplicação do Modelo MGB 2018 Utilizando o IPH - Hydro Tools.** 84p. Hidrologia de Grande Escala. UFRGS. 2018.

MELLER, A.; BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W. Assimilação de Dados de Vazão na Previsão de Cheias em Tempo-Real com o Modelo Hidrológico MGB-IPH. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 3, jul/set. 2012.

MINVILLE, M., BRISSETTE, F., KRAU, S. *et al.* Adaptation to Climate Change in the Management of a Canadian Water-Resources System Exploited for Hydropower. **Water Resour Manage** 23, p. 2965–2986. 2009.

MORIASI, et al. **Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations.** *Transactions Of The Asabe*, v. 50, n. 3, p.885-900. 2007.

MOURA, C.N. **Impactos hidrológicos de mudanças climáticas na bacia hidrográfica do Alto Canoas, SC.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 124p. 2017.

NERANTZAKI, S. D et al. Modeling suspended sediment transport and assessing the impacts of climate change in a karstic Mediterranean watershed. **Science of the Total Environment**, v.538, p.288–297, 2015.

NOBRE et al. Dynamical Downscaling of Seasonal Climate Prediction over Nordeste Brazil with ECHAM3 and NCEP's Regional Spectral Models at IRI. **Bulletin of the American Meteorological Society**. vol. 82, p.2787-2796, 2001.

NOBRE et al. **Relatório n. 06: Mudanças Climáticas e possíveis alterações nos biomas da América do Sul.** São Paulo: CPTC/INPE/IAE/CTA. 25p. 2007.

NÓBREGA, M.T. et al. **Uncertainty in climate change impacts on water resources in the Rio Grande Basin**. Hydrology and Earth System Sciences, v.15, p. 585-595. 2011.

OLIVEIRA, R.F. **Calibração e Validação do Modelo de Grandes Bacias MGB-IPH Para a Bacia do Alto Teles Pires**. Trabalho de Conclusão de Curso- Engenheira Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 51p. 2016

OLIVEIRA, J. P. et al. Compartimentação morfoestrutural da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, sul do estado do Espírito Santo. **Geologia USP. Série Científica**, v. 18, n. 2, p. 57–70, 24 jul. 2018. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/148391>>.

PAIVA, R. C. D. (2009). **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias. Estudo de caso: bacia do rio Solimões**. Dissertação de mestrado. IPH-UFRGS.

PELINSON, D. **Análise da variação das vazões frente a cenários de mudanças climáticas na Bacia Hidrográfica do Rio Negro - RS**. Trabalho de conclusão apresentado ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do título de Engenheiro Hídrico. Porto Alegre, 55p. 2019.

PEREIRA. M.; KAYSER. R. B.; COLLISCHONN. W. Integração do Modelo Hidrológico para Grandes Bacias MGB-IPH e Sistemas de Informação Geográfica para suporte à decisão de outorga de direito de uso da água. **Rega**, v. 9, n. 2, p. 21-33, jul./dez. 2012.

PERHES (org.). **PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESPÍRITO SANTO: macroproduto 2 | diagnóstico consolidado dos recursos hídricos final | fevereiro-2018**. Espírito Santo: Governo do Estado do Espírito Santo, 2018. 219 p. Disponível em: https://perh.es.gov.br/Media/perh/Arquivos%20Biblioteca/Diagn%C3%B3sticos/Diagn%C3%B3stico_Consolidado_PERHES.pdf. Acesso em: 10 set. 2020.

PONTES, P. R. M. et al. Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 888-904, 2015.

PONTES, P. R. M. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada da bacia do rio da Prata**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH-UFRGS. Porto Alegre, 194p, 2016.

PONTES, P. R. M. et al. MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. **Environmental Modelling and Software**, v. 94, p. 1-20, ago. 2017.

POSSA, T. M. et al. Aplicação do Modelo MGB-IPH para Simulação de Rios e Lagos na bacia Transfronteiriça Mirim-São Gonçalo. **XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos hídricos**. 2p. 2019.

PRADO, M.C.R; RODRIGUEZ, D. A; TOMASELLA, J. Resposta hidrológica a cenários de mudanças globais na bacia do Rio Xingu. **Congresso IWRA**. 12p. 2011.

QUEEN, G.S. **Investigação sobre o impacto de mudanças climáticas no volume de reservatórios para geração de energia**. Dissertação (Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2016

REBOITA, M. S. et al. Cenários de Mudanças Climáticas projetados para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 14 – Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais. p. 110-128, nov. 2019.

RENNÓ, C, D.; SOARES, J. V. **Conceitos Básicos de Modelagem Hidrológica**. Inpe, Santa Maria. 33p. 2008.

RODRIGUES, N. C. **Modelagem da Disponibilidade Hídrica Natural da Bacia do Rio Paracatu em Cenário de Mudanças Climáticas**. Dissertação. (Mestrado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 75p. 2013.

RODRIGUES et al. **Água e Agricultura: incertezas e desafios para a sustentabilidade frente às mudanças do clima e do uso da terra**. Anais IV Seminário da Rede Agrohidro. Embrapa. Brasília, 2016.

SANTANA, T. B. **Impacto de Mudanças Climáticas sobre o regime de vazões e a geração hidrelétrica de energia**. Dissertação. (Mestrado em Ciências e Engenharia de Energia). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 135p. 2013.

SANTOS, L. L. MODELOS HIDRÁULICOS-HIDROLÓGICOS: Conceitos e Aplicações. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 3, p. 1-19, 2009.

SCHUSTER R. C. **Análise de Cenários Futuros de Mudanças Climáticas na Disponibilidade Hídrica na Bacia Hidrográfica da Laguna dos Patos**. Tese (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 124p. 2019.

SCHUSTER R. C; FAN F. M; COLLISCHONN, W. Cenários de mudanças climáticas na disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica transfronteiriça da Laguna dos Patos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v. 2, e9, 2020.

SECA faz 16 cidades decretarem situação de emergência no ES. G1, Espírito Santo, Tv Gazeta. Agosto de 2015. Disponível em: < <http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2015/08/seca-faz-16-cidades-decretarem-situacao-de-emergencia-no-es.html>>.

SIEFERT, C. A; MARANGON, F; SANTOS, I. Impactos das Mudanças Climáticas no Armazenamento e Produção de Água em Ambiente Subtropical: Modelagem Hidrológica e Análise de Incertezas. **Sociedade & Natureza**, v. 30, n. 2, p. 116–139. 2018. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/37567/pdf>>.

SILVA, D. S; MEDEIROS, J. F. **Aplicação do Modelo Hidrológico MGB-IPH na Bacia Hidrográficas do Rio Piranhas-Açu**. Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. ABRH. Maceió, 2018. Disponível em < <http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/81/10695.pdf>>. Acesso 11 de maio de 2020.

SILVEIRA, C. S. et al. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 416–428, 2016. Disponível em : < <https://www.scielo.br/pdf/rbrh/v21n2/2318-0331-rbrh-21-2-416.pdf>>. Acesso em 15 de maio de 2020.

Siqueira, V. A. ; Fleischmann, A. S. ; Jardim, P. F. ; Fan, F. M. ; Collischonn, W. . IPHHydro Tools: uma ferramenta open source para determinação de informações topológicas em bacias hidrográficas integrada a um ambiente SIG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2016.

SOUSA, R. M. **Mudanças Climáticas Futuras Simuladas Pelos Modelos Regionais ETA-HADGEM2-ES e ETA-MIROC5 para o Estado do Tocantins**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais). Universidade Federal do Tocantins. Gurupi, Tocantins. 96p. 2017.

TEUTSCHBEIN, Claudia; SEIBERT, Jan. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. **Journal Of Hydrology**, v. 456-457, p.12-29, ago. 2012.

TSCHOKE, G. V. **Correção do Viés das Simulações de Precipitação do Modelo Climático Regional ETA para a Área da Bacia do Rio Juqueriquerê**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 170p. 2014.

TUCCI, C. E. M. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. Brasília: **Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas**, 2002. 150 p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: ABRH, 1998.

VALÉRIO, E; JÚNIOR, C. Avaliação dos efeitos de mudanças climáticas no regime hidrológico da bacia do rio Paraguaçu, BA. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 872–887, 2015.

VAREJÃO, V; ARPINI, N. Espírito Santo vive a pior seca dos últimos 40 anos, aponta governo. G1, Espírito Santo, Tv Gazeta. Janeiro de 2015. Disponível em: < <http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2015/01/espírito-santo-vive-pior-seca-dos-ultimos-40-anos-aponta-governo.html>>.

VIANA, D. B. **Vulnerabilidade de Biomas às Mudanças Climáticas: O caso da Mata Atlântica no Estado do Paraná**. Tese (Doutorado em Planejamento Energético). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Rio de Janeiro, 343p. 2015.

ZHANG, Y. et al. Impact of projected climate change on the hydrology in the headwaters of the Yellow River basin. **Hydrological Processes**, v. 29, n. 20, p. 4379–4397, 30 set. 2015. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/hyp.10497>>.

ZHOU, Yuyan et al. Climate change impacts on flow and suspended sediment yield in headwaters of high-latitude regions—A case study in China's far northeast. **Water**, v. 9, n. 12, p. 966, 2017.

APÊNDICE A – ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

Tabela A.1 – Estações pluviométricas e suas localizações.

Estação	Longitude (°)	Latitude(°)	Nome
1940010	-19.95	-40.55	VALSUGANA VELHA - MONTANTE
1940020	-19.96	-40.74	CALDEIRÃO
1941008	-19.90	-41.06	LARANJA DA TERRA
2040000	-20.36	-40.66	DOMINGOS MARTINS (DNOS)
2040005	-20.78	-40.83	ICONHA - MONTANTE
2040006	-20.95	-40.95	USINA PAINEIRAS
2040007	-20.03	-40.74	SANTA MARIA DO JETIBÁ
2040008	-20.14	-40.98	GARRAFÃO (DNOS)
2040009	-20.80	-40.66	ANCHIETA (DNOS)
2040011	-20.56	-40.81	MATILDE (DNOS)
2040012	-20.41	-40.68	MARECHAL FLORIANO (DNOS)
2040013	-20.88	-40.94	RIO NOVO DO SUL
2040015	-20.28	-40.78	PEROBINHA (DNOS)
2040017	-20.73	-40.88	DUAS BARRAS (DNOS)
2040018	-20.08	-40.61	CACHOEIRA SUIÇA (DNOS)
2040020	-20.59	-40.95	VILA NOVA MARAVILHA
2040023	-20.30	-40.93	SÃO RAFAEL
2040042	-20.63	-40.75	ALFREDO CHAVES
2040045	-20.32	-40.65	CÓRREGO DO GALO
2040046	-20.39	-40.56	PCH JUCU JUSANTE
2040047	-20.05	-40.75	PCH RIO BONITO MONTANTE 1
2041000	-20.91	-41.20	ATÍLIO VIVACQUA
2041001	-20.77	-41.68	GUAÇUÍ
2041002	-20.61	-41.20	CASTELO
2041003	-20.75	-41.47	RIVE

2041005	-20.69	-41.92	CAIANA
2041008	-20.11	-41.73	DORES DO MANHUMIRIM
2041010	-20.70	-41.02	JACIGUA (DNOS)
2041011	-20.35	-41.24	CONCEIÇÃO DO CASTELO (DNOS)
2041012	-20.45	-41.40	MUNIZ FREIRE (DNOS)
2041013	-20.35	-41.54	IÚNA
2041014	-20.69	-418461.00	DORES DO RIO PRETO
2041015	-20.94	-41.40	FAZENDA MONTE ALEGRE
2041016	-20.54	-41.67	IBITIRAMA
2041017	-20.32	-41.70	SANTA CRUZ - CAPARAÓ
2041018	-20.37	-41.41	USINA FORTALEZA
2041019	-20.53	-41.51	ITAICI
2041020	-20.37	-41.06	ARACE (FAZENDA MODELO)
2041021	-20.68	-413483.00	BURARAMA
2041023	-20.08	-41.12	AFONSO CLÁUDIO - MONTANTE
2041044	-20.52	-41.87	CAPARÃO
2041045	-20.85	-41.10	CACHOEIRO DO ITAPEMIRIM
2041046	-20.93	-41.87	VARRE - SAI
2041048	-20.17	-41.96	FAZENDA VARGEM ALEGRE
2041049	-20.77	-41.47	ALEGRE
2041050	-20.47	-41.40	MUNIZ FREIRE
2041051	-20.32	-41.17	VENDA NOVA
2041055	-20.57	-41.24	PCH SÃO JOÃO JUSANTE
2041056	-20.41	-41.27	PCH VIÇOSA JUSANTE
2041057	-20.76	-41.52	PCH ALEGRE JUSANTE
2041058	-20.70	-41.09	PCH FRUTEIRAS JUSANTE
2042000	-20.74	-42.02	CARANGOLA
2042027	-20.97	-42.05	PORCIUNCULA

2140000	-21.01	-40.84	BARRA DO ITAPEMIRIM (DNOS)
2141004	-21.21	-41.89	ITAPERUNA
2141014	-21.21	-41.46	PONTE DO ITABAPOANA
2141015	-21.06	-41.36	MIMOSO DO SUL
2141016	-21.02	-41.66	SÃO JOSÉ DO CALÇADO
2141017	-21.07	-41.24	SÃO JOSÉ DAS TORRES
2141045	-21.2	-41.9	ITAPERUNA

APÊNDICE B – ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

Tabela B.1 – Estações fluviométricas e suas localizações.

Estação	Longitude (°)	Latitude(°)	Nome
57350000	-20.3714	-41.4069	Usina Fortaleza
57360000	-20.3522	-41.5328	Iúna
57370000	-20.4303	-41.5028	Terra Corrida - Montante
57400000	-20.5283	-41.5114	Itaici
57420000	-20.5406	-41.6656	Ibitirama
57450000	-20.7469	-41.4661	Rive
57460000	-20.7575	-41.2653	Pacotuba
57476500	-20.4269	-41.2761	Fazenda Laginha
57490000	-20.6061	-41.1997	Castelo
57550000	-20.7025	-41.1736	Usina São Miguel
57555000	-20.7583	-41.1736	Coutinho
57580000	-20.955	-40.95	Usina Paineiras
57650000	-21.0167	-41.0875	Fazenda Cacheta

APÊNDICE C – ESTAÇÃO CLIMATOLÓGICA

Tabela C.1 – Estação climatológica e sua localização.

Estação	Longitude(°)	Latitude(°)	Nome
00083646	-20.850	-41.100	Cachoeiro de Itapemirim

APÊNDICE D – PARÂMETROS FIXOS

Tabela D.1 – Parâmetros Fixos.

Albedo												
use	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
FlorRas	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
FlorProf	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
AgriRas	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
AgriProf	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
CampRas	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CampProf	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Varzea	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
ASI	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Agua	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Índice de Área Foliar												
use	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	ouc	nov	dec
FlorRas	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
FlorProf	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
AgriRas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AgriProf	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
CampRas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CampProf	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Varzea	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ASI	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Agua	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Altura das árvores												
use	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
FlorRas	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
FlorProf	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
AgriRas	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
AgriProf	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
CampRas	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CampProf	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Varzea	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
ASI	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Agua	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Resistência Superficial												
use	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
FlorRas	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
FlorProf	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
AgriRas	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AgriProf	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
CampRas	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
CampProf	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Varzea	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
ASI	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Agua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

APÊNDICE E – PARÂMETROS CALIBRÁVEIS

Tabela E.1 – Parâmetros Calibráveis.

Sub - bacia 1							
use	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FlorRas	200	0.2	3	40	0.67	0	0.1
FlorProf	400	0.2	4	40	0.67	0	0.1
AgriRas	200	0.2	3	40	0.67	0	0.1
AgriProf	400	0.2	4	40	0.67	0	0.1
CampRas	200	0.2	3	40	0.67	0	0.1
CampProf	400	0.2	4	40	0.67	0	0.1
Varzea	60	0.2	3	40	0.67	0	0.1
ASI	60	0.2	3	40	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS	25						
CI	200						
CB	2000						
QB_M3/SKM2	0.01						
Sub - bacia 2							
use	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FlorRas	350	0.2	5	5	0.67	0	0.1
FlorProf	450	0.2	5	5	0.67	0	0.1
AgriRas	350	0.2	5	5	0.67	0	0.1
AgriProf	450	0.2	5	5	0.67	0	0.1
CampRas	350	0.2	5	5	0.67	0	0.1
CampProf	450	0.2	5	5	0.67	0	0.1
Varzea	150	0.2	5	5	0.67	0	0.1
ASI	150	0.2	5	5	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS	25						
CI	50						
CB	3000						
QB_M3/SKM2	0.01						
Sub - bacia 3							
use	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FlorRas	500	0.2	4.5	25	0.67	0	0.1
FlorProf	250	0.2	4	25	0.67	0	0.1
AgriRas	500	0.2	4.5	20	0.67	0	0.1
AgriProf	250	0.2	4	20	0.67	0	0.1
CampRas	500	0.2	4.5	20	0.67	0	0.1
CampProf	250	0.2	4	20	0.67	0	0.1
Varzea	100	0.2	4	20	0.67	0	0.1
ASI	100	0.2	4	20	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0

CS	20						
CI	200						
CB	1850						
QB_M3/SKM2	0.01						
Sub - bacia 4							
use	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FlorRas	800	0.2	3	8	0.67	0	0.1
FlorProf	600	0.2	2.5	8	0.67	0	0.1
AgriRas	800	0.2	3	8	0.67	0	0.1
AgriProf	600	0.2	2.5	8	0.67	0	0.1
CampRas	800	0.2	3	8	0.67	0	0.1
CampProf	600	0.2	2.5	8	0.67	0	0.1
Varzea	400	0.2	2	8	0.67	0	0.1
ASI	400	0.2	2	8	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS	18						
CI	100						
CB	1200						
QB_M3/SKM2	0.01						
Sub - bacia 5							
use	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FlorRas	130	0.2	5	40	0.67	0	0.1
FlorProf	130	0.2	5	40	0.67	0	0.1
AgriRas	130	0.2	5	40	0.67	0	0.1
AgriProf	130	0.2	5	40	0.67	0	0.1
CampRas	130	0.2	5	40	0.67	0	0.1
CampProf	130	0.2	5	40	0.67	0	0.1
Varzea	130	0.2	5	40	0.67	0	0.1
ASI	130	0.2	5	40	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS	20						
CI	200						
CB	4000						
QB_M3/SKM2	0.01						
Sub - bacia 6							
use	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FlorRas	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
FlorProf	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
AgriRas	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
AgriProf	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
CampRas	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
CampProf	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
Varzea	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
ASI	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0

CS	20						
CI	200						
CB	6000						
QB_M3/SKM2	0.01						
Sub - bacia 7							
use	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FlorRas	400	0.2	2	20	0.67	0	0.1
FlorProf	400	0.2	2	20	0.67	0	0.1
AgriRas	400	0.2	2	20	0.67	0	0.1
AgriProf	400	0.2	2	20	0.67	0	0.1
CampRas	400	0.2	2	20	0.67	0	0.1
CampProf	400	0.2	2	20	0.67	0	0.1
Varzea	400	0.2	2	20	0.67	0	0.1
ASI	400	0.2	2	20	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS	20						
CI	150						
CB	1200						
QB_M3/SKM2	0.01						
Sub - bacia 8							
use	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FlorRas	350	0.2	2.5	40	0.67	0	0.1
FlorProf	350	0.2	2.5	40	0.67	0	0.1
AgriRas	350	0.2	2.5	40	0.67	0	0.1
AgriProf	350	0.2	2.5	40	0.67	0	0.1
CampRas	35	0.2	2.5	40	0.67	0	0.1
CampProf	350	0.2	2.5	40	0.67	0	0.1
Varzea	350	0.2	2.5	40	0.67	0	0.1
ASI	350	0.2	2.5	40	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS	17						
CI	200						
CB	6000						
QB_M3/SKM2	0.01						
Sub - bacia 9							
use	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FlorRas	400	0.25	2	25	0.67	0	0.1
FlorProf	400	0.25	2	25	0.67	0	0.1
AgriRas	400	0.25	2	25	0.67	0	0.1
AgriProf	400	0.25	2	25	0.67	0	0.1
CampRas	400	0.25	2	25	0.67	0	0.1
CampProf	400	0.25	2	25	0.67	0	0.1
Varzea	400	0.25	2	25	0.67	0	0.1
ASI	400	0.25	2	25	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0

CS	25						
CI	50						
CB	1400						
QB_M3/SKM2	0.01						
Sub - bacia 10							
use	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FlorRas	450	0.2	2.2	10	0.67	0	0.1
FlorProf	450	0.2	2.2	10	0.67	0	0.1
AgriRas	450	0.2	2.2	10	0.67	0	0.1
AgriProf	450	0.2	2.2	10	0.67	0	0.1
CampRas	450	0.2	2.2	10	0.67	0	0.1
CampProf	450	0.2	2.2	10	0.67	0	0.1
Varzea	450	0.2	2.2	10	0.67	0	0.1
ASI	450	0.2	2.2	10	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS	20						
CI	200						
CB	7000						
QB_M3/SKM2	0.01						
Sub - bacia 11							
use	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FlorRas	380	0.2	3	25	0.67	0	0.1
FlorProf	330	0.2	3	25	0.67	0	0.1
AgriRas	380	0.2	3	25	0.67	0	0.1
AgriProf	330	0.2	3	25	0.67	0	0.1
CampRas	380	0.2	3	25	0.67	0	0.1
CampProf	330	0.2	3	25	0.67	0	0.1
Varzea	280	0.2	3	25	0.67	0	0.1
ASI	280	0.2	3	25	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS	19						
CI	180						
CB	2500						
QB_M3/SKM2	0.01						
Sub - bacia 12							
use	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FlorRas	1000	0.15	0.5	40	0.67	0	0.1
FlorProf	1000	0.15	0.5	40	0.67	0	0.1
AgriRas	1000	0.15	0.5	40	0.67	0	0.1
AgriProf	1000	0.15	0.5	40	0.67	0	0.1
CampRas	1000	0.15	0.5	40	0.67	0	0.1
CampProf	1000	0.15	0.5	40	0.67	0	0.1
Varzea	1000	0.15	0.5	40	0.67	0	0.1
ASI	1000	0.15	0.5	40	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0

CS	30						
CI	50						
CB	2000						
QB_M3/SKM2	0.01						
Sub - bacia 13							
use	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FlorRas	600	0.12	1.4	30	0.67	0	0.1
FlorProf	550	0.12	1.4	30	0.67	0	0.1
AgriRas	600	0.12	1.4	30	0.67	0	0.1
AgriProf	550	0.12	1.4	30	0.67	0	0.1
CampRas	600	0.12	1.4	30	0.67	0	0.1
CampProf	550	0.12	1.4	30	0.67	0	0.1
Varzea	500	0.12	1.4	30	0.67	0	0.1
ASI	500	0.12	1.4	30	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS	1						
CI	50						
CB	2500						
QB_M3/SKM2	0.01						
Sub - bacia 14							
use	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FlorRas	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
FlorProf	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
AgriRas	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
AgriProf	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
CampRas	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
CampProf	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
Varzea	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
ASI	400	0.2	3	25	0.67	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0
CS	20						
CI	200						
CB	6000						
QB_M3/SKM2	0.01						

APÊNDICE F – HIDROGRAMAS E CURVAS DE PERMANÊNCIA DA CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO

Hidrogramas e Curvas de Permanência gerados na etapa de calibração:

Figura F.1 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 183 na etapa de calibração.

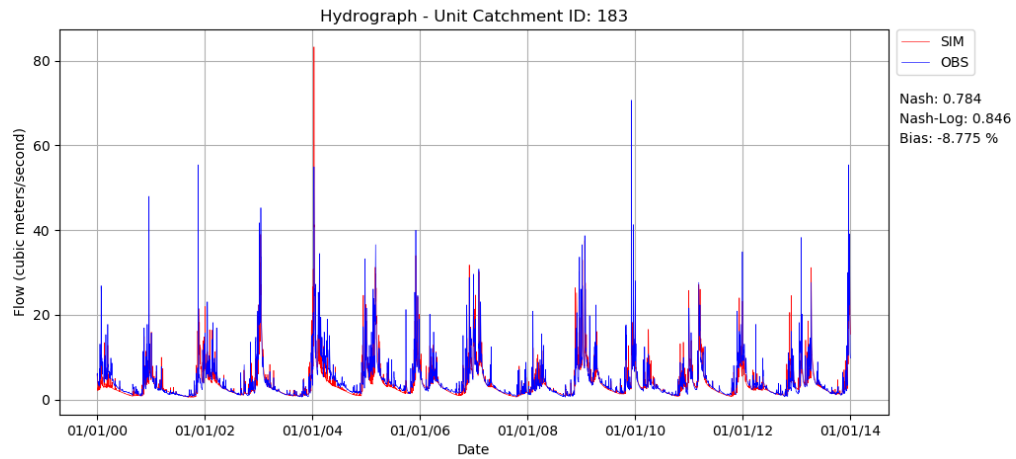


Figura F.2 – Curva de permanência para a minibacia 183 na etapa de calibração.

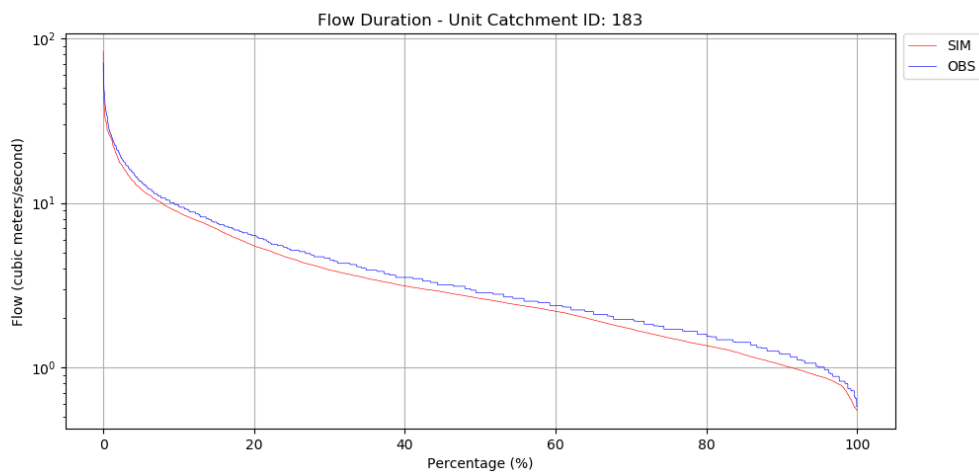


Figura F.3 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 190 na etapa de calibração.

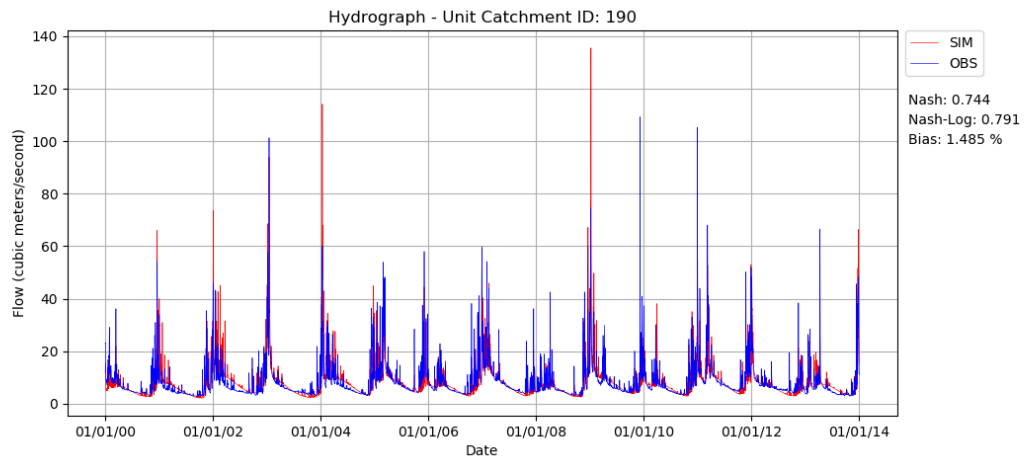


Figura F.4 – Curva de permanência para a minibacia 190 na etapa de calibração.

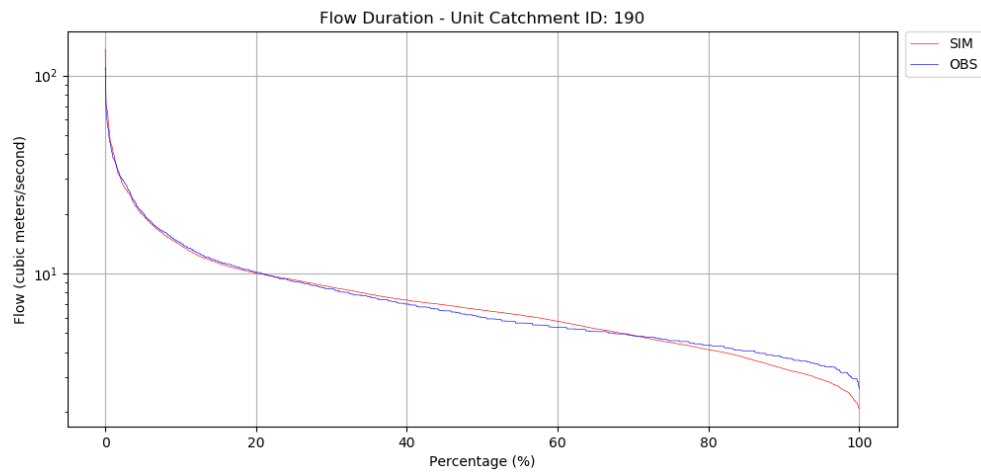


Figura F.5 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 200 na etapa de calibração.

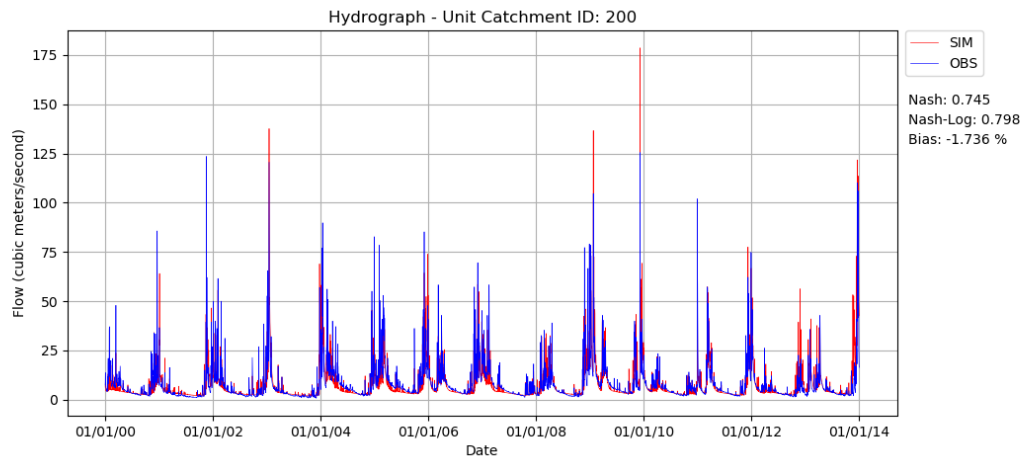


Figura F.6 – Curva de permanência para a minibacia 200 na etapa de calibração.

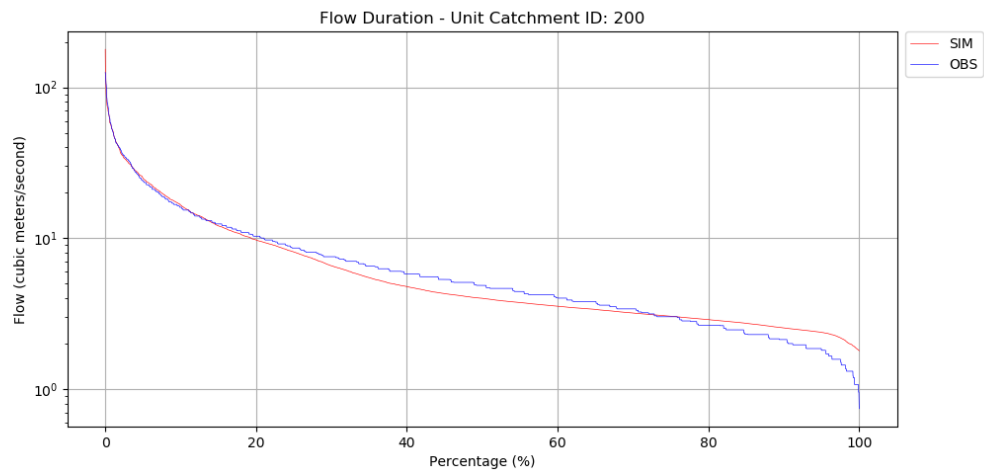


Figura F.7 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 202 na etapa de calibração.

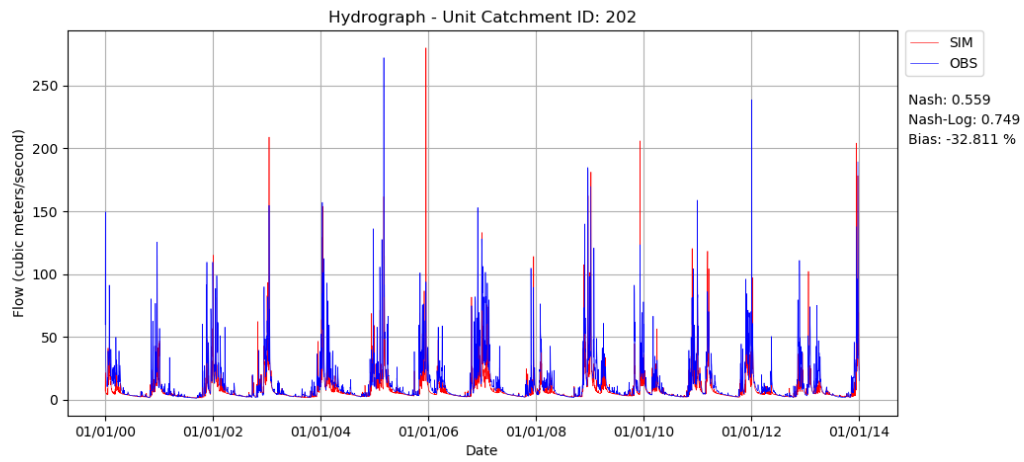


Figura F.8 – Curva de permanência para a minibacia 202 na etapa de calibração.

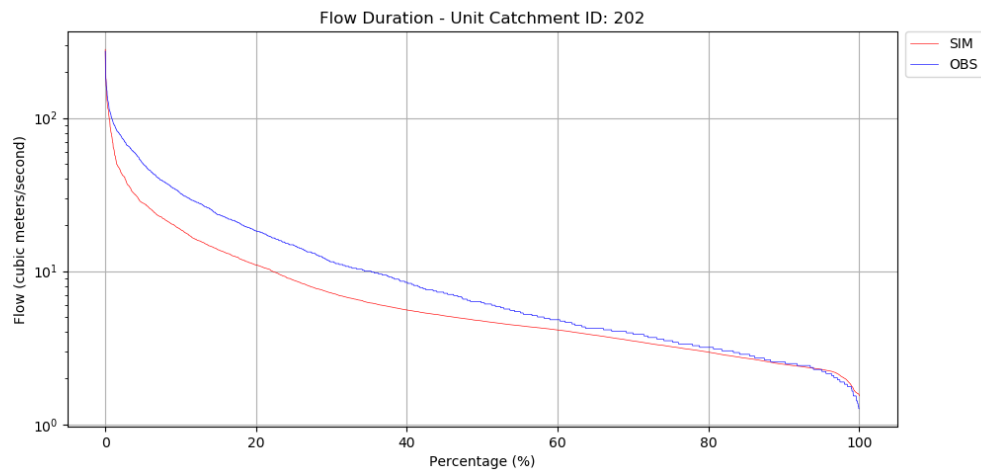


Figura F.9 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 213 na etapa de calibração.

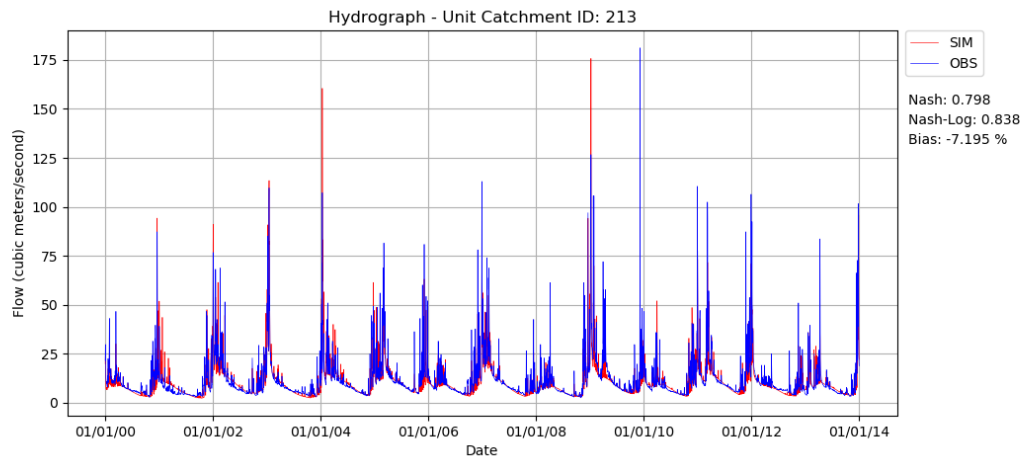


Figura F.10 – Curva de permanência para a minibacia 213 na etapa de calibração.

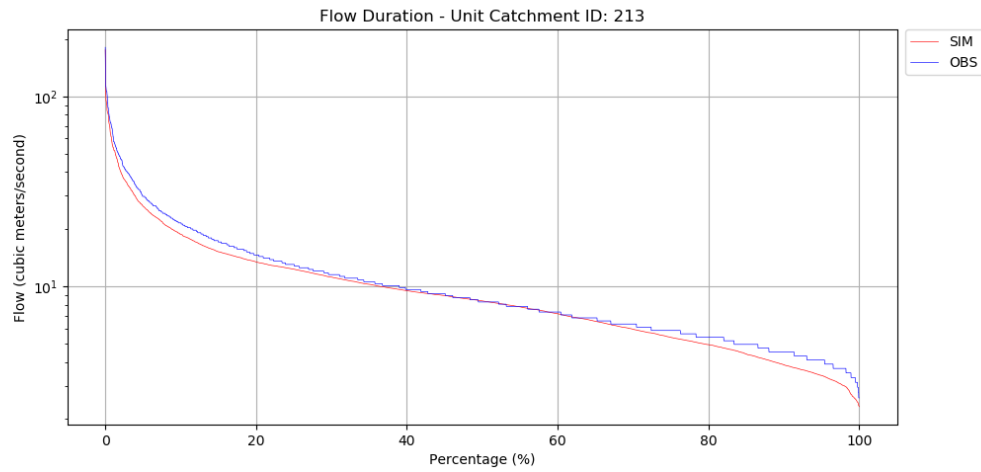


Figura F.11 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 225 na etapa de calibração.

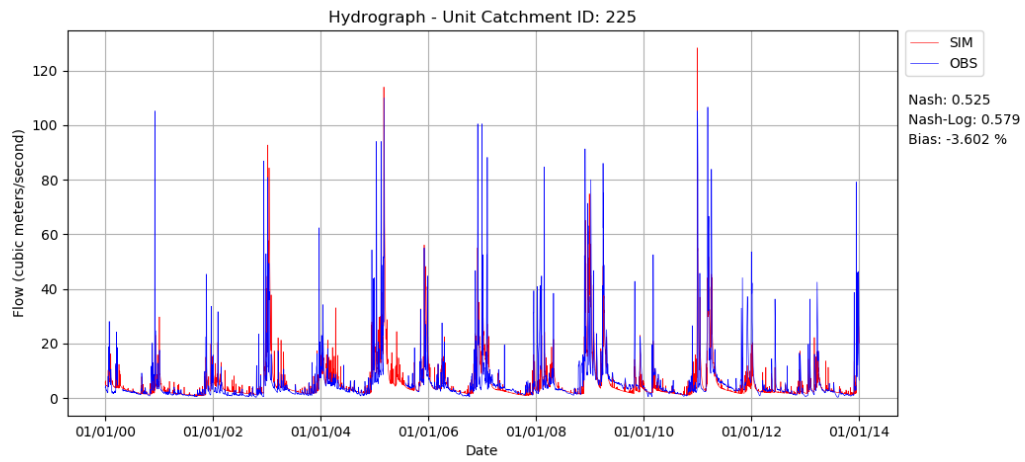


Figura F.12 – Curva de permanência para a minibacia 225 na etapa de calibração.

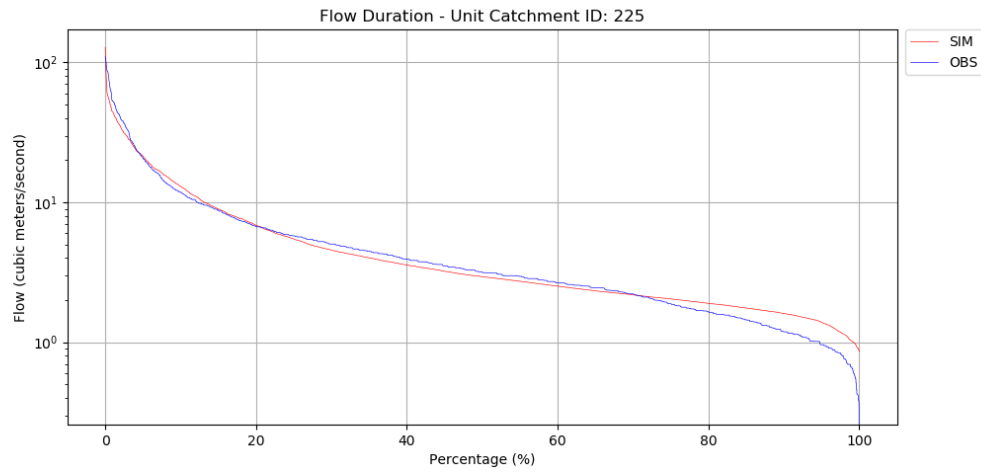


Figura F.13 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 227 na etapa de calibração.

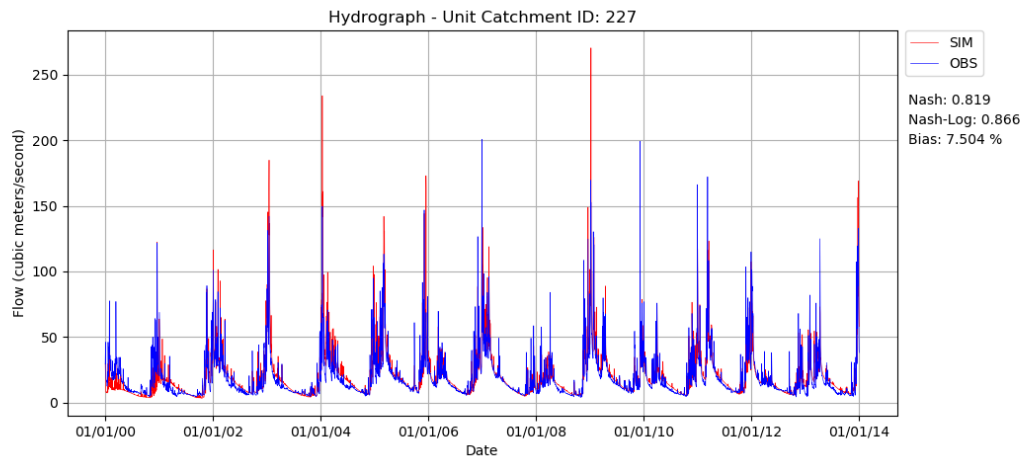


Figura F.14 – Curva de permanência para a minibacia 227 na etapa de calibração.

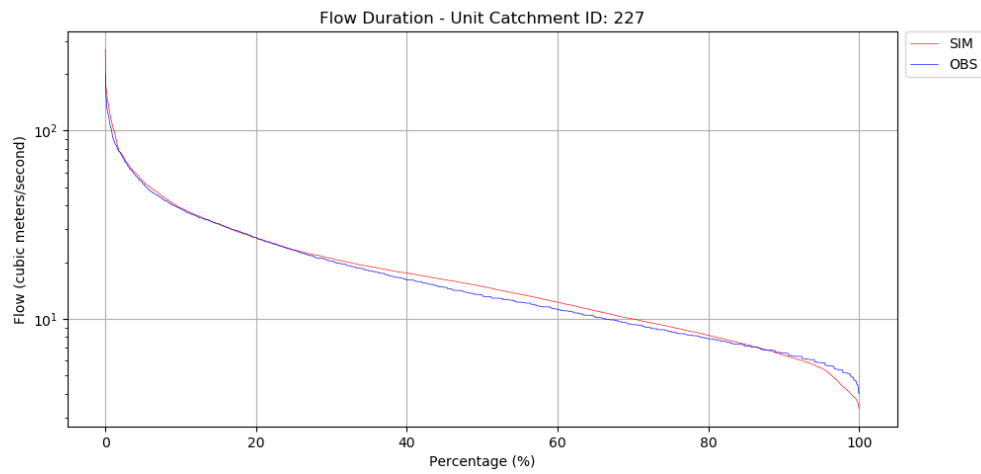


Figura F.15 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 232 na etapa de calibração.

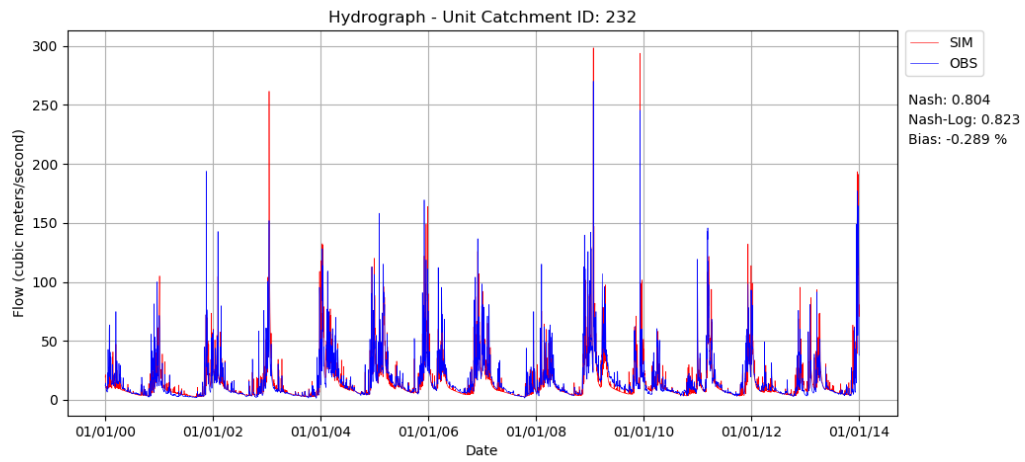


Figura F.16 – Curva de permanência para a minibacia 232 na etapa de calibração.

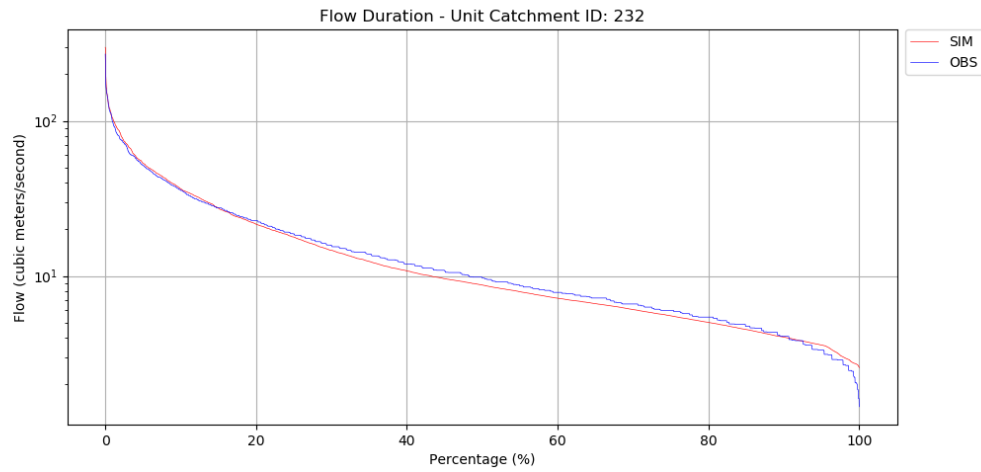


Figura F.17 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 243 na etapa de calibração.

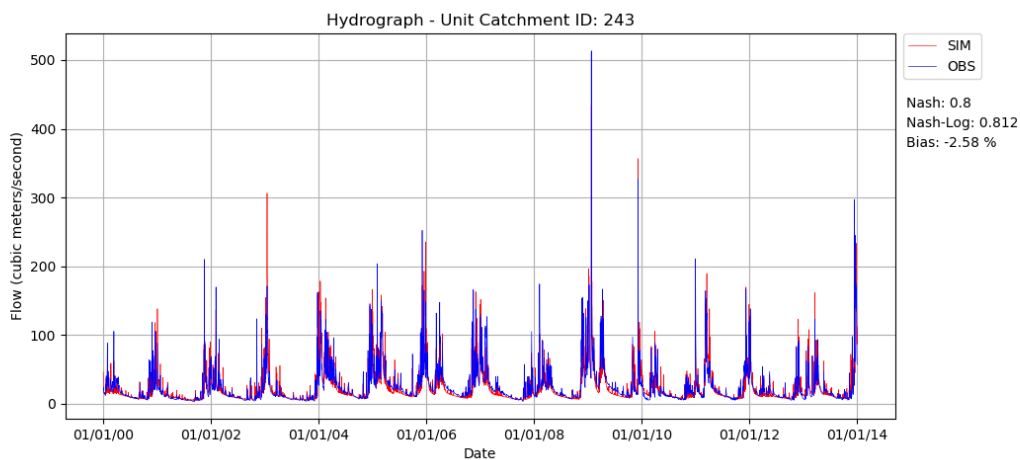


Figura F.18 – Curva de permanência para a minibacia 243 na etapa de calibração.

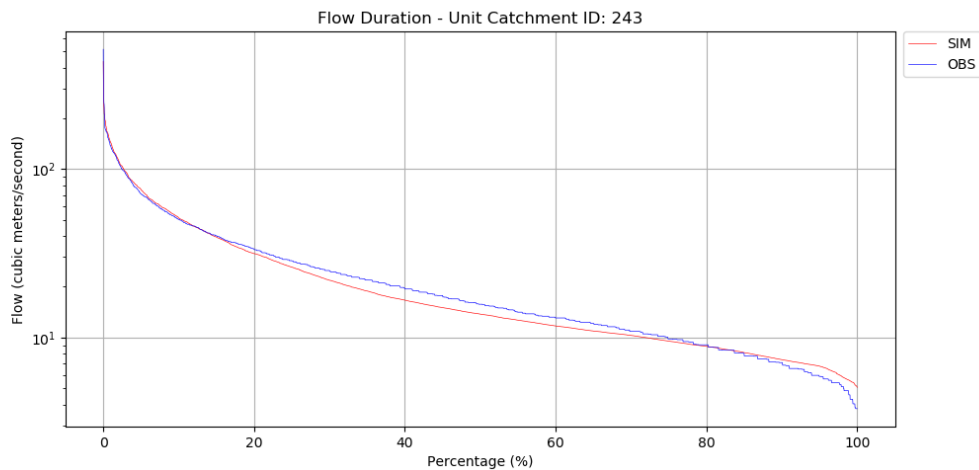


Figura F.19 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 248 na etapa de calibração.

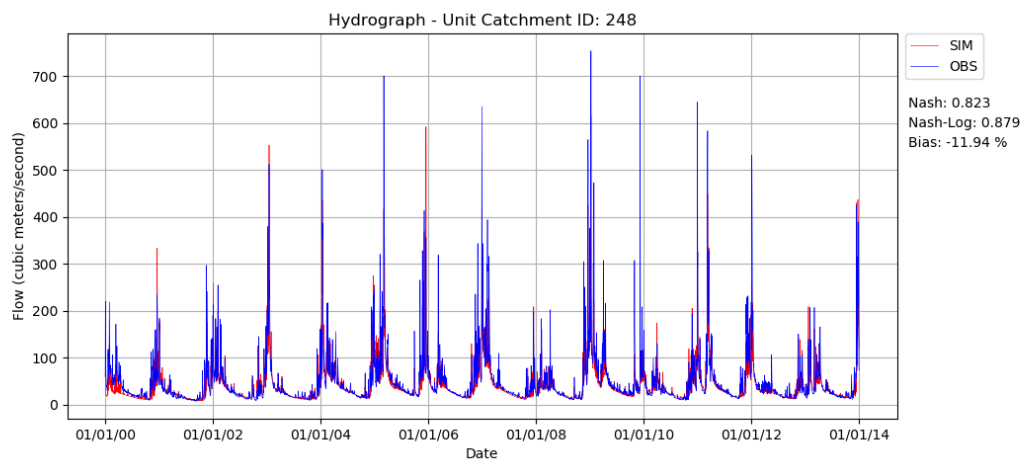


Figura F.20 – Curva de permanência para a minibacia 248 na etapa de calibração.

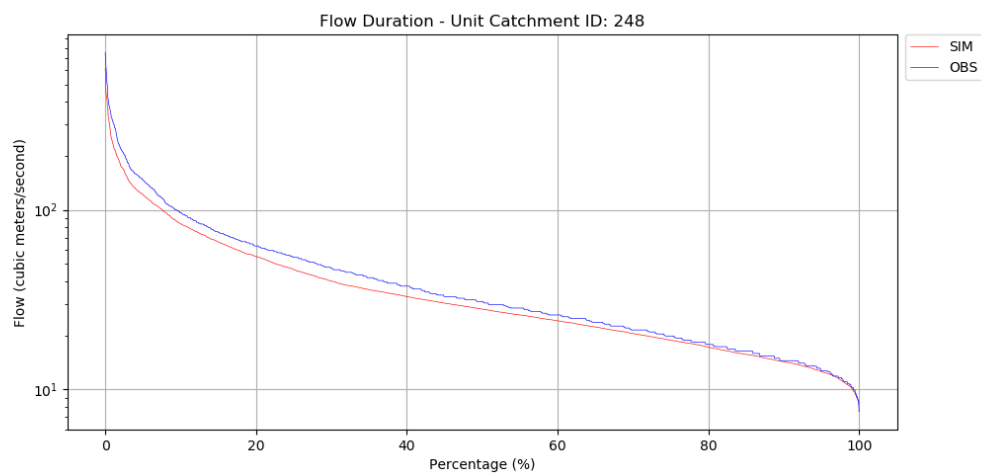


Figura F.21 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 254 na etapa de calibração.

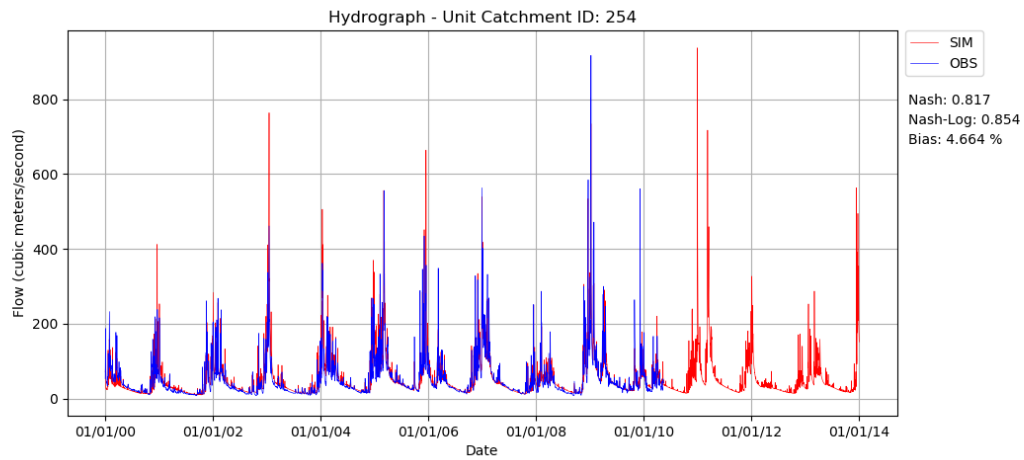


Figura F.22 – Curva de permanência para a minibacia 254 na etapa de calibração.

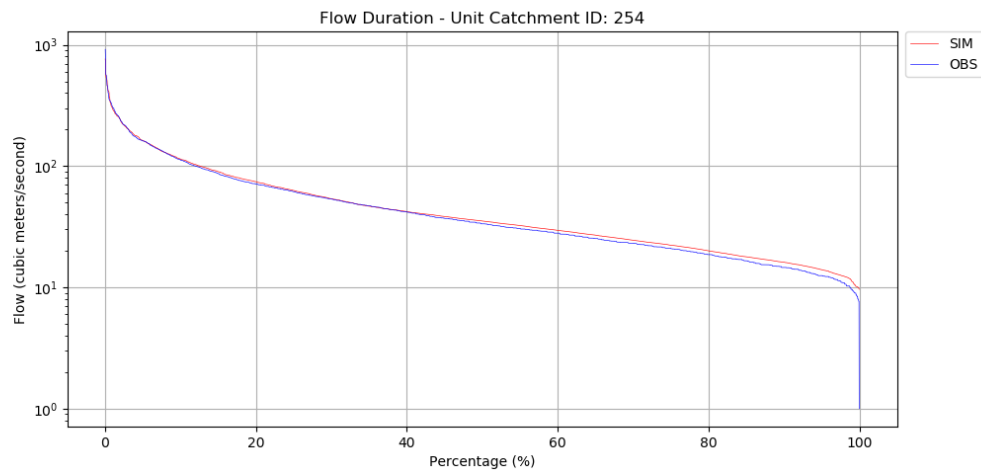


Figura F.23 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 257 na etapa de calibração.

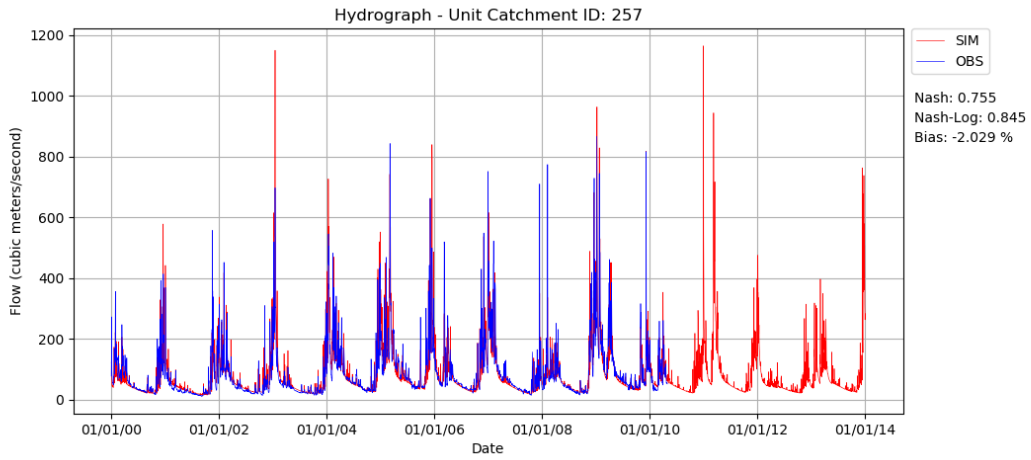


Figura F.24 – Curva de permanência para a minibacia 257 na etapa de calibração.

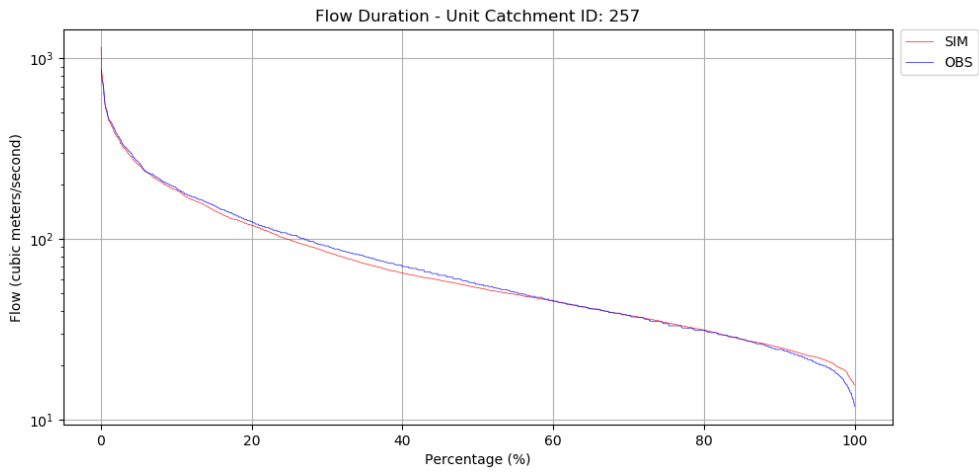


Figura F.25 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 268 na etapa de calibração.

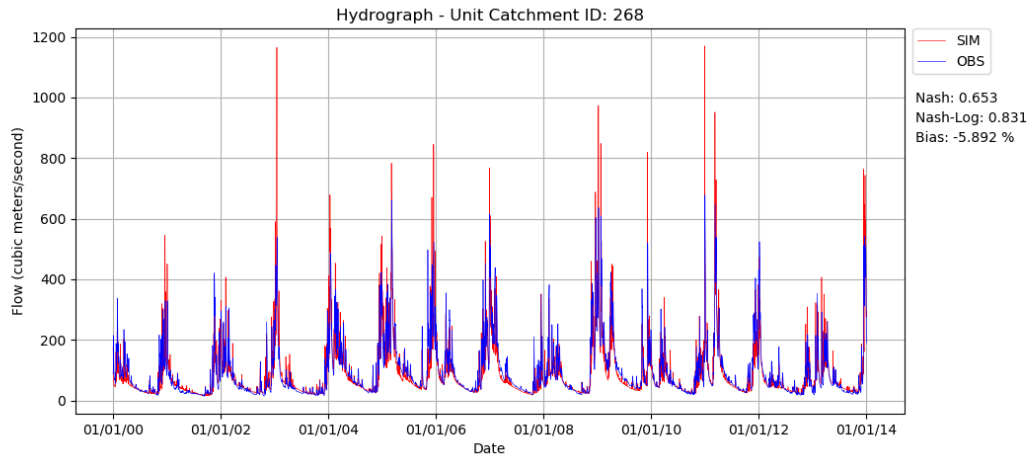
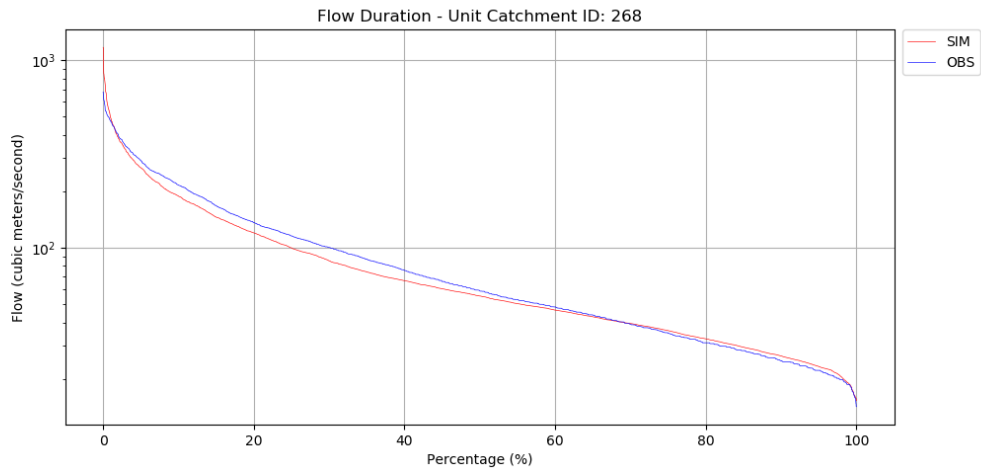


Figura F.26 – Curva de permanência para a minibacia 268 na etapa de calibração.



Hidrogramas e Curvas de Permanência gerados na etapa de validação:

Figura F.27 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 183 na etapa de validação.

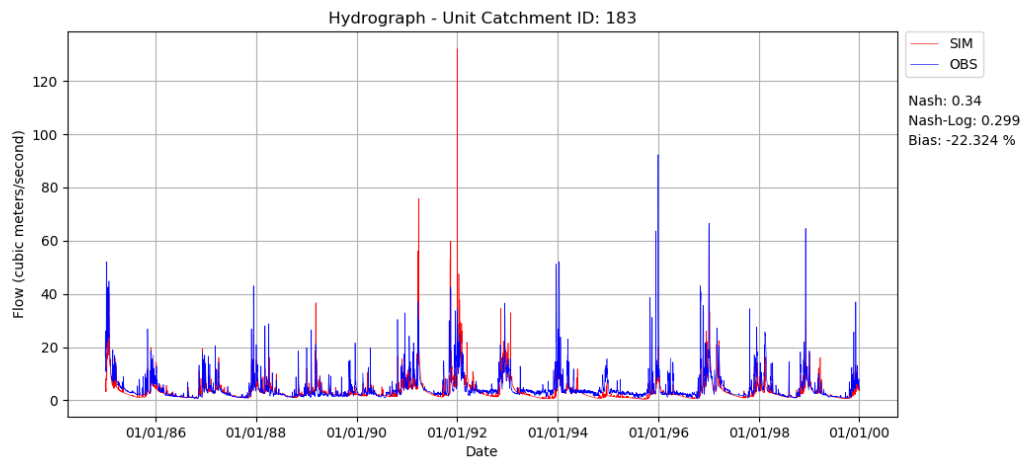


Figura F.28 – Curva de permanência para a minibacia 183 na etapa de validação.

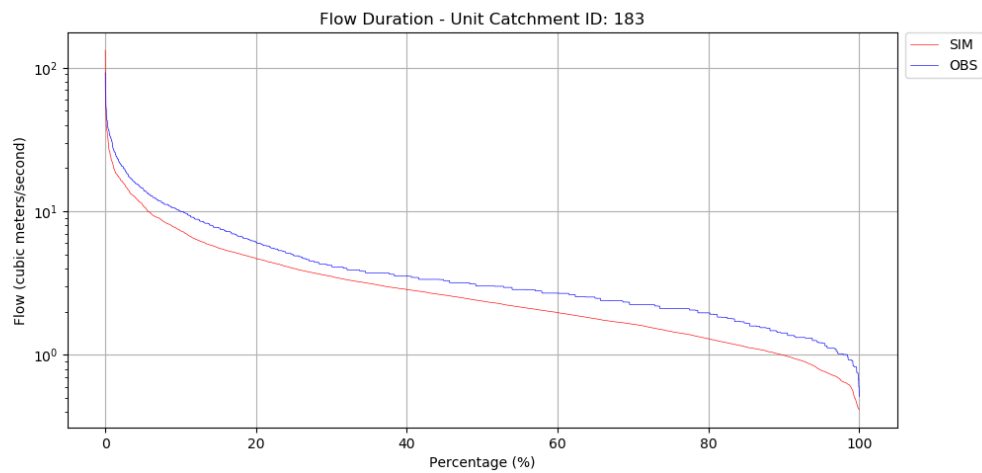


Figura F.29 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 190 na etapa de validação.

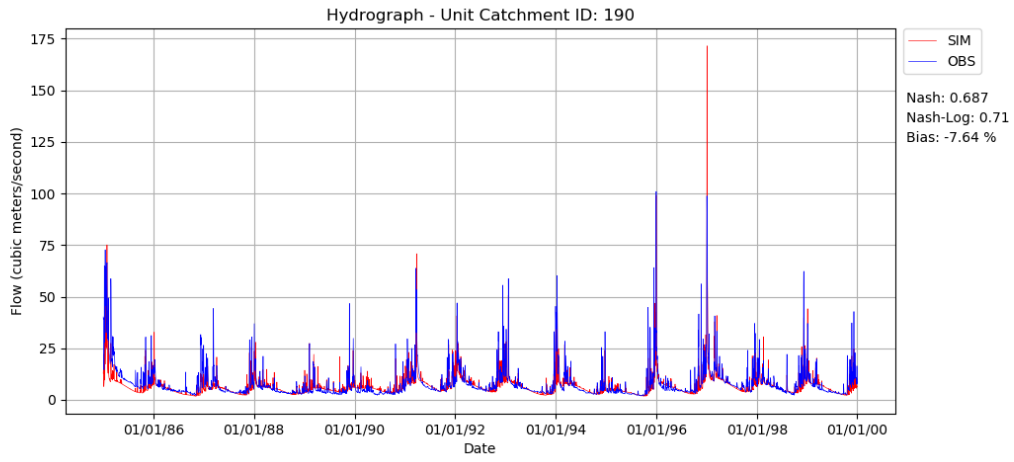


Figura F.30 – Curva de permanência para a minibacia 190 na etapa de validação.

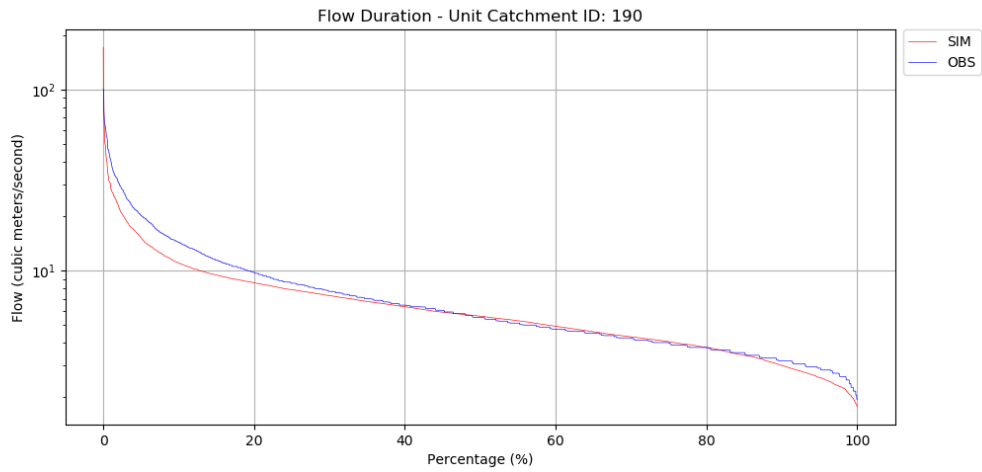


Figura F.31 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 200 na etapa de validação.

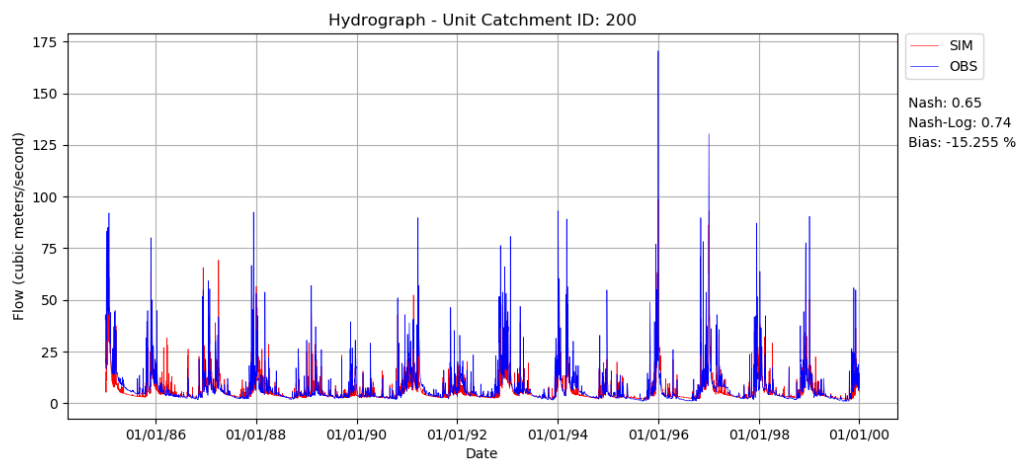


Figura F.32 – Curva de permanência para a minibacia 200 na etapa de validação.

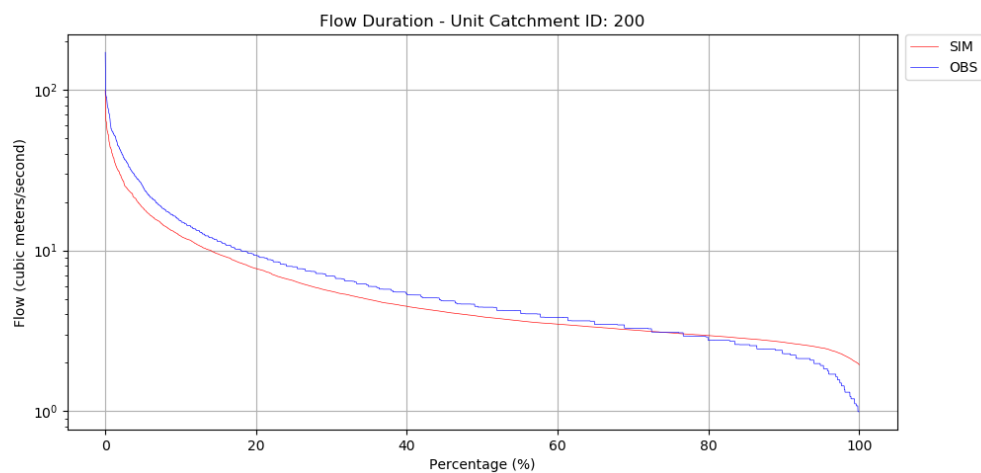


Figura F.33 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 202 na etapa de validação.

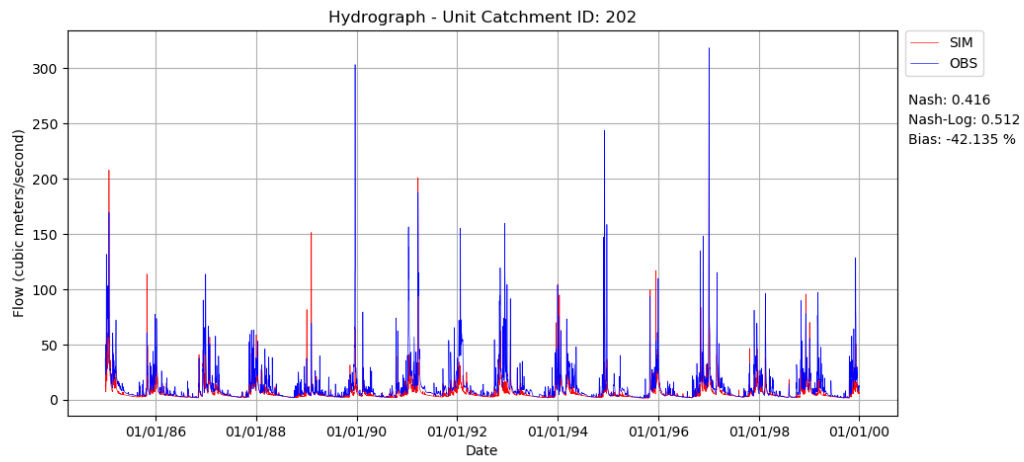


Figura F.34 – Curva de permanência para a minibacia 202 na etapa de validação.

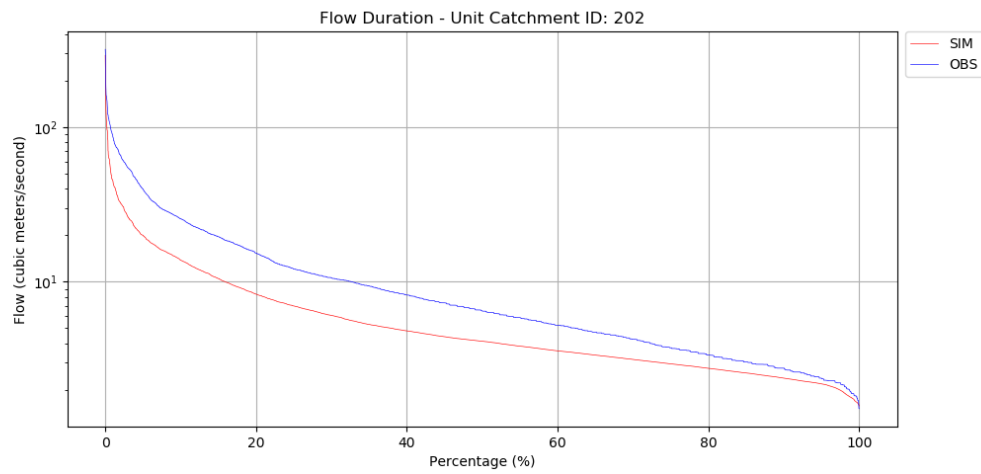


Figura F.35 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 213 na etapa de validação.

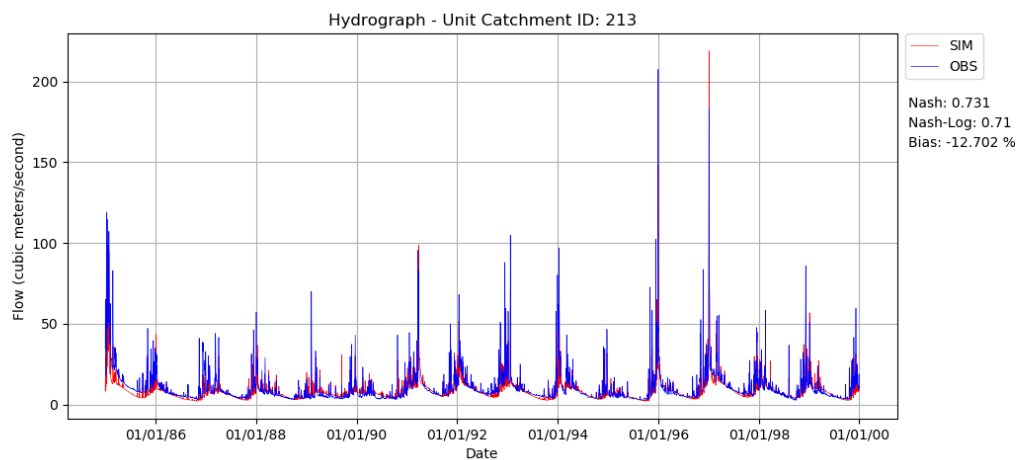


Figura F.36 – Curva de permanência para a minibacia 213 na etapa de validação.

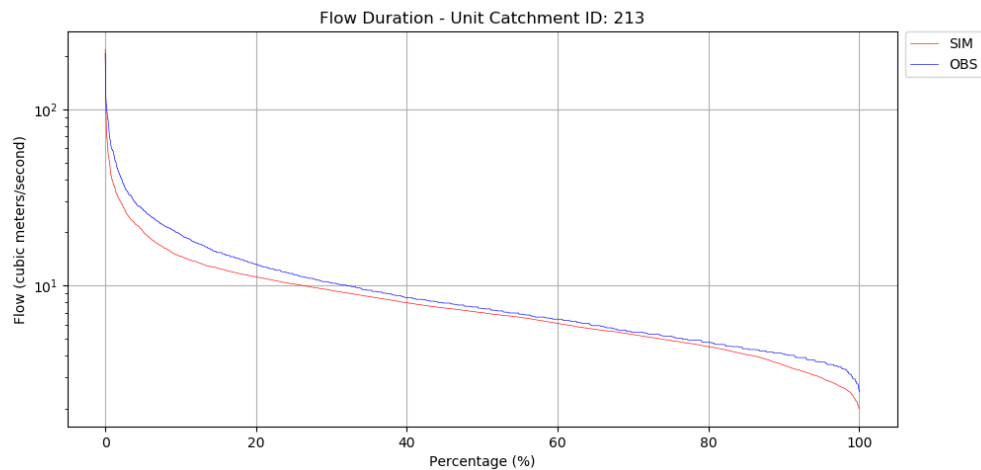


Figura F.37 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 225 na etapa de validação.

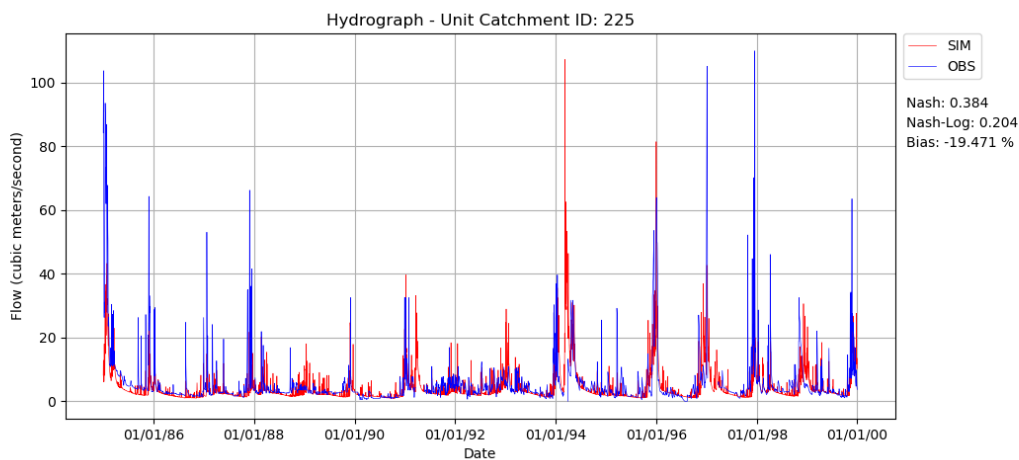


Figura F.38 – Curva de permanência para a minibacia 225 na etapa de validação.

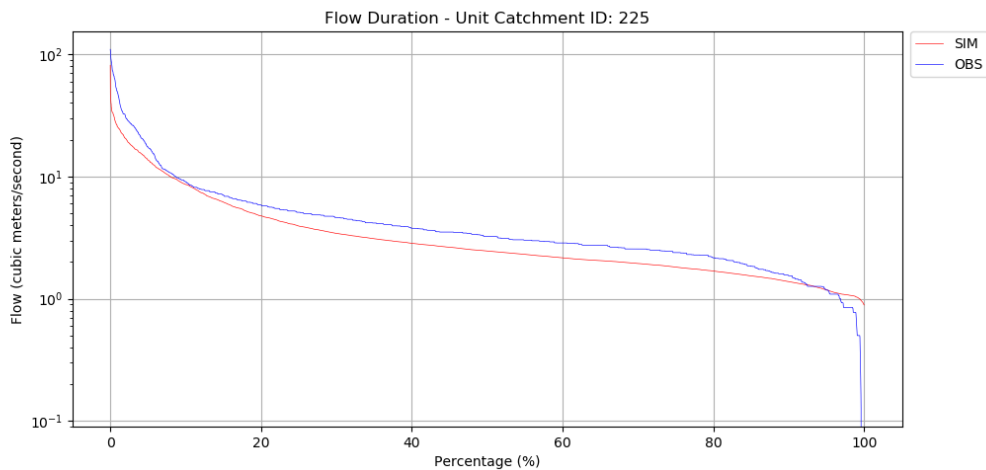


Figura F.39 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 227 na etapa de validação.

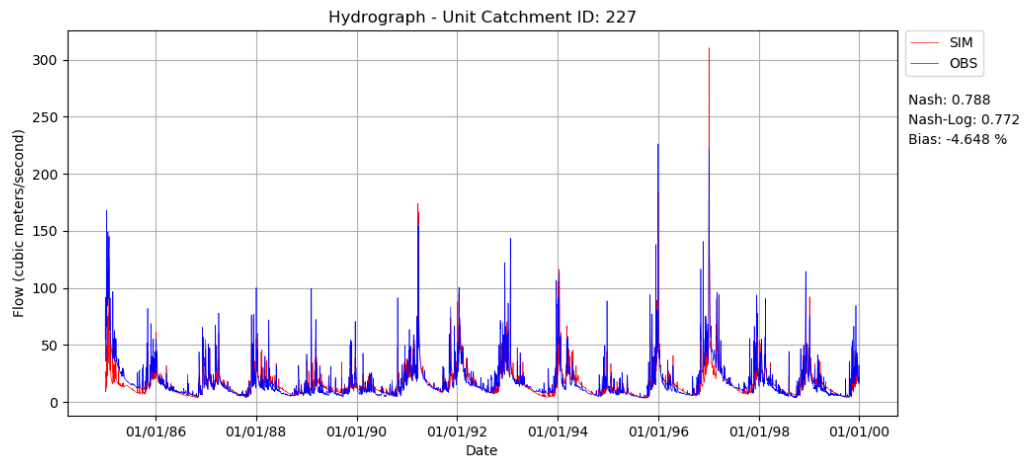


Figura F.40 – Curva de permanência para a minibacia 227 na etapa de validação.

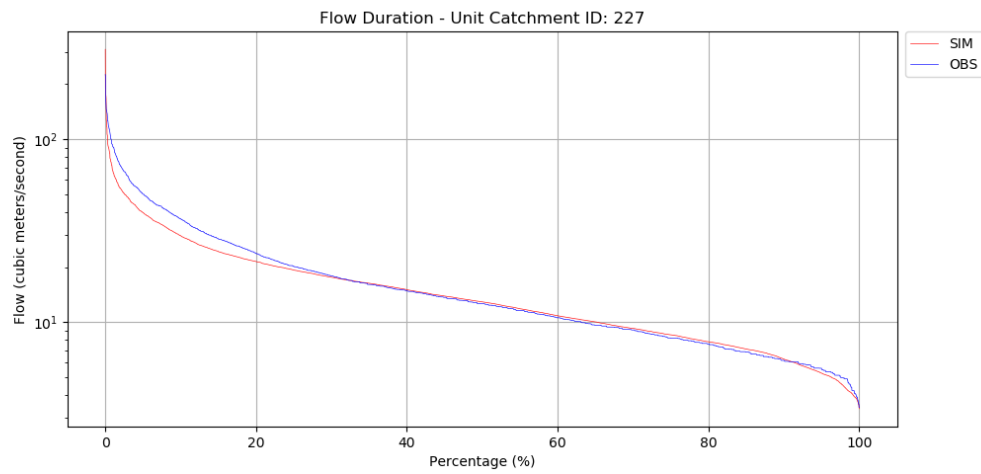


Figura F.41 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 232 na etapa de validação.

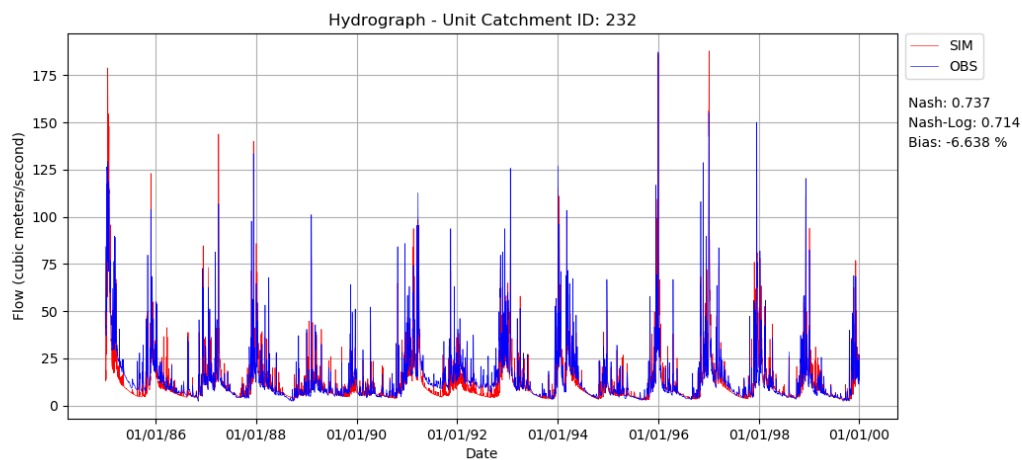


Figura F.42 – Curva de permanência para a minibacia 232 na etapa de validação.

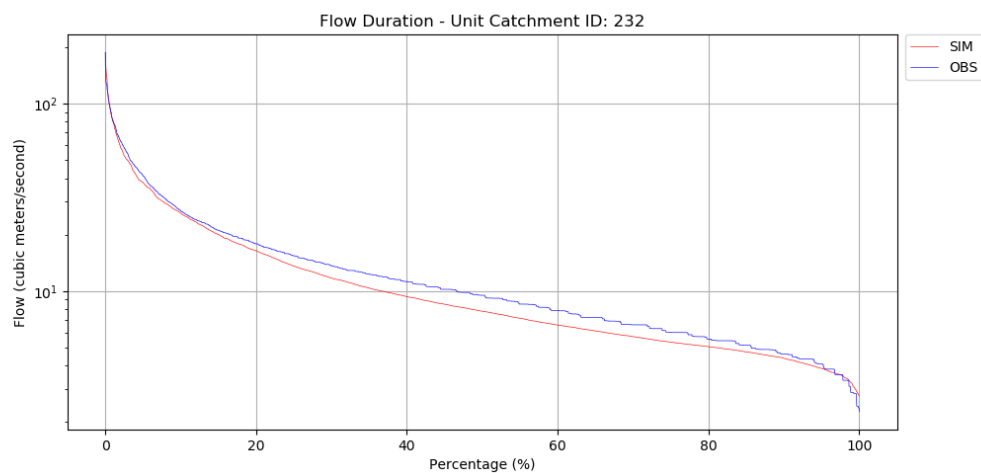


Figura F.43 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 243 na etapa de validação.

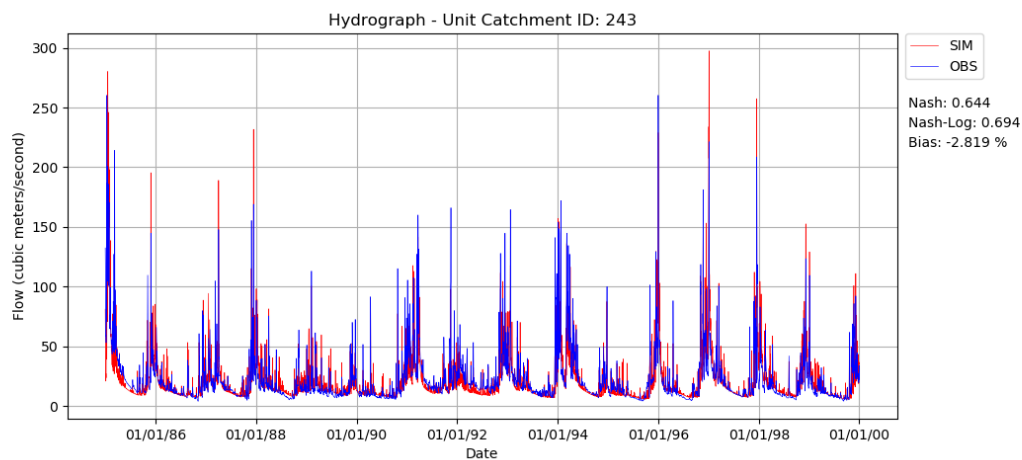


Figura F.44 – Curva de permanência para a minibacia 243 na etapa de validação.

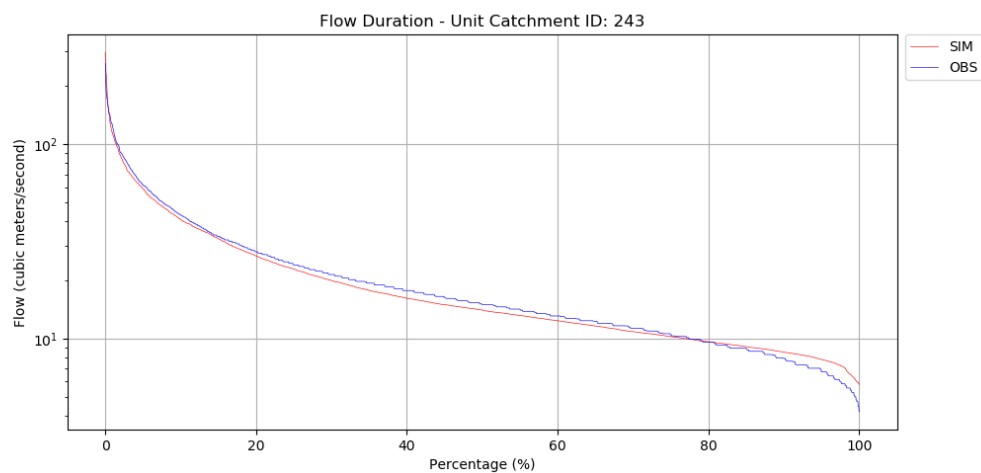


Figura F.45 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 248 na etapa de validação.

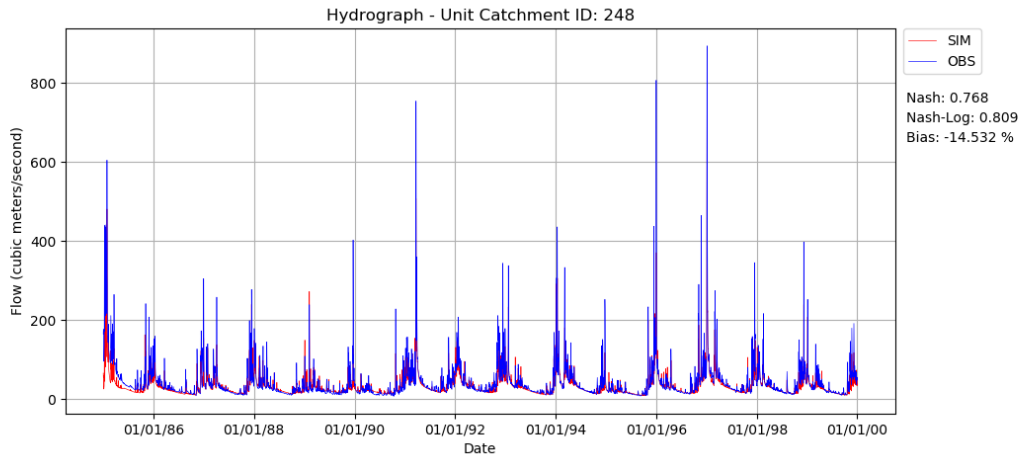


Figura F.46 – Curva de permanência para a minibacia 248 na etapa de validação.

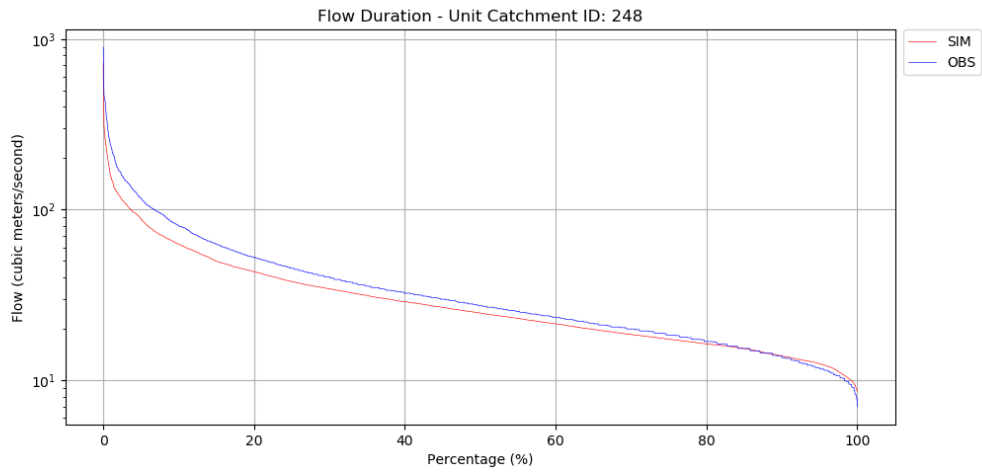


Figura F.47 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 254 na etapa de validação.

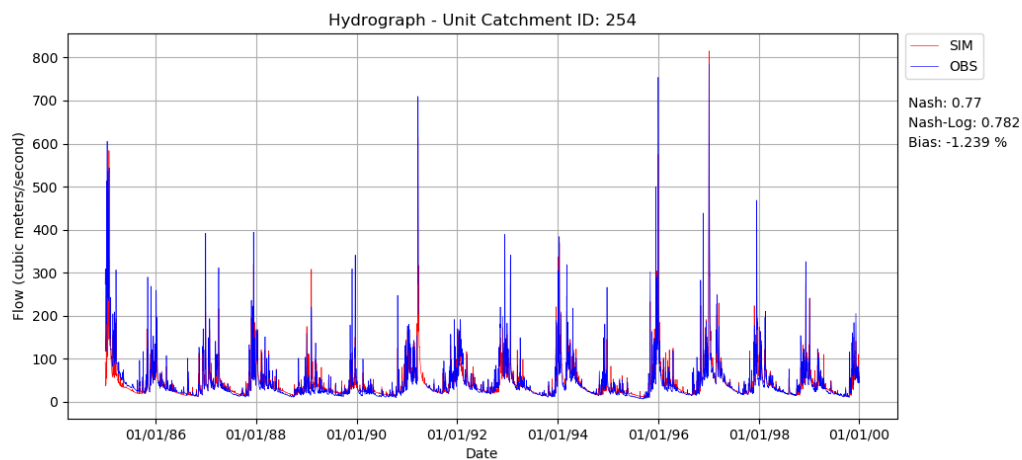


Figura F.48 – Curva de permanência para a minibacia 254 na etapa de validação.

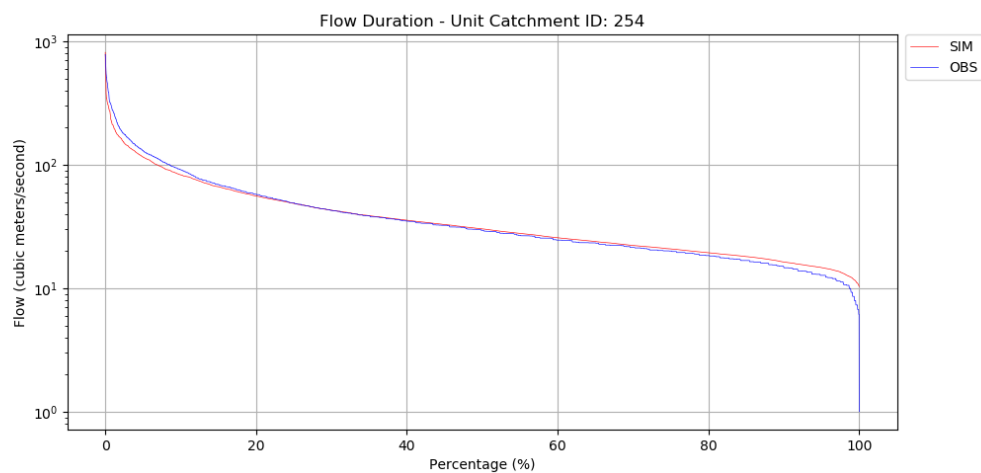


Figura F.49 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 257 na etapa de validação.

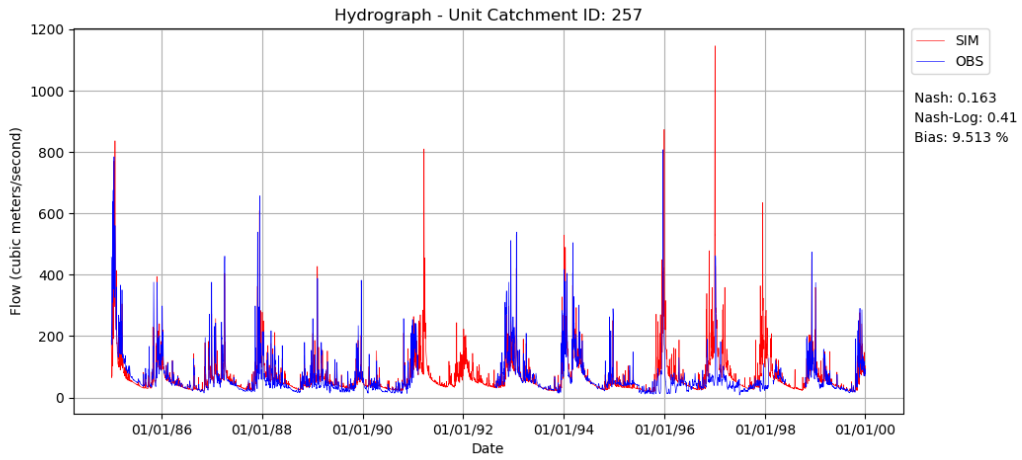


Figura F.50 – Curva de permanência para a minibacia 257 na etapa de validação.

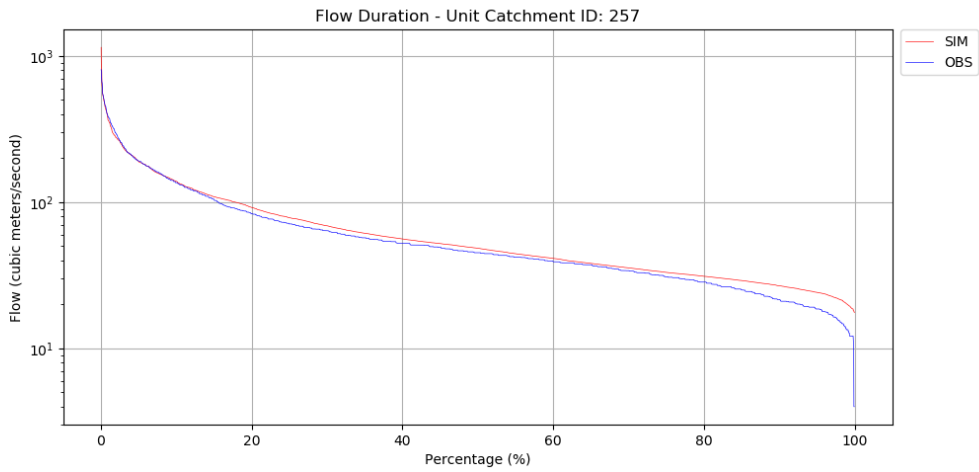


Figura F.51 – Hidrogramas e medidas de desempenho para a minibacia 268 na etapa de validação.

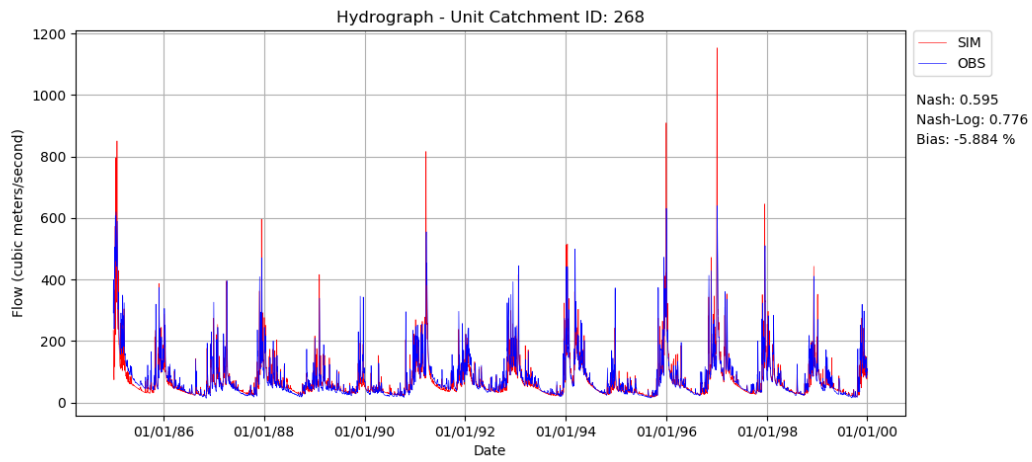


Figura F.52 – Curva de permanência para a minibacia 268 na etapa de validação.

