

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos



Dissertação

**Balanço hídrico quantitativo das águas superficiais na bacia hidrográfica do
Rio Jaguarão**

Gabriel Borges dos Santos

Pelotas, 2022

Gabriel Borges dos Santos

**Balanço hídrico quantitativo das águas superficiais na bacia hidrográfica do
Rio Jaguarão**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares

Pelotas, 2022

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S237b Santos, Gabriel Borges dos

Balanço hídrico quantitativo das águas superficiais na bacia hidrográfica do Rio Jaguarão / Gabriel Borges dos Santos ; Gilberto Loguercio Collares, orientador. — Pelotas, 2022.

117 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. Recursos hídricos. 2. Estresse hídrico. 3. Modelo mgb. 4. WARM-GIS tools. I. Collares, Gilberto Loguercio, orient. II. Título.

CDD : 627

Gabriel Borges dos Santos

Balanço hídrico quantitativo das águas superficiais na bacia hidrográfica do Rio
Jaguarão

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 23 de fevereiro de 2022

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares (Orientador)

Doutor em Ciência do Solo pela Universidade de Santa Maria - UFSM

Prof. Dr. Bruno Müller Vieira

Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Pelotas
- UFPel

Prof^a. Dr^a. Angélica Cirolini

Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por todas as oportunidades concedidas.

Aos meus pais, José Irineu Baade dos Santos e Carmen Lúcia Borges dos Santos, pessoas fundamentais para realização desse sonho, ao qual depositaram apoio e confiança ao longo de minha formação pessoal e profissional.

Aos demais familiares que sempre me apoiaram nas minhas decisões e sempre estiveram ao meu lado.

Aos amigos Thais Possa Magalhães e Lukas dos Santos Boeira, pela ajuda e apoio na construção deste trabalho. Agradeço aos colegas e amigos Marlon Heitor Kunst Valentini e Henrique Sanchez Franz pela amizade desde a graduação.

Ao meu orientador Gilberto Loguercio Collares, pela orientação, dedicação e confiança no meu potencial em executar essa tarefa.

A Agência para o Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim (ALM) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pelos auxílios prestados no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos amigos e colegas que fiz durante esta jornada, agradeço por esse tempo de parceria e amizade, em que me auxiliaram nos momentos difíceis e compartilharam os momentos mais leves.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma se fizeram presentes em algum momento da minha pós-graduação.

O meu mais sincero agradecimento. Muito obrigado!

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

Albert Einstein

Resumo

SANTOS, Gabriel Borges dos. **Balço hídrico quantitativo das águas superficiais na bacia hidrográica do Rio Jaguarão**. Orientador: Gilberto Loguercio Collares. 2022. 117f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

Os recursos hídricos constituem um dos mais importantes recursos naturais existentes, tornando-se indispensável sua proteção e garantia de melhor qualidade e quantidade. Com isso, o conhecimento do comportamento e das alterações que influenciam nas águas presentes nas bacias hidrográicas é de extrema importância para um manejo eficiente considerando seus usos múltiplos. Embasando-se nestas alegações, o presente trabalho tem por objetivo analisar quantitativamente os recursos hídricos da bacia transfronteiriça do rio Jaguarão (BHRJ), que se localizada na fronteira entre Brasil e Uruguai. Mais especificadamente, o objetivo desse trabalho foi aplicar ferramentas de modelagem matemática, expressos no Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB) e WARM-GIS Tools, ambos os modelos desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na intenção de realizar a modelagem hidrológica e o balanço hídrico quantitativo dos recursos hídricos, respectivamente. Com isso, desenvolveram-se três cenários, em base mensal e anual, adotando como vazão de referência a Q90, e assim, representou-se o Índice de estresse hídrico (IEH) para cada trecho da rede de drenagem da BHRJ, com destaque para análise da influência dos usos múltiplos da água na bacia em especial do uso destinado à irrigação. Além disso, no intuito de aprimorar a representação quantitativa da água para a BHRJ aplicou-se o Índice de Comprometimento Hídrico (ICH) e o Índice de Retirada de Água (IRA) para o diagnóstico de nível de escassez da bacia considerando o comprometimento hídrico anual. Os resultados da modelagem hidrológica realizada com o uso do MGB mostraram que, de um modo geral, o modelo apresentou um bom desempenho tanto na calibração quanto na validação dos períodos adotados. A representação do IEH mostrou que, no cenário atual da bacia a mesma sofre com grande estresse hídrico nos meses que compreendem a estação do verão (janeiro, fevereiro, março e dezembro), além disso, a aplicação do IEH expôs a grande influência do uso da água na produção do arroz irrigado na região. O IRA reforçou tal resultado, pois apresentou sub-bacias que se enquadraram em uma situação crítica, exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos.

Palavras-chave: Recursos Hídricos, Estresse Hídrico, Modelo MGB, WARM-GIS Tools.

Abstract

SANTOS, Gabriel Borges dos. **Quantitative water balance of surface waters in the Jaguarão River basin**. Advisor: Gilberto Loguercio Collares. 2022. 117f. Dissertation (Master in Water Resources) - Postgraduate Program in Water Resources, Technological Development Center, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2022.

Water resources are one of the most important natural resources in the world, making it essential to protection and guarantee better quality and quantity. Thus the knowledge of the behavior and changes that influence the waters present in the hydrographic basins is extremely important for an efficient management considering their multiple uses. Based on these claims, the present study aims to quantitatively analyze the water resources of the transboundary basin of the Jaguarão River (BJR), which is located on the border between Brazil and Uruguay. More specifically, the objective of this work was to apply mathematical modeling tools, expressed in the Large Basin Hydrological Model (BHM) and WARM-GIS Tools, both models developed by the Hydraulic Research Institute (HRI) of the Federal University of Rio Grande do Sul (FURG), in an attempt to carrying out the hydrological modeling and quantitative water balance of water resources, respectively. Three scenarios were developed, on a monthly and annual basis, adopting Q90 as a reference flow rate, and thus, the water stress index (WSI) was represented for each section of the BHRJ drainage network, with emphasis on analysis of the multiple uses of water influence in the basin, especially for irrigation purpose. In addition, in order to improve the quantitative representation of water for the BJR, the Water Commitment Index (WCI) and the Water Withdrawal Index (WWI) were applied to diagnose the water scarcity level of the basin considering the annual water commitment. The results of the hydrological modeling carried out using the MGB showed that, in general, the model presented a good performance in both in calibration and validation of the periods adopted. The WSI representation WSI showed that in the current scenario the basin suffers from high water stress in the months that comprise the summer season (January, February, March and December), furthermore, the application of the WSI exposed the great influence of water use on irrigated rice in the region. The WCI has reinforced this result, as it presented sub-basins that fit into a critical situation, requiring intense management activity and large investments.

Keywords: Water Resources, Water Stress, MGB Model, WARM-GIS Tools.

Lista de Figuras

Figura 1	Representação esquemática do ciclo hidrológico simulado pelo MGB.....	29
Figura 2	Esquemas de simulação por ordem de trecho no modelo WARM-GIS Tools.....	31
Figura 3	Esquemas de representação do módulo de balanço hídrico.....	32
Figura 4	Localização da eclusa e barragem no Canal São Gonçalo.....	34
Figura 5	Rio Jaguarão.....	34
Figura 6	Localização da área de estudo.....	36
Figura 7	Fluxograma geral.....	38
Figura 8	Fluxograma da primeira etapa metodológica - IPH-Hydro Tools.....	39
Figura 9	(a) Codificação usada para distinguir as oito direções de fluxo possíveis no método D8; (b) Atribuição da direção de fluxo pela regra da maior declividade.....	42
Figura 10	Fluxograma da segunda etapa metodológica - MGB.....	45
Figura 11	Localização das estações pluviométricas.....	46
Figura 12	Localização das estações fluviométricas.....	47
Figura 13	Fluxograma da terceira etapa metodológica – WARM-GIS Tools.....	51
Figura 14	Localização espacial dos pontos de captação de usos de água.....	54
Figura 15	Sub-bacias utilizadas para representar o IRA.....	58
Figura 16	Elevação, Sub-bacias, Minibacias e Rede de Drenagem gerada para a BHRJ.....	59
Figura 17	URH's da BHRJ.....	60
Figura 18	Valores dos coeficientes Nash-Sutcliffe, Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões e do erro relativo de volume para o período de calibração.....	62
Figura 19	Hidrogramas observados e simulados para a estação fluviométrica 00000100 no período de 01/01/1980 a 31/12/2010.....	63
Figura 20	Curva de permanência na estação 00000100.....	64

Figura 21	Hidrogramas observados e simulados para a estação fluviométrica 88220000 no período de 01/01/1980 a 31/12/2010.....	64
Figura 22	Curva de permanência na estação 88220000.....	65
Figura 23	Valores dos coeficientes Nash-Sutcliffe e Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões e do erro relativo de volume para o período de validação.....	66
Figura 24	Hidrogramas observados e simulados para a estação fluviométrica 88260000 no período de 01/01/2011 a 31/12/2020.....	67
Figura 25	Curva de permanência na estação 88260000.....	68
Figura 26	Balanço hídrico superficial considerando a Q90% para o cenário sem coeficiente de retorno.....	69
Figura 27	Balanço hídrico superficial considerando a Q90% para o cenário com coeficiente de retorno.....	72
Figura 28	Balanço hídrico superficial considerando a Q90% para o cenário com coeficiente de retorno e sem o uso voltado para a irrigação.....	74
Figura 29	Balanço hídrico superficial considerando a Q90% para os 3 cenários.....	76
Figura 30	Comparação do número de trechos conforme o IEH para cada um dos três cenários elaborados no mês: a) mais crítico; b) menos crítico.....	79
Figura 31	Classificação do IRA para os exutórios das sub-bacias definidas.....	82

Lista de Tabelas

Tabela 1	Valores de albedo médio diário.....	25
Tabela 2	Valores do IAF.....	26
Tabela 3	Valores de altura médias das árvores.....	26
Tabela 4	Resistência superficial em diversos tipos de vegetação em condições de boa disponibilidade de água no solo.....	27
Tabela 5	Processos IPH-Hydro Tools.....	41
Tabela 6	Pontos de controle: estações fluviométricas e exutório da BHRJ.....	43
Tabela 7	Lista dos atributos do arquivo MINI.GTP.....	44
Tabela 8	Classificação dos índices de desempenho.....	49
Tabela 9	Usos de água para a BHRJ.....	53
Tabela 10	Coeficientes de retorno conforme finalidade.....	56
Tabela 11	Classificação do IRA.....	58
Tabela 12	Porcentagem de cada URH na BHRJ.....	60
Tabela 13	Postos fluviométricos e suas métricas de desempenho para o período de calibração de 01/01/1980 a 31/12/2010.....	61
Tabela 14	Estação fluviométrica e suas métricas de desempenho para o período de validação de 01/01/2011 à 31/12/2020.....	66
Tabela 15	Número de trechos conforme o IEH para cada mês do ano no cenário sem coeficiente de retorno.....	70
Tabela 16	Número de trechos conforme o IEH para cada mês do ano no cenário com coeficiente de retorno.....	71
Tabela 17	Número de trechos conforme o IEH para os meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro no cenário com coeficiente de retorno e sem o uso voltado a irrigação.....	75
Tabela 18	Número de trechos conforme o IEH para cada um dos três cenários elaborados.....	77
Tabela 19	Variação percentual do cenário 1 em relação ao cenário 2.....	78
Tabela 20	Variação percentual do cenário 3 em relação ao cenário 2.....	79
Tabela 21	Variação percentual do cenário 1 e 3 em relação ao cenário 2.....	80

Tabela 22	Índice de comprometimento hídrico para os exutórios das sub-bacias.....	81
Tabela 23	Classificação do IRA para os exutórios das sub-bacias definidas.....	82

Lista de Abreviaturas e Siglas

ANA	Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
b	Parâmetro de forma da relação entre armazenamento e saturação
BHMSG	Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo
BHRJ	Bacia Hidrográfica do Rio Jaguarão
CAP	Parâmetro do fluxo ascendente
CB	Parâmetro de retardo do reservatório subterrâneo
CI	Parâmetro de retardo do reservatório subsuperficial
CRU	Climatic Research Unit
CS	Parâmetro de retardo do reservatório superficial
DINAGUA	Direção Nacional de Águas
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
EV	Erro de Volume
HGE	Hidrologia de Grande Escala
HRC	Classes de Resposta Hidrológica
IAF	Índice de Área Foliar
ICH	Índice de Comprometimento Hídrico
IEH	Índice de Estresse Hídrico
INUMET	Instituto Nacional de Meteorologia do Uruguai
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
IRA	Índice de Retirada de Água
Kbas	Parâmetro de drenagem subterrânea
Kint	Parâmetro de drenagem sub-superficial
m	Altura média das árvores
MDE	Modelo Digital de Elevação
MGB	Modelo de Grandes Bacias
MHS	Modify Heuristic Search
MNT	Modelo Numérico do Terreno
NS	Nash-Sutcliffe
NSlog	Nash-Sutcliffe para os logaritmos das vazões
ONI	Índice Oscilação Niño
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos

QB	Vazão de Base
s/m	Resistência superficial
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SIOUT	Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
URHs	Unidades de Resposta Hidrológica
XL	Parâmetro de forma da curva de redução
Wc	Parâmetros de armazenamento residual
Wm	Capacidade de armazenamento do solo

Sumário

1 Introdução	16
2 Objetivo	18
2.1 Objetivo geral.....	18
2.2 Objetivo específico.....	18
3 Hipóteses	19
4 Revisão de literatura	20
4.1 Usos da água e legislação aplicável.....	20
4.2 Escassez Hídrica.....	22
4.3 Modelagem hidrológica.....	23
4.4 Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB).....	24
4.5 Modelo WARM-GIS Tools.....	29
4.5.1 Processamento de dados.....	30
4.5.2 Módulo de balanço hídrico.....	31
4.6 Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo.....	34
4.6.1 Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Jaguarão (BHRJ).....	36
5 Material e Métodos	38
5.1 Área de estudo.....	39
5.2 Modelagem Quantitativa.....	39
5.2.1 Aplicação do IPH-Hydro Tools.....	40
5.2.1.1 Dados de entrada no IPH-Hydro Tools.....	41
5.2.1.2 Processos do IPH-Hydro Tools.....	43
5.2.1.3 Arquivos intermediários do IPH-Hydro Tools.....	45
5.2.2 Aplicação do MGB - Modelagem Hidrológica.....	46
5.2.2.1 Dados de entrada do MGB.....	47
5.2.2.2 Processos do MGB.....	50
5.2.2.3 Arquivos intermediários do MGB.....	52
5.2.3 WARM-GIS Tools – Balanço Hídrico Quantitativo.....	52
5.2.3.1 Dados de entrada do WARM-GIS Tools.....	53
5.2.3.2 Processos do WARM-GIS Tools.....	54
5.2.3.3 Resultados gerados pelo WARM-GIS Tools.....	56
5.3 Indicador de escassez.....	57

5.3.1 Índice de Comprometimento Hídrico – ICH.....	57
5.3.2 Índice de Retirada de Água – IRA (Water Exploitation Index - WEI).....	57
6 Resultados e Discussão.....	59
6.1 IPH-Hydro Tools.....	59
6.2 MGB.....	61
6.2.1 Resultados da calibração do modelo.....	61
6.2.1.1 Métricas de desempenho das vazões simuladas na calibração...	61
6.2.1.2 Hidrogramas gerados para o período de calibração.....	63
6.2.2 Resultados da validação do modelo.....	65
6.2.2.1 Métricas de desempenho das vazões simuladas na validação....	65
6.2.2.2 Hidrogramas gerados para o período de validação.....	67
6.3 WARM-GIS Tools.....	68
6.3.1 Mensal.....	68
6.3.1.1 Cenário 1.....	69
6.3.1.2 Cenário 2.....	71
6.3.1.3 Cenário 3.....	74
6.3.2 Anual.....	76
6.3.3 Comparação entre os cenários.....	77
6.3.3.1 Mensal.....	77
6.3.3.2 Anual.....	80
6.4 Indicador de escassez.....	81
6.4.1 Índice de Comprometimento Hídrico – ICH.....	81
6.4.2 Índice de Retirada de Água – IRA.....	82
7. Considerações finais.....	84
Sugestões.....	85
Referências.....	86
Anexos.....	97
Apêndices.....	100

1 Introdução

Por serem indispensáveis para a sobrevivência, os recursos hídricos constituem um dos mais importantes recursos naturais existentes, porém, a disponibilidade hídrica, nos dias atuais, está sendo afetada pela crescente demanda de água em diversos setores, especialmente no setor agrícola, e pelo conjunto de fatores meteorológicos, que estão contribuindo para uma maior irregularidade na distribuição espacial e temporal.

Assim, diante da problemática, surge a necessidade da gestão adequada e racional no que compete aos aspectos quantitativos dos recursos hídricos, levando em consideração a eficiência do uso da água. Esse gerenciamento se torna possível a partir da existência de um conjunto de normas legais e monitoramentos regulares sobre os mananciais.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei Federal 9.433/97 (BRASIL, 1997), define bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão do território. Enquanto base referencial para a sustentabilidade hídrica no país destaca-se na PNRH, como um dos principais instrumentos, no que se refere aos planos de recursos hídricos, a proteção e a conservação de águas superficiais e subterrâneas disponíveis. Esses planos possuem diretrizes que identificam e indicam soluções para algumas convergências quantitativas nos usos das águas.

Porém, no planejamento e gestão dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica se faz necessário contar com o auxílio de ferramentas que permitam a análise e o prognóstico dos corpos d'água. Dessa forma, surgem os modelos matemáticos das águas, que são eficientes no que compete à análise de cenários de intervenção e nas medidas de controles ambientais. Baseados em sistemas de informações geográficas (SIG), os modelos espacialmente distribuídos, ainda podem estar inseridos em sistemas integrados de suporte à decisão e apoio ao planejamento dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, referência para a construção de Plano de Bacias.

Desenvolvido pelo Núcleo de Pesquisas de Clima e Recursos Hídricos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), o pacote de ferramentas "WARM-GIS Tools" consiste em um conjunto de operações, que tem por objetivo, facilitar a gestão de bacias hidrográficas em um ambiente de SIG. Resumidamente, o WARM-GIS Tools permite a simulação quali-

quantitativa da bacia hidrográfica e verifica os impactos dos usos sobre a disponibilidade e a qualidade da água a partir da inserção de dados de disponibilidade hídrica e de usos de água (retiradas, lançamentos de efluentes e reservatórios).

Possuindo como corpo hídrico principal o Rio Jaguarão e localizada na fronteira entre Brasil e Uruguai, mais especificamente entre o sudoeste do estado do Rio Grande do Sul - RS (Brasil) e a nordeste do Departamento de Cerro Largo (Uruguai), a Bacia Hidrográfica do Rio Jaguarão (BHRJ) é uma das mais importantes sub-bacias que compõem a Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo (BHMSG). A mesma tem grande importância para ambos os países, tanto na área social, quanto econômica e ambiental. Contudo, a bacia vem sofrendo com a pressão antrópica, como por exemplo, a forte atividade arroseira, que emprega grandes volumes de água durante o cultivo. Com isso, a realização de um balanço hídrico quantitativo das águas superficiais para a sub-bacia transfronteiriça do Rio Jaguarão se faz necessário, a fim de estimar a previsão da disponibilidade da água.

2 Objetivos

2.1 Geral

Aplicar ferramentas de modelagem matemática, expressos no Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB) e WARM-GIS Tools (IPH), na BHRJ, na intenção de analisar quantitativamente os recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Jaguarão.

2.2 Específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- i) Utilizar a ferramenta IPH-Hydro Tools para obtenção das características físicas da BHRJ;
- ii) Realizar a modelagem hidrológica do tipo chuva–vazão utilizando o modelo hidrológico MGB;
- iii) Calibrar o modelo para o período de 01/01/1980 a 31/12/2010 e validar para o período de 01/01/2011 a 31/12/2020;
- iv) Fazer a simulação do balanço hídrico, utilizando como vazão de referência a Q90, entre disponibilidades e demandas empregando o modelo WARM-GIS Tools (IPH) a fim de observar o índice de estresse hídrico (IEH) na BHRJ para os três cenários (tanto em base anual quanto mensal): Sem coeficiente de retorno; Com coeficiente de retorno; e Com coeficiente de retorno sem o uso destinado a irrigação do arroz;
- v) Aplicar o Índice de Comprometimento Hídrico (ICH) e o Índice de Retirada de Água (IRA) no intuito de aprimorar a representação quantitativa da água para a BHRJ.

3 Hipóteses

As hipóteses do presente estudo são:

- i) O modelo MGB permite representar de forma adequada o comportamento hidrológico nas sub-bacias analisadas;
- ii) A partir da utilização do modelo WARM-GIS Tools pode-se representar e expressar a previsão da disponibilidade da água na BHRJ, com base no balanço hídrico quantitativo das águas superficiais;
- iii) O índice de estresse hídrico para a bacia será maior no período de estiagem, observados entre os meses de dezembro a março;
- iv) Os usos ligados à irrigação do arroz influenciam no índice de estresse hídrico da BHRJ;
- v) Através do uso do ICH e do IRA pode-se indicar áreas com problemas em atender a demanda.

4 Revisão de Literatura

4.1 Usos da água e legislação aplicável

De acordo com Souza *et al.* (2014) e Ferreira e Souza (2020), o uso da água pela sociedade humana visa a atender suas necessidades pessoais, atividades econômicas (agrícolas e industriais) e sociais. Nesse sentido, um fator decisivo para o desenvolvimento e planejamento socioeconômico se dá através da disponibilidade hídrica, que consiste em uma estimativa do volume de água disponível para atendimento aos usos múltiplos de uma região. Tal fator norteia a escolha da melhor alternativa de aproveitamento hídrico para os diversos setores usuários presentes na bacia (GONÇALVES, 2020).

Destaca-se como separação dos tipos de usos da água entre os consuntivos e não-consuntivos (ANA, 2005). Os usos consuntivos concernem naqueles tipos de usos que captam certo volume de água dos corpos hídricos e posteriormente devolvem apenas uma parcela deste total, dentre eles pode-se citar o abastecimento público, industrial, agrícola, pecuário, mineração e aquicultura (SEAMA, 2018). Já os usos não-consuntivos são aqueles que captam determinado volume de água, porém este é devolvido integralmente aos corpos hídricos posteriormente, ou que utilizam os recursos hídricos para algum fim que não represente consumo hídrico. Pode-se citar como exemplos de usos não consuntivos a geração de energia, o transporte hidroviário, pesca, turismo, lazer e proteção ambiental (SEAMA, 2018).

Pereira *et al.* (2017) aborda em seu estudo que as áreas rurais, através da ausência de manejo adequado dos solos, acabam propiciando a erosão e redução de oferta e da qualidade hídrica. Já na área urbana, Ramachandra *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2017a) destacam o desenfreado crescimento populacional, ao qual favorece a degradação dos ecossistemas aquáticos em decorrência do uso inadequado do solo e lançamentos clandestinos de efluentes, o que acaba afetando e alterando a estrutura, funcionamento, disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos.

Em função desse quadro de deterioração dos sistemas aquáticos, houve a necessidade de se criar medidas para assegurar a proteção e o uso sustentável dos mesmos (SANTOS, *et al.*, 2018). Para Bertule *et al.* (2018), o equilíbrio entre os usos dos recursos hídricos pelos vários usuários requer, de uma maneira eficiente,

sustentável e equitativa, a implementação de estruturas institucionais e regulatórias apropriadas. A tomada de ações e estratégias que visam o controle da água e a conservação desse recurso faz com que tais medidas acabem se tornando fundamentais para a manutenção e conservação dos recursos hídricos (RAMOS *et al.*, 2020).

Com isso, a relação entre oferta e demanda de água se constitui como uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, permitindo a identificação de áreas críticas quanto a sua quantidade e qualidade, indicando, assim, se os recursos hídricos disponíveis suportam as demandas desejadas (ABREU e TONELLO, 2015).

Vale destacar que, a questão hídrica sempre foi um assunto abordado no Brasil e, ao longo da história do país, isso com a intenção de melhorar a gestão dos recursos hídricos e também de salientar a importância e o caráter finito da água, assim, várias leis e normas foram elaboradas, alguns desses documentos foram a Constituição Federal de 1981, Código Civil de 1916 e a Constituição Federal de 1934 seguida pelo Decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934 (conhecido como o “Código de Águas”) (SOARES *et al.*, 2019).

Todavia, o marco do combate à escassez hídrica e preservação dos recursos hídricos no Brasil ocorreu em 1997 onde foi criada a Lei Federal nº 9.433, conhecida como Lei das Águas, ao qual instituiu a PNRH, que traz dentre seus instrumentos o enquadramento dos corpos d'água em classes, visando assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes (BRASIL, 1997).

A Lei 9.433/1997 baseia-se nos seguintes fundamentos (BRASIL, 1997):

I. Água é um bem de domínio público, recurso natural limitado e dotado de valor econômico;

II. Em situação de escassez, o uso permitido apenas para consumo humano e a dessedentação de animais;

III. A gestão de recursos hídricos deve ser descentralizada e proporcionar o uso múltiplo das águas;

IV. A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da PNRH.

Além disso, a Lei 9.433/1997 trouxe, como um dos seus instrumentos, a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos. Conforme determina o Art. 12 da referida lei, vários tipos de usos e intervenções em recursos hídricos, como

derivações, captações e lançamentos, estão sujeitos à outorga pelo poder público (BRASIL, 1997).

4.2 Escassez Hídrica

Pode-se definir a escassez hídrica como a quantidade de água consumida que se aproxima ou excede a capacidade de um corpo hídrico de se regenerar naturalmente (KOUNINA *et al.*, 2013). Vale destacar que, crises de ordens econômicas, sociais, políticas, por inovações tecnocientíficas e pela compreensão do tempo-espaço marcam, pelas diversas sociedades, a história da apropriação do recurso água (SILVA *et al.*, 2017b).

Atualmente grande parte da população mundial ainda não possui água potável, muitos vivendo em países ou regiões com escassez de água absoluta e utilizando recursos hídricos contaminados (VILLES *et al.*, 2019). Segundo dados da Organização das Nações Unidas - ONU (ONU, 2019), mais de 4 bilhões de pessoas enfrentam episódios de escassez hídrica severa em até um mês ao ano, e cerca de 2 bilhões de pessoas vivem em países que já enfrentam alto estresse hídrico durante todo o ano.

Embora o Brasil como um todo possua uma grande oferta hídrica, que se dá pelo fato de se tratar de um país continental, no qual seu território abriga uma grande diversidade de fenômenos climatológicos, considerável quantidade de tipos de climas e diferentes regimes de precipitação que geram diferentes cenários de disponibilidade hídrica, várias localidades do país ainda enfrentam fortes episódios de escassez hídrica (ANA, 2019). Apesar disso, conforme projeções realizadas pela ANA (2019) em um relatório, até o ano de 2030 a demanda hídrica do Brasil aumentará em cerca de 24%, ou seja, de 2.000 m³/s para cerca de 2.500 m³/s. Tal aumento na demanda hídrica, conforme relatório, se dará por conta do aumento do consumo humano e do consumo dos diversos setores da economia no Brasil.

Nesse contexto, é de suma importância, para o direcionamento das ações da gestão de recursos hídricos relacionadas ao uso da água, o conhecimento dos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica. O balanço hídrico pode ser entendido como a contabilização das entradas e saídas de água de um determinado espaço, porém, o entendimento do balanço hídrico depende de vários fatores como conhecimento do ciclo hidrológico (precipitação, escoamento superficial,

evapotranspiração, infiltração), variáveis climáticas, condições do solo e sua utilização, hidrogeologia da bacia, usos da água existentes, entre outros (GUANDU, 2021).

4.3 Modelagem hidrológica

Conforme Andrade *et al.* (2016) e Cabral *et al.* (2017), a modelagem hidrológica de bacias hidrográficas constitui uma importante ferramenta na concepção e gerenciamento de programas de recursos hídricos. Os modelos hidrológicos são representações matemáticas do comportamento dos sistemas hídricos, ou seja, são eficazes na realização de estudos relacionados a análises de disponibilidade de água, previsões sobre efeitos de mudanças climáticas, prognóstico dos efeitos de mudança de uso do solo, apoio à tomada de decisão, entre outras (FAN; COLLISCHONN, 2014).

De acordo com Paiva (2009), os primeiros modelos hidrológicos criados eram simplificados, tratavam a bacia hidrográfica de forma concentrada e, posteriormente, com o avanço da tecnologia, foram criados os modelos hidrológicos distribuídos, os quais integram uma variedade de processos físicos, altamente variáveis no tempo e no espaço.

Vale destacar que, a modelagem hidrológica possibilita examinar a consistência das informações disponíveis, ou seja, dos dados observados, obtidos a partir das observações hidrológicas realizadas *in loco*, nas bacias hidrográficas, assim, com base nessas informações, os modelos hidrológicos podem ser calibrados. Essa calibração permite, por exemplo, a geração de séries simuladas e a utilização dos modelos como ferramenta de obtenção de dados em bacias não monitoradas (VIANA *et al.*, 2018).

A utilização da modelagem hidrológica proporciona uma redução nos custos e um ganho no que compete à economia de tempo para analisar mudanças físicas e antrópicas nas bacias hidrográficas (VIANA *et al.*, 2018).

Sendo assim, o desenvolvimento de vários estudos que empregam a modelagem hidrológica para as mais diversas bacias hidrográficas é algo comumente utilizado, tais como, Viana *et al.* (2018) que realizou a modelagem hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama (Pernambuco - PE), Niquini *et al.* (2019) que realizaram para a bacia do Córrego Ressaca (Minas Gerais - MG), Félix

e Paz (2016) para a Bacia Hidrográfica do Rio Piancó (Paraíba - PB), entre tantos outros.

4.4 Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB)

Conforme Addor e Melsen (2019), a seleção de um modelo hidrológico, nos estudos de modelagem hidrológica, envolve e implica na escolha de um modelo perceptivo e conceitual. Esta etapa inicial é um processo crucial, pois os resultados do estudo dependem do modelo escolhido e, além disso, sua escolha deve ser baseada em sua adequação para a questão de pesquisa.

Alguns modelos hidrológicos têm sido desenvolvidos e aplicados em diversas bacias hidrográficas para simulação hidrológica, dentre os mais conhecidos conforme Corrêa (2019) são: Soil and Water Assessment Tool (SWAT), European Hydrological System (MIKE-SHE), Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning (HBV), TOPMODEL, Variable Infiltration Capacity (VIC), ORCHIDEE, JULES SURFEX-TRIP, HTESEL, PCR-GLOBWB, W3RA e Modelo de Grandes Bacias (MGB).

O MGB se caracteriza por ser um modelo distribuído, desenvolvido para simular o processo de transformação da chuva em vazão em bacias maiores que 10.000 km² (COLLISCHONN; TUCCI, 2001; COLLISCHONN *et al.*, 2007), porém, o mesmo já foi aplicado com sucesso na simulação hidrológica de bacias hidrográficas de menores escalas (SAMBONÍ, 2017). É baseado em equações conceituais para simular o ciclo hidrológico terrestre, ao qual inclui: balanço de água e energia no solo, evapotranspiração, interceptação de água no dossel das plantas e o escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo (COLLISCHONN *et al.*, 2020).

Além das equações conceituais, o MGB é baseado em equações físicas para bem representar a propagação de vazões ao longo da rede de drenagem. Todavia, para descobrir as vazões por meio dessas equações, o MGB utiliza dados de precipitação, temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e insolação (COLLISCHONN *et al.*, 2007; COLLISCHONN *et al.*, 2020).

Vale destacar que, na versão original, o modelo MGB utilizava uma forma de divisão da área da bacia hidrográfica em unidades regulares, porém, atualmente a discretização da bacia hidrográfica é realizada de uma forma não estruturada,

considerando pequenas bacias hidrográficas incrementais, denominadas minibacias, definidas a partir de dados do relevo de um Modelo Digital de Elevação (MDE) ou de um Modelo Numérico do Terreno (MNT), utilizando as técnicas do conjunto de ferramentas do ArcHydro (SIQUEIRA, 2015; COLLISCHONN *et al.*, 2020; HGE, 2020).

Para simular as vazões em tais minibacias existem dois tipos de parâmetros, os fixos e os calibráveis, que representam os processos hidrológicos (COLLISCHONN *et al.*, 2020). Os parâmetros fixos não são alterados no processo de calibração do modelo e são aqueles cujos valores podem ser medidos, ou que podem ser relacionados à vegetação. Tais parâmetros são:

- Albedo: consiste na parcela de radiação solar refletida pelo solo, que depende do tipo de vegetação e período do ano (OKE, 1987). A variabilidade do albedo no modelo MGB é dada pelo uso de valores médios mensais, no qual são apresentados sugestões de valores que possam ser adotados na própria janela de edição dos parâmetros de vegetação do modelo em questão (ALVES *et al.*, 2020). Tais valores são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de albedo médio diário.

Cobertura	Albedo
Água	0,08
Floresta	0,11 a 0,16
Cerrado	0,13 a 0,18
Pastagem	0,18 a 0,26
Agricultura	0,15 a 0,26

Fonte: Collischonn (2001).

- Índice de área Foliar (IAF): de acordo com Araújo (2017), o IAF é determinado pela relação entre a área das folhas de todas as plantas e da área de uma parcela do solo (m^2/m^2). Vale destacar que tal índice é relevante na análise de mudança de uso do solo, isso porque no modelo MGB a interceptação depende diretamente deste parâmetro. A Tabela 2 apresenta sugestões de variação do IAF de acordo com o tipo de cobertura, tais valores são disponibilizados na própria janela de edição dos parâmetros de vegetação do modelo MGB.

Tabela 2 - Valores do IAF.

Cobertura	Índice de Área Foliar		
	Mínimo	Média	Máximo
Floresta	4	6	9
Cerrado	1	3	4
Pastagem	1	2	4
Agricultura	1	2	6
Água		1	

Fonte: Collischonn (2001).

- Altura média das árvores (m): corresponde à altura do dossel mês a mês, durante todo o ano (ARAÚJO, 2017). Tal informação é importante no cálculo da resistência aerodinâmica à evapotranspiração, inversamente proporcional a este parâmetro. Os valores variam de acordo com o uso do solo, a Tabela 3 apresenta sugestões de variação da altura média das árvores de acordo com o tipo de cobertura. Os valores, assim como dos parâmetros anteriores, também são disponibilizados na própria janela de edição dos parâmetros de vegetação do modelo MGB.

Tabela 3 - Valores de altura médias das árvores.

	Altura do dossel (m)	
	Mínimo	Máximo
Floresta	10	30
Cerrado	5	10
Pastagem	0,5	1
Agricultura	0,5	2
Água		0,5

Fonte: Collischonn (2001).

- Resistência superficial (s/m): conforme SILVA (2014), a resistência superficial representa a resistência ao fluxo de umidade do solo, através das plantas, até a atmosfera. Vale destacar que, a resistência superficial é diferente para os diversos tipos de plantas e dependem de variáveis ambientais como a umidade do solo, a temperatura do ar e a radiação recebida pela planta, por exemplo, em condições favoráveis, ou seja, com abundância de água, os valores de resistência superficial são mínimos (SILVA, 2014). A Tabela 4 apresenta dados de resistência superficial específicos para algumas coberturas vegetais sugeridos e disponibilizados na própria janela de edição dos parâmetros de vegetação do modelo MGB.

Tabela 4 - Resistência superficial em diversos tipos de vegetação em condições de boa disponibilidade de água no solo.

	Resistência de superfície para boas condições de umidade do solo (s/m)		
	Mínimo	Média	Máximo
Floresta	-	100	-
Cerrado	60	-	200
Pastagem	40	70	80
Agricultura	40	70	154
Água		0	

Fonte: Collischonn (2001).

Diferentemente dos parâmetros fixos, os calibráveis podem ser alterados a cada aplicação do modelo na busca por um bom ajuste entre os dados observados e aqueles calculados. Destaca-se que um parâmetro calibrável associado a um determinado bloco tem o mesmo valor para esse bloco em todas as células da bacia utilizada. Tais parâmetros podem ser descritos como (COLLISCHONN, 2001):

- Capacidade de armazenamento do solo (W_m): corresponde a capacidade máxima que um solo pode absorver a água da chuva (sem que o escoamento superficial ocorra). Os valores do referido parâmetro pode variar entre 50 a 100 mm, sendo valores mais elevados para solos profundos;

- Parâmetro de forma da relação entre armazenamento e saturação (b): controla a separação entre a saturação da capacidade de armazenamento do solo e o escoamento superficial, onde, um aumento do referido parâmetro faz com que um maior volume de água escoe superficialmente, e menos água infiltre no solo. Ressalta-se que o parâmetro b ajusta os picos de vazão observados e calculados, principalmente durante as pequenas cheias e seu valor usual é 0,12, podendo chegar até 1,60.

- Parâmetro de drenagem subterrânea (K_{bas}): o K_{bas} é o parâmetro de controle do volume de água escoado subterraneamente de uma determinada camada de solo, onde, seus valores podem variar entre 0,05 a 5 mm/dia.

- Parâmetro de drenagem sub-superficial (K_{int}): diferente do K_{bas} , o K_{int} é o parâmetro de controle do volume de água escoado subsuperficialmente de uma determinada camada de solo, e seus valores variam em torno de 4 a 40 mm/dia.

- Parâmetro de forma da curva de redução (XL): o XL é o parâmetro de controle da forma da curva de redução da drenagem intermediária ou subsuperficial do solo, sendo adotado habitualmente o valor de 0,67.

- Parâmetro do fluxo ascendente (CAP): o CAP é um parâmetro que representa a presença ou não de fluxo ascendente de umidade do lençol freático

para o perfil do solo. Porém, a possibilidade de retorno da água subterrânea para a camada de solo é desprezada comumente, por isso adota-se CAP igual à zero.

- Parâmetros de armazenamento residual (W_c): o respectivo parâmetro limita o escoamento subsuperficial e o escoamento subterrâneo, sendo pouco sensível em uma faixa razoável de valores e com isso, em geral, é fixado em 10% da W_m .

- Parâmetro de retardo do reservatório superficial (CS), de retardo do reservatório subsuperficial (CI) e de retardo do reservatório subterrâneo (CB): tais parâmetros são responsáveis pelo controle do retardo do escoamento dentro das células, ou seja, configuram as interferências que o escoamento sofre durante o seu percurso até o exutório da bacia;

- Vazão de base (QB): representa o escoamento de água armazenada na camada subterrânea do solo.

De modo geral, a estrutura do MGB pode ser mais bem compreendida através da divisão em três módulos (Collischonn *et al.*, 2020):

1 - Módulo de balanço de água e energia no solo: parte do modelo MGB em que são feitos os cálculos relacionados aos processos hidrológicos verticais;

2 - Módulo de escoamento interno na minibacia: compreende aos processos hidrológicos horizontais que ocorrem dentro de uma minibacia, ou seja, representa separadamente os fluxos de água pelas vias superficial, subsuperficial e subterrânea, desde a origem do escoamento (que se dá no módulo de balanço de água) até atingir a rede de drenagem principal da bacia (representada explicitamente no módulo de escoamento na rede de drenagem);

3 - Módulo de escoamento na rede de drenagem: refere-se aos processos horizontais que ocorrem ao longo dos principais rios da bacia sendo utilizado no MGB as seguintes metodologias de cálculo:

a) Método Muskingum-Cunge: o método, ou modelo, Muskingum-Cunge é menos exigente do ponto de vista computacional, e possibilita desenvolver simulações com tempo de processamento significativamente mais baixo do que o modelo inercial. Contudo, o modelo Muskingum-Cunge não é adequado para a simulação de bacias hidrográficas com rios de baixa declividade, ou onde existem planícies de inundação.

b) Método inercial: não possui limitações no que compete à declividade dos rios e, além disso, pode ser utilizado em bacias com rios de alta ou baixa declividade. Destaca-se também, que o método inercial possibilita representar mais

adequadamente rios com planícies de inundação, já por outro lado, o modelo inercial exige que os cálculos internos sejam realizados com um passo de tempo muito pequeno, o que acaba resultando em um tempo de processamento significativamente maior ao comparar com o modelo Muskingum-Cunge.

A Figura 1 apresenta um esquema geral do ciclo hidrológico realizado pelo modelo MGB.

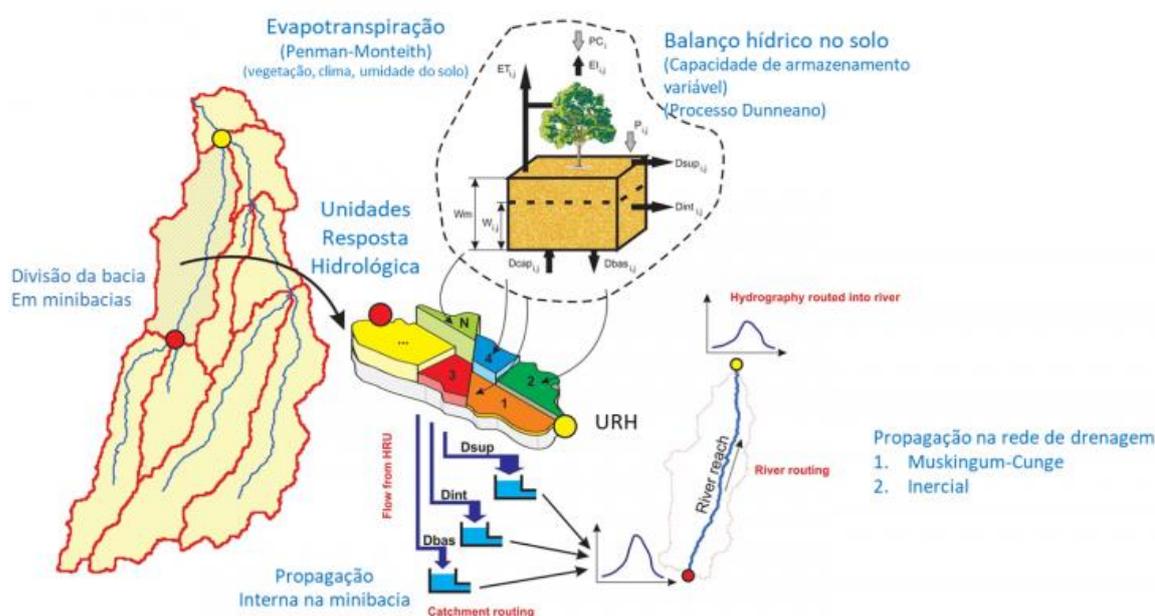


Figura 1 - Representação esquemática do ciclo hidrológico simulado pelo MGB.
Fonte: HGE (2020).

De acordo com Collischonn *et al.* (2020), as aplicações deste modelo são diversas, como por exemplo, na estimativa de vazões para sistemas de suporte à decisão e planejamento de recursos hídricos incluindo planos de bacias e outorga, na avaliação de impactos devido a mudanças no uso do solo e mudanças climáticas, nos estudos sobre processos hidrológicos e ambientais, na avaliação de inundações e medidas de controle, entre outras.

4.5 Modelo WARM-GIS Tools

WARM-GIS Tools é um modelo matemático, desenvolvido por Kayser e Collischonn (2017), e se apresenta como uma atualização da plataforma SAD-IPH elaborada por Kayser (2011). Esse modelo visa auxiliar e facilitar a gestão de bacias hidrográficas em um ambiente de SIG, pois permite e possibilita, a partir de uma

base hidrográfica pré-definida, a inserção de dados de disponibilidade hídrica e de usos de água (retiradas, lançamentos de efluentes e reservatórios), permitindo a simulação quali-quantitativa e verificando os impactos dos usos sobre a disponibilidade e a qualidade da água (KAYSER; COLLISCHONN, 2017).

Vale destacar que, o WARM-GIS Tools se apresenta como um plug-in do software MapWindow GIS na versão 4.8.6 e ainda é operado em regime permanente, ou seja, sem variação no tempo, permitindo um retrato da bacia hidrográfica em um determinado momento (SOUZA, 2018).

O modelo WARM-GIS Tools é dividido em dois módulos distintos, sendo (KAYSER; COLLISCHONN, 2017):

- Módulo de Simulação de Balanço Hídrico: este módulo executa o balanço hídrico entre disponibilidades e demandas e aceita a simulação de até 12 cenários simultaneamente (mais detalhes no tópico 4.5.2);

- Módulo de Simulação Integrada de Qualidade da Água e Balanço Hídrico: esse módulo realiza a simulação da qualidade da água, no qual leva em consideração, os lançamentos de efluentes e captações de água para a bacia hidrográfica estudada, permitindo a simulação de apenas um cenário por vez.

O referido modelo já foi aplicado em trabalhos acadêmicos como, por exemplo, Silva *et al.* (2017a) ao qual realizou a modelagem da qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (MG) e COSTA (2016) que fez um estudo de caso sobre a bacia do Ribeirão Taquaruçu, Palmas (TO) a fim de elaborar cenários de enquadramentos dos corpos hídricos para a bacia em questão. Contudo, além de trabalhos acadêmicos, o WARM-GIS Tools já foi aplicado também para diversos planos de bacias como, por exemplo, o Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã (RS), do Rio Santa Maria (RS), do Rio Urucuia (MG), do Rio Pandeiros (MG), entre outros (HGE, 2020).

4.5.1 Processamento do modelo

Conforme Kayser e Collischonn (2017), de maneira geral, o processamento do modelo funciona conforme representação na Figura 2, onde inicialmente, o modelo WARM-GIS Tools realiza a identificação do ordenamento dos trechos, selecionando primeiramente os de primeira ordem ou de cabeceira, determinando-se uma condição inicial, incluindo a existência de usuários de água e realizando as

operações correspondentes. Logo após, o modelo processa os trechos de segunda ordem, utilizando as saídas de concentrações e vazões conseguidas na etapa anterior e assim sucessivamente até o trecho de ordem mais alta, o exutório. Vale ressaltar que, para os trechos de ordem 1, as vazões e concentrações iniciais do trecho são dados de entrada do modelo; para os trechos de ordem superior, por outro lado, tais variáveis são dadas utilizando as saídas dos trechos de montante, somando as vazões e misturando as respectivas concentrações.

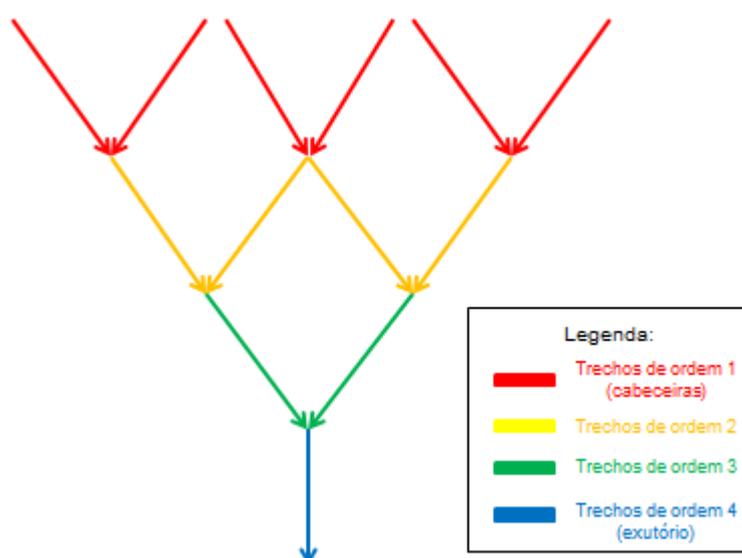


Figura 2 - Esquemas de simulação por ordem de trecho no modelo WARM-GIS Tools. Fonte: Adaptado de Kayser e Collischonn (2017).

4.5.2 Módulo de Balanço Hídrico

De acordo com Kayser e Collischonn (2017), o esquema de balanço hídrico, representado na Figura 3, consiste na contabilização dos pontos de captação inseridos no sistema, calculando-se a vazão remanescente e os possíveis déficits de não atendimento. O modelo opera em modo permanente, por meio de valores únicos de vazão por minibacia, representando estatísticas das séries hidrológicas como, por exemplo, a Q7,10 ou a Q95. Vale destacar que, o modelo permite a simulação de até 12 cenários simultaneamente, podendo-se trabalhar de diversas formas.

Os dados de retiradas podem ser considerados de forma pontual ou difusa, onde (KAYSER; COLLISCHONN, 2017):

- Pontual: através do fornecimento de pontos nos quais a captação será atribuída à minibacia sobre a qual estiver localizado o respectivo ponto;

- Difusa: por meio do fornecimento de polígonos sobre os quais se assume que exista uma retirada específica constante.

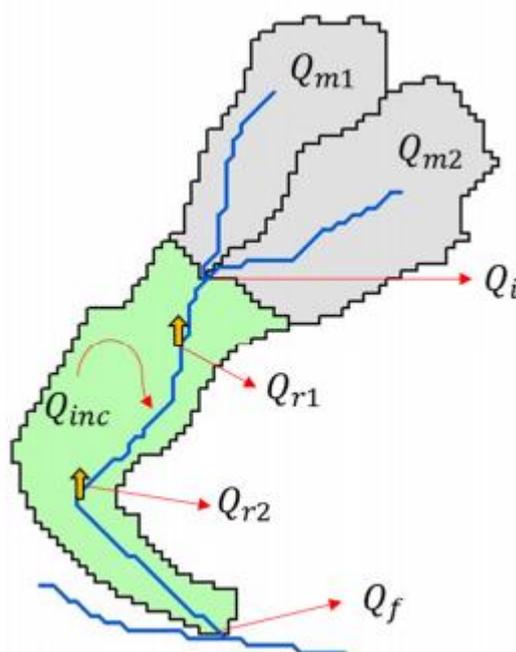


Figura 3 - Esquemas de representação do módulo de balanço hídrico.
Fonte: Kayser e Collischonn (2017).

Sendo:

- $Q_{m1}, Q_{m2}, \dots, Q_{mn}$ = vazões remanescentes das minibacias de montante;
- Q_i = vazão inicial da minibacia;
- Q_{inc} = vazão incremental da minibacia;
- $Q_{r1}, Q_{r2}, \dots, Q_{rn}$ = pontos de retirada localizados em qualquer local no interior da minibacia;
- Q_f = vazão remanescente final da minibacia.

4.6 Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo (BHMSG)

A BHMSG constitui um sistema hidrológico binacional, onde os recursos hídricos se integram e tem abrangência em uma superfície de 62.250km² aproximadamente, sendo 29.250km² (47%) no Brasil e 33.000 km² (53%) no Uruguai (SILVA *et al.*, 2020).

Esse sistema é composto principalmente pela Lagoa Mirim e pelo Canal de São Gonçalo, que apresenta extensão de 76 km, ligando a Lagoa Mirim à Laguna dos Patos. Vale destacar que as águas da Lagoa Mirim são drenadas principalmente

em direção ao Canal de São Gonçalo, que por sua vez deságua Laguna dos Patos (COSTI *et al.*, 2018). Outros importantes corpos hídricos compõem a malha de drenagem da bacia, sendo o rio Cebollati, Tacuari no lado uruguaio e os rios Jaguarão, Piratini e Arroio Pelotas no lado brasileiro.

A BHMSG tem grande importância socioeconômica e ambiental para ambos os países (COSTI *et al.*, 2018). A Lagoa Mirim além de ser o terceiro maior corpo d'água lacustre da América do Sul suas águas são utilizadas principalmente para irrigação de arroz, além de atuar como reservatório de água doce de extração para consumo humano (OLIVEIRA *et al.*, 2015; PINTO *et al.*, 2020). Vale destacar também que, na área ambiental, no entorno da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo, existem inúmeras áreas úmidas altamente produtivas ao qual abrigam uma rica biodiversidade, e são protegidas por leis nacionais (COSTI *et al.*, 2018; VIEIRA *et al.*, 2019).

Conforme Hartmann e Harkot (1990), o Canal São Gonçalo normalmente possui escoamento no sentido Lagoa Mirim para a Laguna dos Patos, porém, o mesmo possui um regime hidrológico que inverte periodicamente o sentido do fluxo de escoamento, o que, de acordo com Hartmann *et al.* (1986) se dá devido ao relevo ser predominantemente plano, o que influencia à ação dos ventos e dos níveis d'água entre a Laguna dos Patos e a Lagoa Mirim. Com intuito de evitar a intrusão de água salina em significativa porção do canal São Gonçalo e Lagoa Mirim, bem como controlar o nível d'água, foi construída uma barragem e eclusa (Figura 4) na extremidade nordeste do canal São Gonçalo disposta transversalmente ao canal, com 245 m de comprimento (GOUVÊA; ZARNOT; ALBA, 2010).

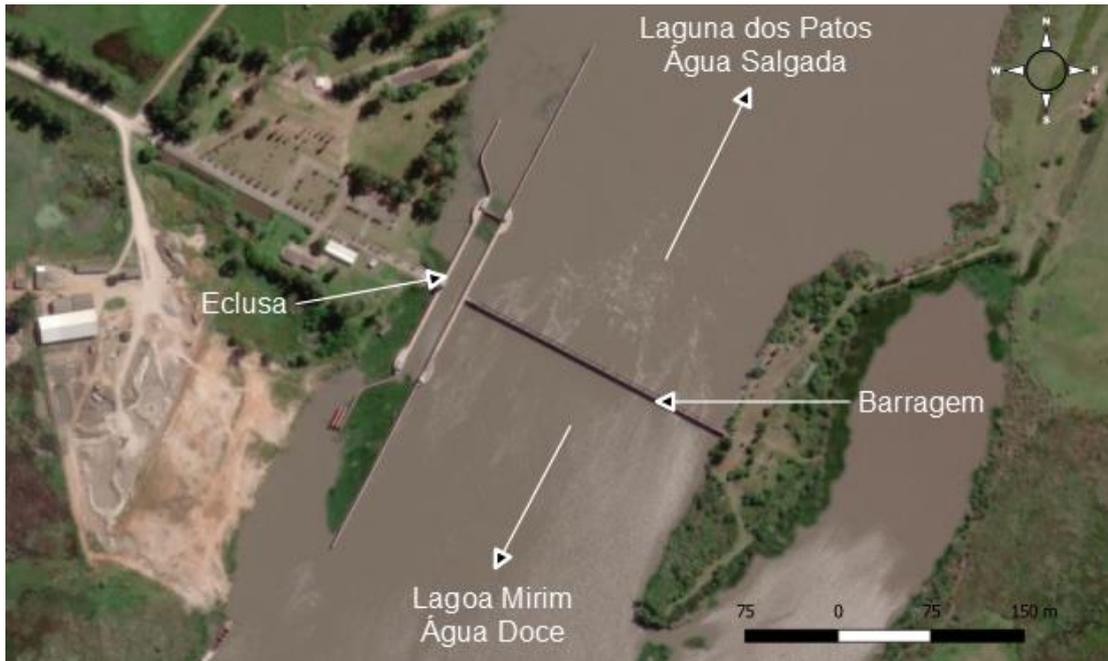


Figura 4 - Localização da eclusa e barragem no Canal São Gonçalo.
Fonte: Próprio autor.

4.6.1 Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Jaguarão (BHRJ)

Localizada na divisa entre Brasil e Uruguai, a BHRJ é uma das mais importantes sub-bacias que compõem a BHMSG abrangendo a planície costeira e o escudo uruguaio-sul-rio-grandense (FEPAM, 2020), a mesma possui como corpo hídrico principal o Rio Jaguarão, apresentado na Figura 5, que tem seu exutório na Lagoa Mirim.



Figura 5 - Rio Jaguarão.
Fonte: Próprio autor.

De acordo com Moreira (2007), a população na fronteira entre os países supracitados se caracteriza por ser fundamentalmente urbana, onde no Brasil 84%

da população se encontra na área urbana, já no que compete a população Uruguaia 81% se localiza na área urbana na região da fronteira. Segundo Betancur (2015), o PIB na zona de fronteira entre Brasil e Uruguai tem mais ou menos a mesma estrutura para ambos os lados, com os setores comércio e serviços contribuindo mais de 50% do mesmo, seguido da indústria com 30% e o setor agropecuário entre o 10 e 15%.

A estrutura produtiva em ambos os lados da BHRJ baseia-se no setor agropecuário, onde, o desenvolvimento dos polos de produção industrial e a industrialização da produção agropecuária ocorrem de maneira unida (BETANCUR, 2015).

Conforme Betancur (2015), o lado brasileiro da BHRJ destaca-se com a produção das seguintes culturas: arroz, soja, trigo e milho, já na pecuária destacam-se a criação de gado, de corte de leite e a ovinocultura. Achkar *et al.* (2012) e Serrentino (2013) abordam que, do lado Uruguaio destaca-se a agricultura com produção de arroz, sorgo e cevada e a produção florestal, já na pecuária a produção de carne e laticínios.

5 Material e Métodos

5.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Jaguarão (BHRJ) está localizada entre as coordenadas geográficas de 31°30' a 34°35' de latitude Sul e 52°15' a 55°15' de longitude Oeste, na área que compreende a fronteira entre Brasil e Uruguai, mais especificamente entre o sudoeste do estado do Rio Grande do Sul - RS (Brasil) e a nordeste do Departamento de Cerro Largo (Uruguai). Vale destacar que a BHRJ faz parte do sistema de bacias hidrográficas que compõem a BHMSG (BETANCUR, 2015), conforme mostra a Figura 6.

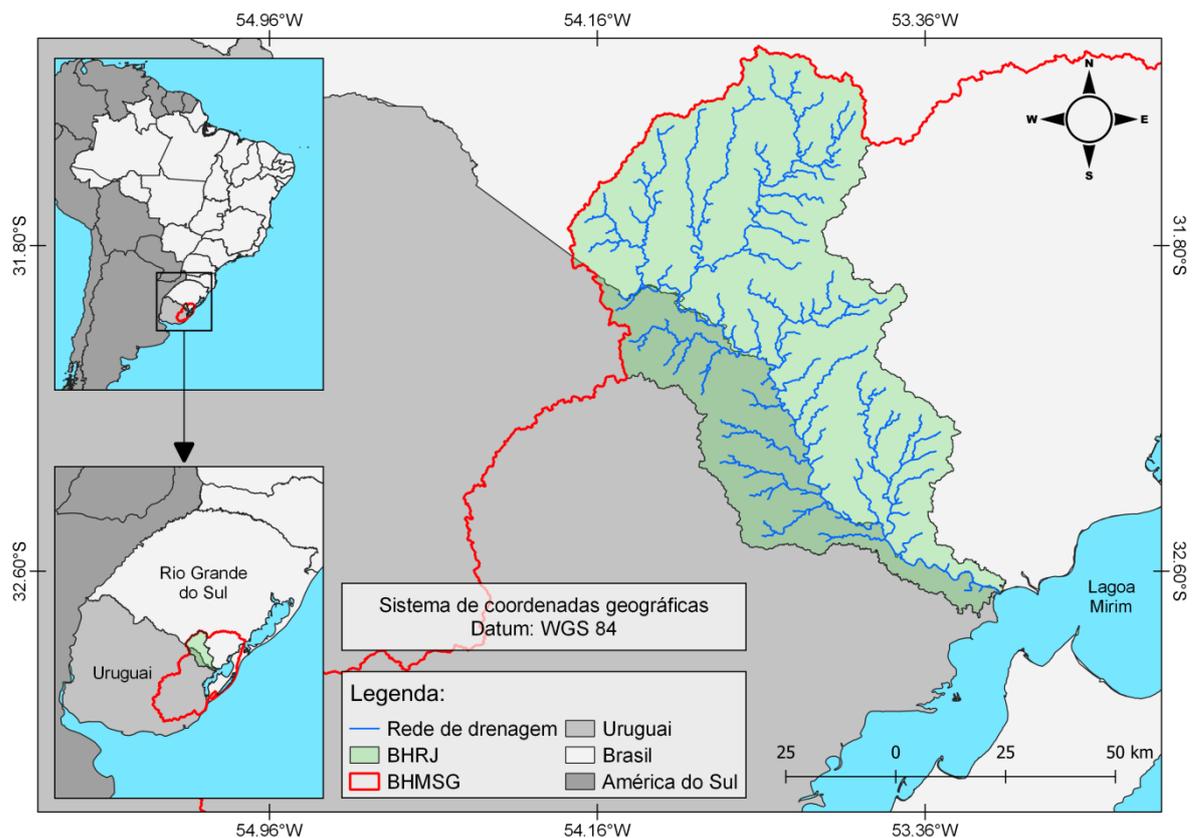


Figura 6 - Localização da área de estudo.
Fonte: Próprio autor.

Os municípios que se encontram inseridos na BHRJ, de maneira total ou parcialmente, do lado brasileiro são: Aceguá, Arroio Grande, Bagé, Candiota, Herval, Hulha Negra, Pedras Altas, Pinheiro Machado e Jaguarão; já do lado uruguaio são Aceguá, Isodoro Noblía e Rio Branco (BETANCUR, 2015).

A paisagem da BHRJ é caracterizada pelo Pampa, com destaque para os relevos que vão desde afloramentos rochosos até relevos planos ou pouco inclinados (VERDUM *et al.*, 2004). De acordo com Betancur (2015), o clima da BHRJ está estreitamente relacionado com as características climáticas da BHMSG, e conforme Costi *et al.* (2018), o clima na BHMSG se caracteriza, conforme a classificação de Köppen, do tipo subtropical, com temperaturas médias anuais entre 14°C e 18°C e com precipitação anual entre 1250mm e 2000mm.

5.2 Modelagem Quantitativa

Para a realização da modelagem quantitativa (balanço hídrico quantitativo) da BHRJ dividiu-se em três etapas metodológicas: IPH-Hydro Tools (Pré-Processamento), MGB (Modelagem Hidrológica) e WARM-GIS Tools (Modelagem Quantitativa). O fluxograma apresentado na Figura 7 representa todo o processo metodológico do trabalho, com os dados de entrada, arquivos intermediários, as etapas metodológicas e o resultado final. Ressalta-se que, todas as etapas, do pré-processamento a modelagem hidrológica, foram realizadas por meio do *software* livre Quantum GIS - QGIS, já a modelagem quantitativa por meio do programa MapWindow GIS (na versão 4.8.6).

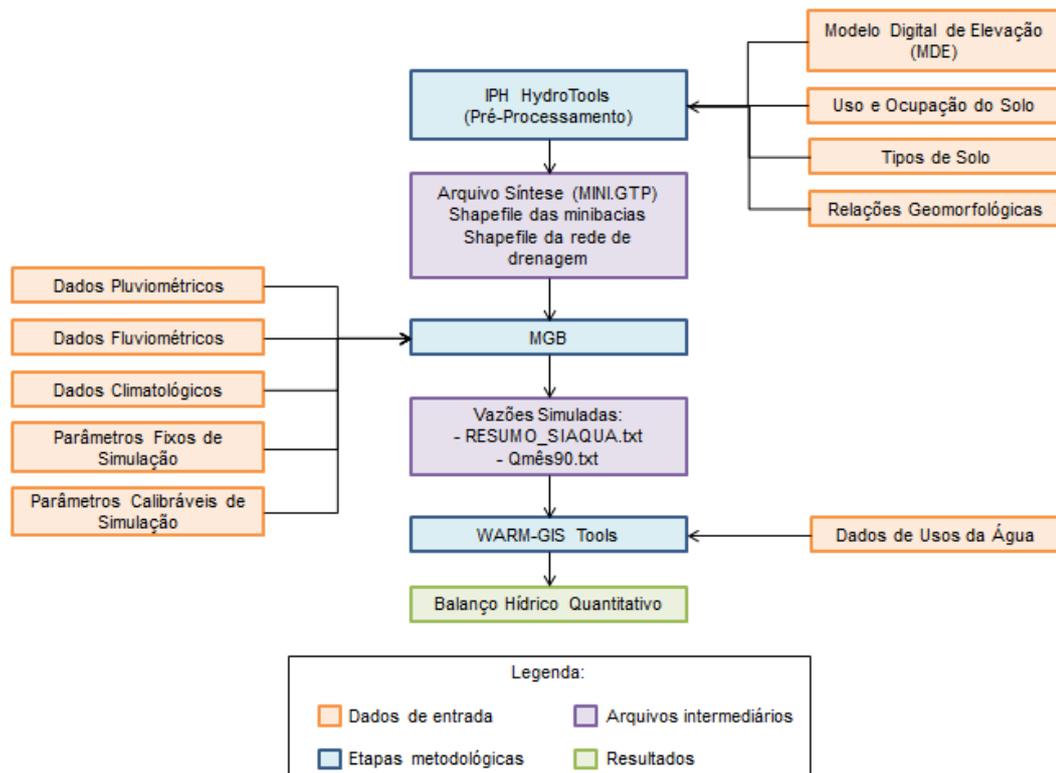


Figura 7 - Fluxograma geral.
Fonte: Próprio autor.

Vale destacar que, o objetivo da aplicação da modelagem hidrológica neste estudo foi no intuito de obter arquivos de saída do pacote de ferramentas IPH-Hydro Tools (pré-processamento) e do modelo MGB (modelagem hidrológica), tais arquivos de saída foram arquivos de entrada no modelo WARM-GIS Tools para a modelagem quantitativa, ou seja, para realizar o balanço hídrico quantitativo. Os arquivos utilizados são:

- Arquivos vetoriais: resultantes do processamento do MDE no IPH-Hydro Tools, os arquivos vetoriais correspondem aos shapefiles das minibacias e da rede de drenagem da BHRJ.

- MINI.GTP: corresponde ao principal arquivo de entrada do modelo MGB, sendo o produto final da ferramenta IPH-Hydro Tools ao qual contém informações topológicas do modelo.

- RESUMO SIAQUA.txt e Qmes90.txt: ambos são arquivos de saída do modelo MGB, e fornecem valores únicos de vazão por minibacia por cenário. No intuito de melhor explicar as etapas metodológicas subdividiu-se o fluxograma geral em três partes apresentadas nos tópicos 5.2.1, 5.2.2 e 5.2.3, respectivamente.

5.2.1 Aplicação do IPH-Hydro Tools (Pré-Processamento)

A Figura 8 apresenta o fluxograma do que foi realizado na primeira etapa metodológica. Tais processos foram realizados por meio do IPH-Hydro Tools, que é um pacote de ferramentas que funciona como um *plug-in* do *software* livre de SIG Quantum GIS - QGIS (HGE, 2020). Vale destacar que todo procedimento de aplicação do *plug-in* IPH-Hydro Tools seguiu-se o “Manual de aplicação do modelo MGB utilizando IPH-Hydro Tools” (ALVES *et al.*, 2020).

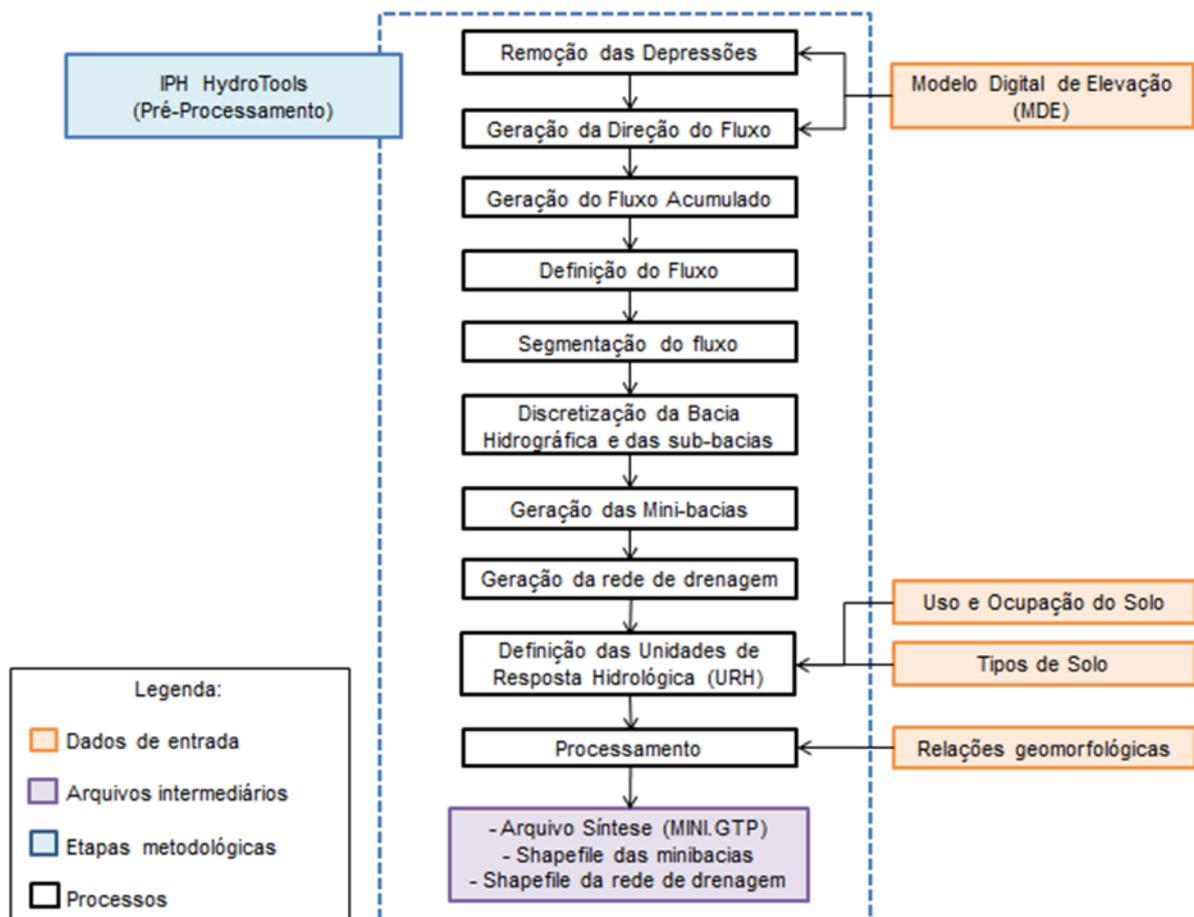


Figura 8 - Fluxograma da primeira etapa metodológica - IPH-Hydro Tools.
Fonte: Próprio autor.

5.2.1.1 Dados de entrada do IPH-Hydro Tools

- Modelo Digital de Elevação (MDE): Para iniciar esta etapa metodológica foi necessária a obtenção de um MDE, para que com isso fosse possível extrair dados de relevo do mesmo para a BHRJ. O MDE utilizado é da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de aproximadamente 90

metros. Vale destacar que o uso do SRTM é adequado para a modelagem proposta neste estudo, apesar dos erros e limitações do mesmo, que decorrem de problemas na reflexão dos sinais de radar em corpos d'água ou em vertentes com declividade elevada (FARR *et al.*, 2007).

- Tipo, uso e ocupação do solo: Para a determinação do tipo e uso do solo da BHRJ utilizou-se um mapa de Unidades de Resposta Hidrológica (URH's) da América do Sul desenvolvido por Fan *et al.* (2015). Um mapa de URHs é nada mais do que uma combinação de mapas de tipo e de uso do solo que pode ainda conter outras informações como geologia e topografia da área, ou seja, a geração do mapa de URH's consiste na reclassificação e combinação de outros mapas que acabam formando regiões que possuem o mesmo comportamento hidrológico e que influenciam diretamente nos processos hidrológicos simulados pelo modelo (Fan *et al.*, 2015). O mapa de URH's desenvolvido por Fan *et al.* (2015), para toda a América do Sul, possui resolução de 450 m e contém 9 classes de URH's que são:

- | | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| (I) Floresta + Solo Raso; | (VI) Campo + Solo Profundo; |
| (II) Floresta + Solo Profundo; | (VII) Zonas Úmidas; |
| (III) Agricultura + Solo Raso; | (VIII) Áreas Semipermeáveis; |
| (IV) Agricultura + Solo Profundo; | (IX) Água. |
| (V) Campo + Solo Raso; | |

- Relações geomorfológicas: as relações geomorfológicas adotadas neste trabalho seguiram as obtidas por Possa (2019), que definiu as larguras e profundidades de cada trecho das minibacias para a BHMSG por meio da utilização de dados de resumo de descarga de estações da Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA), obtidas por meio do portal HidroWeb. Destaca-se que o uso das relações geomorfológicas obtidas por Possa (2019) neste estudo se deu pelo fato de que nenhuma das estações da BHRJ possuía todos os dados necessários para calcular tais relações.

Conforme Possa (2019), as configurações das equações das relações geomorfológicas são apresentadas nas Equações 1 e 2.

$$Hrio_i = cAd_i^d \quad (1)$$

$$\text{Brio}_i = a\text{Ad}_i^b \quad (2)$$

Sendo:

- Hroi é a profundidade da calha (m) na minibacia i;
- Brioi é a largura da calha (m) na minibacia i;
- Adi é a área de drenagem (km²) na minibacia i;
- Parâmetros a, b, c e d são os parâmetros do ajuste da equação potencial.

Os resultados encontrados considerando os dados observados por Possa (2019) para a, b, c e d foram, respectivamente, 2,3786; 0,4486; 0,1597 e 0,3818.

5.2.1.2 Processos do IPH-Hydro Tools

A Tabela 5 abaixo explica de maneira resumida os processos através de uma breve descrição do que é gerado pelos mesmos.

Tabela 5 - Processos IPH-Hydro Tools.

Processos	Descrição
Remoção das depressões	Remoção das depressões do arquivo <i>raster</i> (MDE);
Geração da direção do fluxo	Fornecer um arquivo com as direções de fluxo de cada célula;
Geração do fluxo acumulado	Gera um arquivo com o número de células que contribuem com o fluxo para cada célula;
Definição do fluxo	Origina um arquivo <i>raster</i> com a rede de drenagem para determinado limiar definido (20km ²);
Discretização da bacia hidrográfica e sub-bacias	Delimitação da BHRJ e das sub-bacias que a compõem;
Segmentação do fluxo	Rede de drenagem dividida para cada trecho do fluxo (10km);
Geração das minibacias	Minibacias que contribuem diretamente para cada trecho da drenagem;
Definição da rede de drenagem	Conversão da rede de drenagem em um vetor de shapefile (linha);
Definição das URH's	Obtenção das URH's para a BHRJ a partir do mapa desenvolvido por Fan et al. (2015);
Processamento	Gera o arquivo MINI.GTP.

Fonte: Siqueira *et al.* (2016).

O primeiro passo realizado para a área de estudo após a obtenção do MDE foi à remoção das depressões do mesmo, neste estudo foi utilizado o método MHS (Modify Heuristic Search) cuja tendência de escoamento do MDE na região do entorno da depressão é utilizada para evitar uma busca completamente “às cegas” (JONES, 2002). Conforme Siqueira *et al.* (2016) é um dos métodos que traz melhores resultados.

Posteriormente dá-se início a identificação das direções de fluxo em cada célula, o que é feito através do método D8 proposto por Marks, Dozier e Frew (1984)

e O'Callaghan e Mark (1984), cujo nome refere-se as oito possíveis direções de fluxo conforme mostra Figura 9.

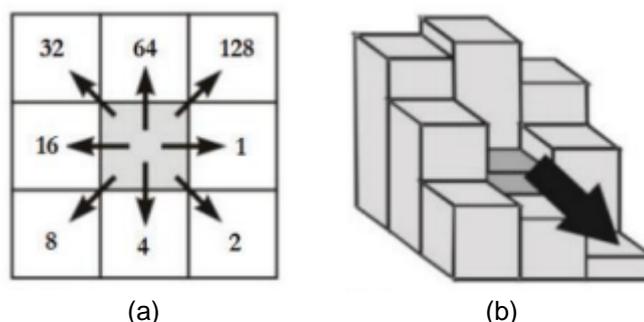


Figura 9 - (a) Codificação usada para distinguir as oito direções de fluxo possíveis no método D8; (b) Atribuição da direção de fluxo pela regra da maior declividade.
Fonte: Buarque *et al.* (2009); Siqueira *et al.* (2016).

Logo após, a partir da geração das direções de fluxo, foi possível obter a área acumulada somando a área das células na direção indicada, ou seja, em cada célula é atribuído um valor com o número de células que drenam a água até aquela. Desta forma é possível extrair a rede de drenagem, que é feita a partir da definição de um limiar de área acumulada, que representa o número mínimo de células necessárias para começar o curso de água (FAN *et al.*, 2013). No presente estudo foi adotado o valor de 20km².

O próximo passo realizado foi à delimitação da BHRJ, que se deu a partir das direções de fluxo e da nova rede de drenagem feita a partir da definição de um limiar de área acumulada. Para realizar o processo criou-se um shapefile de ponto no exutório da BHRJ, que se dá na confluência entre o rio Jaguarão e a Lagoa Mirim.

Para delimitar as sub-bacias seguiu-se o mesmo procedimento adotado na delimitação da BHRJ, o que diferenciou foi à criação de um shapefile com os exutórios das mesmas. As sub-bacias foram definidas com base na localização das estações fluviométricas da área de estudo, além do exutório da BHRJ, e utilizadas principalmente no processo de calibração do modelo hidrológico, a qual é atribuída vários parâmetros a cada URH's de acordo com o comportamento hidrológico conferido a elas, ou seja, o critério adotado para a escolha do local dos exutórios das sub-bacias foi onde existiam dados de vazão (além do exutório). Assim os pontos de controle se deram conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Pontos de controle: estações fluviométricas e exutório da BHRJ.

Código	Nome	Rio	Área de drenagem (km ²)
00000100	Paso Centurión	Río Yaguarón	4611
88220000	Picada da Areia	Rio Jaguarão	5420
Exutório	Foz rio Jaguarão	Rio Jaguarão	7407

Fonte: Próprio autor.

Para a segmentação da rede de drenagem utilizou-se a ferramenta ArcHydro Segmentation, na qual a rede de drenagem é seccionada entre pontos de confluência a montante e a jusante de um mesmo trecho de rio, ou, para aqueles trechos nos extremos à montante, até a primeira confluência (ALVES *et al.*, 2020).

Para a definição das URHs utilizou-se um arquivo de URH da América do Sul, obtido conforme descrito no tópico 5.2.1.1, a partir do mesmo é criado outro arquivo de Classes de Resposta Hidrológica (HRC) para a BHRJ. Vale destacar que, em cada HRC ocorre o balanço de água no solo e os volumes gerados em cada unidade são somados e propagados inicialmente em nível de minibacias e, posteriormente, pela rede de drenagem (FAGUNDES, 2018).

5.2.1.3 Arquivos intermediários do IPH-Hydro Tools

Um dos arquivos de saída do IPH-Hydro Tools, que será um arquivo de entrada no MGB é o MINI.GTP. Resumidamente, conforme Alves *et al.* (2020), corresponde ao principal arquivo de entrada do modelo MGB, e contém informações topológicas do modelo, fornecendo para cada minibacia informações como área de drenagem, comprimento e declividade do trecho, fração de classes de resposta hidrológica, entre outros, apresentados na Tabela 7. Tais informações presentes no arquivo do MINI.GTP são obtidas através dos processos apresentados no tópico anterior (5.2.1.2).

Tabela 7 - Lista dos atributos do arquivo MINI.GTP.

Atributo	Informações
CatID	Código da minibacia original (fornecido pelo IPH-Hydro Tools);
MINI	Número da minibacia em ordem topológica (iniciando pelas minibacias de cabeceira até a minibacia exutório);
Xcen e Ycen	Coordenadas de centróide;
Sub	Sub-bacia a qual pertence a minibacia;
Area	Área de drenagem da minibacia em km ² ;
AreaM	Área de drenagem total a montante de cada minibacia;
Ltr e Str	Comprimento e declividade, respectivamente, do rio principal que atravessa uma minibacia;
Lrl e Srl	Comprimento e declividade, respectivamente, do afluente mais longo dentro de uma minibacia;
MiniJus	Número da minibacia localizada imediatamente a jusante;
Ordem	Ordem do curso d'água da minibacia;
Hdr	Flag utilizado antigamente, em versões anteriores do modelo, para acionar o modelo hidrodinâmico nas minibacias. Atualmente, este flag não é utilizado dentro da modelagem;
Width	Largura do trecho baseada na equação geomorfológica fornecida na janela do MGB PreProcessing;
Depth	Profundidade do trecho baseada na equação geomorfológica fornecida na janela do MGB PreProcessing;
Manning	Rugosidade de Manning;
BLC_X	Porcentagem da área da minibacia em que existe cada uma das unidades de resposta hidrológica, onde X varia de 1 até o número de URH.

Fonte: Medeiros *et al.* (2019).

5.2.2 Aplicação do MGB - Modelagem hidrológica

A Figura 10 apresenta o fluxograma do que foi realizado na segunda etapa metodológica. Tais processos foram realizados por meio do MGB, que é um plug-in do software livre de SIG Quantum GIS - QGIS (HGE, 2020). Vale destacar que todo procedimento de aplicação do plug-in MGB seguiu-se o “Manual de aplicação do modelo MGB utilizando IPH-Hydro Tools” (ALVES *et al.*, 2020).

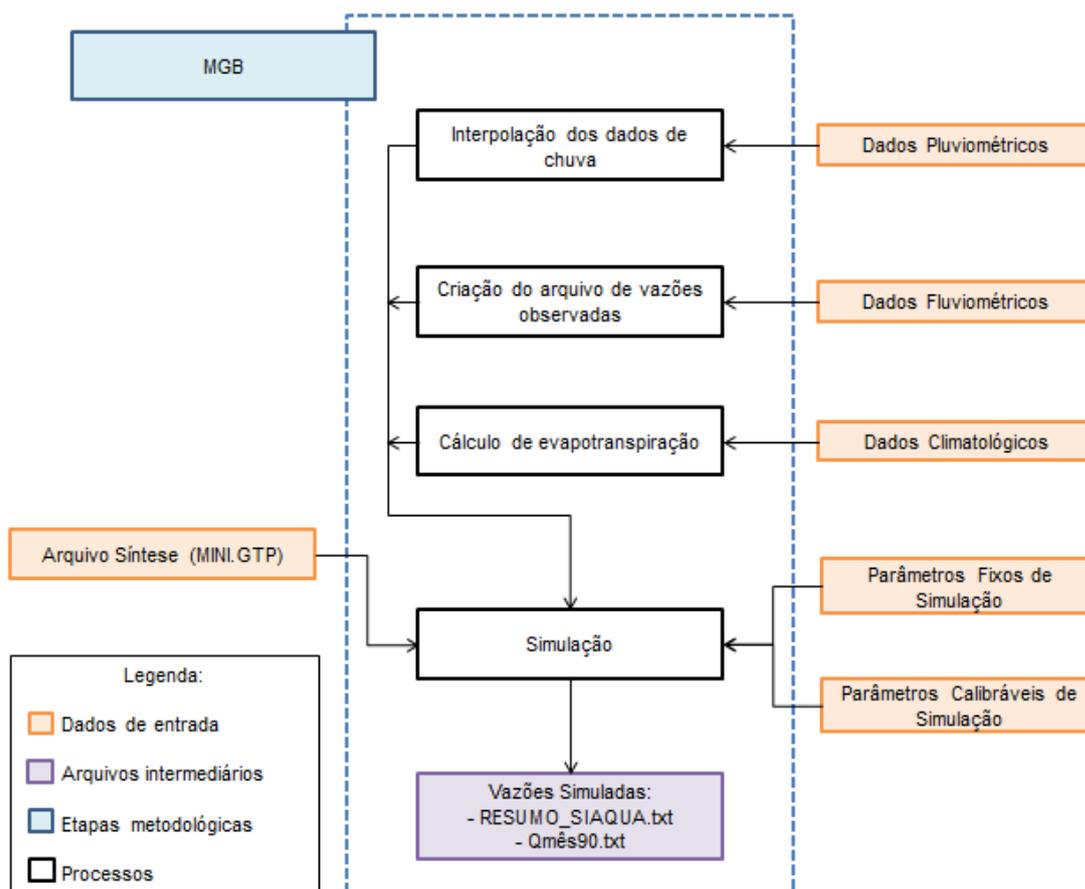


Figura 10 - Fluxograma da segunda etapa metodológica - MGB.

Fonte: Próprio autor.

5.2.2.1 Dados de entrada do MGB

Os dados de entrada incluem dados pluviométricos, fluviométricos, climatológicos, e os parâmetros fixos e calibráveis, além do arquivo MINI.GTP gerado na etapa anterior. Para a calibração do modelo, ressalta-se que o período de dados de todas as informações de entrada deve ser o mesmo, para este estudo de caso em questão adotou-se o período simulação e calibração entre 01/01/1980 a 31/12/2010, já no que compete a verificação se o modelo estava representando bem a calibração, simulou-se para o período de 01/01/2011 a 31/12/2020.

- Dados pluviométricos: foram utilizadas 35 estações pluviométricas, sendo 13 operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia do Uruguai (INUMET) e 22 pela ANA. As estações pluviométricas utilizadas na BHRJ estão representadas na Figura 11.

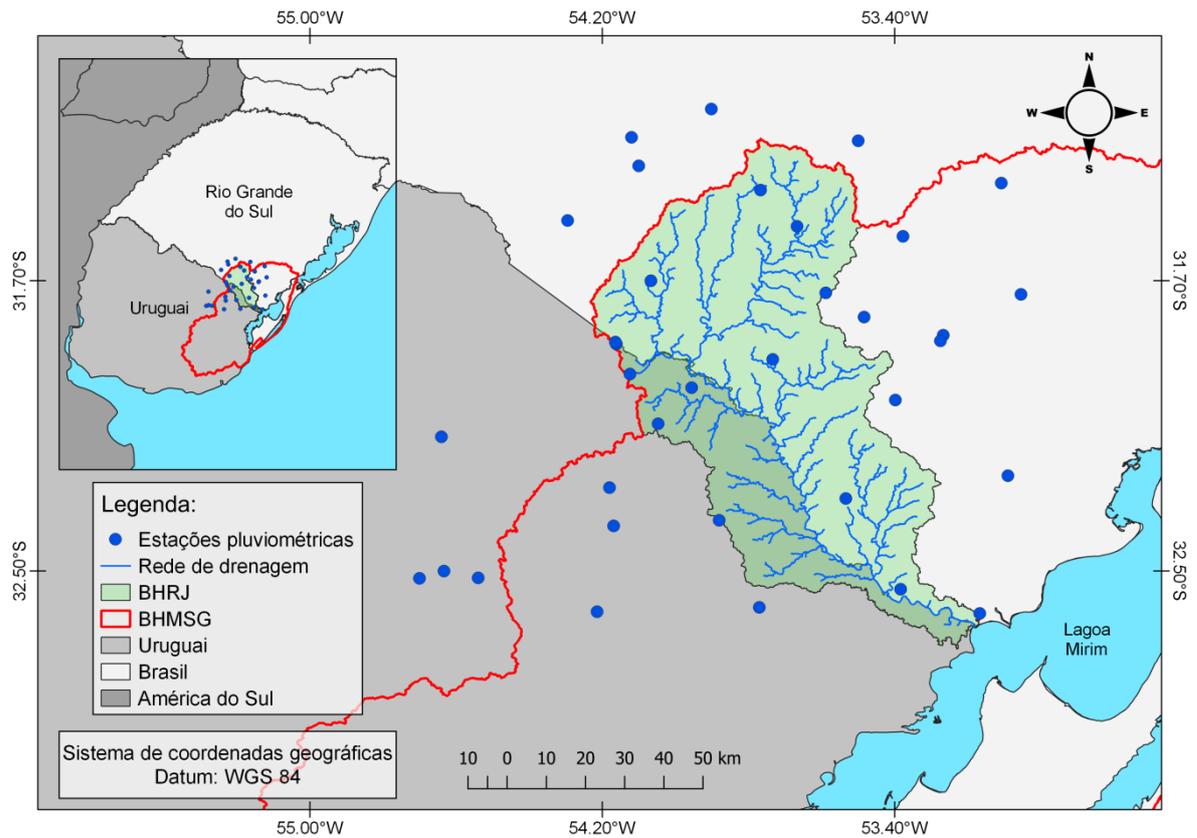


Figura 11 - Localização das estações pluviométricas.
Fonte: Próprio autor.

- Dados fluviométricos: foram utilizadas ao todo 3 estações fluviométricas, sendo 1 operada pelo INUMET e 2 pela ANA. Vale destacar que as estações 00000100 e 88220000 foram utilizadas no processo de calibração e a estação 88260000 no processo de calibração (melhor explicado no tópico 5.2.2.2). As estações fluviométricas utilizadas na BHRJ estão representadas na Figura 12.

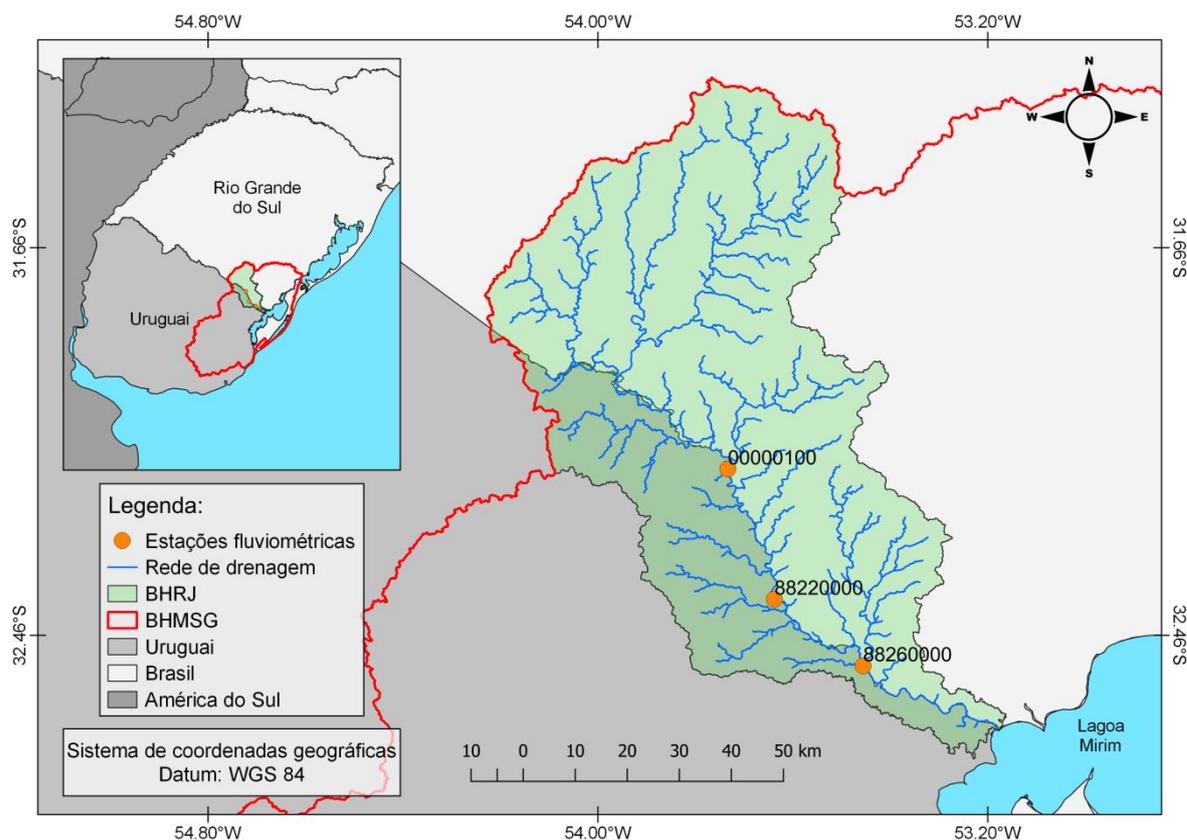


Figura 12 - Localização das estações fluviométricas.

Fonte: Próprio autor.

- Dados climatológicos: Na interface do MGB existem três opções de entrada de dados de clima, que são:

a. Base de dados interna do MGB de Normais climatológicas de 1960 - 1990 calculadas pelo INMET para todo o Brasil.

b. Base de dados global do *Climatic Research Unit* (CRU) da University of East Anglia.

c. Dados diários de clima.

No presente estudo em um primeiro momento adotou-se a primeira opção (INMET), contudo a falta de estações com dados de clima na BHRJ, assim como próxima a mesma, impossibilitou tal uso. Com isso, utilizou-se a base de dados global do *Climatic Research Unit* (CRU) (NEW *et al.*, 2002).

Os dados CRU apresentam uma resolução global de 10 minutos. Para baixá-los, entrou-se no *site* <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/tmc/>. Os dados ao qual se realizou *download* foram “Elevação”, “Umidade Relativa”, “Insolação”, “Temperatura média” e “Velocidade do vento a 10m”.

- Parâmetros fixos de simulação: Os parâmetros de vegetação são parâmetros fixos na simulação, ou seja, os mesmos não são alterados no processo de calibração e são associados com a vegetação existente em cada URH. Os parâmetros de vegetação que devem ser definidos para a realização da simulação são: albedo, altura da vegetação, índice de área foliar e resistência superficial em boas condições de umidade do solo (ALVES *et al.*, 2020). Os valores adotados neste estudo para os parâmetros de vegetação basearam-se no trabalho de Possa (2019) e encontram-se no Anexo A.

- Parâmetros calibráveis de simulação: Os valores dos parâmetros calibráveis foram determinados em função das Unidades de Resposta Hidrológicas (URH) definidas anteriormente no tópico 5.2.1.1. Os valores adotados basearam-se inicialmente no trabalho de Possa (2019), e foram alterados conforme a calibração evoluía. Os valores utilizados podem ser observados no Apêndice A.

5.2.2.2 Processos do MGB

- Interpolação dos dados de chuva: No modelo MGB a interpolação de dados de precipitação, através da utilização dos postos pluviométricos, é realizada pelo método do inverso da distância ao quadrado a partir das coordenadas dos postos até as coordenadas dos centróides das minibacias (ALVES *et al.*, 2020). Os dados de chuva uruguaios (para cada estação pluviométrica) foram organizados por meio de planilha eletrônica (Excel) em formato de colunas para os períodos usados e posteriormente convertidos em arquivos .txt para que pudessem ser inseridos no MGB, já os dados brasileiros foram baixados por meio do Hidroweb e transformados em colunas através do programa "Super Manejo de Dados Hidrológicos", que facilitou o manuseio dos mesmos e a inserção no formato .txt no MGB.

- Criação do arquivo de vazões observadas: a criação de um arquivo com dados de vazão observada se faz necessário pelo fato de que os dados de vazão calculados pelo MGB serão comparados com tais dados de vazão observados nos postos fluviométricos e assim se consiga calibrar o modelo (ALVES *et al.*, 2020). Como os dados de precipitação, também se fez necessário que os dados de vazão (para cada estação fluviométrica) estejam no formato coluna e salvos em arquivos .txt. Para o estudo em questão, organizaram-se os dados de vazão por meio de uma planilha eletrônica (Excel).

- Cálculo de evapotranspiração: conforme Alves *et al* (2020), no modelo MGB são utilizados dados de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pressão atmosférica e insolação (horas de sol por dia) para calcular a evapotranspiração. Tal cálculo se dá por meio da equação de Penman-Monteith, conforme apresentado em Shuttleworth (1993).

- Simulação: o processo de simulação foi realizado em duas partes, com propagação inercial. Na primeira parte, de 01/01/1980 a 31/12/2010, foi realizada a simulação e calibração do modelo. Destaca-se que, para essa parte foi utilizado às estações fluviométricas 00000100 e 88220000 na qual possuem mais dados para o período supracitado anteriormente. A modelagem foi melhorada com a calibração manual, através da comparação e aproximação entre hidrogramas simulados e observados.

Para verificar tal aproximação avaliou-se a partir do coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS), do coeficiente de Nash-Sutcliffe para os logaritmos das vazões (NSlog) e do erro relativo de volume (EV). Conforme Collischonn (2001), o coeficiente NS é mais sensível para altas vazões, variando do negativo infinito até 1 (valor que indica o ajuste perfeito). Ainda de acordo com o mesmo autor, para valores acima de 0,75 o ajuste é considerado adequado, enquanto, variações entre 0,36 a 0,75, a consideração é aceitável. Já o NSlog, assim como o NS, quanto mais próximo de 1 melhor. O EV confere um melhor ajuste na quantidade de vazão gerada pelo modelo em relação às vazões observadas ao longo do tempo quando se aproxima do valor zero.

Brito Neto *et al.* (2021) utilizou uma classificação dos resultados das variáveis mencionadas acima, conforme trabalho realizado por Oliveira (2014), tal classificação pode ser encontrada na Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação dos índices de desempenho.

Classificação	NS e NSLog	EV(%)
Muito Bom	$0,75 < NS \text{ e } NSLog \leq 1,00$	$EV(\%) < \pm 10$
Bom	$0,65 < NS \text{ e } NSLog \leq 0,75$	$\pm 10 \leq EV(\%) < \pm 15$
Satisfatório	$0,50 < NS \text{ e } NSLog \leq 0,65$	$\pm 15 \leq EV(\%) < \pm 25$
Insatisfatório	$NS \text{ e } NSLog \leq 0,50$	$EV(\%) \geq \pm 25$

Fonte: Brito Neto *et al.* (2021) apud. Oliveira (2014).

A segunda parte da simulação foi realizada para o período de 01/01/2011 a 31/12/2020 utilizando a estação fluviométrica 88260000, devido à mesma possuir dados para parte do período adotado. Destaca-se que, as estações 00000100 e

88220000 não possuem dados para o referido período. Essa segunda parte foi realizada também com propagação inercial no intuito de analisar se a modelagem anterior representaria bem a simulação desenvolvida para esse novo período e para esta estação fluviométrica diferente.

5.2.2.3 Arquivos intermediários do MGB

Alguns dos arquivos de saída do MGB e que serão arquivos de entrada no WARM-GIS Tools são (KAYSER; COLLISCHONN, 2017):

- RESUMO SIAQUA.txt: disponibiliza percentuais da curva de permanência calculados em base anual (Q50, Q90, Q95, etc);
- Qmês90.txt: fornece dados de vazão a partir de valores mensais com 90% da curva de permanência.

5.2.3 WARM-GIS Tools – Balanço hídrico quantitativo

A Figura 13 apresenta o fluxograma do que foi realizado na terceira etapa metodológica. Tais processos foram realizados por meio do WARM-GIS Tools, que é um plug-in do programa MapWindow GIS (na versão 4.8.6). Vale destacar que todo procedimento de aplicação do plug-in WARM-GIS Tools seguiu-se o “Manual teórico-prático da ferramenta WARM-GIS Tools - Exemplo de aplicação na Bacia do Rio das Almas” e se deu somente a partir da utilização do módulo de balanço hídrico (KAYSER; COLLISCHONN, 2017).

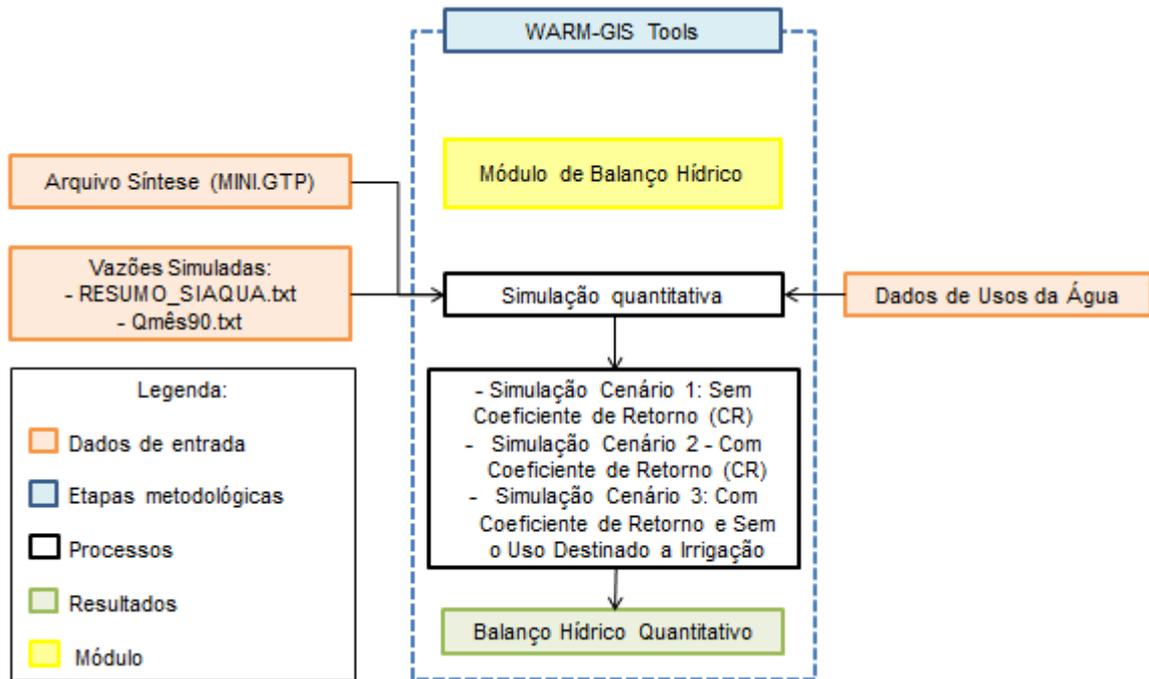


Figura 13 - Fluxograma da terceira etapa metodológica – WARM-GIS Tools.
Fonte: Próprio autor.

O processo da simulação ocorre conforme os passos descritos a seguir (KAYSER; COLLISCHONN, 2017):

Primeiro passo: cálculo da vazão inicial da minibacia, sendo igual a zero nas minibacias de ordem 1, e dada pelo somatório das saídas das minibacias de montante para as minibacias de demais ordens, conforme a Equação 3:

$$Q_i = \sum_{n=1}^{NM} Q_{mn}, \text{ se } Ord > 1 \quad (3)$$

Sendo:

- NM o número de minibacias à montante.

Segundo passo: calcula-se a vazão incremental da minibacia, de acordo com a Equação 4:

$$Q_i = Q_{ent} - Q_{i,nat} \quad (4)$$

Sendo:

- Q_{ent} : valor de vazão fornecido como dado de entrada pelo usuário;

- $Q_{i,nat}$: o valor de vazão inicial da minibacia, desconsiderando-se o efeito das retiradas de montante.

Terceiro passo: calcular a vazão final remanescente da minibacia, que será calculada em função de um critério da vazão ambiental, que pode ser atribuído como zero ou algum percentual da vazão natural do trecho, de acordo com a relação apresentada na Equação 5:

$$Q_f = Q_i + Q_{inc} - \sum_{n=1}^{NR} Q_{rn}, se Q_f \geq Q_{amb}$$

$$Q_f = Q_{amb}, se Q_f < Q_{amb}$$
(5)

Sendo:

- Q_{amb} : vazão ambiental.

Quarto passo: Calcular os déficits de não atendimento para os casos em que a vazão remanescente atinge o patamar da vazão ambiental, de acordo com a relação mostrada na Equação 6:

$$Q_{def} = 0, se Q_f \geq Q_{amb}$$

$$Q_{def} = \sum_{n=1}^{NR} Q_{rn} - Q_i - Q_{inc} + Q_{amb}, se Q_f < Q_{amb}$$
(6)

Quinto passo: se houver na simulação a existência de reservatórios, a vazão final no ponto de barramento é substituída pela vazão liberada à jusante (Equação 7), cujo valor é fornecido pelo usuário.

$$Q_f = Q_{jus}$$
(7)

Sendo:

Q_{jus} : vazão liberada à jusante.

Sexto passo: tal é simplesmente a apresentação do resultado do módulo do balanço hídrico, que é expresso através do Índice de Estresse Hídrico - IEH (Water Stress Index – WSI), índice que relaciona a quantidade de água disponível e a quantidade de água remanescente (Q_f) em cada trecho de rio. O índice é calculado de acordo com a Equação 8:

$$WSI = \frac{Q_{disp} - Q_f}{Q_{disp}} \quad (8)$$

Sendo:

Q_{disp} : vazão disponível (representada pela vazão natural acrescida do efeito dos reservatórios e transposições).

5.2.3.1 Dados de entrada do WARM-GIS Tools

- MINI.GTP, RESUMO SIAQUA.txt e Qmês90.txt: dados esses já supracitados anteriormente, nos tópicos 5.2.1.3 e 5.2.2.3, respectivamente.

- Dados de usos de água: os dados de uso das águas brasileiras foram obtidos por meio de consulta no site do Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul - SIOUT (SIOUT, 2021), já os dados uruguaios através do registro das licenças de exploração de recursos hídricos concedidas pela Direção Nacional de Águas - DINAGUA (DINAGUA, 2019).

Ao todo foram tabeladas 122 captações de águas para diferentes usos na BHRJ, conforme mostra a Tabela 9, sendo, 108 usos brasileiros e 14 usos uruguaios. Os pontos de captação são apresentados espacialmente na Figura 14.

Tabela 9 - Usos de água para a BHRJ.

Usos	Brasil	Uruguai	Total BHRJ
Abastecimento industrial	09	00	09
Abastecimento público	08	01	09
Irrigação	68	13	81
Pecuária	23	00	23

Fonte: Próprio autor.

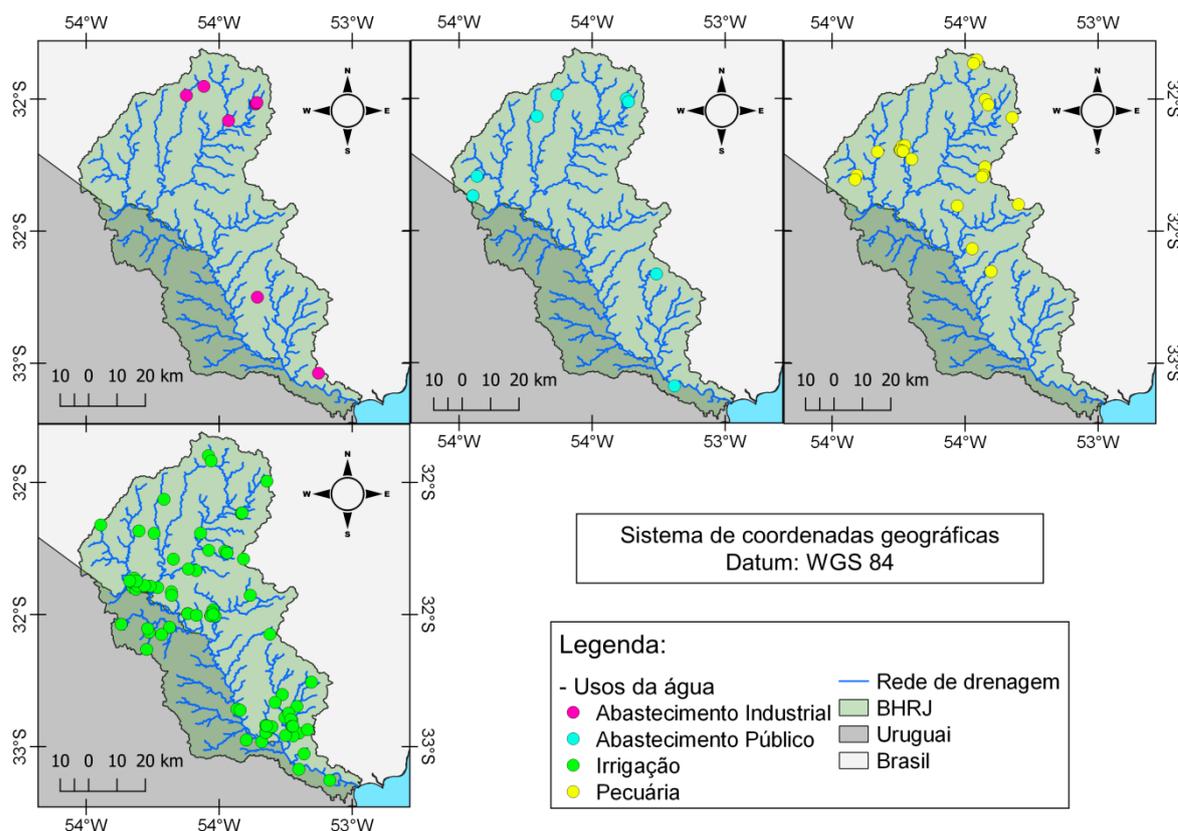


Figura 14 - Localização espacial dos pontos de captação de usos de água.
Fonte: Próprio autor.

Vale destacar que foram descartados usos como pesca, turismo e lazer por se tratar de usos não-consultivos, ou seja, o volume de água utilizado é devolvido integralmente ao corpo hídrico não interferindo na simulação quantitativa realizada para a BHRJ.

5.2.3.2 Processos do WARM-GIS Tools

- Simulação quantitativa: de posse dos dados de entrada apresentados no fluxograma anterior (Figura 13) realizou-se a simulação quantitativa para os trechos da rede de drenagem com base mensal e anual.

Mensal: para o cálculo da simulação do balanço hídrico quantitativo mensal utilizou-se o arquivo Qmês90.txt, que fornece dados de vazão a partir de valores mensais com 90% da curva de permanência. Para tal processo adotou-se três cenários diferentes, que são:

Cenário 1 - Sem Coeficiente de Retorno: representa a situação hipotética e mais crítica para cada mês do ano, na qual todas as demandas estão sendo atendidas e no exato momento está sendo provocada a redução de água nos corpos hídricos, sem considerar as vazões de retorno.

Cenário 2 - Com Coeficiente de Retorno: se trata da situação mais realista para cada mês do ano, onde são considerando os coeficientes de retorno de cada tipo de uso, ou seja, seria o cenário modelo.

Cenário 3 - Com Coeficiente de Retorno e sem os usos destinados à irrigação: representa a situação mais "confortável" no que compete ao Índice de Estresse Hídrico (IEH) para os trechos da rede de drenagem da BHRJ, pois além de levar em consideração os coeficientes de retorno é desconsiderado o efeito da demanda causado pelos usos destinados à irrigação do arroz (a qual ocorre somente durante o período de verão), cultura não só presente na BHRJ, mas sim, na BHMSG como um todo (BRANCO FILHO; SILVA; BARTZ, 2021). Com isso, tal cenário será realizado somente para os meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro visto que os usos para irrigação do arroz se dá nos referidos meses conforme dados obtidos.

Anual: para o cálculo da simulação do balanço hídrico anual utilizou-se o arquivo RESUMO SIAQUA.txt, que disponibiliza percentuais da curva de permanência calculados em base anual, sendo neste estudo adotada a Q90 como referência (vazão de permanência igualada ou superada em 90% do tempo). Destaca-se que para o referido processo utilizou-se os mesmos três cenários abordados na simulação quantitativa mensal, com pequenas alterações.

Cenário 1 - Sem Coeficiente de Retorno: representa a situação hipotética e mais crítica para o ano, sem considerar as vazões de retorno.

Cenário 2 - Com Coeficiente de Retorno: situação mais realista (cenário modelo) para o ano, onde são considerados os coeficientes de retorno de cada tipo de uso.

Cenário 3 - Com Coeficiente de Retorno e sem os usos destinados à irrigação: leva em consideração o coeficiente de retorno, porém, é desconsiderado o efeito da demanda causado pelos usos destinados à irrigação do arroz.

Os coeficientes de retorno adotados neste estudo se deram conforme a Tabela 10 (SEMA, 2020).

Tabela 10 - Coeficientes de retorno conforme finalidade.

Finalidade	Coeficiente de retorno
Abastecimento industrial	0,8
Abastecimento público	0,8
Pecuária	0,2
Irrigação	0,2

Fonte: SEMA (2020).

Ressalta-se que, o esquema de balanço hídrico do WARM GIS Tools consiste na contabilização dos pontos de captação inseridos no sistema, calculando-se a vazão remanescente e os possíveis déficits de não atendimento. Como o modelo opera em modo permanente, ou seja, através de valores únicos de vazão por minibacia, representando estatísticas das séries hidrológicas como a Q7,10 ou a Q95 entre outras, para este trabalho adotou-se a Q90. A adoção da Q90 foi de acordo com o PERH-RS (2014), onde no Artigo 11, é previsto que enquanto não estiver concluído o Plano de uma determinada bacia hidrográfica, a vazão de referência para orientar a outorga de direito de uso da água será a Q90.

5.2.3.3 Resultados gerados pelo WARM-GIS Tools

Os resultados do módulo do balanço hídrico gerado através do uso do WARM-GIS Tools se deram na forma de mapas e tabelas, no qual apresentam o Índice de Estresse Hídrico - IEH para cada trecho da rede de drenagem. Além disso, comparou-se os três cenários, mais especificamente, comparou-se os cenários 1 e 3 com o 2 (cenário modelo) por meio da análise de variação percentual conforme Equação 9 e 10.

$$VP_{1-2} = \left(\frac{C1 - C2}{C2} \right) * 100 \quad (9)$$

$$VP_{2-3} = \left(\frac{C3 - C2}{C2} \right) * 100 \quad (10)$$

Sendo:

- VP₁₋₂ (%): a variação percentual entre o cenário 1 e o cenário 2;
- VP₂₋₃ (%): a variação percentual entre o cenário 2 e o cenário 3;
- C1, C2, C3: cenários 1, 2 e 3, respectivamente.

5.3 Indicador de escassez

No intuito de aprimorar a representação quantitativa da água para a BHRJ aplicou-se o Índice de Comprometimento Hídrico (ICH) e o Índice de Retirada de Água (IRA) para o diagnóstico de nível de escassez da bacia considerando o comprometimento hídrico anual, o qual melhor representa os padrões de consumo e de disponibilidade ao longo do tempo na bacia (SEMA, 2020).

5.3.1 Índice de Comprometimento Hídrico - ICH

O ICH corresponde a um limite sócio-político, no qual indica regiões que necessitam de uma gestão específica no atendimento referente às demandas, sendo a razão entre os consumos e a vazão de referência Estadual (SEMA, 2020).

Como citado anteriormente, no tópico 5.2.3.2, a vazão de referência para orientar a outorga de direito de uso da água para a BHRJ será a Q90 e conforme o Artigo 12 do PERH-RS (2014), quando a soma das vazões captadas em uma determinada bacia ou sub-bacia hidrográfica superar 50% (cinquenta por cento) da respectiva vazão de referência, a mesma será considerada especial. Apresentaram-se os resultados desse índice em função das três sub-bacias adotadas na modelagem hidrológica, considerando o limiar de 50%. Os dados de vazão foram obtidos por meio do arquivo Qmes90.txt, na qual foi tabelado o dado de vazão de cada minibacia correspondente ao exutório das sub-bacias (Apêndice B).

5.3.2 Índice de Retirada de Água – IRA (Water Exploitation Index - WEI)

Utilizado pelos países da União Europeia, o IRA corresponde à razão entre a vazão consumida total e a vazão média anual (Qmédia anual), comumente usado para avaliar a escassez de água e sua classificação se dá conforme Tabela 11 (KUBIAK-WÓJCICKA; SYLWIA, 2020).

Tabela 11 - Classificação do IRA.

Classificação	Situação
0% a 5%	Excelente, onde pouca ou nenhuma atividade de gerenciamento é necessária e, portanto, a água é considerada um bem livre;
5% a 10%	Confortável, podendo ocorrer necessidade de gerenciamento para solução de problemas locais de abastecimentos prioritários;
10% a 20%	Preocupante e a atividade de gerenciamento é indispensável, exigindo a realização de investimentos médios;
20% a 40%	Crítica exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos;
>40%	Muito crítica.

Fonte: SEMA (2020).

Para este trabalho apresentou-se os resultados do IRA em função das principais sub-bacias que comportam os principais afluentes do Rio Jaguarão da BHRJ, assim como, da mesma (Figura 15). Os dados de vazão média foram obtidos por meio do arquivo RESUMO SIAQUA.txt, na qual foi tabelado o dado de vazão de cada minibacia correspondente ao exutório das sub-bacias (Apêndice C).

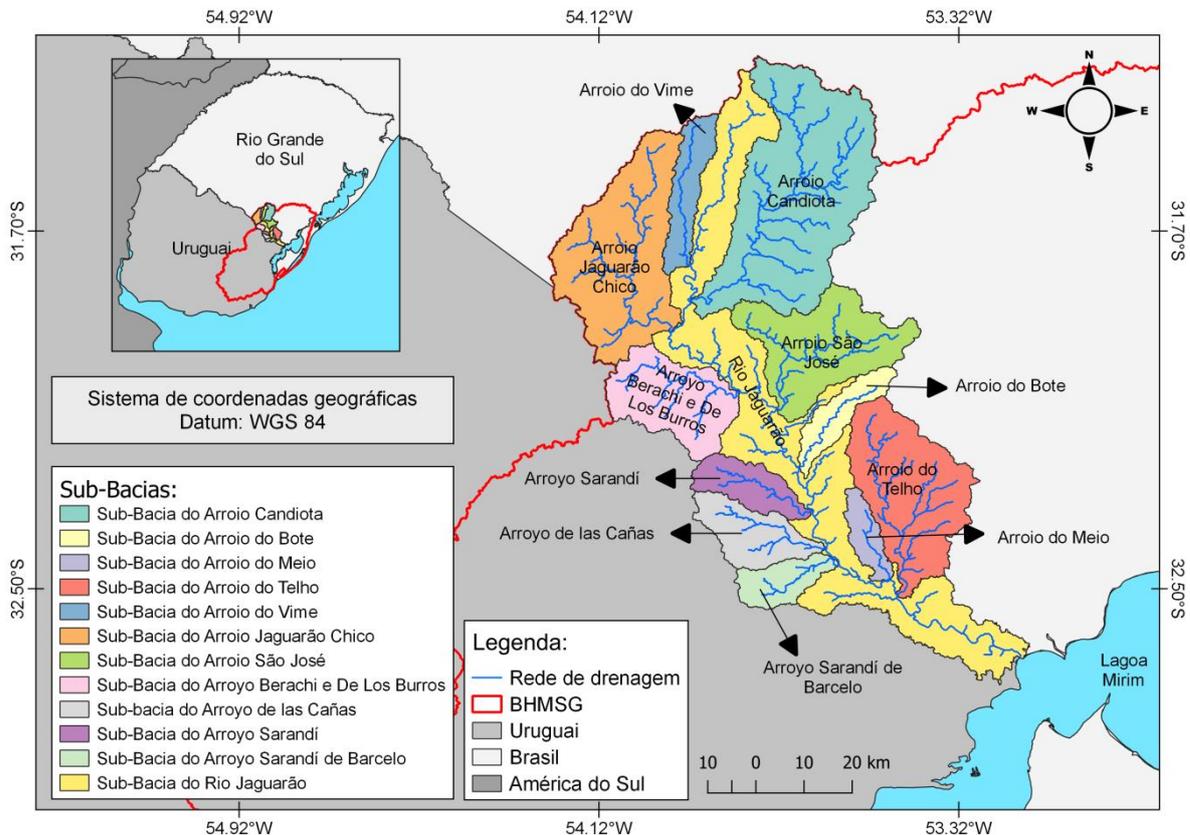


Figura 15 - Sub-bacias utilizadas para representar o IRA.

Fonte: Próprio autor.

6 Resultados e Discussão

6.1 IPH-Hydro Tools

A BHRJ apresentou uma área total de aproximadamente 7.407,43 Km² com uma elevação variando de -4 a 438 m em relação ao nível do mar. Além disso, a discretização da BHRJ gerou 3 sub-bacias e 237 minibacias. A rede de drenagem discretizada para a BHRJ é apresentada na Figura 16, assim como a elevação, sub-bacias e minibacias.

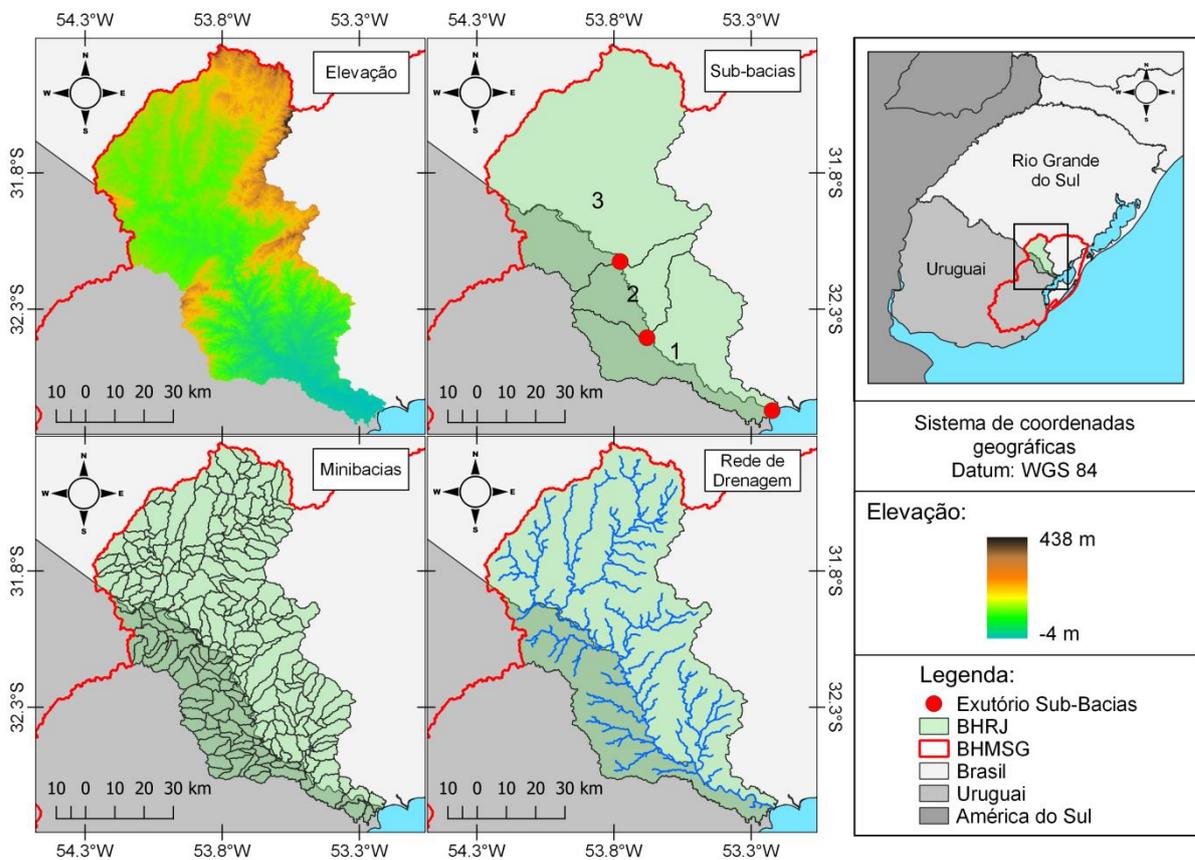


Figura 16 – Elevação, Sub-bacias, Minibacias e rede de drenagem gerada para a BHRJ.
Fonte: Próprio autor.

As URH's da BHRJ obtidas por meio do mapa de Unidades de Resposta Hidrológica da América do Sul desenvolvido por Fan *et al.* (2015) são apresentadas na Figura 17, e a área e porcentagem de cada URH é exposta na Tabela 12. Evidencia-se que o mapa de URH proposto por Fan *et al.* (2015) já foi utilizado em diversos estudos, como: Fagundes *et al.* (2017), Nobrega *et al.* (2020), Suekame *et al.* (2021), entre outros.

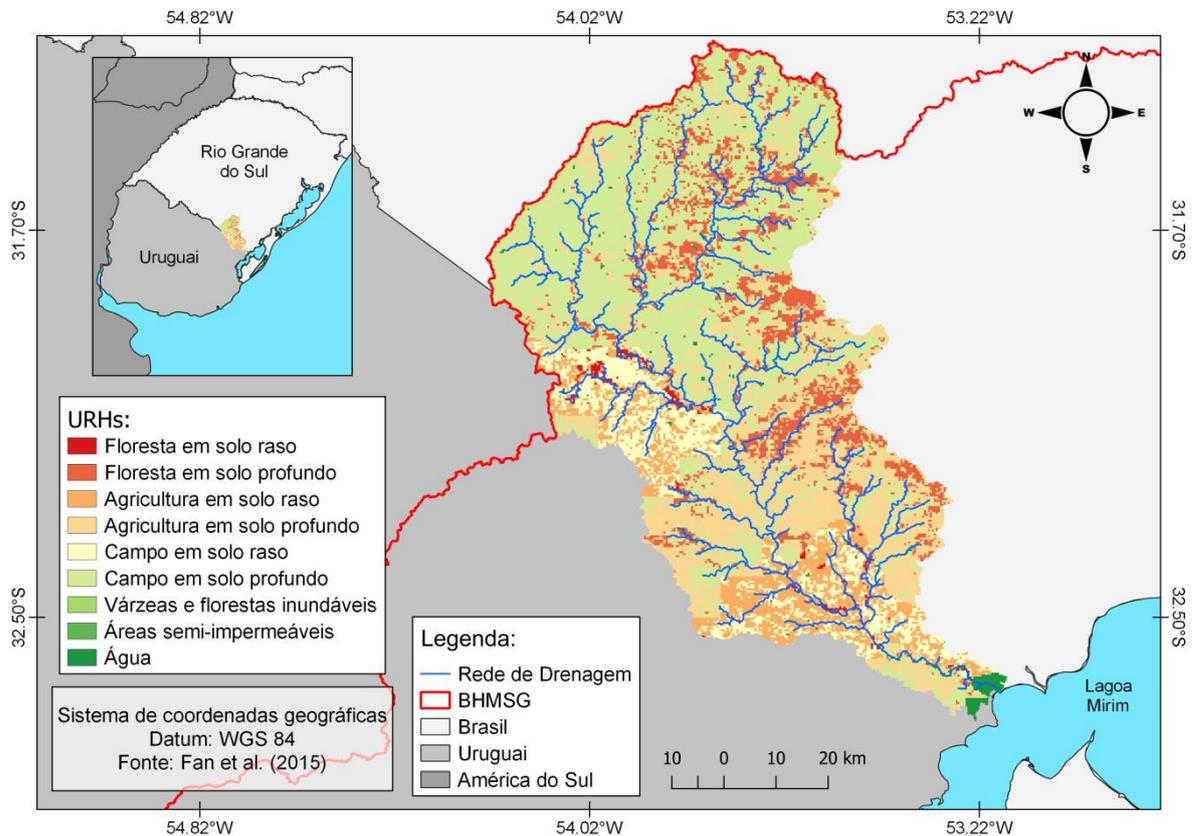


Figura 17 - URH's da BHRJ.
Fonte: Próprio autor.

Tabela 12 - Porcentagem de cada URH na BHRJ.

URH's	Área(km ²)	Porcentagem (%)
Floresta em solo raso	65,26	0,88
Floresta em solo profundo	860,73	11,62
Agricultura em solo raso	707,89	9,56
Agricultura em solo profundo	1843,92	24,89
Campo em solo raso	723,29	9,77
Campo em solo profundo	3141,62	42,41
Várzeas e florestas inundáveis	0,00	0,00
Áreas semi-impermeáveis	0,00	0,00
Água	64,72	0,87

Fonte: Próprio autor.

Conforme se observa pela Tabela 12, existe um predomínio de campo em solo profundo (42,41%) para a BHRJ, seguido por agricultura em solo profundo (24,89%) e floresta em solo profundo (11,62%), respectivamente. A Figura 17 mostra que o campo em solo profundo, na sua maior parte, se dá mais a montante da BHRJ, já a agricultura em solo raso a jusante da BHRJ, ou seja, mais próximo da Lagoa Mirim que é o exutório do rio Jaguarão.

Vale destacar que, Steinke (2007) e Steinke e Saito (2008), abordam em seus estudos que as áreas mais próximas a Lagoa Mirim estão entre as áreas mais influenciadas pelas atividades agrícolas, sendo a atividade orizícola a principal responsável pelo desenvolvimento econômico da região. Tais autores ainda descrevem que as características geomorfológicas associadas aos condicionantes climáticos, pedológicos, de disponibilidade de água favorecem a disseminação de práticas de uso da terra voltadas para produções como pecuária de corte e produção de arroz, o que justifica a agricultura em solo profundo a jusante da BHRJ, conforme mapa de URHs desenvolvido por Fan *et al.* (2015).

6.2 MGB

6.2.1 Resultados da calibração do modelo

6.2.1.1 Métricas de desempenho das vazões simuladas na calibração

A Tabela 13 apresenta os resultados das métricas de desempenho referentes ao NS, NSlog e EV do modelo MGB-IPH em relação às vazões simuladas, ainda é apresentado na mesma os postos fluviométricos utilizados na calibração, seu código, nome e o rio onde se localizam. Para melhor visualização, os resultados da calibração do modelo também foram representados em mapas, na qual, cada estação fluviométrica utilizada na calibração ficou com determinada cor conforme o valor das métricas obtidas de desempenho do modelo. A Figura 18 apresenta o mapa dos valores do NS, NSlog e EV para os dois postos fluviométricos utilizados na calibração.

Tabela 13 - Postos fluviométricos e suas métricas de desempenho para o período de calibração de 01/01/1980 a 31/12/2010.

Código	Nome	Rio	NS	NSlog	EV(%)
00000100	Paso Centurión	Río Yaguarón	0,524	0,706	-22,406
88220000	Picada da Areia	Rio Jaguarão	0,621	0,648	-34,576
Média			0,573	0,677	-28,491

NS: Coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe; NSlog: Coeficiente de Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões; EV: Erro de volume (%). Estatística calculada com base nos valores absolutos.

Fonte: Próprio autor.

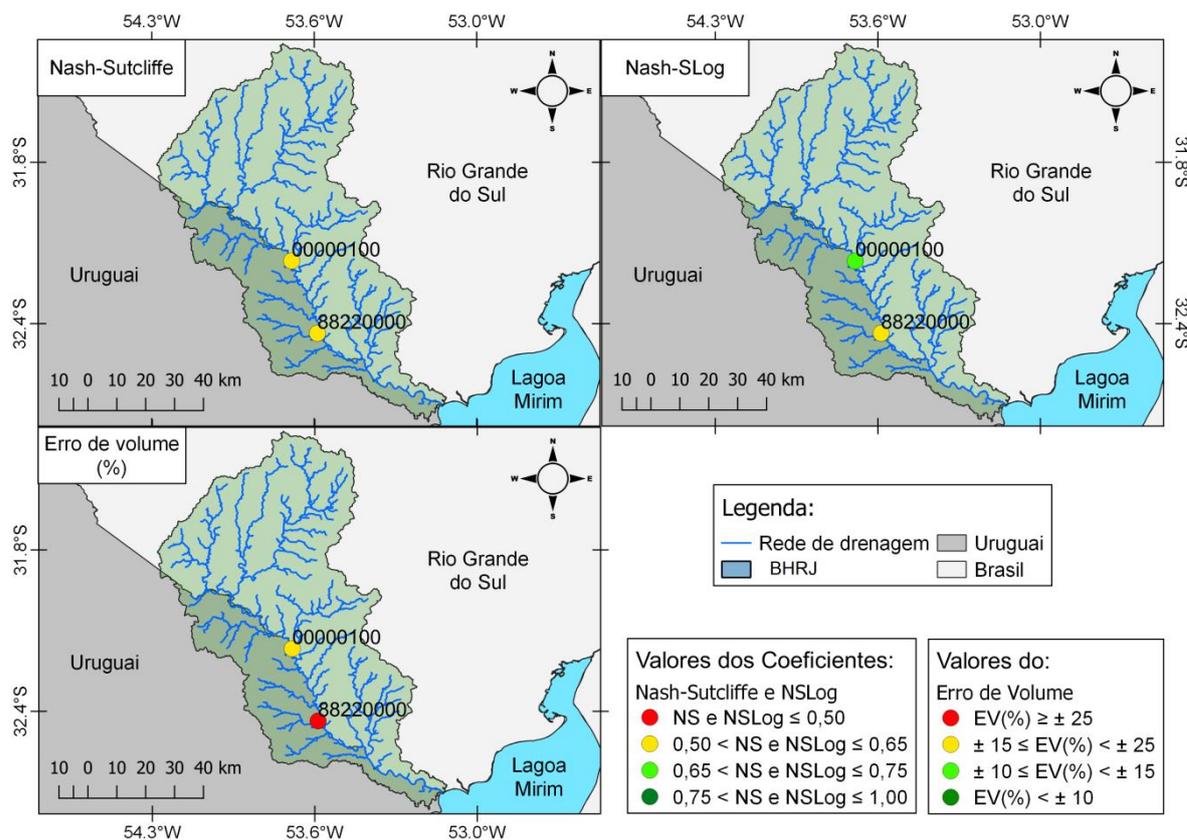


Figura 18 - Valores dos coeficientes Nash-Sutcliffe, Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões e do erro relativo de volume para o período de calibração.

Fonte: Próprio autor.

De um modo geral, percebe-se que o modelo apresentou um bom desempenho (Figura 18), com um NS superior que 0,5 para ambos os postos fluviométricos, sendo que a média dos valores de NS para os dois postos foi de 0,573 (Tabela 13). Ao classificar os índices conforme Tabela 8 apresentada no tópico 5.2.2.2 percebe-se que a estação 00000100 apresentou um NS e EV satisfatórios e o NSLog bom. Já a estação 88220000, para o NS e NSLog obteve classificação satisfatória, contudo para o EV a classificação foi insatisfatória que pode ser justificado pela menor quantidade de dados observados na referida estação.

Destaca-se que, o modelo apresentou um menor desempenho em relação às vazões de pico na estação 00000100, porém, ao comparar com o estudo de Possa (2019), ao qual utilizou a mesma estação só que para um período diferente (1990 a 2015), o resultado encontrado aqui é superior.

Já para o NSLog, assim como foi para o NS, nota-se que o modelo apresentou um bom desempenho para os dois postos fluviométricos (Figura 18),

com o valor médio de 0,677 (Tabela 13). Destaca-se que, tais valores de NSLog apresentaram-se melhores do que os valores de NS e indicam um bom ajuste das vazões mínimas.

No estudo realizado por Lopes (2017), na qual se utilizou o MGB e calibrou-se para um período de 21 anos (1990 a 2010), foi obtido na estação 00000100 o valor de 0,545 e 0,458 para o NS e NSLog, respectivamente. Ou seja, foram atingidos melhores resultados das referidas métricas no período de calibração deste estudo ao comparar com os resultados alcançados por Lopes (2017).

Já o erro de volume não obteve resultados tão satisfatórios, porém, estão dentro da faixa encontrada por outros estudos na qual utilizaram o MGB em diferentes regiões (LOPES, 2017; POSSA *et al.*, 2021), e que consideraram que o modelo desenvolvido em seus respectivos estudos apresentou um bom desempenho para esta métrica. Como o erro percentual de volumes (EV) obteve valores negativos indicam que o modelo está subestimando a vazão observada.

6.2.1.2 Hidrogramas gerados para o período de calibração

A Figura 19 apresenta o hidrograma observado e simulado no Rio Jaguarão para a estação fluviométrico 00000100, já a Figura 20 a curva de permanência para o mesmo posto.

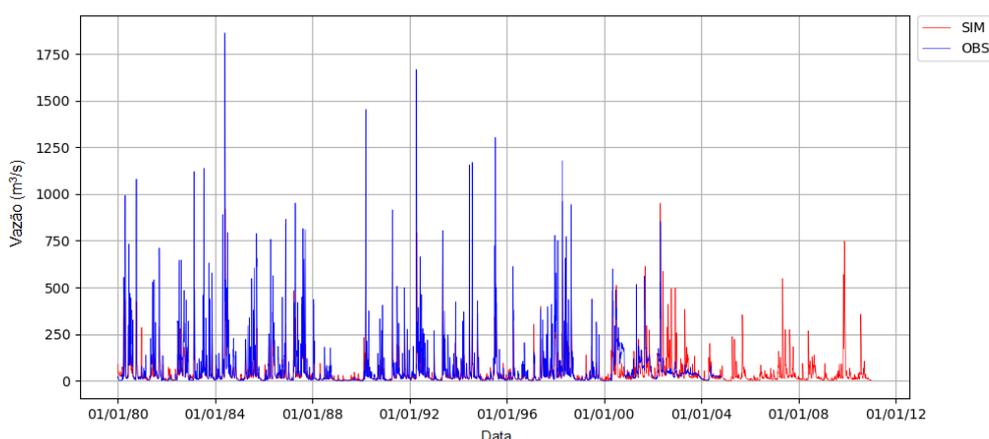


Figura 19 - Hidrogramas observados e simulados para a estação fluviométrica 00000100 no período de 01/01/1980 a 31/12/2010.

Fonte: Próprio autor.

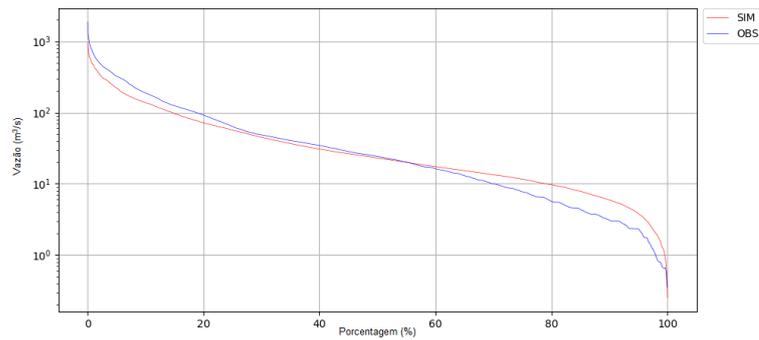


Figura 20 - Curva de permanência na estação 00000100.
Fonte: Próprio autor.

Verifica-se nos hidrogramas (Figura 19) que o desempenho do modelo pode ser considerado satisfatório para a estação 00000100, considerando a análise das métricas detalhadas no tópico 6.1.1.1. Como se observa na Figura 19, os picos de vazão foram subestimados em relação aos observados, tal avaliação também pode ser observada no estudo de Possa (2015) que avaliou para um período diferente. Ainda, é constatado que, nos períodos de recessão, o ajuste do modelo também foi satisfatório na calibração, o que evidencia o bom desempenho do mesmo na simulação de vazões mínimas.

A Figura 21 apresenta os hidrogramas observado e simulado no Rio Jaguarão para a estação fluviométrica 88220000, já a Figura 22 a curva de permanência para o mesmo posto.

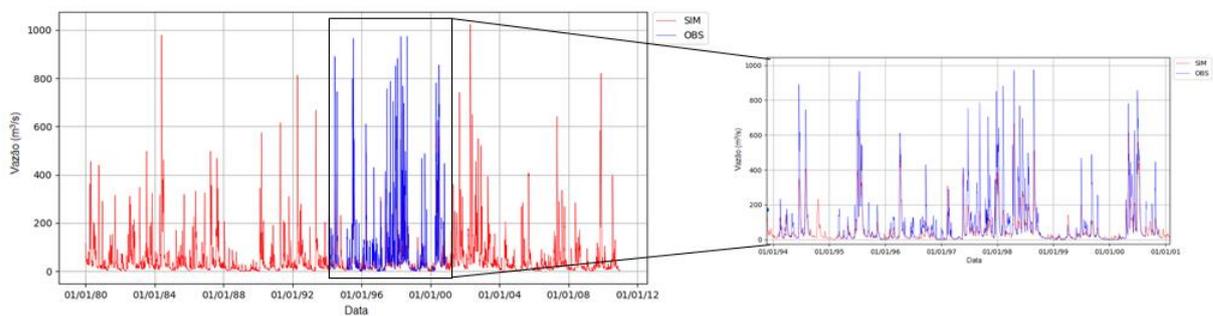


Figura 21 - Hidrogramas observados e simulados para a estação fluviométrica 88220000 no período de 01/01/1980 a 31/12/2010.
Fonte: Próprio autor.

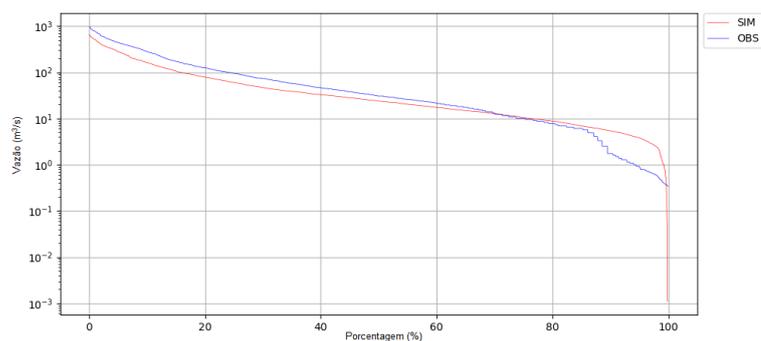


Figura 22 - Curva de permanência na estação 88220000.
Fonte: Próprio autor.

Assim como na estação 00000100, o desempenho do modelo pode ser considerado satisfatório na estação 88220000, considerado pela análise das métricas detalhadas no tópico 6.1.1.1, onde os picos de vazão foram subestimados em relação aos observados e que, nos períodos de recessão, o ajuste do modelo também foi satisfatório, evidenciando o bom desempenho do mesmo na simulação de vazões mínimas.

Entretanto, verifica-se também nos hidrogramas (Figura 19 e 21) que a estação fluviométrica 00000100 representa melhor o regime hidrológico no que compete a vazão de base ao comparar com a estação 88220000, refletindo em um melhor índice de NSLog, assim como, demonstrando também que o modelo teve um melhor ajuste sobre os períodos de recessão e estiagem. Porém, a vazão de pico, que compreende aos períodos de cheias, é melhor representada pela estação 88220000, refletindo em um índice de NS melhor.

É importante destacar que a calibração realizada para as sub-bacias a montante influencia a calibração das sub-bacias a jusante, ou seja, o resultado da calibração observado na estação 88220000 inclui também a sub-bacia 00000100 (BRITO NETO *et al.*, 2021).

6.2.2 Resultados da validação do modelo

6.2.2.1 Métricas de desempenho das vazões simuladas na validação

A Tabela 14 apresenta os resultados das métricas de desempenho referentes ao NS, NSlog e EV do modelo MGB em relação às vazões simuladas no período adotado para a validação, ainda é apresentado na mesma a estação fluviométrica

utilizada na simulação, seu código, nome e o rio onde se localiza. Assim como na calibração, para melhor visualização os resultados da validação do modelo também foram representados em mapas, na qual, a estação fluviométrica utilizada na validação ficou com determinada cor conforme o valor das métricas adotadas de desempenho do modelo. A Figura 23 apresenta o mapa dos valores do NS, NSlog e EV para a estação fluviométrica utilizada na validação.

Tabela 14 - Estação fluviométrica e suas métricas de desempenho para o período de validação de 01/01/2011 à 31/12/2020.

Métrica	Dados
Código	88260000
Nome	Passo das Pedras
Rio	Rio Jaguarão
NS	0,667
NSlog	0,807
EV(%)	-22,087

NS: Coeficiente de eficiência Nash-Sutcliffe; NSlog: Coeficiente de Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões; EV: Erro de volume (%).

Fonte: Próprio autor.

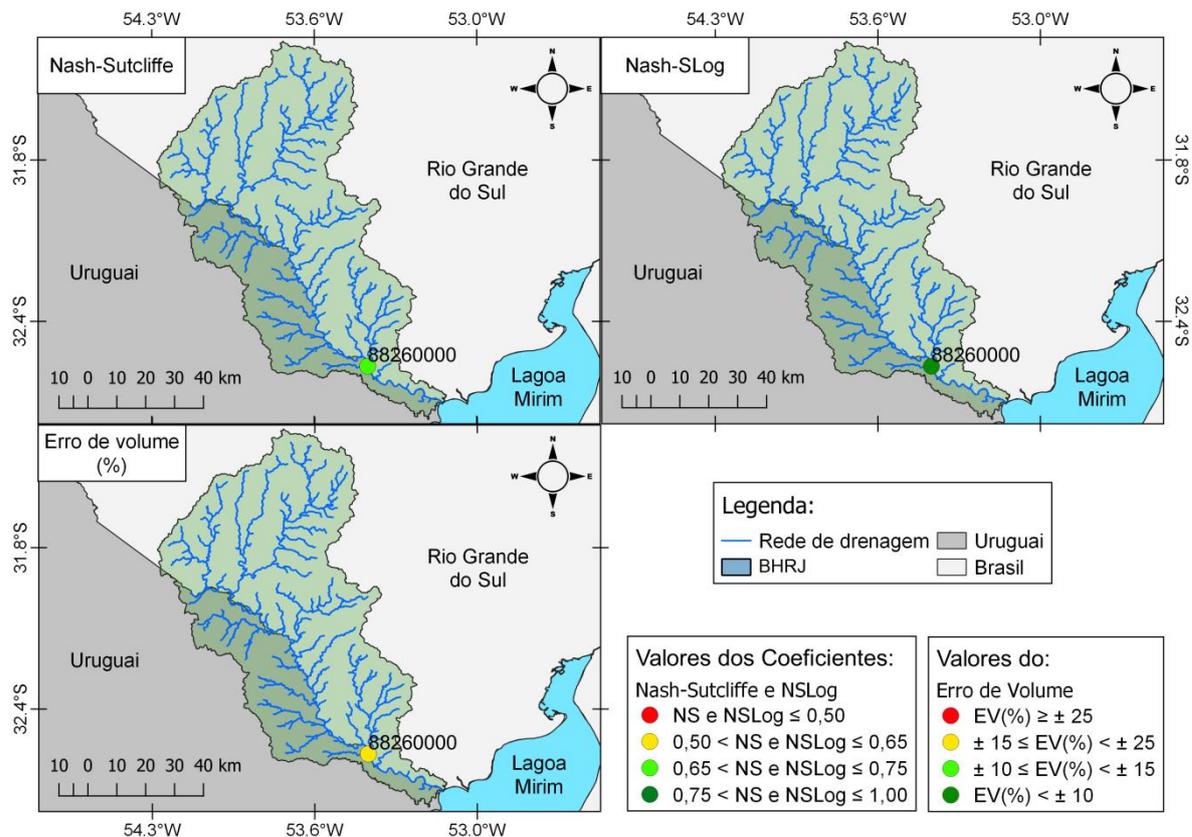


Figura 23 - Valores dos coeficientes Nash-Sutcliffe e Nash-Sutcliffe do logaritmo das vazões e do erro relativo de volume para o período de validação.

Fonte: Próprio autor.

Como se observa na Tabela 14 as métricas NS, NSLog e EV obtidas no período de validação para a estação 88260000 foram superiores do que as obtidas para as estações 00000100 e 88220000 (Tabela 13) no período de calibração. Corroborando com tal resultado, ao classificar os índices conforme Tabela 8 apresentada no tópico 5.2.2.2, percebe-se que a estação 88260000 apresentou um NS bom, NSLog muito bom e o EV satisfatório.

Destaca-se, por exemplo, o resultado encontrado para o NSLog, que ficou na faixa $0,75 < \text{NSLog} \leq 1,00$ (Figura 23), o que indica um bom ajuste das vazões mínimas. Como a região onde se localiza a estação fluviométrica se caracteriza por ser uma área de elevação menor (Figura 16), pode sofrer com maiores inundações, o que pode explicar os valores do NSLog encontrados para a região (PONTES *et al.*, 2017).

6.2.2.2 Hidrogramas gerados para o período de validação

A Figura 24 apresenta o hidrograma observado e simulado no Rio Jaguarão para a estação fluviométrica 88260000, já a Figura 25 a curva de permanência para o mesmo posto.

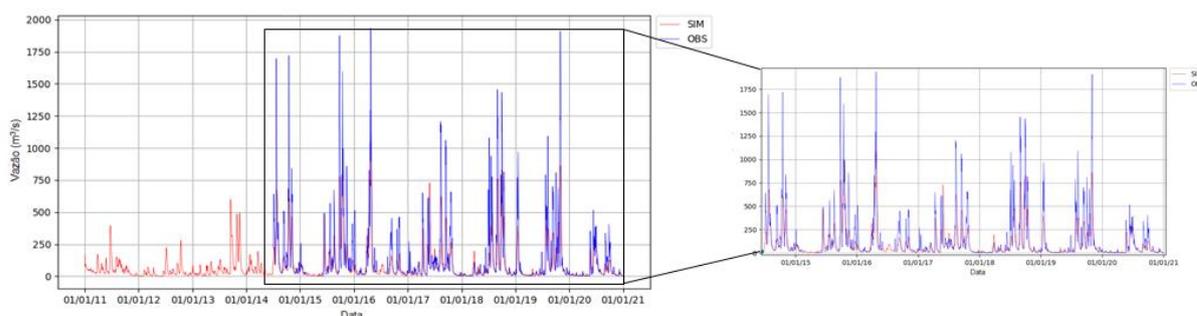


Figura 24 - Hidrogramas observados e simulados para a estação fluviométrica 88260000 no período de 01/01/2011 a 31/12/2020.

Fonte: Próprio autor.

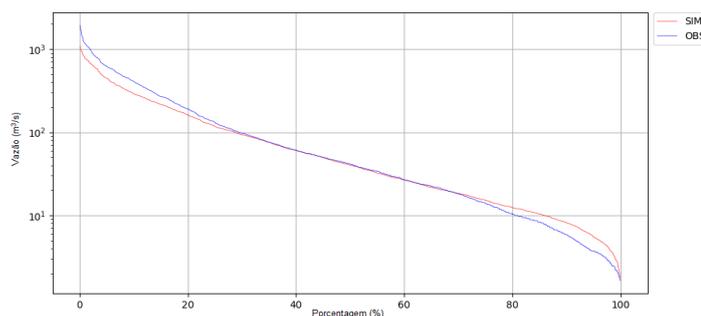


Figura 25 - Curva de permanência na estação 88260000.
Fonte: Próprio autor.

Percebe-se ao analisar os hidrogramas observados e simulados para a estação fluviométrica 88260000 (Figura 24) que o desempenho do modelo pode ser considerado satisfatório. Ressalta-se que, ao comparar os hidrogramas da validação (Figura 24) com os hidrogramas da calibração (Figura 19 e 21) o primeiro representa melhor o regime hidrológico no que compete a vazão de base e a vazão de pico, refletindo em um melhor índice de NS e NSLog.

Ressalta-se que o método de propagação inercial adotado neste trabalho pode ser utilizado em bacias com rios de alta ou baixa declividade, assim como, possibilita representar mais adequadamente rios com planícies de inundação. Como comentado no tópico anterior (6.1.2.1), a estação fluviométrica 88260000 se localiza em uma área com elevação baixa (próxima a Lagoa Mirim, ou seja, ao exutório do rio Jaguarão) e isso pode ter favorecido encontrar o resultado para o NSLog na classificação “muito bom”.

6.3 WARM-GIS Tools

6.3.1 Mensal

Para a realização da simulação em base mensal por meio do WARM-GIS Tools utilizou-se o arquivo Qmes90.txt que apresenta as vazões das minibacias em base mensal (Apêndice D).

6.3.1.1 Cenário 1

A Figura 26 apresenta os diferentes cenários desenvolvidos sem a aplicação do coeficiente de retorno, ou seja, apresenta a situação hipotética e mais crítica para cada mês do ano, na qual todas as demandas estão sendo atendidas e no exato momento está sendo provocada a redução de água nos corpos hídricos, sem considerar as vazões de retorno.

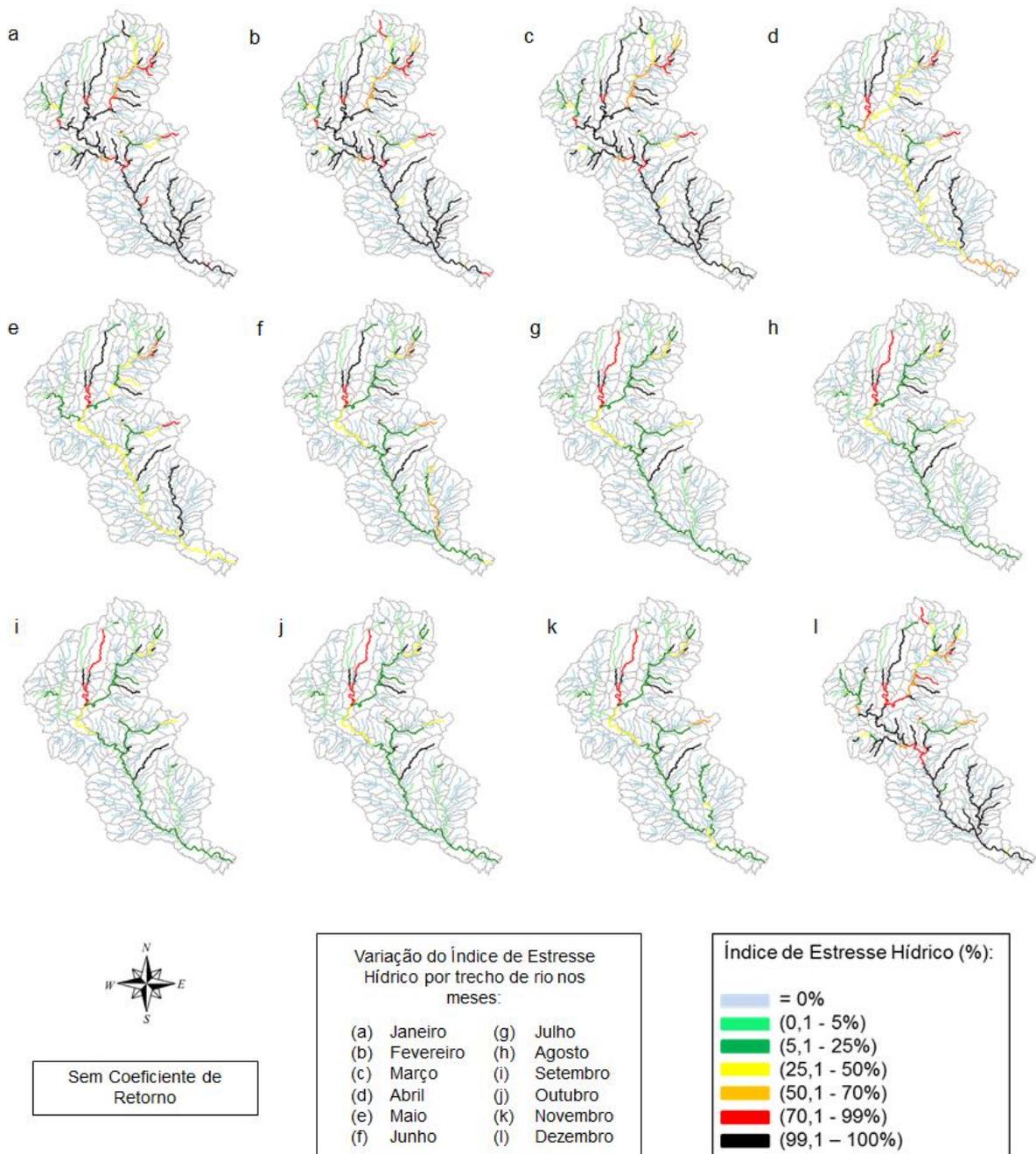


Figura 26 - Balanço hídrico superficial considerando a Q90% para o cenário sem coeficiente de retorno.

Fonte: Próprio autor.

Como se observa na Figura 26, os cenários que apresentaram um estresse hídrico maior, com mais trechos com IEH alto, foram para os meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro e os que apresentaram um menor estresse hídrico foram para os meses de abril a novembro.

No intuito de melhor descrever os resultados elaborou-se a Tabela 15, na qual apresenta o número de trechos conforme o IEH para cada cenário desenvolvido.

Tabela 15 - Número de trechos conforme o IEH para cada mês do ano no cenário sem coeficiente de retorno.

IEH (%)	Faixa	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho
0,0%	1	105	105	105	135	135	135
0,1 - 5%	2	7	7	7	12	12	16
5,1 - 25%	3	14	15	14	14	23	53
25,1 - 50%	4	10	11	12	42	39	13
50,1 - 70%	5	11	12	12	9	4	8
70,1 - 99%	6	17	14	14	7	6	4
99,1 - 100%	7	73	73	73	18	18	8
IEH (%)	Faixa	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
0,0%	1	135	135	135	135	135	105
0,1 - 5%	2	25	28	27	26	18	7
5,1 - 25%	3	52	50	54	52	55	19
25,1 - 50%	4	12	11	9	12	14	13
50,1 - 70%	5	2	2	1	1	4	12
70,1 - 99%	6	4	4	4	4	4	16
99,1 - 100%	7	7	7	7	7	7	65

Fonte: Próprio autor.

Pode-se perceber através da Tabela 15 que os meses de janeiro, fevereiro e março apresentaram uma maior quantidade de trechos (73) na faixa 7 de estresse hídrico, seguidos por dezembro que apresentou 65. Em contrapartida, os meses de abril a novembro foram os que obtiveram mais trechos (135) na faixa 1 de estresse hídrico, já os demais totalizaram cada um, 105 trechos na referida faixa.

Estudo como da SEMA (2020), ao qual não utilizou o coeficiente de retorno em um dos cenários desenvolvidos para o balanço hídrico superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba, no Rio Grande do Sul, constatou que, no mês mais crítico (novembro) as retiradas totais estavam comprometendo a disponibilidade hídrica, isso porque a vazão remanescente no exutório da bacia foi inferior a da disponibilidade.

Assim como no estudo citado anteriormente, o último trecho da rede de drenagem (exutório) da BHRJ, como mostra a Figura 26, apresenta estresse hídrico variando entre 99,1 – 100% para os meses de janeiro, março e dezembro, ressaltando que, ao chegar em 100% indica que as retiradas estão influenciando

negativamente na disponibilidade hídrica, levando em consideração a vazão de referência adotada (Q90).

6.3.1.2 Cenário 2

A situação mais realista, ou seja, o cenário modelo para cada mês do ano é apresentado na Figura 27, onde foi considerado o coeficiente de retorno para cada uso na BHRJ. Como se observa na Figura 27, embora esteja aplicado o coeficiente de retorno para os usos, os meses que apresentaram o pior estresse hídrico se mantiveram os mesmos comparado com o cenário 1 (janeiro, fevereiro, março e dezembro).

Um possível motivo dos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro terem dado um estresse hídrico maior comparado aos demais meses pode se dar devido às características climáticas da região que, conforme Oliveira *et al.* (2015) e Godecke e Decker (2014), os meses mencionados compreendem a época de estiagem na região. Outro fator interligado a época de estiagem é que a vazão observada no arquivo Qmes90.txt (Apêndice B) é menor para os referidos meses, na maioria das vezes, o que acaba ajudando ainda mais o estresse hídrico obterem um valor mais elevado.

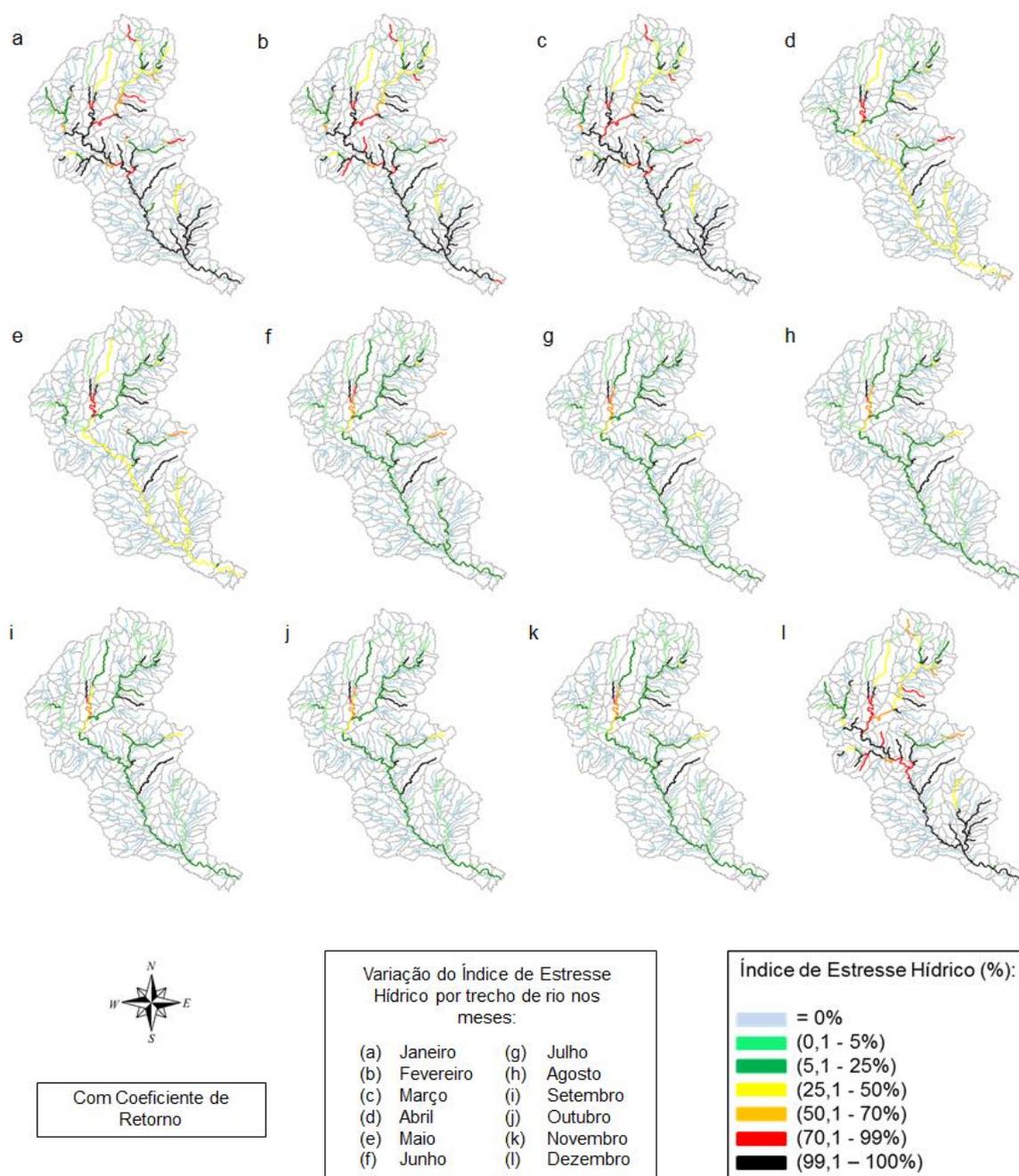


Figura 27 - Balanço hídrico superficial considerando a Q90% para o cenário com coeficiente de retorno.

Fonte: Próprio autor.

Para facilitar a visualização dos resultados obtidos no modelo no cenário 2, desenvolveu-se a Tabela 16, que representa a quantidade de trechos da rede de drenagem para cada mês do ano conforme sua faixa no IEH.

Tabela 16 - Número de trechos conforme o IEH para cada mês do ano no cenário com coeficiente de retorno.

IEH (%)	Faixa	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho
0,0%	1	105	105	105	135	135	135
0,1 - 5%	2	10	10	10	15	19	26
5,1 - 25%	3	18	18	18	30	28	61
25,1 - 50%	4	22	24	24	44	43	3
50,1 - 70%	5	7	4	4	1	1	4
70,1 - 99%	6	11	13	13	5	4	2
99,1 - 100%	7	64	63	63	7	7	6
IEH (%)	Faixa	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
0,0%	1	135	135	135	135	135	105
0,1 - 5%	2	32	32	32	32	31	12
5,1 - 25%	3	57	56	57	57	57	19
25,1 - 50%	4	2	5	5	4	4	23
50,1 - 70%	5	4	2	1	2	3	7
70,1 - 99%	6	1	1	1	1	1	15
99,1 - 100%	7	6	6	6	6	6	56

Fonte: Próprio autor.

Com base nos resultados do IEH apresentados na Tabela 16, pode-se perceber que o cenário mais realista da BHRJ demonstra que a mesma sofre com grande estresse hídrico nos meses que compreendem a estação do verão (janeiro, fevereiro, março e dezembro).

Pereira *et al.* (2017) ressalta que, o aumento da preocupação quanto ao uso irregular da água em épocas de estiagem, devido ao rebaixamento do nível dos mananciais (o que pode ser agravado caso haja um período de seca de maior duração) ocasiona grandes conflitos entre os usos na bacia hidrográfica. Com isso, é importante destacar que o resultado obtido neste estudo é um indicativo de que, durante períodos de escassez (janeiro, fevereiro, março e dezembro), os corpos hídricos da BHRJ poderão ser comprometidos em termos de quantidade de água.

Em um estudo realizado em torno de uma reserva florestal na Malásia, na qual utilizou o IEH, obteve em média 32% de estresse hídrico para a área em questão, o que implicou em um baixo nível de estresse. Contudo, o estudo também descobriu que o nível de estresse moderado a alto ocorre durante o período mais seco do ano, enquanto o nível de estresse de baixo a médio ocorre durante a estação das monções, no entanto, espera-se que essa proporção aumente ainda mais em breve, devido ao aumento no consumo e na aplicação de água (SAMSUDIN *et al.*, 2020).

6.3.1.3 Cenário 3

Primeiramente destaca-se que a irrigação em geral é a atividade humana dominante que leva ao estresse hídrico, com consequências ambientais em nível local e global (PFISTER; BAYER, 2014). Neste contexto, na região sul do Brasil, o cultivo orizícola é praticado quase que em sua totalidade de forma irrigada e por inundação (CONAB, 2020). Ressaltando que, o cultivo do arroz é a principal atividade econômica na região da BHMSG, assim como, da BHRJ também.

A Figura 28 disponibiliza os diferentes resultados desenvolvidos para o cenário hipotético no qual considera a aplicação do coeficiente de retorno, contudo, desconsiderou-se os usos voltados à irrigação do arroz para os meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro.

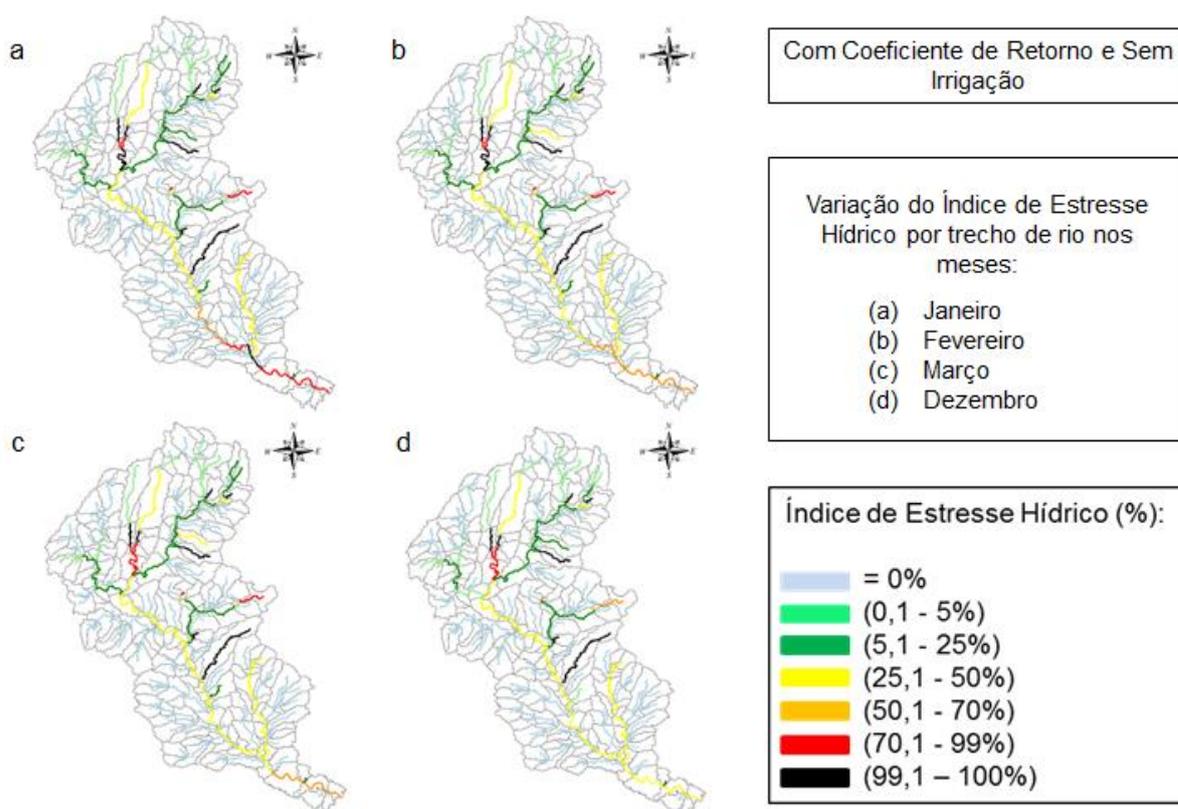


Figura 28 - Balanço hídrico superficial considerando a Q90% para o cenário com coeficiente de retorno e sem o uso voltado para a irrigação.

Fonte: Próprio autor.

Assim como nos cenários anteriores, desenvolveu-se uma tabela na qual apresenta a quantidade de trechos por faixa do IEH para cada mês analisado (Tabela 17).

Tabela 17 - Número de trechos conforme o IEH para os meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro no cenário com coeficiente de retorno e sem o uso voltado a irrigação.

IEH (%)	Faixa	Janeiro	Fevereiro	Março	Dezembro
0,0%	1	135	135	135	135
0,1 - 5%	2	15	15	15	20
5,1 - 25%	3	31	30	30	27
25,1 - 50%	4	30	37	41	43
50,1 - 70%	5	6	8	4	2
70,1 - 99%	6	9	4	5	3
99,1 - 100%	7	11	8	7	7

Fonte: Próprio autor.

Como se observa na Tabela 17, a maior parte dos trechos se concentrou nas quatro primeiras faixas (faixa 1, 2, 3 e 4), e poucos trechos nas últimas três faixas (5, 6, 7). Isso mostra que o uso destinado à irrigação possui grande influência dentro da BHRJ. Conforme a CONAB (2018), o estado do RS foi responsável por 76,5% da produção de arroz irrigado no Brasil, com isso, os principais usos da água na BHMSG como um todo são destinados à irrigação (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

No estudo desenvolvido por Huang, Yuan e Liu (2021) ao qual apresentou uma avaliação explícita da evolução da escassez de água global mostrou através dos resultados que o índice de estresse hídrico aumentou durante os anos de 1971 a 2010, assim como, houve um aumento na retirada de água, especialmente para o setor agrícola. Ainda de acordo com os mesmos autores, a crescente retirada de água levou ao aumento da escassez de água para áreas com 21% da população global.

Importante salientar que, de um modo geral, vários estudos nas últimas décadas avaliaram os padrões espaciais e temporais da escassez global de água, e os resultados concordaram que a escassez global de água aumentou significativamente, porém, não somente devido às atividades humanas, mas sim, junto com o agravamento de fenômenos climáticos (HUANG, YUAN e LIU, 2021; KUMMU *et al.*, 2010).

Por exemplo, o estudo realizado por Boeira *et al.*, (2021) que avaliou a influência do fenômeno climático El Niño-Oscilação Sul (ENOS), entre os anos de 1984 e 2020, sobre a produtividade média de arroz irrigado na BHMSG constatou que o Índice Oscilação Niño (Oceanic Niño Index-ONI) apresentou, para maior parte dos meses, correlações significativas com a produtividade de arroz irrigado, com destaque para os meses de início do cultivo. Já Arsego *et al.*, (2020) que buscou

identificar a influência de índices climáticos associados a diferentes padrões de teleconexões na produtividade de arroz no Rio Grande do Sul constatou que o fenômeno El Niño Oscilação Sul apresenta correlações positivas (negativas) significativas entre sua componente oceânica (atmosférica) e a produtividade de arroz irrigado no RS.

6.3.2 Anual

A Figura 29 apresenta a simulação realizada para os trechos da rede de drenagem com base anual para os três diferentes cenários elaborados, já a Tabela 18 o quantitativo de trechos em cada classe do IEH. Ressalta-se que, para a realização da simulação em base anual por meio do WARM-GIS Tools utilizou-se o arquivo RESUMO SIAQUA.txt que apresenta as vazões das minibacias em base anual (Apêndice C).

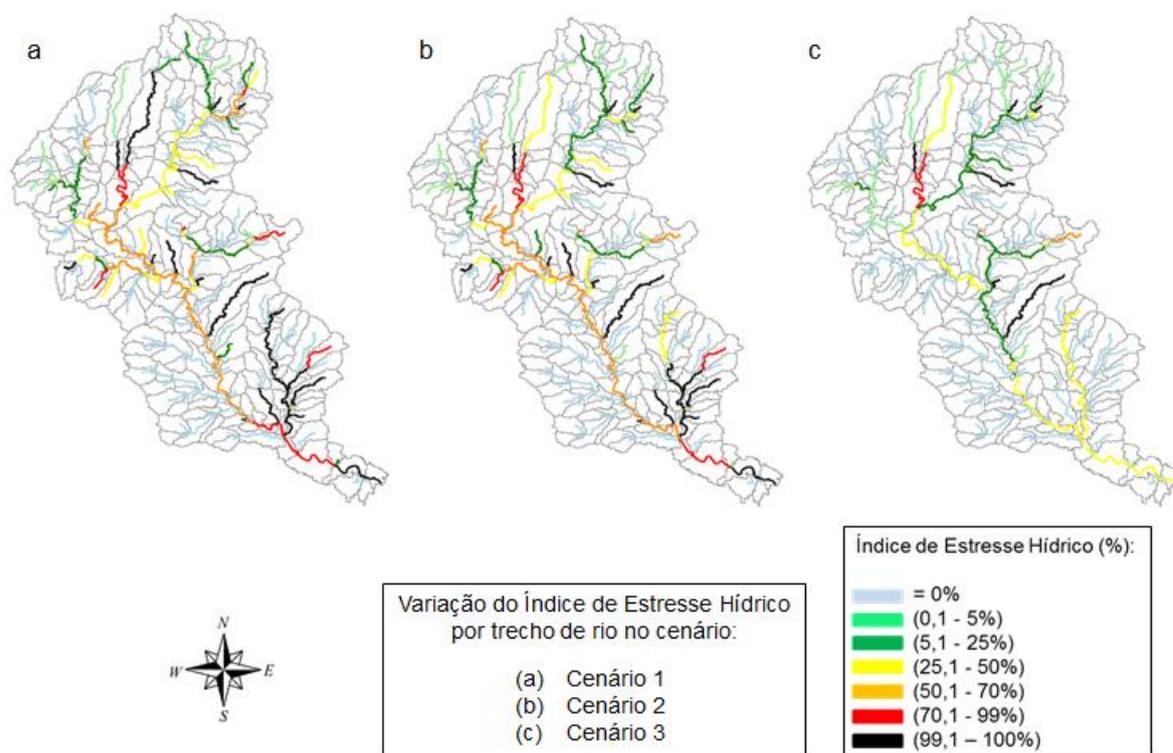


Figura 29 - Balanço hídrico superficial considerando a Q90% para os 3 cenários.

Fonte: Próprio autor.

Tabela 18 - Número de trechos conforme o IEH para cada um dos três cenários elaborados.

IEH (%)	Faixa	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
0,0%	1	105	105	135
0,1 - 5%	2	10	16	23
5,1 - 25%	3	22	29	33
25,1 - 50%	4	25	23	34
50,1 - 70%	5	32	32	2
70,1 - 99%	6	13	8	4
99,1 - 100%	7	30	24	6

Fonte: Próprio autor.

Como se observa na Figura 29 e confirma-se através da Tabela 18, assim como foi para o cálculo em base mensal, o cenário 1 apresenta mais trechos nas últimas duas faixas (6 e 7) comparado com os demais cenários, em contrapartida, o cenário 3 é o que apresenta menos trechos nas respectivas faixas.

Destaca-se também na Figura 29 e Tabela 18, o aumento de trechos na faixa 1, 2, 3 e 4 para o cenário 3, evidenciando uma melhora significativa quanto ao IEH para a BHRJ se desconsiderar tais usos destinados à irrigação. Vale evidenciar que, diversos estudos nos últimos anos vêm apontando a influência da agricultura, em especial o cultivo de arroz irrigado, na BHMSG, conseqüentemente, na BHRJ (CALDAS *et al.*, 2019; VIEIRA *et al.*, 2019; DROSE *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2020; VALENTINI *et al.*, 2020; SANTOS, VALENTINI e VIEIRA, 2021; SILVEIRA *et al.*, 2021; VALENTINI *et al.*, 2021a; VALENTINI *et al.*, 2021b; VALENTINI, *et al.*, 2021c; VALENTINI, SANTOS e VIEIRA, 2021).

Conforme Sophocleous (2000), a tomada de decisão local é considerada o caminho preferencial para a gestão da água, devido ao fato de que as diferenças ambientais afetam a disponibilidade e o uso da água de maneiras diferente dependendo de região para região. Contudo, para a BHRJ essa tomada de decisão deve partir não somente do Brasil, mas do Uruguai também visto que se trata de uma bacia transfronteiriça.

6.3.3 Comparação entre os cenários

6.3.3.1 Mensal

A Tabela 19 apresenta a variação percentual mensal do cenário 1 (sem coeficiente de retorno) em relação ao cenário 2 (com coeficiente de retorno), ou seja, a comparação entre o pior cenário e o cenário modelo, respectivamente.

Tabela 19 - Variação percentual do cenário 1 em relação ao cenário 2.

IEH (%)	Faixa	Variação percentual (%)					
		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho
0,0	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,1 – 5	2	-30,00	-30,00	-30,00	-20,00	-36,84	-38,46
5,1 – 25	3	-22,22	-16,67	-22,22	-53,33	-17,86	-13,11
25,1 - 50	4	-54,55	-54,17	-50,00	-4,55	-9,30	333,33
50,1 - 70	5	57,14	200,00	200,00	800,00	300,00	100,00
70,1 - 99	6	54,55	7,69	7,69	40,00	50,00	100,00
99,1 - 100	7	14,06	15,87	15,87	157,14	157,14	33,33

IEH (%)	Faixa	Variação percentual (%)					
		Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
0,0	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,1 – 5	2	-21,88	-12,50	-15,63	-18,75	-41,94	-41,67
5,1 - 25	3	-8,77	-10,71	-5,26	-8,77	-3,51	0,00
25,1 - 50	4	500,00	120,00	80,00	200,00	250,00	-43,48
50,1 - 70	5	-50,00	0,00	0,00	-50,00	33,33	71,43
70,1 - 99	6	300,00	300,00	300,00	300,00	300,00	6,67
99,1 - 100	7	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,07

Fonte: Próprio autor.

Como se percebe pela Tabela 19, a variação na faixa 2 e 3 se dá negativa (com exceção da faixa 2 em dezembro na qual se manteve igual em ambos os cenários), isso mostra que no cenário 1 há menos trechos dentro de tais faixas ao comparar com o cenário 2, ou seja, o cenário 2 apresenta melhores resultados pois tais faixas apresentam estresse hídrico menores.

Já a variação nas faixas 6 e 7 se deu toda positiva para todos meses, ou seja, a mais trechos com a pior classificação de estresse hídrico no cenário 1 ao comparar com o cenário 2. Tal resultado corrobora com a diminuição de trechos na faixa 1 e 2 (faixas com estresse mais baixos) para o cenário 1, pois tais trechos estão com estresse hídrico mais altos, assim, obtendo classificação de resultados mais ruins quando ao IEH.

Pode-se inferir então que o cenário 1, como esperava-se, apresenta piores resultados no que compete ao IEH para os trechos da rede de drenagem da BHRJ ao comparar com o cenário 2.

A Tabela 20 apresenta a variação percentual do cenário 3 (com coeficiente de retorno e sem o uso destinado a irrigação) em relação ao cenário 2 (com coeficiente de retorno), ou seja, a comparação entre o melhor cenário e o cenário modelo, respectivamente.

Tabela 20 - Variação percentual do cenário 3 em relação ao cenário 2.

IEH (%)	Faixa	Variação percentual (%)			
		Janeiro	Fevereiro	Março	Dezembro
0,0	1	28,57	28,57	28,57	28,57
0,1 - 5	2	50,00	50,00	50,00	66,67
5,1 - 25	3	72,22	66,67	66,67	42,11
25,1 - 50	4	36,36	54,17	70,83	86,96
50,1 - 70	5	-14,29	100,00	0,00	-71,43
70,1 - 99	6	-18,18	-69,23	-61,54	-80,00
99,1 - 100	7	-82,81	-87,30	-88,89	-87,50

Fonte: Próprio autor.

Ao contrário da comparação entre o cenário 1 e 2, a comparação do cenário 3 e 2 obteve valores positivos nas primeiras faixas (1, 2, 3 e 4) e resultados negativos nas 6 e 7 faixas. Isso demonstra que o cenário 3 apresentou mais trechos da rede de drenagem dentro de faixas com IEH menor ao comparar com o cenário 2. Com isso, pode-se deduzir-se então que o cenário 3, apresenta melhores resultados no que compete ao IEH para os trechos da rede de drenagem da BHRJ ao comparar com o cenário 2.

A Figura 30 apresenta um comparativo entre os 3 cenários para o mês de maior estresse hídrico (janeiro) e o mês de menor estresse hídrico (setembro), para os demais meses pode-se encontrar no Apêndice D.

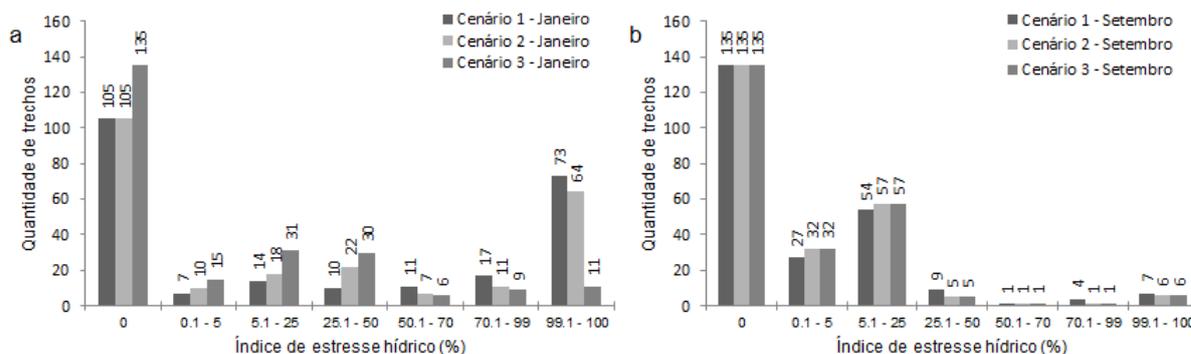


Figura 30 - Comparação do número de trechos conforme o IEH para cada um dos três cenários elaborados no mês: a) mais crítico; b) menos crítico.

Fonte: Próprio autor.

O mês de janeiro apresenta mais trechos nas primeiras faixas no que compete ao cenário 3, já o cenário 1 é ao contrário, apresenta mais trechos nas últimas faixas de classificação do IEH. No mês de setembro o resultado do cenário 2 e 3 foram iguais, isso porque não ocorre o consumo de água para irrigação no referido mês (apenas em janeiro, fevereiro, março e dezembro), assim, o consumo se dá somente nos outros tipos de usos (humano, industrial e pecuária).

6.3.3.2 Anual

A Tabela 21 apresenta a variação percentual anual do cenário 1 (sem coeficiente de retorno) e do cenário 3 (com coeficiente de retorno e sem o uso destinado a irrigação) em relação ao cenário 2 (com coeficiente de retorno), ou seja, a comparação entre o pior e o melhor cenário com o cenário modelo, respectivamente.

Tabela 21 - Variação percentual do cenário 1 e 3 em relação ao cenário 2.

IEH (%)	Faixa	Variação percentual (%)	
		Cenário 1 - Cenário 2	Cenário 3 - Cenário 2
0,0	1	0,00	28,57
0,1 - 5	2	-37,50	43,75
5,1 - 25	3	-24,14	13,79
25,1 - 50	4	8,70	47,83
50,1 - 70	5	0,00	-93,75
70,1 - 99	6	62,50	-50,00
99,1 - 100	7	25,00	-75,00

Fonte: Próprio autor.

Como se pode perceber pela Tabela 21 a variação anual entre os cenários se deu de modo geral na mesma linha da variação mensal, onde, na comparação entre o cenário 1 e 2 houve uma diminuição de trechos nas faixas 1 e 2 que representam baixos valores de estresse hídrico e um aumento de trechos nas faixas 6 e 7 que possuam um estresse hídrico elevado, evidenciando que o cenário 1 apresenta piores resultados ao comparar com o cenário 2.

Já na comparação entre o cenário 3 e 2 ficou evidente também, assim como na variação mensal, que o cenário 3 apresenta melhores resultados no que compete ao IEH na BHRJ comparado com o cenário 2. Como se observa na Tabela 21 existe menos trechos nas faixas 5, 6 e 7 para o referido cenário, que representam a pior classificação do IEH, e mais trechos nas primeiras faixas, evidenciando grande influencia da agricultura de arroz irrigado na BHRJ.

Resultado semelhante pode ser observado no estudo desenvolvido por Ferreira (2014), que procurou formular um modelo utilizando a metodologia de dinâmica de sistemas para analisar a sustentabilidade do uso dos recursos hídricos da sub-bacia do córrego do Boi Branco. Tal estudo demonstrou que, se considerar apenas a oferta de água superficial na sub-bacia do Boi Branco, a atividade agrícola

irrigada compromete a sustentabilidade dos recursos hídricos em todos os cenários desenvolvidos, caso não sejam tomadas as providências necessárias (FERREIRA, 2014).

6.4 Indicador de escassez

6.4.1 Índice de comprometimento hídrico - ICH

A Tabela 22 apresenta os resultados obtidos para o ICH em função das três sub-bacias adotadas no processo de calibração da modelagem hidrológica.

Tabela 22 - Índice de comprometimento hídrico para os exutórios das sub-bacias.

Sub-Bacias	Média do consumo (m ³ /s)	Q90 (m ³ /s)*	ICH (%)
1	0,114	4,633	2,46
2	0,29	5,1	5,69
3	0,113	5,472	2,07

*Dado obtido através do arquivo RESUMO SIAQUA.txt (Apêndice C) por meio da minibacia que compreendia ao exutório da respectiva sub-bacia.

Fonte: Próprio autor.

Considerando a liminar de 50%, ou seja, quando a soma das vazões captadas em uma determinada sub-bacia hidrográfica superar 50% da respectiva vazão de referência, a mesma será considerada especial (PERH/RS, 2014), pode-se perceber para o estudo aqui em questão que as sub-bacias se encontram bem abaixo dessa liminar. Resultados semelhantes foram encontrados no estudo feito por SEMA (2020) na Bacia Hidrográfica do Rio Mampituba na qual utilizou a mesma liminar, ou seja, encontrou valores abaixo de 50% para o ICH.

6.4.2 Índice de Retirada de Água – IRA

A Tabela 23 apresenta os valores do IRA para as sub-bacias definidas a partir das principais sub-bacias que comportam os principais afluentes do Rio Jaguarão da BHRJ, assim como, da mesma. Além disso, é apresentada a média de consumo e a vazão média no exutório das sub-bacias.

Tabela 23 - Classificação do IRA para os exutórios das sub-bacias definidas.

Sub-Bacias	Média do consumo (m ³ /s)	Q _{média anual} (m ³ /s)*	IRA (%)	Sub-Bacias	Média do consumo (m ³ /s)	Q _{média anual} (m ³ /s)*	IRA (%)
Rio Jaguarão	0,124	74,977	0,17	Arroio do Bote	0,403	1,559	25,85
Arroio do Telho	0,035	6,965	0,50	Arroio São José	0,126	8,126	1,55
Arroio do Meio	0,141	1,025	13,76	Arroio Candiota	0,133	16,605	0,80
Arroyo Sarandí de Barcelo	0,000	1,655	0,00	Arroio do Vime	0,18	2,433	7,40
Arroyo de las Cañas	0,000	2,839	0,00	Arroio Jaguarão Chico	0,037	11,164	0,33
Arroyo Sarandí	0,000	2,194	0,00	Arroyo Berachi e De Los Burros	0,059	5,641	1,05

*Dado obtido através do arquivo RESUMO SIAQUA.txt (Apêndice C) por meio da minibacia que compreendia ao exutório da respectiva sub-bacia

Fonte: Próprio autor.

Com isso, verifica-se que as bacias apresentam em sua maior parte uma variação entre 0% e 5%, o que se classifica como situação excelente, onde pouca ou nenhuma atividade de gerenciamento é necessária. Porém, três sub-bacias localizadas em território brasileiro obtiveram valores acima de 5%, que foram a do Arroio do Vime, Arroio do Bote e Arroio do Meio, que pode ter se dado devido a maior quantidade de dados de usos obtidos para o território brasileiro ao comparar com o uruguaio. Para melhor visualização é apresentado os resultados para as sub-bacias na Figura 31.

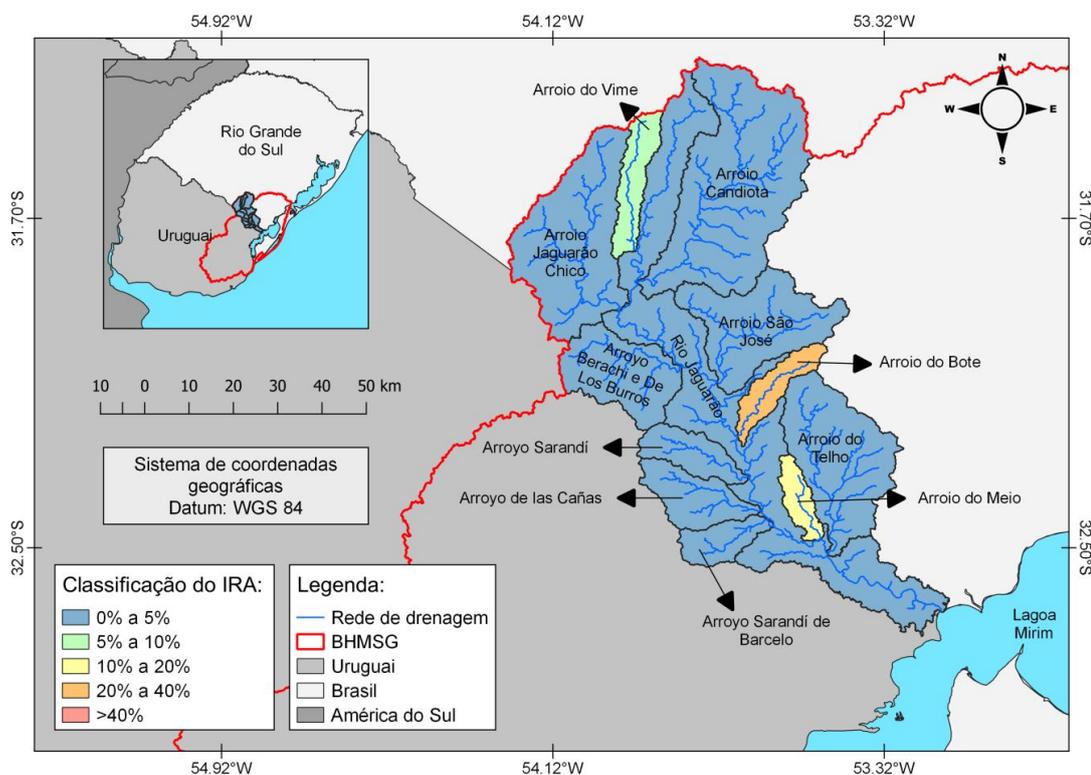


Figura 31 - Classificação do IRA para os exutórios das sub-bacias definidas.

Fonte: Próprio autor.

Conforme se observa na Figura 31, a sub-bacia do Arroio do Vime enquadrou-se na faixa de 5 a 10%, sendo classificada como situação confortável, podendo ocorrer necessidade de gerenciamento para solução de problemas locais de abastecimentos prioritários. No estudo publicado por SEMA (2020), 80% dos resultados encontrados para as Unidades de Planejamento e Gestão (UPGs) da bacia hidrográfica do Rio Mampituba se classificaram dentro desta mesma faixa, já os outros 20% na faixa de 0 a 5%.

A sub-bacia do Arroio do Meio ficou dentro da faixa de 10% a 20% (Figura 31), o que a classificou como situação preocupante onde a atividade de gerenciamento é indispensável, exigindo a realização de investimentos médios. Já a sub-bacia do Arroio do Bote se classificou como a pior sub-bacia dentro do IRA, ficando na faixa de 20% a 40% (Figura 31) o que a deixou em uma situação crítica, exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos. Ou seja, a partir da aplicação do IRA pode-se observar áreas com problemas dentro da BHRJ no que compete aos usos da água, e com isso, se faz necessário equilibrar as necessidades hídricas humanas e ambientais (ANGELI *et al.*, 2020).

7 Considerações finais

Os resultados obtidos neste estudo confirmam as hipóteses iniciais ao presente estudo. Através da aplicação da ferramenta IPH-Hydro Tools foi possível caracterizar a bacia considerando as bases físicas presentes, assim como, a calibração e validação do modelo MGB apresentou resultados que, de modo geral, podem ser considerados satisfatórios para as sub-bacias analisadas, frente à disponibilidade de dados na região.

A simulação do balanço hídrico entre disponibilidades e demandas empregando o modelo WARM-GIS Tools, mostrou que o cenário 1 (sem coeficiente de retorno), como se esperava, apresentou os piores resultados relacionado ao IEH para cada trecho da rede de drenagem, tanto em base mensal quanto anual. O cenário 2 (com coeficiente de retorno), considerado o cenário atual/modelo, em base mensal, evidenciou que a BHRJ sofre com grande estresse hídrico nos meses que compreendem a estação do verão (dezembro, janeiro, fevereiro e março). Já o cenário 3 (com coeficiente de retorno e sem o uso destinado a irrigação) demonstrou que na BHRJ há grande influência do uso da água empregada para irrigação do arroz, produção essa que ocorre nos meses correspondentes a estação do verão.

Corroborando com tais resultados, o IRA apresentou 3 sub-bacias localizadas em território brasileiro, dentre as 12 existentes na BHRJ, que apresentaram valores elevados para o referido índice, sendo necessário investimentos e gerenciamento adequados para solução dos problemas de déficit hídrico, como por exemplo, uma maior rede de monitoramento dos recursos hídricos da BHRJ.

Dentro dos resultados obtidos nota-se que a BHRJ necessita de um plano de gestão robusto no que se refere ao monitoramento dos usos das águas superficiais. Com isso, a implementação de modelo de gestão, pelos atores locais e governos de ambos os países se faz necessário. De grande valia destacar que, o WARM-GIS Tools mostrou-se uma ferramenta de grande suporte para o auxílio às tomadas de decisões pelos gestores dos recursos naturais do território.

Sugestões

A partir dos resultados encontrados nesta pesquisa, podem-se recomendar avaliações para a continuidade deste trabalho:

1 - Além do balanço hídrico desenvolvido neste estudo para a BHRJ, sugere-se desenvolver a modelagem qualitativa para compor os resultados por meio da ferramenta WARM-GIS Tools;

2 - Estender o balanço hídrico quantitativo e a modelagem qualitativa para toda a BHMSG.

Referências

- ABREU, M. C.; TONELLO, K. C. Estimativa do balanço hídrico climatológico da bacia hidrográfica do rio Sorocaba – São Paulo. **Ambiência**, v.11, n.3, p. 513 – 527, 2015.
- ACHKAR, M.; BLUM, A.; BARTESAGHI, L.; CERONI, M. **Escenarios de cambio de uso del suelo en Uruguay**. Informe Técnico. Convenio MGAP/PPR – Facultad de Ciencias/Vida Silvestre/ Sociedad Zoológica del Uruguay/CIEDUR, 2012, 24p.
- ADDOR, N. Y.; MELSEN, L. A. Legacy, Rather Than Adequacy, Drives the Selection of Hydrological Models. **Water Resources Research**, v. 55, n. 1, p. 378-390, 2019.
- ALM - Agência de Desenvolvimento da Bacia da Lagoa Mirim. 2021. **Barragem Eclusa**. Online. Disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/alm/?page_id=2057. Acesso: 27 out. 2021.
- ALVES, M. E.; MEYER, A. O.; FAN, F.M.; PAIVA, R.C.D. **Manual de aplicação do modelo MGB utilizando o IPH-HYDRO Tools**. Manual Técnico, HGE, IPH, UFRGS. 2020, 55 p.
- ANA. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília-DF: ANA, 2005. 134 p.
- ANA. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília, DF, 2019, 75 p.
- ANDRADE, C. W. L.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; LIMA, J. R. S.; MAGALHÃES, A. G.; SRINIVASAN, R. Modelagem Hidrológica de uma sub-bacia do Alto Mundaú utilizando o modelo SWAT. In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste-ABRH, 2016, Aracaju – SE. **Anais [...]**. Aracaju: 2016. p. 01-10.
- ANGELI, A.; KARKANI, E.; ALAMANOS, A.; XENARIOS, S.; MYLOPOULOS, N. Hydrological, socioeconomic, engineering and water quality modeling aspects for evaluating water security: experience from Greek rural watersheds. **EGU General Assembly**, Online, 4–8 May, 2020.
- ARAÚJO, Amanda Souza. **Calibração do modelo MGB-IPH na bacia hidrográfica do rio Apodi Mossoró**. 2017. 29f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- ARSEGO, D. A.; FERRAZ, S. E. T.; STRECK, N. A.; CARDOSO, A. O.; ZANON, A. J.; CERA, J. C. Índices Climáticos Associados a Variabilidade Interanual da Produtividade de Arroz no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, p. 209-218, 2020.
- BERTULE, M.; GLENNIE, P.; BJØRNSSEN, P. K.; LLOYD, G. J.; KJELLEN, M.; DALTON, J.; RIEU-CLARKE, A.; ROMANO, O.; TROPP, H.; NEWTON, J.; HARLIN, J. Monitoring water resources governance progress globally: experiences from

monitoring SDG indicator 6.5.1 on integrated water resources management implementation. **Water**, v. 10, n. 12, p. 1-20, 2018.

BETANCUR, Maribel Olaya. **Análise da silvicultura na bacia hidrográfica do Rio Jaguarão**: diagnóstico para gestão geoambiental em bacia hidrográfica do Rio Jaguarão. 2015. 165 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

BOEIRA, L. S.; GONÇALVES, G. M. S.; BARTELS, G. K.; DA SILVEIRA, J. F.; COLLARES, G. L. Influência do fenômeno El-niño oscilação sul no cultivo de arroz irrigado na bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo. **IRRIGA**, v. 1, n. 2, p. 344-356, 2021.

BRANCO FILHO, T. C. T.; SILVA, E. I.; BARTZ, I. Diagnóstico das ações de gestão pública voltadas ao abastecimento de água e esgotamento sanitário nos Municípios inseridos na Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim e Canal São Gonçalo. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 14, n. 35, p. 16-20, 2021.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: Presidência da República, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 12 set. 2021.

BRITO NETO, R. L.; TAGLIAFERRE, C.; LEMOS, O. L.; ROCHA, F. A.; PAULA, A. Aplicação do modelo MGB-IPH na bacia hidrográfica do Rio Pardo em diferentes cenários de uso e ocupação do solo. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 1, p. 191-213, 2021.

BUARQUE, D. C., FAN, F. M., PAZ, A. R. & COLLISCHONN, W. Comparação de métodos para definir direções de escoamento a partir de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 2, p. 91-103. 2009.

CABRAL, S. L.; SAKURAGI, J.; SILVEIRA, C. D. Incertezas e erros na estimativa de vazões usando modelagem hidrológica e precipitação por RADAR. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 1, p. 57-70, 2017.

CALDAS, S. S.; ARIAS, J. L. O.; ROMBALDI, C.; MELLO, L. L.; CERQUEIRA, M. B. R.; MARTINS, A. F.; PRIMEL, E. G. Occurrence of pesticides and PPCPs in surface and drinking water in Southern Brazil: Data on 4-year monitoring. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.30, n.1, p.71-80, 2019.

COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D. G.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. The MGB-IPH model for largescale rainfall-runoff modelling. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, n. 05, p. 878-895, 2007.

COLLISCHONN, W.; GAMA, C. H. A.; SIQUEIRA, V. A.; PAIVA, R. C. D.; FLEISCHMANN, A. S. **Manual de Referência Teórica do MGB**. HGE, IPH, UFRGS, 2020. 46 p.

COLLISCHONN, Walter. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de grandes bacias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 2, p. 95-118, 2001.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento - Acompanhamento da Safra Brasileira: grãos**. Safra 2019/20, Quarto levantamento Brasília. Brasília, DF, v. 7, n. 4, p. 1-25, jan.2020. Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/wp-content/uploads/2020/01/GrosZjaneiroZresumo.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2021.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento - Arroz irrigado**. Brasília, DF: Conab, 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/item/7689-arroz-irrigado>. Acesso em: 08 dez. 2021.

CORRÊA, Sly Wongchuig. **Reanálise hidrológica : estudo de caso na Bacia Amazônica**. 2019. 81 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

COSTA, Cecília Amélia Miranda. **Aplicabilidade de modelos matemáticos para elaboração de cenários de enquadramentos de corpos hídricos: o caso da Bacia do Ribeirão Taquaruçu, Palmas - TO**. 2016. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2016.

COSTI, J.; MARQUES, W. C.; KIRINUS, E. P.; DUARTE, R. F.; ARIGONY-NETO, J. Water level variability of the Mirim - São Gonçalo system, a large, subtropical, semi-enclosed coastal complex. **Advances in Water Resources**, v. 117, p. 75-86, 2018.

DINAGUA. **Direção Nacional de Águas - Conjuntos de datos abiertos de DINAGUA** - Aprovechamientos de los Recursos Hídricos vigentes 2019. Disponível em: https://app.mvotma.gub.uy/informacion_hidrica/datos_abiertos.html. Acesso: 20 de set. 2021.

DROSE, A.; VALENTINI, M. H. K.; DUARTE, V. H.; SANTOS, G. B.; NADALETI, W. C.; VIEIRA, B. Utilização de Métodos Estatísticos Multivariados no Monitoramento de Qualidade da Água da Lagoa Mirim. **Meio ambiente (Brasil)**, v.2, n.4, p.58-67, 2020.

FAGUNDES, Hugo de Oliveira. **Modelagem hidrossedimentológica de grandes bacias com apoio de dados in situ e sensoriamento remoto**. 2018. 201 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2018.

FAGUNDES, H. O.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C. Simulação hidrossedimentológica preliminar na Bacia do Rio Doce com o Modelo MGB-SED. In:

CONGRESSO INTERNACIONAL DE HIDROSEDIMENTOLOGIA, 2., 2017, Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. Porto Alegre: ABRH, 2017 p. 1-8.

FAN F. M., BUARQUE D. C., PONTES, P.R.M., COLLISCHONN W. Um mapa de unidades de resposta hidrológica para a América do Sul. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, 2015, Brasília-DF. **Anais** [...]. Brasília: 2015. p. 1-8.

FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 243-254, 2014.

FAN, F.M.; COLLISCHONN, W.; SORRIBAS, M. V.; PONTES, P. R. M. Sobre o início da rede de drenagem definida a partir dos modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 241-257, 2013.

FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R; HENSLEY, S.; SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. The Shuttle Radar Topography Mission. **Reviews of Geophysics**, v. 45, n. 2, p. 1-33, 2007.

FÉLIX, V. S.; PAZ, A. R. Representação dos processos hidrológicos em bacia hidrográfica do semiárido paraibano com modelagem hidrológica distribuída. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 3, p. 556-569, 2016.

FEPAM. **Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler: L60 - Bacia Hidrográfica do Rio Jaguarão**. 2020. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/bacia_jaguarao.asp. Acesso em: 12 nov. 2021.

FERREIRA, Alexandra Vaz. **Modelagem dinâmica temporal para a avaliação da disponibilidade hídrica e seus efeitos na sustentabilidade do sistema da sub-bacia do córrego do Boi Branco – SP**. 2014. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, 2014.

FERREIRA, P. S.; SOUZA, W. M. Modelagem hidroclimática e demográfica para estimativa da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do rio Brígida. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 181-196, 2020.

GODECKE, M. V.; DECKER, A. T. Saneamento básico: estudo do caso de Arroio Grande, RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 18, n. 04, p. 1371-1388, 2014.

GONÇALVES, M. A. **Diagnóstico e Prognóstico das condições de uso da água na região hidrográfica Litoral Centro-Norte**: Relatório Técnico da Etapa A. Vitória: AGERH, 2020. 519p.

GOUVÊA, T.; ZARNOT, D. H.; ALBA, J. M. F. **Caracterização geoambiental e histórico do processo de desenvolvimento da bacia da Lagoa Mirim**. In: FILIPPINI ALBA, J. M. (Ed.). **Sustentabilidade socioambiental da bacia da Lagoa Mirim**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado. 2010. p. 19-30.

GUANDU. **Balanco hídrico**. Comitê Guandu-RJ. 2021. Online. Disponível em: <https://comiteguandu.org.br/balanco-hidrico/>. Acesso em: 11 nov. 2021.

HARTMANN, C.; HARKOT, P. F. C. Influência do canal São Gonçalo no aporte de sedimentos para o estuário da Laguna dos Patos – RS. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, p. 329-332, 1990.

HARTMANN, C.; LAMPARELLI, R. A. C.; ROSA, R.; SANO, E. E. Avaliação da área e inundação do canal de São Gonçalo, através de imagens TM-Landsat 5. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 1986, Gramado – RS. **Anais [...]**. Gramado: INPE, 1986. v. 2, p. 654-659.

HGE. **Hidrologia de Grande Escala - WARM-GIS Tools**. 2020. Online. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/hge/>. Acesso em: 04 abr. 2021.

HUANG, Z.; YUAN, X.; LIU, X. The key drivers for the changes in global water scarcity: Water withdrawal versus water availability. **Journal of Hydrology**, v. 601, n. 126658, p. 1-15, 2021.

JONES, R. Algorithms for using a DEM for mapping catchment areas of stream sediment samples. **Computers and Geoscience**, v. 28, n. 9, p. 1051-1060, 2002.

KAYSER, R. COLLISHONN, W. **Manual teórico-prático da ferramenta WARM-GIS Tools Exemplo de aplicação na Bacia do Rio das Almas**. Porto Alegre, RS: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul: 2017. 39 p.

KAYSER, Rafael Henrique Bloedow. **Sistema de suporte à decisão para gerenciamento de recursos hídricos integrado a um SIG: desenvolvimento e aplicação na Bacia do Rio dos Sinos**. 2011. 123 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

KOUNINA, A.; MARGNI, M.; BAYART, J. B.; BOULAY, A. M.; BERGER, M.; BULLE, C.; FRISCHKNECHT, R.; KOEHLER A.; CANALS, L. M.; MOTOSHITA, M.; NÚÑEZ, M.; PETERS, G.; PFISTER, S.; RIDOUTT, B.; ZELM, R. V.; VERONES, F.; HUMBERT, S. Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 3, p. 707-721, 2013.

KUBIAK-WÓJCICKA, K.; SYLWIA, M. Influence of Climate Changes on the State of Water Resources in Poland and Their Usage. **Geosciences**, v. 10, n. 8:312, p.1-21, 2020.

KUMMU, M.; WARD, P. J.; DE MOEL, H.; VARIS, O. Is physical water scarcity a new phenomenon? Global assessment of water shortage over the last two millennia. **Environmental Research Letters**, v. 5, n.3, p. 1-10, 2010.

LOPES, Vitória Ache Rocha. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada de bacias e sistemas lagunares com influência do Vento**. 2017. 215 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MARKS, D.; DOZIER, J.; FREW, J. Automated basin delineation from digital elevation data. **GeoProcessing**, v. 2, p. 299-311, 1984.

MEDEIROS, M. S.; FLEISCHMANN, A. S.; OLIVEIRA, A. M.; CORATI, B. K.; FAN, F. M.; MARTINBIANCHO, G. K.; JARDIM, P. F.; CORREA, S. W.; SIQUEIRA, V. A.; COLLISCHONN, W. **Manual de exemplo de aplicação do modelo MGB 2018 utilizando o IPH-Hydro Tools**. 2019. 85 p.

MOREIRA, C. Percepciones de la política internacional de Brasil desde Uruguay: el nuevo contexto político de la región. In: HOFMEISTER, W.; ROJAS, F.; SOLIS, L. G. **La percepción de Brasil en el contexto internacional: perspectivas y desafíos**. Konrad Adenauer-Stiftung, Río de Janeiro, Brasil, 2007.

NEW, M.; LISTER, D.; HULME, M.; MAKIN, I. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. **Climate Research**, v. 21, n. 1, p.1-25, 2002.

NIQUINI, L. L.; NUNES, A. A.; PONTES, B. S.; LOPES, C. P. L.; SOUZA, J. C.; DRUMMOND, J. M.; GONÇALVES, R. R. Modelagem hidrológica com o uso de infraestruturas verdes: estudo de caso para a bacia do córrego ressaca, situada no município de Belo Horizonte. **Periódico da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 3, n. 1, p. 42-63, 2019.

NOBREGA, S. N.; RIBEIRO, L. C.; ARAÚJO, W. F.; FARIA, M. M. Definição das unidades de resposta hidrológica na Sub-Bacia do Igarapé Vontade, em região de savana da bacia Amazônica. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 54337- 54345, 2020.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The Extraction of Drainage Networks From Digital elevation data. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, v. 28, n. 3, p. 323-344, 1984.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Routledge, 1987. 435p.

OLIVEIRA, H. A.; FERNANDES, E. H. L.; MOOLER, J. R. O. O.; COLLARES, G. L. Processos hidrológicos e hidrodinâmicos da Lagoa Mirim. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1, p. 34-45, 2015.

OLIVEIRA, Laís Thomazini. **Aplicação do modelo SWAT para simular vazões em uma bacia hidrográfica em Aracruz, ES**. 2014. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2014.

ONU. **World Water Assessment Programme - World Water Development Report: Leave No One Behind**. Genebra, Suíça. 2019. Online. Disponível em: <https://en.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2019#launch>. Acesso em: 11. nov. 2021.

PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias de. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias estudo de caso : bacia do rio Solimões**. 2009. 182 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

PEREIRA, G. S.; CORDEIRO NETTO, O. M.; ALBUQUERQUE, C. M.; ALMEIDA, A. Uso de imagens de satélite para avaliação de estresse hídrico em plantações: aplicação ao caso da sub-bacia do Ribeirão Extrema – Distrito Federal. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017, Florianópolis - SC. **Anais [...]**. 2017. p. 01-08.

PERH/RS. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Sul - Resolução CRH no 141/2014**. 2014. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201708/22164454-resolucao-crh-141-2014-institui-plano-estadual-recursos-hidricos-estado-rs-28-03.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2021.

PFISTER, S.; BAYER, P. Monthly water stress: spatially and temporally explicit consumptive water footprint of global crop production. **Journal of Cleaner Production**, v. 73, p. 52-62, 2014.

PINTO, F. P.; TORMAM, M. F.; BORK, C. K.; GUEDES, H. A. S. & SILVA, L. B. P. Seasonal assessment of water quality parameters in Mirim Lagoon, Rio Grande do Sul State, Brazil. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 92, n. 3, p. 1-15, 2020.

PONTES, P.R.M.; FAN, F.M.; FLEISCHMANN, A.S.; PAIVA, R.C.D.; BUARQUE, D.C.; SIQUEIRA, V.A.; JARDIM, P.F.; SORRIBAS, M.V. & COLLISCHONN, W. MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. **Environmental Modelling & Software**, v. 94, p.1-20, 2017.

POSSA, T. M.; COLLARES, G. L.; BOEIRA, L. S.; JARDIM, P. F.; FAN, F. M.; TERRA, V. S. S. Fully coupled hydrological–hydrodynamic modeling of a basin–river–lake transboundary system in Southern South America. **Journal of Hydroinformatics**, v. 0, n. 0, 2021.

POSSA, Thais Magalhães. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo com influência do vento**. 2019. 123 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

RAMACHANDRA, T. V.; BHARATH, A. H.; SOWMYASHREE, M. V. Monitoring urbanization and its implications in a mega city from space: Spatiotemporal patterns and its indicators. **Journal of environmental management**, v. 148, p. 67-81, 2015.

RAMOS, M. F. L.; WACHHOLZ, F.; NETO, J. C. A. S. Qualidade dos recursos hídricos na comunidade flutuante Lago do Catalão, Iranduba - AM. **Revista Caminhos de Geografia**, v.21, n. 73, p. 98 -115, 2020.

- SAMBONÍ, Andrés Mauricio Munar. **Pareamento Bacia - Lagoa usando modelagem hidrológica - hidrodinâmica e sensoriamento remoto**. 2017. 139 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2017.
- SAMSUDIN, M. F.; AMIN, M. F. M.; OMAR, S. A. S.; RASAT, M. S. M.; SALAM, M. A. Analysis of Water Stress Index (WSI) for District Surrounding Ulu Sat Forest Reserve, Kelantan, Malaysia. In IOP Conference Series: **Earth and Environmental Science**, v. 549, n. 1, p. 01-06, 2020.
- SANTOS, G. B.; VALENTINI, M. H. K.; SILVA, L. A.; FRANZ, H. S.; CORRÊA, B. L.; DUARTE, V. H.; SILVA, M. A.; CORRÊA, M. G.; VIEIRA, B. M.; NADALETI, W. C.; VIEIRA, B. M.. Análise da qualidade das águas do Arroio Moreira/Fragata (RS) através de métodos estatísticos. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.4, p.217-226, 2020.
- SANTOS, G. B.; VALENTINI, M. H. K.; VIEIRA, B. M. Análise de regressão linear aplicada à modelagem de uma nova equação para o monitoramento de qualidade da água: estudo de caso do Arroio Moreira/Fragata. **Revista Ambientale**, v. 13, n. 1, p. 13-27, 2021.
- SANTOS, R. C. L; LIMA, A. S; CAVALCANTI, E. B; MELO, C, de M. Aplicação de índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.23, n.1, p. 33-46, 2018.
- SEAMA. **Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAMA/AGERH, 2018. 231p.
- SEMA. **Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura - Fase A: Diagnóstico** Diagnóstico do Plano de Recursos Hídricos da Bacia hidrográfica do Rio Mampituna. Versão 3, 2020. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/1050-bh-mampituba>. Acesso em: 18 nov. 2021.
- SERRENTINO, C. M. **Cuenca Binacional de la Laguna Merín**. Centro del Agua para América Latina y el Caribe. 2013. Disponível em: <https://www.yumpu.com/s/6aFlkLNtMMIZzKOv>. Acesso: 12 nov. 2021.
- SHUTTLEWORTH, W. J. **Evaporation**. IN MAIDMENT, D. R. (Ed.) Handbook of Hydrology. New York, McGraw-Hill Inc., 1993.
- SILVA, M. M. A. P. M.; FARIA, S. D.; MOURA, P. M. Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (MG). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 133-143, 2017a.
- SILVA, Maytê Maria Abreu Pires de Melo. **Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Piracicaba – MG**. 2014. 164 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SILVA, M. P.; ASSUMPÇÃO, R. F.; KLIGERMAN, D. C. Bacias hidrográficas transfronteiriças: saneamento e saúde ambiental sem fronteiras. **Saúde Debate**, v. 44, n. 124, p. 251-262, 2020.

SILVA, S. M. O.; SOUZA FILHO, F. A.; AQUINO, S. H. S. Avaliação do risco da alocação de água em período de escassez hídrica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 749-760, 2017b.

SILVEIRA, V. R.; VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B.; NADALETTI, W. C.; VIEIRA, B. M. Assessment of the Water Quality of the Mirim Lagoon and the São Gonçalo Channel Through Qualitative Indices and Statistical Methods. **Water, Air & Soil Pollution**, v.232, n.5, p.1-13, 2021.

SIOUT. **Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul - Consulta SIOUT**. 2021. Online. Disponível em: <http://www.siout.rs.gov.br/consulta/#/>. Acesso em: 20 de set. de 2020.

SIQUEIRA, Lauda. **Análise da qualidade da água para fins de abastecimento público no Rio Pardo, município de Ourinhos-SP**. 2016. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Gestão de Recursos Hídricos) - Programa de Pós Graduação em Planejamento Ambiental e Gerenciamento de Recursos, Universidade Estadual Paulista, Ourinhos, 2016.

SIQUEIRA, V. A.; FLEISCHMANN, A. S.; JARDIM, P. F.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. IPH-Hydro Tools: a GIS coupled tool for watershed topology acquisition in open-source environment. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 274-287, 2016.

SIQUEIRA, Vinícius Alencar. **Previsão de Cheias por Conjunto em Curto a Médio Prazo: Bacia do Taquari-Antas/RS**. 2015. 168 f. Dissertação (Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SOARES, J. A. S.; SOARES, R. M. B. S.; BARBOSA, E. M. Análise da evolução do arcabouço legislativo no trato dos recursos hídricos no Brasil até a Lei 9.433/97L. **Nature & Conservation**, v. 12, n. 2, p. 50-59, 2019.

SOPHOCLEOUS, M. A. From safe yield to sustainable development of water resources—The Kansas experience. **Journal of Hydrology**, v. 235, n. 1-2, p. 27-43, 2000.

SOUZA, Ana Raquel Pinzon de. **Simulação de qualidade da água utilizando os modelos WARM-GIS Tools e QUAL-UFMG: estudo de caso do Rio Novo – ES**. 2018. 127 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

SOUZA, J. R.; MORAES, M. E. B.; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. A. Importância da Qualidade da Água e os seus Múltiplos Usos: Caso Rio Almada, Sul da Bahia, Brasil. **REDE - Revista Eletrônica do Prodema**, v. 8, n. 1, p. 26-45, 2014.

STEINKE, Valdir Adilson. **Identificação de áreas úmidas prioritárias para conservação da biodiversidade na bacia da Lagoa Mirim (Brasil-Uruguai): Subsídios para gestão Transfronteiriça**. 2007. 138 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

STEINKE, V. A.; SAITO, C. H. Exportação de carga poluidora para identificação de áreas úmidas sob risco ambiental na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim. **Sociedade & Natureza**, v. 20, n. 2, p. 43-67, 2008.

SUEKAME, H. K.; COMMAR, L. F. S.; GONÇALVES, F. V.; CARVALHO, G. A.; PEREIRA, R. B. Modelagem Hidrológica Combinado à Mudança Climática, Uso e Ocupação do Solo. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 44, n. 35407, p. 1-16, 2021.

VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B.; DUARTE, V. H.; DRÖSE, A.; VIEIRA, B. M.; VIANA, F. V.; CORRÊA, B. L.; GUEDES, H. A. S.; NADALETI, W. C.; VIEIRA, B. M. Monitoring and identification of pollutant groups of the Lagoa Mirim. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.4, p.227-235, 2020.

VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B.; DUARTE, V. H.; FRANZ, H. S.; GUEDES, H. A. S.; ROMANI, R. F.; VIEIRA, B. M. Analysis of the Influence of Water Quality Parameters in the Final WQI Result Through Statistical Correlation Methods: Mirim Lagoon, RS, Brazil, Case Study. **Water, Air & Soil Pollution**, v.232, n.363, p.1-10, 2021c.

VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B.; FRANZ, H. S.; SILVA, L. A.; MACHADO, L. L.; VIEIRA, D. S.; VIEIRA, B. V.; ROMANI, R. F.; LEANDRO, D.; NADALETI, W. C.; VIEIRA, B. M. Análise da qualidade da água da Lagoa Mirim através do IQA e de métodos estatísticos. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 1, p. 375-384, 2021a.

VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G. B.; FRANZ, H. S.; VIEIRA, B. M. Avaliação da qualidade da Lagoa Mirim por meio de métodos estatísticos e índice de violação. **Revista Ambientale**, v.13, n.1, p.28–37, 2021b.

VALENTINI, M. H.; SANTOS, G. B.; VIEIRA, B. M. Multiple linear regression analysis (MLR) applied for modeling a new WQI equation for monitoring the water quality of Mirim Lagoon, in the state of Rio Grande do Sul—Brazil. **SN Applied Sciences**, v.3, n.70, p. 1-11, 2021.

VERDUM, R., BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. UFRGS Editora. 2004.

VIANA, J. F. DE S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B. DA; SILVA, R. M. DA; SOUSA, W. DOS S. Modelagem hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama - PE utilizando o modelo SWAT. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 03, n. 01, p. 155-172, 2018.

VIEIRA, B. M.; NADALETI, W. C.; VALENTINI, M. H. K.; SANTOS, G.; VIANA, F. V.; CORRÊA, M. G.. Avaliação e comparação da qualidade das águas entre o canal São Gonçalo e a Lagoa Mirim. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.2, p.185-196, 2019.

VILLES, V. S.; VELHO, J. P.; CHRISTOFARI, L. F.; LAZZARI, R. Água como bem econômico: dessalinização para o combate da escassez hídrica no agronegócio. **Multitemas**, v. 24, n. 57, p. 217-231, 2019.

Anexos

Apêndices

Apêndice A - Valores adotados neste estudo para os parâmetros calibráveis da simulação.

Sub-Bacia 1											
URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	CS	CI	CB	QB
Floresta + Solo Raso	320,00	0,14	0,05	8,00	0,67	0,00	0,10	20,00	20,00	2000,00	0,01
Floresta + Solo Profundo	380,00	0,14	0,05	8,00	0,67	0,00	0,10				
Agricultura + Solo Raso	230,00	0,14	0,05	8,00	0,67	0,00	0,10				
Agricultura + Solo Profundo	280,00	0,14	0,05	8,00	0,67	0,00	0,10				
Campo + Solo Raso	220,00	0,14	0,05	8,00	0,67	0,00	0,10				
Campo + Solo Profundo	260,00	0,14	0,05	8,00	0,67	0,00	0,10				
Zonas Úmidas	100,00	0,14	0,05	8,00	0,67	0,00	0,10				
Áreas Semipermeáveis	100,00	0,14	0,05	8,00	0,67	0,00	0,10				
Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				

Sub-Bacia 2											
URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	CS	CI	CB	QB
Floresta + Solo Raso	280,00	0,14	0,08	6,00	0,67	0,00	0,10	15,00	20,00	2000,00	0,01
Floresta + Solo Profundo	340,00	0,14	0,08	5,00	0,67	0,00	0,10				
Agricultura + Solo Raso	190,00	0,14	0,08	6,00	0,67	0,00	0,10				
Agricultura + Solo Profundo	240,00	0,14	0,08	5,00	0,67	0,00	0,10				
Campo + Solo Raso	180,00	0,14	0,08	6,00	0,67	0,00	0,10				
Campo + Solo Profundo	220,00	0,14	0,08	5,00	0,67	0,00	0,10				
Zonas Úmidas	60,00	0,14	0,08	6,00	0,67	0,00	0,10				
Áreas Semipermeáveis	60,00	0,14	0,08	6,00	0,67	0,00	0,10				
Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				

Sub-Bacia 3											
URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc	CS	CI	CB	QB
Floresta + Solo Raso	250,00	0,15	0,90	17,00	0,67	0,00	0,10	30,00	10,00	1900,00	0,01
Floresta + Solo Profundo	260,00	0,15	0,90	16,00	0,67	0,00	0,10				
Agricultura + Solo Raso	140,00	0,15	0,90	17,00	0,67	0,00	0,10				
Agricultura + Solo Profundo	160,00	0,15	0,90	16,00	0,67	0,00	0,10				
Campo + Solo Raso	110,00	0,15	0,90	17,00	0,67	0,00	0,10				
Campo + Solo Profundo	120,00	0,15	0,90	16,00	0,67	0,00	0,10				
Zonas Úmidas	40,00	0,15	0,90	17,00	0,67	0,00	0,10				
Áreas Semipermeáveis	20,00	0,15	0,90	17,00	0,67	0,00	0,10				
Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				

Apêndice B – Arquivo Qmes90.txt gerado ao final da modelagem hidrológica.

Minibacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1	0,109	0,123	0,109	0,107	0,124	0,153	0,206	0,205	0,243	0,242	0,203	0,133
2	0,040	0,044	0,040	0,037	0,040	0,044	0,057	0,061	0,071	0,068	0,061	0,048
3	0,039	0,041	0,037	0,035	0,037	0,044	0,054	0,058	0,068	0,066	0,060	0,045
4	0,069	0,069	0,065	0,063	0,064	0,079	0,091	0,107	0,124	0,121	0,111	0,080
5	0,045	0,047	0,044	0,041	0,044	0,051	0,064	0,066	0,078	0,075	0,067	0,052
6	0,125	0,137	0,123	0,118	0,146	0,175	0,230	0,223	0,269	0,258	0,214	0,153
7	0,061	0,062	0,058	0,055	0,062	0,078	0,091	0,097	0,113	0,109	0,097	0,071
8	0,063	0,068	0,063	0,059	0,072	0,085	0,113	0,112	0,133	0,127	0,105	0,077
9	0,048	0,048	0,045	0,044	0,045	0,055	0,063	0,073	0,084	0,082	0,075	0,055
10	0,139	0,168	0,162	0,168	0,241	0,305	0,375	0,380	0,498	0,477	0,350	0,195
11	0,093	0,094	0,090	0,085	0,101	0,120	0,154	0,155	0,177	0,173	0,144	0,108
12	0,047	0,047	0,045	0,042	0,050	0,061	0,078	0,078	0,090	0,087	0,073	0,055
13	0,040	0,041	0,039	0,038	0,045	0,060	0,066	0,074	0,089	0,080	0,071	0,049
14	0,035	0,035	0,034	0,033	0,036	0,046	0,051	0,057	0,069	0,063	0,057	0,042
15	0,059	0,058	0,056	0,052	0,058	0,073	0,087	0,095	0,113	0,105	0,095	0,068
16	0,075	0,073	0,070	0,066	0,074	0,093	0,118	0,120	0,136	0,133	0,116	0,086
17	0,043	0,042	0,041	0,038	0,042	0,052	0,064	0,068	0,080	0,075	0,068	0,049
18	0,063	0,061	0,059	0,057	0,064	0,077	0,098	0,101	0,114	0,110	0,095	0,073
19	0,056	0,054	0,050	0,048	0,053	0,069	0,086	0,090	0,101	0,098	0,086	0,065
20	0,073	0,071	0,069	0,068	0,085	0,113	0,127	0,136	0,170	0,152	0,133	0,087

Minibacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
21	0,061	0,057	0,052	0,049	0,057	0,080	0,098	0,103	0,109	0,111	0,098	0,073
22	0,069	0,068	0,065	0,061	0,068	0,087	0,106	0,115	0,138	0,128	0,114	0,080
23	0,049	0,045	0,042	0,038	0,047	0,066	0,084	0,085	0,094	0,097	0,083	0,059
24	0,036	0,034	0,030	0,029	0,033	0,046	0,056	0,058	0,061	0,062	0,056	0,043
25	0,036	0,033	0,033	0,032	0,040	0,055	0,062	0,067	0,080	0,072	0,064	0,043
26	0,037	0,036	0,035	0,034	0,042	0,057	0,064	0,073	0,086	0,076	0,068	0,045
27	0,031	0,030	0,029	0,027	0,031	0,039	0,044	0,050	0,058	0,053	0,049	0,036
28	0,075	0,071	0,069	0,067	0,087	0,121	0,135	0,144	0,171	0,163	0,140	0,091
29	0,072	0,066	0,060	0,056	0,067	0,094	0,118	0,121	0,132	0,135	0,118	0,085
30	0,051	0,049	0,044	0,042	0,047	0,062	0,075	0,076	0,083	0,082	0,076	0,061
31	0,038	0,036	0,034	0,033	0,039	0,052	0,056	0,064	0,071	0,067	0,061	0,044
32	0,033	0,032	0,030	0,029	0,032	0,042	0,049	0,055	0,064	0,058	0,054	0,039
33	0,096	0,087	0,078	0,070	0,100	0,140	0,198	0,192	0,220	0,223	0,180	0,121
34	0,049	0,046	0,046	0,044	0,057	0,082	0,090	0,102	0,119	0,110	0,095	0,061
35	0,041	0,039	0,037	0,035	0,039	0,055	0,062	0,069	0,081	0,073	0,068	0,049
36	0,047	0,043	0,042	0,041	0,052	0,077	0,085	0,096	0,109	0,105	0,089	0,058
37	0,058	0,056	0,052	0,051	0,055	0,076	0,082	0,095	0,113	0,101	0,094	0,068
38	0,036	0,035	0,033	0,032	0,037	0,050	0,054	0,061	0,067	0,064	0,059	0,043
39	0,093	0,084	0,077	0,068	0,095	0,137	0,189	0,186	0,212	0,215	0,178	0,118
40	0,033	0,030	0,029	0,028	0,033	0,048	0,053	0,062	0,069	0,066	0,058	0,040

Minibacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
41	0,030	0,028	0,026	0,026	0,030	0,041	0,044	0,049	0,054	0,052	0,048	0,035
42	0,064	0,061	0,056	0,056	0,071	0,110	0,126	0,143	0,160	0,153	0,129	0,082
43	0,056	0,051	0,048	0,046	0,052	0,078	0,088	0,100	0,109	0,103	0,095	0,068
44	0,115	0,107	0,096	0,087	0,111	0,158	0,210	0,212	0,242	0,244	0,211	0,144
45	0,036	0,035	0,032	0,031	0,035	0,046	0,053	0,060	0,068	0,063	0,058	0,043
46	0,046	0,046	0,045	0,044	0,056	0,081	0,084	0,099	0,112	0,107	0,093	0,059
47	0,043	0,039	0,038	0,036	0,040	0,057	0,063	0,072	0,079	0,075	0,070	0,052
48	0,160	0,145	0,143	0,131	0,157	0,206	0,287	0,295	0,335	0,317	0,277	0,196
49	0,068	0,071	0,067	0,069	0,080	0,111	0,125	0,149	0,165	0,152	0,135	0,087
50	0,034	0,033	0,031	0,031	0,032	0,043	0,048	0,056	0,063	0,059	0,054	0,041
51	0,060	0,077	0,059	0,078	0,097	0,133	0,125	0,129	0,157	0,170	0,137	0,081
52	0,045	0,040	0,041	0,038	0,045	0,067	0,073	0,085	0,094	0,088	0,081	0,055
53	0,074	0,070	0,073	0,071	0,091	0,118	0,123	0,140	0,165	0,156	0,144	0,096
54	0,089	0,082	0,084	0,078	0,087	0,105	0,134	0,152	0,163	0,149	0,138	0,105
55	0,038	0,037	0,034	0,034	0,036	0,048	0,054	0,063	0,070	0,066	0,060	0,046
56	0,113	0,113	0,110	0,112	0,132	0,150	0,201	0,215	0,240	0,214	0,194	0,146
57	0,053	0,050	0,048	0,046	0,049	0,065	0,074	0,085	0,093	0,085	0,080	0,062
58	0,050	0,049	0,046	0,044	0,049	0,065	0,076	0,090	0,098	0,088	0,082	0,060
59	0,081	0,098	0,084	0,095	0,116	0,158	0,166	0,189	0,210	0,213	0,176	0,107
60	0,080	0,078	0,076	0,079	0,086	0,100	0,129	0,147	0,158	0,141	0,130	0,099

Minibacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
61	0,028	0,032	0,026	0,028	0,033	0,045	0,042	0,050	0,056	0,064	0,052	0,034
62	0,033	0,038	0,031	0,037	0,042	0,058	0,053	0,056	0,066	0,069	0,062	0,041
63	0,038	0,043	0,035	0,040	0,047	0,063	0,059	0,064	0,077	0,079	0,068	0,047
64	0,086	0,086	0,082	0,085	0,097	0,126	0,147	0,180	0,193	0,176	0,159	0,112
65	0,038	0,040	0,038	0,037	0,048	0,059	0,062	0,076	0,087	0,081	0,072	0,048
66	0,044	0,047	0,042	0,036	0,055	0,066	0,069	0,086	0,098	0,095	0,082	0,054
67	0,051	0,068	0,052	0,054	0,079	0,108	0,101	0,125	0,148	0,146	0,118	0,068
68	0,045	0,050	0,045	0,039	0,060	0,072	0,074	0,095	0,108	0,105	0,089	0,055
69	0,000	0,000	0,000	0,000	0,014	0,034	0,128	0,229	0,237	0,152	0,074	0,000
70	0,032	0,030	0,028	0,029	0,034	0,042	0,048	0,046	0,056	0,054	0,049	0,042
71	0,049	0,047	0,043	0,046	0,050	0,066	0,077	0,091	0,098	0,090	0,083	0,063
72	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,020	0,040	0,042	0,023	0,006	0,000
73	0,084	0,087	0,083	0,088	0,105	0,139	0,152	0,181	0,206	0,191	0,164	0,115
74	0,035	0,037	0,032	0,034	0,041	0,053	0,054	0,063	0,072	0,069	0,062	0,044
75	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,005	0,056	0,102	0,097	0,053	0,022	0,000
76	0,043	0,043	0,039	0,042	0,048	0,060	0,067	0,079	0,088	0,082	0,073	0,055
77	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,016	0,030	0,027	0,016	0,006	0,000
78	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,009	0,022	0,025	0,016	0,007	0,004
79	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,006	0,007	0,010	0,006	0,002	0,000
80	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,005	0,008	0,009	0,012	0,010	0,007	0,004

Minibacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
81	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,026	0,036	0,034	0,016	0,006	0,000
82	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,016	0,027	0,022	0,011	0,004	0,000
83	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,008	0,016	0,013	0,009	0,005	0,002
84	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,004	0,019	0,032	0,029	0,017	0,006	0,000
85	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,008	0,068	0,110	0,119	0,080	0,026	0,000
86	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,010	0,018	0,025	0,032	0,018	0,007	0,000
87	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,007	0,008	0,009	0,008	0,006	0,004
88	0,000	0,002	0,002	0,002	0,005	0,013	0,033	0,043	0,042	0,025	0,015	0,004
89	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,005	0,014	0,015	0,018	0,011	0,005	0,000
90	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,041	0,062	0,062	0,037	0,011	0,000
91	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,007	0,008	0,008	0,007	0,005	0,004
92	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,006	0,024	0,035	0,032	0,019	0,006	0,000
93	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,004	0,013	0,014	0,018	0,009	0,005	0,001
94	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,006	0,012	0,016	0,018	0,013	0,007	0,004
95	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,019	0,023	0,025	0,010	0,003	0,000
96	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,004	0,015	0,020	0,024	0,014	0,006	0,000
97	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,004	0,012	0,015	0,014	0,008	0,004	0,002
98	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,010	0,052	0,069	0,081	0,052	0,015	0,000
99	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,012	0,013	0,016	0,008	0,004	0,000
100	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,011	0,013	0,014	0,008	0,005	0,003

Minibacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
101	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,004	0,012	0,017	0,020	0,012	0,006	0,002
102	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,020	0,025	0,034	0,013	0,004	0,000
103	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,004	0,008	0,009	0,004	0,002	0,000
104	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,006	0,010	0,012	0,006	0,004	0,002
105	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,011	0,015	0,014	0,008	0,005	0,003
106	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,004	0,012	0,016	0,016	0,009	0,005	0,003
107	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,007	0,010	0,012	0,006	0,004	0,002
108	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,005	0,008	0,010	0,005	0,002	0,001
109	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,004	0,008	0,013	0,015	0,007	0,003	0,001
110	0,000	0,002	0,001	0,001	0,004	0,008	0,027	0,033	0,037	0,019	0,009	0,002
111	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,007	0,011	0,013	0,007	0,004	0,002
112	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,004	0,012	0,019	0,024	0,011	0,004	0,000
113	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,005	0,007	0,003	0,000	0,000
114	0,000	0,001	0,001	0,000	0,007	0,015	0,041	0,056	0,068	0,040	0,016	0,002
115	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,010	0,015	0,018	0,009	0,003	0,000
116	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,005	0,009	0,011	0,006	0,004	0,002
117	0,001	0,003	0,002	0,002	0,003	0,005	0,017	0,021	0,023	0,013	0,006	0,003
118	0,002	0,004	0,001	-4,470	-2,713	-2,358	-3,834	-0,498	-0,649	-0,118	0,010	0,008
119	0,003	0,003	0,001	-5,107	-2,967	-2,378	-3,643	-1,789	-0,789	-0,302	0,004	0,004
120	0,091	0,100	0,093	0,087	0,094	0,113	0,139	0,155	0,185	0,173	0,152	0,113

Minibacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
121	0,149	0,154	0,144	0,137	0,153	0,196	0,235	0,250	0,299	0,288	0,251	0,179
122	0,179	0,185	0,175	0,166	0,199	0,241	0,316	0,315	0,363	0,351	0,291	0,215
123	0,148	0,148	0,146	0,144	0,176	0,260	0,295	0,329	0,399	0,344	0,295	0,189
124	0,139	0,137	0,132	0,125	0,142	0,194	0,239	0,252	0,301	0,275	0,237	0,168
125	0,173	0,209	0,200	0,209	0,294	0,398	0,480	0,512	0,660	0,606	0,454	0,245
126	0,139	0,133	0,120	0,113	0,137	0,206	0,259	0,267	0,289	0,287	0,249	0,178
127	0,074	0,071	0,069	0,067	0,082	0,112	0,126	0,143	0,165	0,147	0,133	0,090
128	0,124	0,116	0,114	0,111	0,148	0,223	0,250	0,273	0,323	0,305	0,255	0,156
129	0,114	0,106	0,098	0,098	0,120	0,185	0,216	0,240	0,271	0,255	0,220	0,144
130	0,170	0,161	0,144	0,129	0,174	0,242	0,317	0,328	0,374	0,359	0,316	0,211
131	0,131	0,121	0,127	0,121	0,153	0,215	0,230	0,268	0,305	0,285	0,262	0,169
132	0,100	0,103	0,096	0,099	0,112	0,158	0,178	0,213	0,235	0,217	0,194	0,127
133	0,200	0,197	0,193	0,192	0,217	0,259	0,344	0,376	0,420	0,371	0,338	0,250
134	0,208	0,194	0,187	0,175	0,204	0,270	0,365	0,387	0,439	0,407	0,361	0,255
135	0,135	0,149	0,139	0,139	0,181	0,238	0,238	0,297	0,342	0,316	0,275	0,177
136	0,138	0,149	0,136	0,148	0,179	0,247	0,260	0,313	0,359	0,334	0,288	0,193
137	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,024	0,053	0,057	0,032	0,009	0,000
138	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,014	0,018	0,024	0,013	0,001	0,000
139	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,045	0,078	0,064	0,030	0,002	0,000
140	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,051	0,059	0,076	0,040	0,008	0,000

Minibacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maios	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
141	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,068	0,104	0,100	0,058	0,015	0,000
142	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,029	0,036	0,047	0,022	0,002	0,000
143	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,040	0,051	0,055	0,013	0,000	0,000
144	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,025	0,037	0,049	0,016	0,002	0,000
145	0,001	0,002	0,001	0,001	0,005	0,015	0,063	0,084	0,096	0,059	0,021	0,002
146	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,026	0,036	0,007	0,000	0,000
147	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,027	0,045	0,053	0,012	0,000	0,000
148	0,133	0,147	0,135	0,127	0,139	0,172	0,209	0,227	0,274	0,257	0,223	0,165
149	0,296	0,321	0,308	0,298	0,386	0,571	0,685	0,758	0,905	0,806	0,668	0,396
150	0,220	0,230	0,218	0,209	0,252	0,314	0,420	0,412	0,489	0,462	0,376	0,270
151	0,214	0,213	0,209	0,210	0,264	0,383	0,441	0,480	0,587	0,509	0,433	0,269
152	0,197	0,240	0,227	0,237	0,324	0,456	0,544	0,587	0,748	0,684	0,517	0,283
153	0,153	0,142	0,141	0,137	0,185	0,279	0,312	0,348	0,408	0,380	0,319	0,195
154	0,168	0,173	0,159	0,164	0,187	0,264	0,299	0,357	0,398	0,364	0,323	0,215
155	0,356	0,345	0,346	0,351	0,385	0,484	0,641	0,722	0,788	0,680	0,621	0,452
156	0,177	0,206	0,185	0,195	0,247	0,345	0,337	0,416	0,481	0,445	0,385	0,240
157	0,171	0,189	0,169	0,183	0,225	0,301	0,317	0,373	0,428	0,403	0,346	0,238
158	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,008	0,083	0,170	0,154	0,085	0,027	0,000
159	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,064	0,071	0,094	0,037	0,000	0,000
160	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,010	0,158	0,233	0,235	0,138	0,035	0,000

Minibacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
161	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,046	0,050	0,065	0,020	0,000	0,000
162	0,000	0,001	0,000	0,000	0,006	0,019	0,076	0,103	0,116	0,068	0,025	0,001
163	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,036	0,048	0,011	0,000	0,000
164	0,267	0,298	0,271	0,256	0,304	0,389	0,492	0,506	0,608	0,580	0,488	0,332
165	0,279	0,285	0,275	0,261	0,318	0,395	0,530	0,530	0,617	0,584	0,474	0,341
166	0,235	0,229	0,232	0,235	0,303	0,458	0,528	0,584	0,705	0,604	0,508	0,302
167	0,303	0,330	0,319	0,310	0,410	0,621	0,734	0,829	0,984	0,866	0,715	0,414
168	0,264	0,247	0,239	0,238	0,317	0,504	0,575	0,649	0,741	0,690	0,576	0,346
169	0,554	0,538	0,550	0,530	0,600	0,756	1,018	1,131	1,248	1,098	0,982	0,704
170	0,202	0,241	0,211	0,229	0,294	0,426	0,416	0,515	0,603	0,550	0,470	0,282
171	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,117	0,231	0,199	0,104	0,018	0,000
172	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,072	0,090	0,115	0,029	0,000	0,000
173	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,045	0,059	0,009	0,000	0,000
174	0,378	0,440	0,396	0,371	0,460	0,600	0,794	0,785	0,969	0,907	0,734	0,483
175	0,332	0,336	0,328	0,313	0,378	0,469	0,619	0,621	0,729	0,692	0,560	0,403
176	0,306	0,297	0,304	0,302	0,392	0,599	0,687	0,762	0,916	0,779	0,662	0,397
177	0,352	0,382	0,365	0,354	0,469	0,725	0,836	0,961	1,159	1,002	0,828	0,480
178	0,586	0,577	0,587	0,564	0,647	0,831	1,095	1,233	1,361	1,209	1,060	0,749
179	0,241	0,318	0,259	0,303	0,417	0,622	0,603	0,750	0,882	0,792	0,657	0,370
180	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,159	0,330	0,268	0,122	0,008	0,000

Minibacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
181	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,084	0,097	0,122	0,027	0,000	0,000
182	0,448	0,507	0,464	0,435	0,534	0,706	0,907	0,905	1,116	1,052	0,850	0,566
183	0,391	0,394	0,383	0,362	0,440	0,561	0,747	0,749	0,885	0,830	0,676	0,474
184	0,365	0,354	0,359	0,358	0,467	0,714	0,820	0,909	1,098	0,937	0,799	0,476
185	0,463	0,542	0,531	0,555	0,764	1,249	1,440	1,655	2,058	1,781	1,396	0,716
186	0,731	0,735	0,734	0,727	0,836	1,148	1,470	1,703	1,864	1,639	1,437	0,967
187	0,379	0,477	0,414	0,464	0,624	0,938	0,933	1,159	1,350	1,205	1,005	0,580
188	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,195	0,364	0,302	0,123	0,004	0,000
189	0,818	0,885	0,835	0,793	0,975	1,281	1,685	1,719	2,035	1,908	1,534	1,044
190	0,373	0,364	0,375	0,373	0,495	0,774	0,893	0,999	1,201	1,018	0,863	0,502
191	0,795	0,801	0,789	0,787	0,926	1,258	1,611	1,870	2,058	1,815	1,590	1,053
192	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,373	0,597	0,556	0,255	0,018	0,000
193	0,853	0,916	0,868	0,829	1,012	1,341	1,784	1,806	2,152	1,998	1,609	1,087
194	0,583	0,569	0,584	0,585	0,790	1,327	1,492	1,694	2,024	1,732	1,449	0,815
195	0,851	0,851	0,840	0,849	0,985	1,355	1,716	2,022	2,204	1,959	1,711	1,136
196	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,452	0,740	0,670	0,326	0,036	0,000
197	0,837	0,905	0,862	0,816	1,033	1,384	1,857	1,877	2,228	2,053	1,644	1,078
198	0,599	0,581	0,606	0,603	0,828	1,407	1,582	1,810	2,149	1,844	1,535	0,848
199	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,489	0,772	0,703	0,328	0,010	0,001
200	0,964	1,039	0,992	0,938	1,178	1,565	2,112	2,143	2,536	2,314	1,879	1,240

Minibacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
201	0,662	0,634	0,696	0,682	0,953	1,632	1,812	2,117	2,517	2,152	1,790	0,972
202	1,024	1,087	1,038	0,976	1,253	1,660	2,239	2,288	2,707	2,476	1,993	1,313
203	0,659	0,635	0,704	0,705	1,020	1,734	1,925	2,287	2,715	2,306	1,898	0,999
204	1,136	1,181	1,142	1,050	1,373	1,843	2,488	2,539	3,039	2,788	2,238	1,440
205	1,205	1,247	1,206	1,110	1,471	1,980	2,741	2,751	3,284	3,022	2,407	1,541
206	1,212	1,248	1,209	1,113	1,480	2,036	2,799	2,821	3,374	3,089	2,444	1,548
207	1,270	1,303	1,277	1,188	1,577	2,224	3,118	3,130	3,768	3,447	2,719	1,655
208	1,305	1,372	1,326	1,232	1,708	2,520	3,508	3,666	4,325	3,949	3,108	1,758
209	1,588	1,717	1,798	1,700	2,399	3,887	4,891	5,289	6,447	5,707	4,418	2,330
210	1,919	2,052	2,328	2,261	3,234	5,483	6,954	7,777	9,274	8,086	6,298	3,050
211	1,881	2,019	2,319	2,192	3,200	5,490	7,024	7,815	9,341	8,160	6,309	3,028
212	1,788	1,906	2,277	2,205	3,198	5,534	7,053	7,950	9,490	8,197	6,348	2,986
213	1,726	1,850	2,185	2,103	3,134	5,539	7,077	8,009	9,583	8,194	6,314	2,929
214	2,010	2,282	2,586	2,625	3,787	6,364	8,312	9,444	11,254	9,502	7,440	3,546
215	1,846	2,170	2,494	2,522	3,820	6,445	8,463	9,586	11,471	9,687	7,401	3,477
216	2,658	2,961	3,307	3,324	4,756	7,681	9,958	11,542	13,677	11,656	9,065	4,562
217	2,562	2,918	3,270	3,311	4,711	7,710	10,059	11,603	13,773	11,702	9,076	4,494
218	2,409	2,816	3,182	3,238	4,612	7,668	10,095	11,654	13,829	11,705	9,012	4,404
219	2,268	2,718	3,098	3,202	4,561	7,709	10,160	11,657	13,944	11,675	8,959	4,310
220	2,229	2,698	3,075	3,209	4,551	7,724	10,289	11,925	14,322	11,908	9,033	4,242

Minibacia	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
221	2,128	2,653	3,005	3,151	4,522	7,803	10,259	11,871	14,311	11,903	8,960	4,182
222	2,057	2,610	2,960	3,079	4,507	7,765	10,253	11,868	14,360	11,916	8,927	4,151
223	1,927	2,530	2,896	2,948	4,465	7,754	10,281	12,037	14,397	11,910	8,903	4,086
224	1,898	2,512	2,889	3,033	4,568	7,990	10,400	12,522	14,794	12,003	8,959	4,132
225	1,675	2,346	2,684	2,888	4,418	7,908	10,403	12,526	14,707	11,932	8,850	3,952
226	1,646	2,323	2,662	2,883	4,399	7,916	10,426	12,548	14,722	11,969	8,842	3,934
227	1,514	2,215	2,588	2,795	4,334	7,864	10,524	12,793	15,114	12,023	8,792	3,884
228	1,425	2,143	2,548	2,776	4,364	7,831	10,635	12,923	15,403	12,082	8,733	3,862
229	1,376	2,105	2,511	2,703	4,327	7,817	10,580	12,924	15,388	12,159	8,716	3,816
230	1,008	1,892	2,298	2,493	4,247	7,796	10,673	12,844	15,305	11,995	8,469	3,595
231	0,873	1,773	2,207	2,387	4,166	7,744	10,692	12,995	15,419	11,949	8,365	3,432
232	0,871	1,768	2,272	2,383	4,174	7,871	11,222	14,043	16,709	12,394	8,387	3,450
233	0,662	1,677	1,999	2,293	3,983	7,819	11,467	14,148	16,651	12,417	8,340	3,350
234	0,726	1,760	1,767	2,170	4,108	7,600	12,076	14,073	17,294	13,421	8,834	3,250
235	0,725	1,719	1,717	2,038	4,365	7,452	12,796	13,986	17,584	13,934	8,951	3,186
236	0,703	1,670	1,731	2,000	4,272	7,372	12,931	14,138	17,669	14,185	8,932	3,189
237	0,706	1,687	1,646	1,934	4,253	7,333	12,846	14,117	17,791	14,460	9,027	3,149

Apêndice C – Arquivo RESUMO SIAQUA.txt gerado ao final da modelagem hidrológica.

Minibacia	Q90	Qmédia												
1	0,143	0,905	26	0,047	0,311	51	0,094	0,712	76	0,052	0,357	101	0,003	0,212
2	0,046	0,297	27	0,036	0,193	52	0,054	0,391	77	0,001	0,324	102	0,000	0,500
3	0,044	0,240	28	0,095	0,653	53	0,098	0,741	78	0,003	0,256	103	0,000	0,203
4	0,077	0,457	29	0,084	0,549	54	0,100	0,572	79	0,000	0,236	104	0,002	0,202
5	0,051	0,288	30	0,058	0,352	55	0,044	0,236	80	0,004	0,220	105	0,003	0,149
6	0,163	1,001	31	0,044	0,271	56	0,141	0,968	81	0,000	0,375	106	0,003	0,159
7	0,071	0,413	32	0,039	0,214	57	0,059	0,321	82	0,000	0,307	107	0,002	0,181
8	0,081	0,512	33	0,123	0,870	58	0,059	0,325	83	0,002	0,176	108	0,001	0,203
9	0,053	0,309	34	0,064	0,467	59	0,121	0,786	84	0,001	0,317	109	0,002	0,183
10	0,241	1,526	35	0,048	0,259	60	0,094	0,664	85	0,003	0,800	110	0,005	0,316
11	0,113	0,707	36	0,059	0,448	61	0,036	0,255	86	0,001	0,530	111	0,002	0,192
12	0,057	0,345	37	0,067	0,339	62	0,044	0,309	87	0,004	0,164	112	0,001	0,356
13	0,051	0,306	38	0,042	0,260	63	0,049	0,317	88	0,007	0,485	113	0,000	0,200
14	0,042	0,233	39	0,119	0,801	64	0,111	0,673	89	0,001	0,374	114	0,007	0,514
15	0,068	0,372	40	0,039	0,285	65	0,051	0,364	90	0,000	0,480	115	0,001	0,272
16	0,086	0,491	41	0,034	0,206	66	0,058	0,419	91	0,003	0,211	116	0,002	0,203
17	0,049	0,261	42	0,083	0,711	67	0,079	0,628	92	0,001	0,338	117	0,004	0,226
18	0,073	0,453	43	0,064	0,492	68	0,061	0,467	93	0,002	0,323	118	-0,197	0,310
19	0,064	0,363	44	0,142	0,865	69	0,011	1,559	94	0,004	0,223	119	-0,543	0,094
20	0,094	0,575	45	0,042	0,227	70	0,036	0,235	95	0,001	0,292	120	0,110	0,740
21	0,071	0,474	46	0,062	0,449	71	0,058	0,329	96	0,001	0,375	121	0,177	1,145
22	0,081	0,415	47	0,049	0,326	72	0,000	0,359	97	0,003	0,165	122	0,225	1,453
23	0,059	0,394	48	0,190	1,083	73	0,115	0,808	98	0,001	0,506	123	0,202	1,463
24	0,041	0,265	49	0,092	0,604	74	0,045	0,309	99	0,001	0,318	124	0,169	1,058
25	0,044	0,302	50	0,039	0,221	75	0,002	0,803	100	0,003	0,178	125	0,307	2,100

Minibacia	Q90	Qmédia												
126	0,174	1,310	151	0,295	2,108	176	0,440	3,460	201	1,085	10,419	226	5,084	59,086
127	0,093	0,618	152	0,345	2,433	177	0,537	4,189	202	1,419	10,488	227	5,042	61,966
128	0,165	1,314	153	0,205	1,696	178	0,745	5,045	203	1,131	11,164	228	5,056	63,608
129	0,143	1,208	154	0,220	1,456	179	0,427	3,704	204	1,581	11,847	229	5,007	63,789
130	0,213	1,330	155	0,438	3,126	180	0,000	3,199	205	1,685	12,786	230	4,808	64,126
131	0,173	1,336	156	0,263	2,015	181	0,000	2,839	206	1,703	13,085	231	4,677	65,200
132	0,132	0,863	157	0,241	1,723	182	0,602	4,319	207	1,839	14,432	232	4,728	72,161
133	0,243	1,588	158	0,000	1,593	183	0,501	3,481	208	2,012	16,605	233	4,660	73,233
134	0,250	1,436	159	0,000	2,194	184	0,526	4,155	209	2,794	23,972	234	4,704	74,279
135	0,191	1,417	160	0,000	1,860	185	0,870	7,213	210	3,797	35,502	235	4,712	74,595
136	0,196	1,486	161	0,000	1,579	186	0,980	6,883	211	3,775	35,768	236	4,706	74,871
137	0,000	0,673	162	0,008	0,827	187	0,655	5,641	212	3,759	36,473	237	4,633	74,977
138	0,000	0,604	163	0,000	1,302	188	0,000	3,561	213	3,715	36,855			
139	0,000	0,866	164	0,344	2,392	189	1,112	8,003	214	4,386	42,664			
140	0,000	1,557	165	0,360	2,477	190	0,559	4,636	215	4,351	43,670			
141	0,000	0,876	166	0,339	2,629	191	1,079	7,591	216	5,472	51,825			
142	0,000	0,934	167	0,462	3,677	192	0,000	5,624	217	5,479	52,326			
143	0,000	1,025	168	0,362	3,227	193	1,162	8,451	218	5,374	52,708			
144	0,000	0,854	169	0,691	4,635	194	0,902	8,211	219	5,321	53,448			
145	0,006	0,655	170	0,315	2,543	195	1,159	8,126	220	5,331	54,999			
146	0,000	1,018	171	0,000	2,182	196	0,000	6,471	221	5,276	55,212			
147	0,000	0,973	172	0,000	2,580	197	1,172	8,864	222	5,248	55,647			
148	0,163	1,093	173	0,000	1,655	198	0,944	8,849	223	5,179	56,139			
149	0,438	3,381	174	0,518	3,819	199	0,001	6,965	224	5,252	58,344			
150	0,286	1,949	175	0,424	2,859	200	1,340	9,922	225	5,100	58,879			

Apêndice D - Comparativo entre os 3 cenários em base mensal.

