



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS**  
**CURSO DE ENGENHARIA HÍDRICA**



Dieyson Pelinson

**ANÁLISE DA VARIAÇÃO NAS VAZÕES**  
**FRENTE A CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**  
**NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO NEGRO - RS**

Porto Alegre

Julho, 2019

**DIEYSON PELINSON**

**ANÁLISE DA VARIAÇÃO NAS VAZÕES  
FRENTE A CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS  
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO NEGRO - RS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO APRESENTADO  
AO INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO  
GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO  
DE ENGENHEIRO HÍDRICO.

**Orientador: Professor Dr. Rodrigo Cauduro Dias de Paiva**

Porto Alegre

Julho, 2019

### CIP - Catalogação na Publicação

Pelinson, Dieyson  
ANÁLISE DA VARIACÃO NAS VAZÕES FRENTE A CENÁRIOS DE  
MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
NEGRO-RS / Dieyson Pelinson. -- 2019.  
53 f.  
Orientador: Rodrigo Cauduro Dias de Paiva.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto  
de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia Hídrica,  
Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. MGB-IPH. 2. Mudanças Climáticas. 3. Bacia  
Hidrográfica do Rio Negro-RS. 4. Vazão. I. Paiva,  
Rodrigo Cauduro Dias de, orient. II. Título.

DIEYSON PELINSON

ANÁLISE DA VARIAÇÃO NAS VAZÕES  
FRENTE A CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS  
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO NEGRO - RS

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia  
Hídrica da Universidade Federal do Rio Grande  
do Sul defendido e aprovado em 04/07/2019  
pela Comissão Avaliadora constituída por:

---

Prof. Dr. Rodrigo Cauduro Dias de Paiva  
Orientador

---

Eng. Msc. Raíza Cristovão Schuster – SEMA/RS  
Examinadora

---

Prof. Dr. Anderson Luis Ruhoff – IPH/UFRGS  
Examinador

---

Dout. João Paulo Lyra Fialho Brêda – IPH/UFRGS  
Examinador

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a meus pais, pela vida, pela educação, e pelos ensinamentos ao longo de toda minha trajetória até aqui.

Ao meu irmão Dionatan, por ser meu exemplo de coragem, e me mostrar que sempre devemos ir atrás da nossa felicidade.

A minha namorada, e muitas vezes psicóloga, Mayara, por sua paciência e parceria ao longo deste período.

Ao vô Flávio, por deixar uma “semente ambiental” em cada um de nós.

Aos colegas e amigos de curso, que tiveram muita importância para que eu chegasse até aqui, e tornaram os dias de aula muito mais leves.

Aos meus amigos da vida, que torceram por mim e deixavam meus momentos de “folga” muito mais divertidos.

Ao professor Rodrigo Paiva, que me deu a primeira oportunidade de bolsa de iniciação científica e foi meu orientador nesse trabalho.

Aos demais professores do IPH, por sua dedicação e ensinamentos diários.

Ao João Paulo Brêda que forneceu dados para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos colegas do HGE, Neced, SEMA e Mees Engenharia, com quem aprendi muito, e me mostraram a importância da nossa profissão.

O meu muito obrigado a todos, que me incentivaram a me tornar um Engenheiro Hídrico.

## RESUMO

Mudanças climáticas podem ter um significativo impacto sobre o sistema hidrológico em uma bacia hidrográfica, alterando regimes de precipitação e vazão, assim trazendo prejuízos ambientais e econômicos para a região. O presente trabalho teve por objetivo analisar o impacto das mudanças climáticas sobre as vazões na bacia hidrográfica do Rio Negro, no estado do Rio Grande do Sul, utilizando modelos climáticos apresentados no quinto relatório do IPCC (*International Panel on Climate Change*). Dois cenários de mudanças climáticas foram considerados, o RCP 4.5 que é um cenário onde se estabilizariam as emissões de gases de efeito estufa (GEE), e o RCP 8.5, que se caracteriza pelo aumento constante nas emissões. Obteve-se com esses cenários um aumento na temperatura média de 1,6°C e 3,1°C respectivamente. Um aumento também pode ser visto nas precipitações médias e máximas, que chegou a 11% nas médias no cenário RCP 4.5 e 18% nas médias no cenário RCP 8.5. Para simular o comportamento na bacia, foi utilizado o modelo hidrológico MGB-IPH, calibrado e validado para o período de 2000 a 2009. As variações de temperatura e precipitação foram utilizadas para perturbar os dados de entrada do modelo hidrológico, e obter-se as vazões para um período futuro, considerando as mudanças climáticas. Os resultados indicam um aumento na média anual de 19% no cenário RCP 4.5 e 32% no cenário RCP 8.5. Um aumento nas vazões máximas também foi observado, chegando a 23% no cenário RCP 4.5 e 46% no RCP 8.5. Assim, o efeito que a mudança na precipitação média tem sobre a vazão, tem uma razão  $\Delta Q/\Delta P=1,72$  no cenário RCP 4.5, e  $\Delta Q/\Delta P=1,77$  no cenário RCP 8.5.

Palavras-chave: MGB-IPH; mudanças climáticas; bacia hidrográfica do Rio Negro – RS; vazão

## ABSTRACT

Climate change can have a significant impact on the hydrological system in a hydrographic basin, changing precipitation and flow regimes, thus bringing environmental and economic damages to the region. The present study had the objective of analyzing the impact of climate change on the outflows in the Rio Negro basin, in the state of Rio Grande do Sul, using climate models presented in the fifth International Panel on Climate Change (IPCC) report. Two scenarios of climate change were considered, RCP 4.5 which is a scenario where greenhouse gas emissions (GHG) would stabilize, and RCP 8.5, which is characterized by the steady increase in emissions. These scenarios obtained an increase in the average temperature of 1.6°C and 3.1°C respectively. An increase can also be seen in the mean and maximum precipitations, which reached 11% in the means in the RCP 4.5 scenario and 18% in the means in the RCP 8.5 scenario. To simulate the behavior in the basin, the hydrological model MGB-IPH was calibrated and validated for the period from 2000 to 2009. Temperature and precipitation variations were used to disturb the input data of the hydrological model, obtaining the flows to a future period considering climate change. The results indicate an increase in the annual average of 19% in the RCP 4.5 scenario and 32% in the RCP 8.5 scenario. An increase in maximum flow was also observed, reaching 23% in the RCP 4.5 scenario and 46% in the RCP 8.5 scenario. Thus, the effect that the change in average precipitation has on the flow has a ratio  $\Delta Q / \Delta P = 1.72$  in the RCP 4.5 scenario, and  $\Delta Q / \Delta P = 1.77$  in the RCP 8.5 scenario.

**Keywords:** MGB-IPH; climate changes; hydrographic basin of Rio Negro – RS; flow.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da estrutura do MGB-IPH. Fonte: Siqueira et al (2018) .....	17
Figura 2 - Mapa da Bacia Hidrográfica do Rio Negro considerada no estudo, localizada no Rio Grande do Sul. ....	22
Figura 3 - MDE da Bacia Hidrográfica do Rio Negro - RS, obtido a partir do SRTM.....	23
Figura 4 - Minibacias obtidas a partir da discretização da Bacia Hidrográfica do Rio Negro – RS. ....	24
Figura 5 - Unidades de Resposta Hidrológica (URH's), obtidas a partir do Mapa de URH's da América do Sul. ....	25
Figura 6 - Estação Climatológica (INMET), presente na Bacia Hidrográfica do Rio negro – RS. ....	26
Figura 7 - Estações Pluviométricas na região da Bacia Hidrográfica do Rio Negro.....	27
Figura 8 - Disponibilidade temporal dos dados de precipitação. ....	28
Figura 9 - Estações Fluvimétricas obtidas para a área da Bacia Hidrográfica do Rio Negro – RS. ....	29
Figura 10 - Disponibilidade temporal dos dados de vazão.....	29
Figura 11 – Variação dos dados de precipitação, comparando dados MERGE e dados da Estação Pluviométrica- 3154006 (ANA).....	30
Figura 12 - Curva-chave da Estação Fluvimétrica 3154006 (ANA).....	31
Figura 13 - Grade de pontos de modelos climáticos. Fonte: Brêda, J.P.L.F (2019).....	34
Figura 14 - Variação da temperatura ao longo do ano na Bacia Hidrográfica do Rio Negro - RS .....	35
Figura 15 – Precipitação obtida na Estação Pluviométrica – 3154006 .....	35
Figura 16 – Precipitação obtida na Estação Pluviométrica – 3153003 .....	36
Figura 17 - Precipitação obtida na Estação Pluviométrica - 3154001.....	36
Figura 18 - Precipitação média mensal nas estações pluviométricas 3154006, 3154001 e 3153003 .....	37
Figura 19 - Vazão média anual na Estação Fluvimétrica - 79400000 .....	37
Figura 20 - Variação média mensal na Estação Fluvimétrica - 79400000 .....	37
Figura 21 - Hidrogramas simulado e observado - período de calibração do modelo MGB-IPH .....	38
Figura 22 - Hidrogramas simulado e observado aproximado - período de calibração no modelo MGB-IPH .....	38

Figura 23 - Curvas de permanência - período de calibração do modelo MGB-IPH .....	39
Figura 24 - Hidrograma simulado e observado - período de validação do modelo MGB-IPH	40
Figura 25 - Hidrograma simulado e observado aproximado - período de validação do modelo MGB-IPH .....	40
Figura 26 - Curva de permanência - período de validação do modelo MGB-IPH.....	40
Figura 27 - Variação da Temperatura com os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 .....	41
Figura 28 - Variação na precipitação anual frente aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 .....	42
Figura 29 - Variação na precipitação mensal frente aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 .....	42
Figura 30 - Variação da vazão média anual frente aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.....	43
Figura 31 - Variação da vazão máxima anual frente aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 .....	44
Figura 32 - Variação da vazão média mensal frente aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros Fixos - Fonte: Fan, 2011 .....	19
Tabela 2 - Parâmetros Calibráveis - Fonte: Fan, 2011 .....	20
Tabela 3 - Modelos Climáticos utilizados nesse estudo .....	33
Tabela 4 - Variação da precipitação ao longo da série temporal das estações pluviométricas	46
Tabela 5 - Variação da vazão ao longo da série temporal da estação fluviométrica 79400000 .....	47
Tabela 6 - Valores da altura média das árvores inseridos no MGB-IPH .....	52
Tabela 7 - Valores de albedo inseridos no MGB-IPH.....	52
Tabela 8 - Valores de índice de área foliar (IAF) inseridos no MGB-IPH .....	52
Tabela 9 - Valores de resistência superficial inseridos no MGB-IPH.....	52
Tabela 10 - Valores dos parâmetros calibráveis inseridos no MGB-IPH.....	53

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2.OBJETIVOS</b> .....	12
2.1.    Objetivo Geral.....	12
2.2.    Objetivos Específicos.....	12
<b>3.REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
3.1.    Mudanças Climáticas.....	13
3.2.    Modelos Climáticos.....	14
3.3.    Modelagem Hidrológica.....	15
3.4.    Modelo Hidrológico MGB-IPH.....	17
3.4.1. <i>Parâmetros do MGB-IPH</i> .....	18
<b>4.METODOLOGIA</b> .....	21
4.1.    Área de Estudo.....	21
4.2.    Discretização da Bacia.....	23
4.3.    Dados Hidrometeorológicos para Modelagem Hidrológica.....	25
4.3.1. <i>Clima</i> .....	25
4.3.2. <i>Precipitação</i> .....	26
4.3.3. <i>Vazão</i> .....	28
4.4.    Consistência dos Dados.....	30
4.5.    Modelagem Hidrológica.....	31
4.5.1. <i>Calibração e Validação do Modelo MGB-IPH</i> .....	31
4.6.    Cenários e Modelos de Mudanças Climáticas.....	32
<b>5. RESULTADOS</b> .....	35
5.1.    Análise dos Dados Hidrometeorológicos.....	35
5.2.    Calibração do Modelo MGB-IPH.....	38
5.3.    Validação do Modelo MGB-IPH.....	39
5.4.    Variação Hidrometeorológica a partir dos Modelos Climáticos.....	41
5.5.    Análise das Vazões frente aos Cenários de Mudanças Climáticas.....	42
<b>6.DISSCUSSÃO</b> .....	46
<b>7.CONCLUSÕES</b> .....	48
<b>8.BIBLIOGRAFIA</b> .....	49

## 1. INTRODUÇÃO

A água é de extrema importância para diferentes usos, como para o abastecimento público, industrial e agrícola, e sua disponibilidade é dependente de diversos fatores, principalmente a chuva.

A variabilidade da precipitação interfere drasticamente na vazão de rios, já que a porção da chuva que não infiltra no solo ou evapora, esco superficialmente até os cursos d'água. Essa variação pode ser vista de diferentes maneiras, já que o aumento do volume de chuva pode trazer cheias, e a diminuição pode trazer estiagens, ambas trazendo grandes prejuízos ambientais e econômicos para toda a região.

Essa variabilidade vem sendo analisada por cientistas, que indicam isso como um processo de mudanças climáticas, onde o aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, modifica as variáveis representativas do clima, não só as precipitações, mas também a temperatura, umidade do ar, radiação, entre outros. Estas variáveis afetam o comportamento hídrico de uma região, podendo ocorrer significativos impactos sobre o regime hidrológico (Adam, 2011). O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, o IPCC (*International Panel on Climate Change*) reúne, analisa e avalia as informações sobre essas alterações climáticas, e fornece relatórios para que sejam analisados e utilizados em futuras decisões políticas.

As bacias hidrográficas da metade sul do Rio Grande do Sul são exemplo dos problemas que essas mudanças no clima podem causar, onde segundo Gross (2015) estão os municípios do estado que mais decretaram estado de emergência pela falta de chuvas entre 1991 e 2012. Esta região do estado, é atualmente alvo de estudos que visam encontrar possíveis soluções para alavancar o desenvolvimento socioeconômico de municípios que outrora desempenharam importante papel na economia gaúcha. Atualmente, a Metade Sul se apresenta como uma região em profundo processo de estagnação, inclusive enquadrada em programas de desenvolvimento regional, em âmbito nacional (Leivas *et al.*, 2006).

Entre essas bacias está a Bacia Hidrográfica do Rio Negro, formada pelos municípios de Hulha Negra, Aceguá e Bagé, que apresenta cíclicos e graves problemas de déficit hídrico para atender as demandas, principalmente em suas nascentes, em função da pequena expressão de seus mananciais e da carência de estruturas de reserva de água, com reflexos danosos sobre o abastecimento urbano e às lavouras irrigadas, principalmente o arroz (DAEB,

2007), que é a principal fonte da economia. Esses problemas são potencializados nos meses de verão, quando podem ocorrer racionamentos no abastecimento público.

A compreensão dos processos hidrológicos, e os efeitos que as mudanças climáticas tem sobre eles, é fundamental em estudos ambientais, na gestão dos recursos hídricos e em projetos de obras hidráulicas. A importância dessas inter-relações é responsável pelo crescente interesse em estudos hidrológicos e por consequência nos processos através dos quais a água chega aos rios. Assim, a modelagem matemática entra nesse contexto, como ferramenta utilizada no conhecimento mais aprofundado dos fenômenos físicos envolvidos e previsão de cenários (MORAES, 2003).

Assim, modelos hidrológicos chuva-vazão são comumente utilizados para a avaliação das mudanças climáticas sobre a vazão nos cursos d'água, dentre eles o modelo MGB-IPH, que já foi utilizado em diversas aplicações em diferentes regiões do país.

Portanto, estudos que visem entender os efeitos que mudanças climáticas previstas têm nos processos hidrológicos são extremamente importantes para o auxílio, junto as esferas governamentais, em tomadas de decisões futuras de políticas públicas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem por objetivo avaliar a variação nas vazões na Bacia Hidrográfica do Rio Negro, no estado do Rio Grande do Sul, frente a cenários de mudanças climáticas apresentados no quinto relatório científico (AR5) do IPCC.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Análise de tendências de precipitação ao longo dos anos passados, utilizando dados provindos de estações pluviométricas na bacia hidrográfica do Rio Negro - RS;
- Estimativa das modificações no regime de precipitações e temperaturas, a partir de diferentes cenários de mudanças climáticas do IPCC AR5 na bacia hidrográfica do Rio Negro - RS;
- Avaliação de alterações nas vazões na bacia hidrográfica do rio Negro - RS, frente a alterações na precipitação e temperatura.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Segundo IPCC (2001b), modificação climática são as mudanças de clima no tempo, devido a variabilidade natural e/ou resultado das atividades humanas.

As alterações no clima e seus possíveis efeitos tem sido alvo de interesse na comunidade científica a bastante tempo. A Primeira Conferência Climática Mundial, em 1979, acelerou os debates quanto a ciência do clima, estimulando uma série de encontros posteriores para aprofundar esses debates. Assim, em 1988, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, o IPCC (*International Panel on Climate Change*) (Marengo, 2006).

O IPCC tem o intuito de, através de trabalhos científicos, avaliar alterações no clima e os riscos destas alterações para a população. Assim dividiu-se a estrutura do IPCC em três grupos de trabalho, onde o Grupo I é responsável pela base científica, o Grupo II por tratar dos impactos e adaptações a essas alterações, e o Grupo III por estudos para mitigar essas mudanças.

Desde sua criação, o IPCC já publicou cinco relatórios, trazendo estudos que evidenciam mudanças significativas no clima do planeta. O Primeiro Relatório Científico (FAR – *First Assessment Report*) foi publicado em 1990, apenas dois anos após a sua criação, e nele se confirma a evidência científica das mudanças climáticas, com significativo aumento da concentração de Gases de Efeito Estufa (GEE). Esse relatório deu base científica para, em 1992, na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, sediada no Rio de Janeiro (Rio92), ser instituída a Convenção das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*), onde os países industrializados presentes adotaram a meta, não obrigatória, de até o ano 2000, retornar as emissões aos níveis de 1990. O Segundo Relatório Científico (SAR – *Second Assessment Report*), publicado em 1995, atesta que, de acordo com as evidências, há uma perceptível influência humana no clima global. A partir das evidências presentes no SAR, é firmado, em 1997, o Protocolo de Quioto, contendo metas de redução de emissões obrigatórias para os países desenvolvidos. Em 2001, foi lançado o Terceiro Relatório Científico (TAR – *Third Assessment Report*), confirmando e trazendo evidências mais fortes sobre aquilo que foi dito

no SAR, além de afirmar que os anos 1990 foram a década mais quente que se tinha registrado. O Quarto Relatório Científico (AR4 – *Fourth Assessment Report*) foi lançado em 2007, relatando que entre 1995 e 2006 estariam os onze anos mais quentes registrados. Assim em 2014, o IPCC lança seu quinto (AR5 – *Fifth Assessment Report*), e mais recente relatório, afirmando com uma probabilidade de 95% de confiança, que as mudanças nas temperaturas globais estão sendo ocasionadas por atividades humanas.

Desta forma, os relatórios do IPCC contribuíram para a ampliação dos debates, e para clarear as fronteiras sobre alterações no clima.

No Brasil, foram definidas metas de redução de emissões de GEE, definidas na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), pela Lei 12.187/2009, onde se previa uma redução entre 36,1% e 38,9% das emissões nacionais até 2020.

Segundo as projeções do IPCC (2014), alguns dos efeitos dessas mudanças climáticas seriam o aumento de eventos extremos, na intensidade da precipitação, na evaporação e na variabilidade das descargas de rios. Esses efeitos serão diferentes dependendo da região. Krol e Bronstert (2007) identificaram uma tendência significativa de redução nas vazões na região do semiárido do nordeste brasileiro. Já Rosenzweig et al. (2004), preveem que na região sul do Brasil ocorrerá um aumento nas descargas dos rios, devido a um aumento de precipitação, mas essas alterações são muito variáveis às especificidades de cada bacia hidrográfica.

### 3.2. MODELOS CLIMÁTICOS

Para tentar entender os processos que ocorrem na atmosfera, tem se desenvolvido a modelagem climática, onde são usados modelos matemáticos que buscam representar o sistema climático e suas complexas interações entre atmosfera, oceano, superfície terrestre, neve, gelo e o ecossistema global, além da variedade de processos químicos e biológicos (IPCC, 2014).

Com o intuito de se avaliar como os níveis de emissões de GEE podem afetar o clima terrestre, foram desenvolvidos modelos denominados Modelos Globais Atmosféricos (GCM – *Global Climate Models*), que permitem simular o clima presente e projetar o clima futuro, através de diferentes cenários de emissões de GEE, levando-se em conta o desenvolvimento sócioeconômico e as políticas de mitigação implantadas.

Assim, o AR5 traz um conjunto de cenários chamados de RCP (*Representative Concentration Pathways*), que foram projetados para descrever diferentes possibilidades de emissões e concentrações atmosféricas de GEE, emissões de poluentes atmosféricos e padrões

de uso da terra (IPCC, 2014). Os RCP apresentam quatro cenários, um mais otimista, onde as emissões recuariam a partir da metade do século (RCP 2.6), dois cenários de estabilidade (RCP 4.5 e 6.0), onde no primeiro o aumento nas emissões se estabilizaria antes de 2100, e o segundo se estabilizaria no ano de 2100, e ainda um quarto cenário (RCP 8.5), que é o cenário mais pessimista, que se caracteriza pelo aumento constante na taxa de emissões. Os números relativos aos cenários RCP são equivalentes ao incremento radiativo em  $W/m^2$  ao final do século XXI, em comparação com a era pré-industrial.

### 3.3. MODELAGEM HIDROLÓGICA

A modelagem hidrológica é uma técnica que possibilita o melhor entendimento e representação do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, sendo que os modelos hidrológicos possuem grande potencial para caracterizar a disponibilidade hídrica em condições de mudanças no clima ou no uso do solo. “Com o aumento da disponibilidade de computadores a partir do final da década de 1950, criaram-se condições que propiciaram um acelerado processo de desenvolvimento de modelos hidrológicos baseados em conceitos físicos, sendo uma alternativa em relação aos modelos até então existentes, e que utilizavam somente métodos estocásticos” (Tucci, 1998).

Os modelos hidrológicos são formados por um conjunto de equações matemáticas, que visam demonstrar os processos que ocorrem no ciclo hidrológico, como a precipitação, a taxa de infiltração no solo, a evapotranspiração e a vazão de rios. Para isso, deve-se introduzir alguns dados de entrada, como as chuvas, que concentram a maior entrada de água na bacia hidrográfica.

Os principais dados de entrada nos modelos são os dados hidrometeorológicos, esses são normalmente obtidos pelas estações pluviométricas ou meteorológicas. No Brasil, esses dados são obtidos junto a Agência Nacional das Águas (ANA). Porém, muitos dados meteorológicos já podem ser obtidos com o uso de sensoriamento remoto, como umidade do solo e evapotranspiração. Sensores remotos também já são muito utilizados para classificar a cobertura e o uso do solo.

Os dados de tipos de solo, que também são fundamentais nos modelos, por influenciarem processos como a infiltração de água no solo, através da porosidade, podem ser obtidos através de mapas e tabelas.

Modelos hidrológicos do tipo chuva-vazão podem ser classificados de acordo com os conceitos físicos considerados no seu desenvolvimento e com base na abrangência espacial (Tucci, 1998). Assim, os modelos hidrológicos são divididos em:

- Modelo concentrado, onde a bacia é vista como um todo, sendo representada por uma precipitação média e por valores constantes para as variáveis de entrada em toda a bacia.
- Modelo distribuído, que pode ser por sub-bacias, que seguem a drenagem principal, e são utilizadas variáveis conforme os dados de cada sub-bacia, ou pode ainda ser distribuído por módulos, que são divisões em formas geométricas, menores que as sub-bacias, para um maior detalhamento do processo.

Mesmo tendo muitos dados de entrada nos modelos, ainda assim são necessárias algumas calibrações, porém em modelos distribuídos isso pode se tornar um problema, já que não se pode calibrar os parâmetros em cada parte. Para isso, os parâmetros são associados a variáveis conhecidas, como as classes do uso do solo ou tipo de solo.

Esses valores de parâmetros, são modificados repetidas vezes, até que o hidrograma calculado e observado tenham boa precisão, isso é chamado de calibração do modelo. Para isto, utiliza-se a avaliação visual, para se verificar se as vazões calculadas são representativas em períodos de cheia e estiagem, picos e recessão, quando comparados ao hidrograma observado. Adicionalmente, podem ser utilizadas funções objetivo, que procuram quantificar a qualidade do ajuste dos hidrogramas. (Tucci, 1998)

Para facilitar o processo de calibração, foram criados métodos de calibração automática, porém ainda há muitas críticas a essa calibração. Segundo Boyle *et al.* (2000), as funções objetivo, normalmente utilizadas na calibração automática, não contemplam toda a complexidade considerada na calibração manual.

De acordo com Mendes e Cirilo (2001), uma das maiores desvantagens em aplicar modelos distribuídos é que esses utilizam muito mais dados de entrada que os modelos concentrados, e os processos de parametrização e validação são bem trabalhosos. Contudo, os resultados podem não ser compensadores, em relação aos modelos concentrados. Porém, com o uso desses modelos hidrológicos, pode-se simular os efeitos que diferentes intervenções podem causar na bacia, como o desmatamento, a urbanização, a irrigação, entre outros, e assim conseguir avaliar os impactos, quantitativos e qualitativos nos cursos d'água da bacia.

Porém, há algumas limitações na modelagem hidrológica. A primeira vem com os dados hidrológicos, que muitas vezes são poucos, e não precisos. As simplificações matemáticas utilizadas também podem ser fator limitante em alguns processos, já que muitos fenômenos não conseguem ser modelados com exatidão, devido a sua complexidade. Deve-se ter cuidado também com os parâmetros calibráveis, que devem ser condizentes com as características da região, para isso, utilizam-se valores que podem vir de ensaios em áreas experimentais ou através da literatura, com base em trabalhos efetuados na bacia ou em áreas semelhantes.

### 3.4. MODELO HIDROLÓGICO MGB – IPH

O Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH), foi desenvolvido para simular o processo de transformação da chuva em vazão em grandes bacias hidrográficas (Pontes et al, 2015). São consideradas grandes bacias, regiões geralmente maiores que 1000 km<sup>2</sup>.

O MGB-IPH é um modelo distribuído, então pode ser aplicado em regiões onde a chuva e outras características da bacia não podem ser consideradas homogêneas em toda a área, e por isto os métodos clássicos de hidrologia não funcionam adequadamente. O modelo utiliza dados de precipitação, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica, para calcular as vazões dos rios de uma bacia hidrográfica.

O modelo é composto pelos algoritmos do balanço de água no solo, evapotranspiração, escoamentos (superficial, sub-superficial e subterrânea), e escoamento na rede de drenagem. (Collischonn e Tucci, 2001).

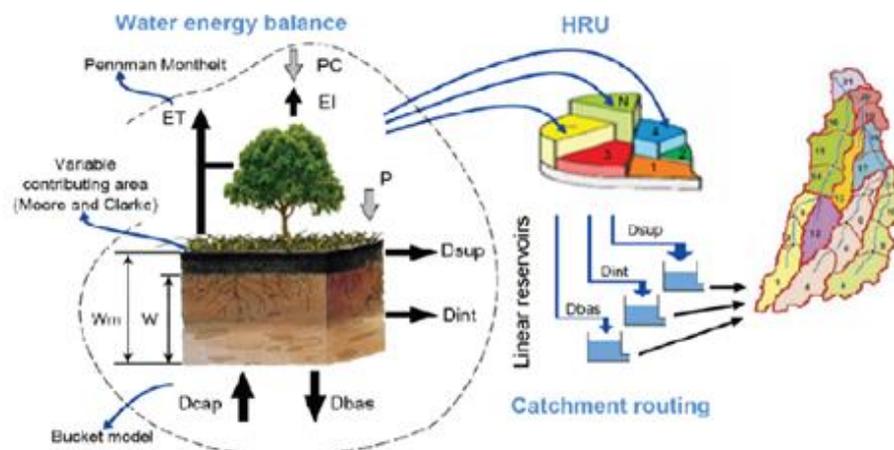


Figura 1 - Representação da estrutura do MGB-IPH. Fonte: Siqueira et al (2018)

No modelo MGB-IPH, a bacia hidrográfica é dividida em pequenas sub-bacias, denominadas minibacias. As minibacias são subdivididas em Unidades de Resposta Hidrológica (URH), que são áreas com comportamento hidrológico similar, que estão relacionados com as características físicas dos solos e com a cobertura vegetal.

Desta forma, as URH's são geralmente definidas através da superposição de dois mapas distintos de uma mesma região: 1) mapa de tipos de solo; 2) mapa de uso do solo ou mapa de uso da terra e vegetação. Porém, adicionalmente podem ser considerados outros tipos de informação, como, por exemplo, a topografia e a litologia local. Estas informações são derivadas a partir de imagens de satélite ou de mapas digitalizados (Fan, 2013).

O modelo também utiliza equações matemáticas para simular os processos hidrológicos. O processo vertical de evapotranspiração utiliza o método de Penman Monteith, e a interceptação, ou retenção da água da chuva pela vegetação, é simulada através de um reservatório de volume dependente da cobertura vegetal. (Fan, 2013)

“O modelo também simula os processos que ocorrem em subsuperfície, de escoamento subterrâneo, percolação ao aquífero e fluxo de água do aquífero para a zona não saturada em uma situação de stress hídrico, através de relações com o volume de água no solo. O processo horizontal de propagação da água na superfície e no aquífero até a rede de drenagem é representado pela propagação da água através de reservatórios lineares, e essa propagação é realizada utilizando o método de Muskingum-Cunge linear”. (Fan, 2013)

Através da capacidade de armazenamento do solo, feita pela relação entre a umidade do solo e a área do solo que pode ser saturada, obtêm-se a geração de escoamento superficial.

Com isso, obtemos a vazão que, ao longo do tempo, passa pelas minibacias da bacia hidrográfica simulada. Detalhes sobre as equações podem ser vistas em Collischonn (2001).

Segundo Adam (2016), o modelo MGB-IPH é apropriado para estudos de avaliação de impactos de mudanças climáticas, por ter uma forte base física, e já foi aplicado com sucesso em outros estudos, como no rio Grande (Nóbrega et al., 2011), no rio Ibicuí (Adam e Collischonn, 2011), no rio Quaraí (Paiva et al., 2010), no rio Paraguai (Bravo et al., 2013), e na bacia hidrográfica da Laguna dos Patos (Schuster, 2019).

### *3.4.1. Parâmetros do MGB-IPH*

O modelo MGB-IPH possui um conjunto de parâmetros fixos e calibráveis que são utilizados em diferentes etapas do processamento. Segundo Fan (2011) os parâmetros fixos das URH's, são aqueles cujos valores podem ser medidos, ou que podem ser relacionados à

vegetação, e não são alterados no processo de calibração do modelo. Esses parâmetros são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros Fixos - Fonte: Fan, 2011

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

Os parâmetros calibráveis, podem estar associados as URH's ou diretamente às minibacias. Esses parâmetros são alterados durante a calibração do modelo, buscando um bom ajuste entre os dados de vazão observados e calculados (Fan, 2011). Esses parâmetros são descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros Calibráveis - Fonte: Fan, 2011

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

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. ÁREA DE ESTUDO

Entende-se por bacia hidrográfica toda a área de captação natural da água da chuva que escoar superficialmente para um corpo de água ou seu contribuinte. Os limites da bacia hidrográfica são definidos pelo relevo, considerando-se como divisores de águas as áreas mais elevadas. O corpo de água principal, que dá o nome à bacia, recebe contribuição dos seus afluentes sendo que cada um deles pode apresentar vários contribuintes menores, alimentados direta ou indiretamente por nascentes. Assim, em uma bacia existem várias sub-bacias ou áreas de drenagem de cada contribuinte. Estas são as unidades fundamentais para a conservação e o manejo, uma vez que a característica ambiental de uma bacia reflete o somatório ou as relações de causa e efeito da dinâmica natural e ação humana ocorridas no conjunto das sub-bacias nela contidas (SEMA/RS, 2019).

A Bacia Hidrográfica do Rio Negro está localizada no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, e pertence a região hidrográfica do Uruguai, com área de drenagem de aproximadamente 1.624 km<sup>2</sup>, tendo Bagé toda sua área urbana dentro da bacia.

A bacia desse estudo não abrange a mesma área da divisão hidrográfica do estado do Rio Grande do Sul, mesmo que possua o mesmo nome, pois a mesma não apresenta estações fluviométricas na parte oeste, o que torna inviável a aplicação desenvolvida neste trabalho. Assim a bacia hidrográfica considerada não agrega os afluentes da margem oeste, como os arroios São Luis, Piraí e Piraízinho, mas recebe o mesmo nome pois o rio Negro, que dá nome a bacia está contido nessa área considerada.



Os eventos críticos de estiagem na Bacia do Rio Negro, na região da Campanha, estão ligados aos períodos de pouca precipitação, associados à baixa capacidade de armazenamento e à grande profundidade dos mananciais subterrâneos de maior potencial, o que torna o regime de vazões muito dependente do regime de chuvas (DAEB, 2007).

Isso explica a necessidade de ampliação de estudos climáticos, que visam compreender a variabilidade da precipitação em todo o território, e conciliar o uso adequado da água na região é de extrema importância para o crescimento e desenvolvimento de toda a bacia.

#### 4.2. DISCRETIZAÇÃO DA BACIA

Para se utilizar o modelo hidrológico MGB-IPH, é preciso fazer a discretização da bacia, utilizando o mapa de relevo da região para dividir a bacia em minibacias, como explicado anteriormente. Para isso, utilizou-se a ferramenta IPH-Hydro Tools (Siqueira et al., 2016), que permite extrair atributos como a rede de drenagem, bacias e minibacias. Através do Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido pelo radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 90 metros, como apresentado na Figura 3.

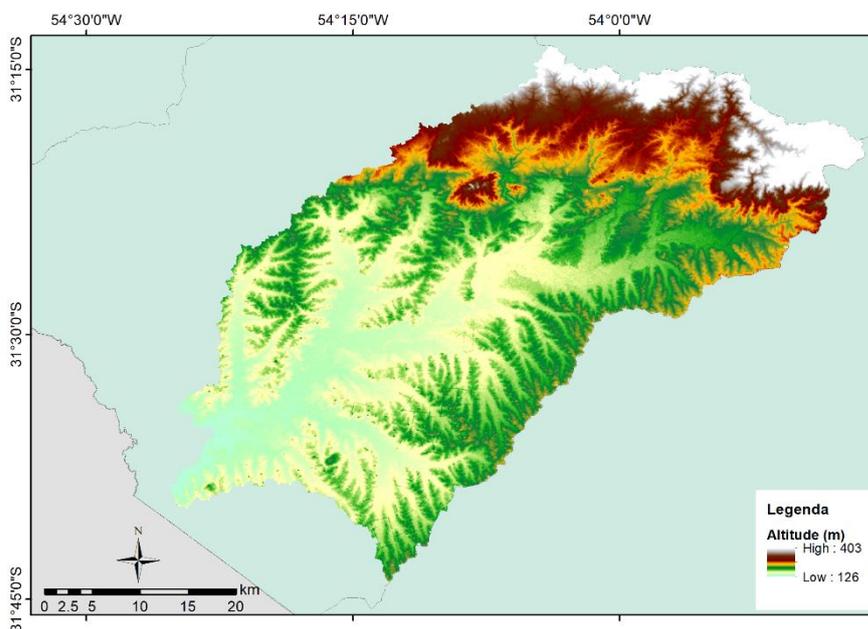


Figura 3 - MDE da Bacia Hidrográfica do Rio Negro - RS, obtido a partir do SRTM.

A partir do MDE, cria-se uma rede de drenagem, que segue as direções de fluxo de acordo com o relevo da bacia. Assim, dividiu-se a bacia em 29 minibacias, onde cada uma representa a área de drenagem de um trecho incremental, como mostra a Figura 4.

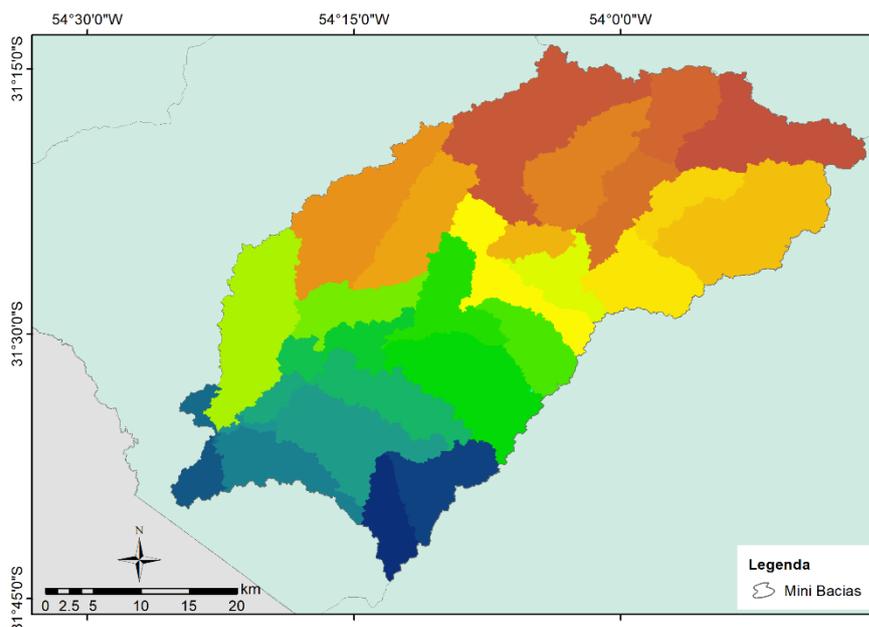


Figura 4 - Minibacias obtidas a partir da discretização da Bacia Hidrográfica do Rio Negro – RS.

Em modelos hidrológicos é de suma importância conhecer-se os tipos e o uso do solo da bacia hidrográfica em estudo, que interferem diretamente no fluxo da água, tanto superficial quanto subterrâneo.

A dificuldade e o trabalho em se obter essas informações, faz com que sejam estudadas diferentes técnicas para se reduzir a complexidade na modelagem hidrológica, e facilitar o acesso a esses dados. A partir disso, é proposto por Fan et al. (2015) uma técnica baseada em Unidades de Resposta Hidrológica (URH), no qual a complexidade da bacia é reduzida através do agrupamento de áreas de mesmo tipo e uso do solo, facilitando a representatividade dos processos hidrológicos, pois essa técnica reduz significativamente o número de parâmetros a serem calibrados.

Para isso, Fan et al. (2015) utilizaram diferentes bases de dados para tipo e uso do solo, para toda a América do Sul. Os tipos de solos foram divididos em rasos e profundos, de acordo com seu potencial de armazenamento e geração de escoamento, e os tipos de solos tiveram suas classes separadas em seis grupos (agricultura, campo, floresta, várzea, água e áreas semi-impermeáveis).

Então após essa divisão, o mapa de uso e ocupação foi combinado com o mapa de tipos de solos, resultando em um mapa de classes de URH que é utilizado como dado de entrada do modelo MGB-IPH.

Para isso, suas informações são extraídas para a área da bacia objeto deste estudo, como é mostrado na Figura 5, onde são apresentadas as URH's presentes na área.

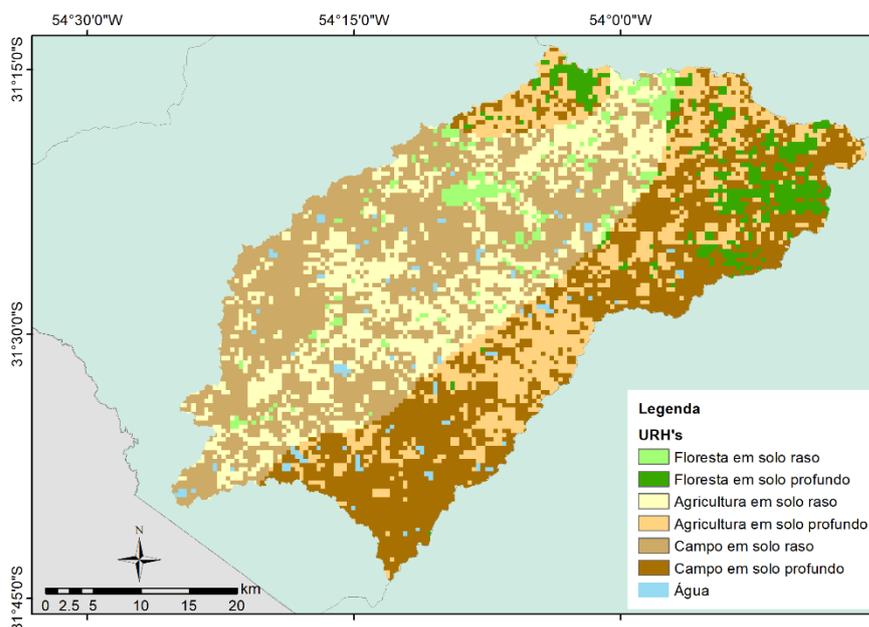


Figura 5 - Unidades de Resposta Hidrológica (URH's), obtidas a partir do Mapa de URH's da América do Sul.

### 4.3. DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS PARA MODELAGEM HIDROLÓGICA

Para se realizar a modelagem hidrológica são necessários uma série de dados de clima, precipitação e vazão. A seguir serão descritas a forma de obtenção das informações hidrometeorológicas necessárias para a modelagem.

#### 4.3.1. Clima

No modelo MGB-IPH uma das etapas de cálculo apresenta a evapotranspiração na área da bacia, e para isso são necessários dados climáticos, como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pressão atmosférica e horas de sol por dia (insolação).

No MGB-IPH existe uma base de dados de normais climatológicas de 1960 a 1990, que foram calculadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para a região da Bacia Hidrográfica do Rio Negro – RS foi utilizada a estação 00083980 – Bagé, pois esta estação climatológica fica dentro da área de estudo.

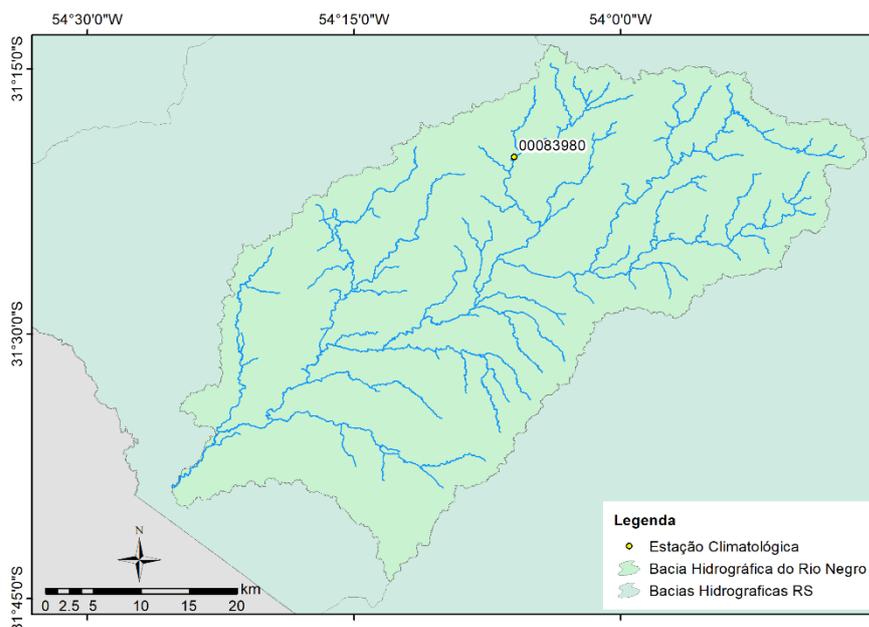


Figura 6 - Estação Climatológica (INMET), presente na Bacia Hidrográfica do Rio negro – RS.

#### 4.3.2. Precipitação

Como mostrado por Rozante et al. (2010), a distribuição espacial das estações de observação de precipitação é muito irregular, tendo sua maior concentração na porção leste do Brasil, e em direção ao centro do continente, a densidade de estações diminui drasticamente ao norte e no sul. Assim, técnicas de sensoriamento remoto são cada vez mais difundidas, para tentar-se solucionar os problemas causados pela falta de informações devidas a falta do monitoramento.

Deste modo, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), uma divisão do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) criou um produto denominado MERGE, que consiste do uso de estimativas de precipitação provindas de satélite com dados medidos em estações pluviométricas de superfície.

Os dados de sensoriamento remoto foram obtidos através das informações da Missão de Medição de Precipitação Tropical (TRMM - *Tropical Rainfall Measuring Mission*), uma missão conjunta entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA), lançada em 1997, que resultou em um conjunto de dados de 17 anos de chuvas e relâmpagos tropicais globais.

Os dados produzidos pelo TRMM são inseridos como pontos de grade, resultando em um total de 52.528 pontos sobre toda a América do Sul. Esses dados são incorporados aos dados de aproximadamente 1500 estações de superfície com dados, ou seja, só são utilizadas estimativas de precipitação do TRMM, onde não existem estações na superfície.

Assim, dados do TRMM e de superfície são interpolados em uma grade regular usando o método de análise objetiva de Barnes, como é melhor explicado em Rozante et al. (2010).

No modelo MGB-IPH existe uma ferramenta para processar e interpolar os dados de precipitação do MERGE. Essa função interpola os dados de precipitação para cada minibacia presente na bacia hidrográfica de estudo, criando um arquivo que é utilizado posteriormente como dado de entrada do modelo hidrológico MGB-IPH.

Optou-se por utilizar essa técnica pela pouca quantidade de estações pluviométricas na bacia, e por essas possuírem muitas falhas, o que comprometeria os resultados da modelagem hidrológica, e conseqüentemente as análises climáticas. A disponibilidade temporal das estações pluviométricas fornecidas pela ANA, e obtidas no portal Hidroweb estão apresentadas na Figura 8.

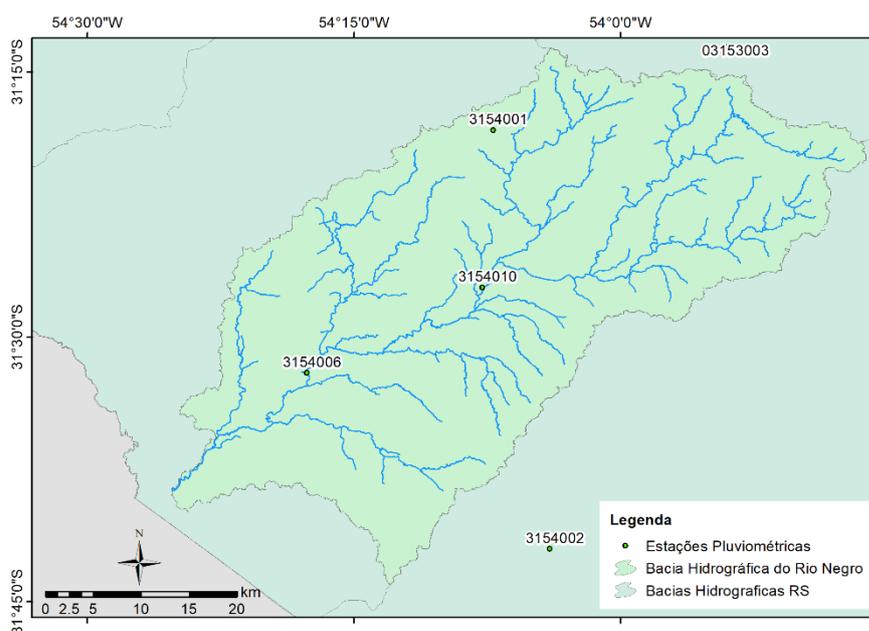


Figura 7 - Estações Pluviométricas na região da Bacia Hidrográfica do Rio Negro.

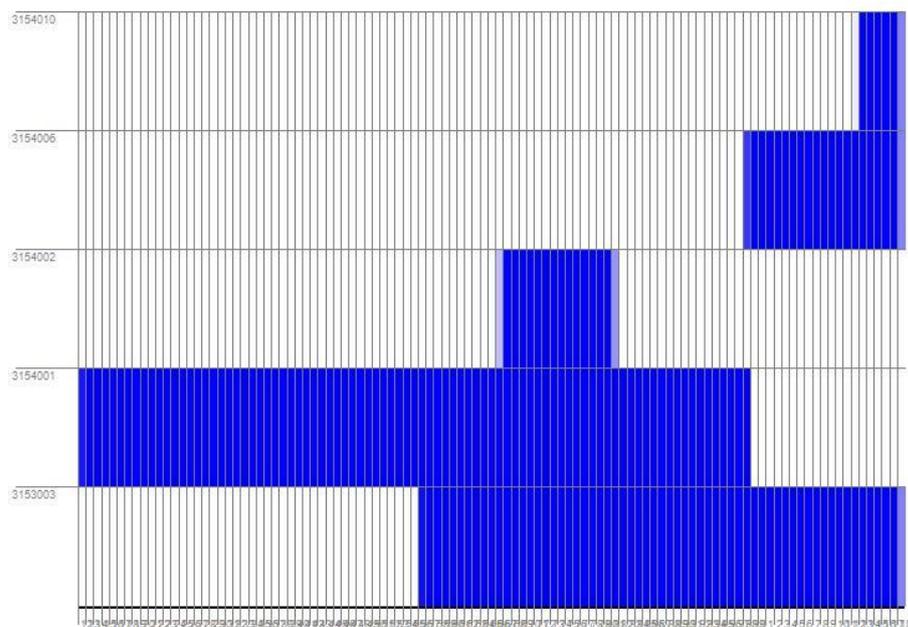


Figura 8 - Disponibilidade temporal dos dados de precipitação.

#### 4.3.3. Vazão

Dados de vazão são imprescindíveis em estudos de modelagem hidrológica, pois estes são utilizados na comparação com os dados obtidos no modelo, e através deles podemos garantir a qualidade da calibração realizada.

Neste estudo foram obtidas as estações fluviométricas presentes dentro da área de estudo fornecidas pela ANA, através do portal Hidroweb, onde é possível obter toda a série histórica da estação.

Na área da Bacia Hidrográfica do Rio Negro - RS são encontradas apenas duas estações fluviométricas, como mostra a Figura 9, e na Figura 10 é apresentada a disponibilidade temporal dessas estações, obtida através do software Super Manejo de Dados 2.1 (HGE, 2018), ferramenta para manejo e visualização de dados hidrológicos.

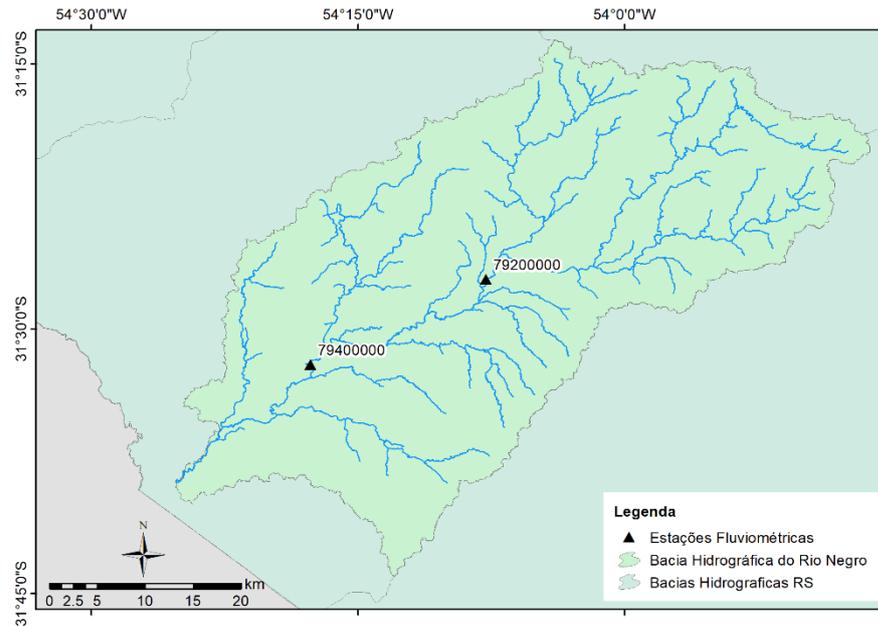


Figura 9 - Estações Fluviométricas obtidas para a área da Bacia Hidrográfica do Rio Negro – RS.

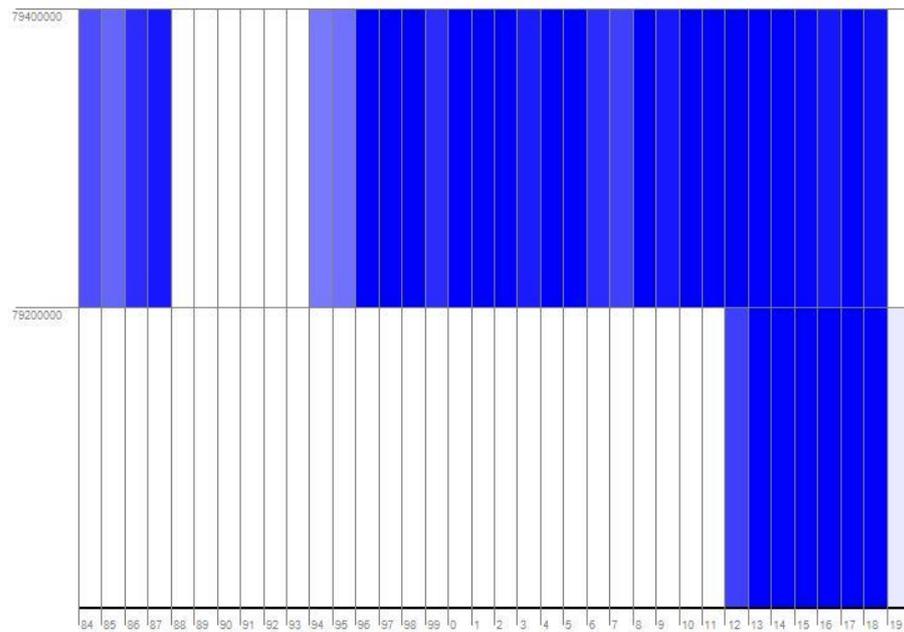


Figura 10 - Disponibilidade temporal dos dados de vazão

Nota-se que a estação fluviométrica 79200000-Fazenda São Jorge, dispõem de dados mais recentes, somente do ano de 2012 em diante, fora do período utilizado neste estudo. Então foi utilizada apenas a estação 79400000-Estância do Espantoso, com medições de dados desde 1984, porém com período sem dados entre 1988 e 1993, para os processos de calibração e validação da modelagem hidrológica.

#### 4.4. CONSISTÊNCIA DOS DADOS

O simples fato de não haver falhas nos dados obtidos, não significa que os dados são totalmente confiáveis, por isso é necessário averiguar a consistência dos mesmos.

Para se garantir que os dados MERGE possuem uma resposta consistente para serem usados na região da Bacia Hidrográfica do Rio Negro – RS, fez-se então um processo para compará-los com os dados de estações de superfície. Comparou-se a média anual das estações pluviométricas existentes na bacia, com as médias anuais do MERGE para a mesma minibacia onde se encontra a estação de superfície.

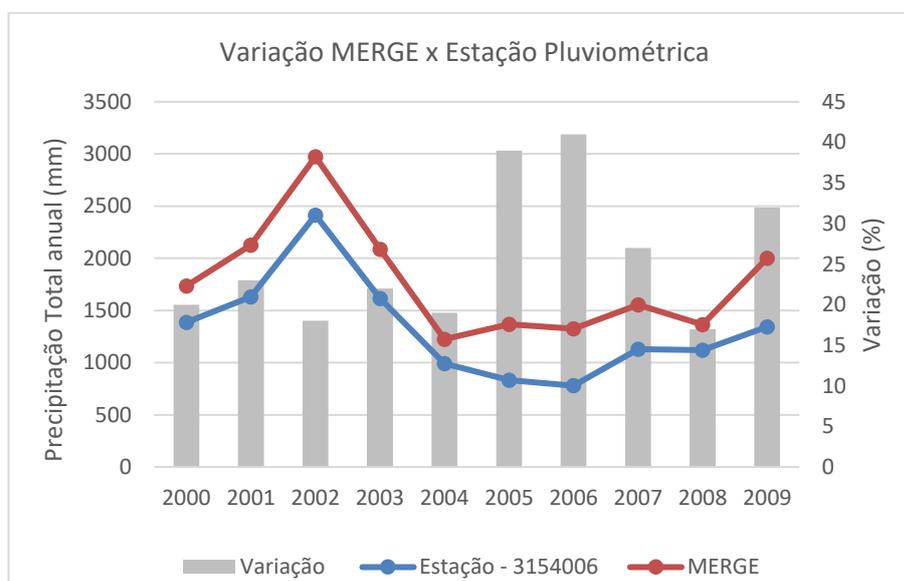


Figura 11 – Variação dos dados de precipitação, comparando dados MERGE e dados da Estação Pluviométrica-3154006 (ANA)

Percebeu-se que os anos com maior viés são os anos que possuem falhas nas medições durante o ano, o que diminui a precipitação total anual, assim aumentando a variação em relação ao MERGE. Nota-se uma variação nos dados do MERGE em torno de 20% superiores aos da estação, nos anos em que não há falhas. Uma das razões para isso, é que os dados MERGE já são uma interpolação para toda a bacia, enquanto os dados da estação são pontuais. Também se comprova o que foi dito por Rozante et al. (2010), que mostrou que os dados MERGE tinham um viés superior em regiões com menor densidade de observação, o que não minimiza sua importância para estudos em regiões pouco monitoradas.

Outro processo feito, foi a análise da curva-chave na estação fluviométrica. Isso é importante na análise da consistência dos dados, pois a curva-chave relaciona o nível d'água à vazão. Essa curva-chave pode ser alterada com o tempo, dependendo de modificações que podem ocorrer no rio, assim é importante verificar se houve alguma alteração dessa curva no

período utilizado para o estudo, para garantir a qualidade dos dados de vazão.

Essa análise é possível utilizando-se os dados de cota e vazão da estação fluviométrica, e verificando-se que esses seguem a mesma tendência.

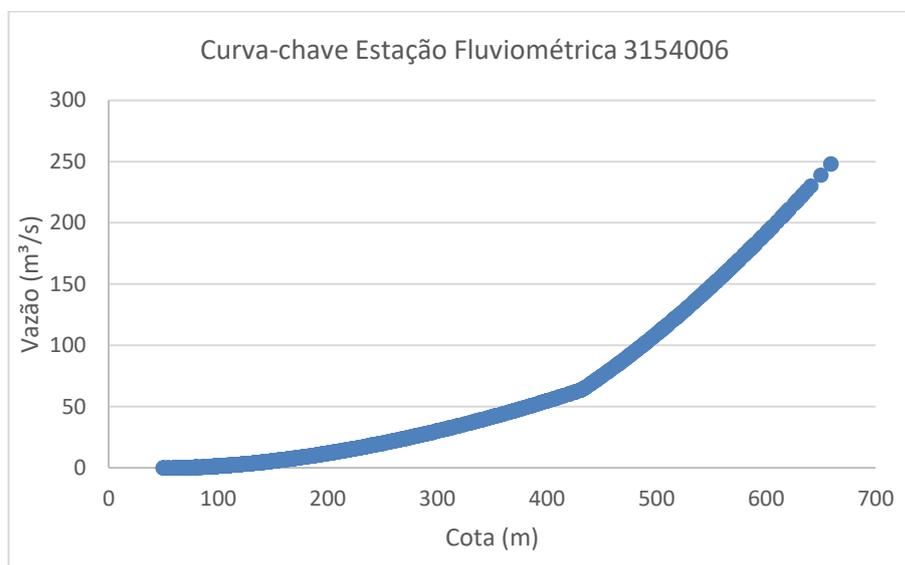


Figura 12 - Curva-chave da Estação Fluviométrica 3154006 (ANA)

Assim, verificou-se que não houve alteração na curva-chave da estação fluviométrica utilizada nesse estudo, garantindo que os dados de vazão obtidos podem ser utilizados.

## 4.5. MODELAGEM HIDROLÓGICA

### 4.5.1. Calibração e validação do modelo MGB-IPH

No procedimento de calibração além de avaliações visuais entre o hidrograma observado e o calculado no mesmo ponto da estação fluviométrica, o MGB-IPH utiliza também medidas de desempenho, ou funções objetivo. Essas medidas de desempenho são o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe das vazões calculadas e observadas ( $R^2$ ), o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe dos logaritmos das vazões calculadas e observadas ( $R\text{Log}$ ), e o erro relativo de volume total dos hidrogramas ( $\Delta V$ ). O coeficiente de Nash ( $R^2$ ) e o coeficiente de Nash para o logaritmo das vazões ( $R\text{log}$ ) possuem um valor máximo igual a 1, que corresponde a um ajuste perfeito entre vazões calculadas e observadas. O valor de  $R^2$  é fortemente influenciado por erros nas vazões máximas, por isso, quando  $R^2$  é próximo de 1, o modelo está obtendo um bom ajuste para as cheias. Já o coeficiente  $R\text{log}$  é mais influenciado pelas vazões mínimas, onde valores próximos da unidade significam que o modelo está simulando adequadamente os períodos de recessão do hidrograma e as estiagens (Collischonn, 2001). Já o valor de  $\Delta V$  expressa a diferença relativa entre a soma de todas as vazões,

calculadas e observadas, e idealmente seu valor deve estar entre -10% e 10%, que pode ser considerado razoável em função das incertezas dos próprios dados medidos (Adam, 2016).

Neste estudo a calibração foi realizada para o período de 01/01/2000 a 31/12/2005, seguida pela validação, com um período de 01/01/2006 a 31/12/2009.

#### 4.6. CENÁRIOS E MODELOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Neste estudo foram considerados dois dos cenários apresentados no AR5 do IPCC, os cenários RCP 4.5 e 8.5. Foram escolhidos estes dois cenários, levando-se em conta que o primeiro apresenta uma situação onde medidas governamentais serão aplicadas, e se estabilizarão as emissões de GEE, e o segundo onde nada será feito, e as emissões continuarão a aumentar na taxa que conhecemos hoje.

Para incorporar aos cenários, foram utilizados modelos climáticos selecionados pelo Grupo I do IPCC, onde cada modelo fornece um conjunto de médias mensais de variáveis climáticas de 1850 a 2100. Nesse estudo avaliou-se a alteração na média climática considerando dois períodos distintos, 1986 – 2005 como período de referência e 2081 – 2100 para período futuro. Os modelos climáticos utilizados foram selecionados por fornecerem as variáveis de entrada necessárias para aplicação no modelo hidrológico MGB-IPH, e são listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Modelos Climáticos utilizados nesse estudo

Modelo Climático	Instituição	País	Resolução (graus)	
			Long	Lat
ACCESS1.0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation/Bureau of Meteorology (CSIRO-BOM)	Austrália	1.25	1.875
ACCESS1.3			1.25	1.875
BCC-CSM1.1	Beijing Climate Center (BCC)	China	2.7906	2.8125
BCC-CSM1.1 (m)			1.1215	1.125
BNU-ESM	Beijing Normal University (BNU)		2.7906	2.8125
CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma)	Canada	2.7906	2.8125
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM-CERFACS)	França	1.4008	1.40625
CSIRO-Mk3-6-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)	Austrália	1.8653	1.875
GFDL-CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL)	EUA	2	2.5
GFDL-ESM2G			2.0225	2.5
GFDL-ESM2M			2.0225	2.5
GISS-E2-H	NASA Goddard Institute for Space Studies (NASA-GISS)		2	2.5
GISS-E2-R			2	2.5
HadGEM2-CC	Met Office Hadley Centre (MOHC)	Reino Unido	1.25	1.875
HadGEM2-ES			1.25	1.875
HadGEM2-AO	MOHC + National Institute of Meteorological Research, Korea Meteorological Administration (NIMR-KMA)	UK + Coreia do Sul	1.25	1.875
INM-CM4	Russian Academy of Sciences, Institute of Numerical Mathematics (INM)	Russia	1.5	2
IPSL-CM5A-LR	Institut Pierre Simon Laplace (IPSL)	França	1.8947	3.75
IPSL-CM5A-MR			1.2676	2.5
IPSL-CM5B-LR			1.8947	3.75
MIROC-ESM-CHEM	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (MIROC)	Japão	2.7906	2.8125
MIROC-ESM			2.7906	2.8125
MIROC5			1.4008	1.40625
MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute (MRI)		1.12148	1.125
NorESM1-M	Bjerknes Centre for Climate Research, Norwegian Meteorological Institute (NCC)	Noruega	1.8947	2.5

Os dados dos modelos são fornecidos em grades regulares de pontos para toda a América do Sul, como mostra a Figura 13, onde essa grade varia conforme o modelo, podendo ser a resolução espacial com quadricula de 1,2 graus a 2,8 graus.

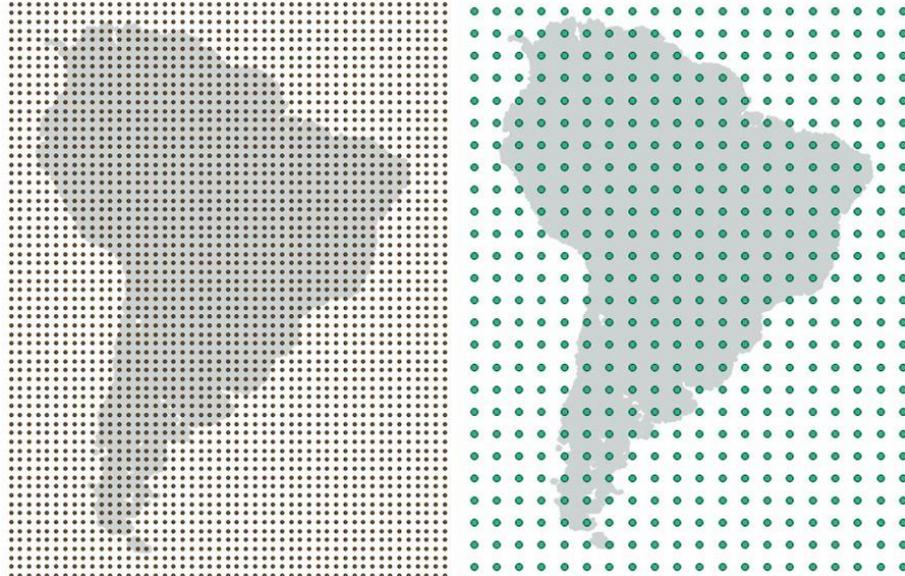


Figura 13 - Grade de pontos de modelos climáticos. Fonte: Brêda, J.P.L.F (2019)

Neste trabalho utilizou-se a média dos resultados de variação climática obtidos nos 25 modelos listados, que passaram por uma correção de viés e após foram interpolados para a bacia de estudo, para os cenários RCP 4.5 e 8.5. Essas médias são utilizadas para a perturbação dos dados do período selecionado para a modelagem hidrológica, que é do ano de 2000 a 2009.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. ANÁLISE DOS DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Nesta etapa, foi feita a análise dos dados de clima, precipitação e vazão observados, obtidos para a bacia.

Através da estação climatológica 00083980 – Bagé, foi possível analisar o comportamento médio da temperatura ao longo do ano, onde a média de temperatura nos meses de verão é de 23°C e no inverno em torno de 12,5°C.

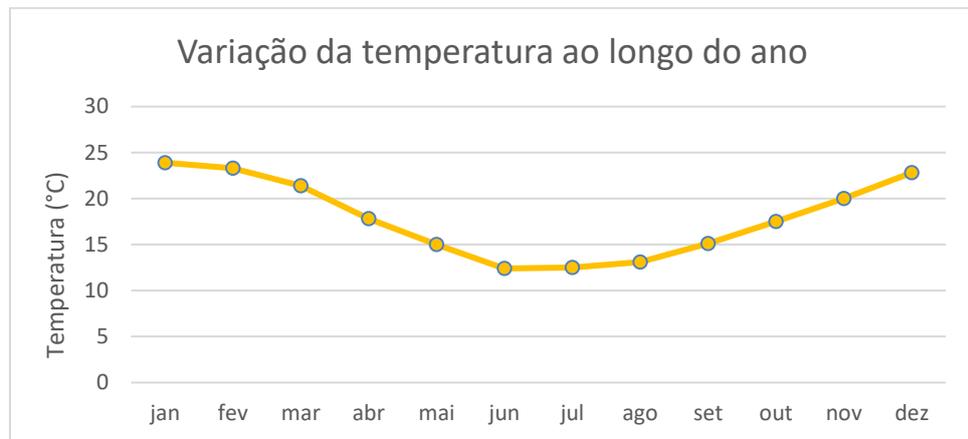


Figura 14 - Variação da temperatura ao longo do ano na Bacia Hidrográfica do Rio Negro - RS

Os dados de precipitação obtidos junto às estações pluviométricas não foram utilizados no modelo hidrológico, porém mesmo com falhas eles ajudam a entender as chuvas na região. A seguir são apresentados os totais anuais para cada uma das estações, com o período variando conforme sua variabilidade temporal.



Figura 15 – Precipitação obtida na Estação Pluviométrica – 3154006

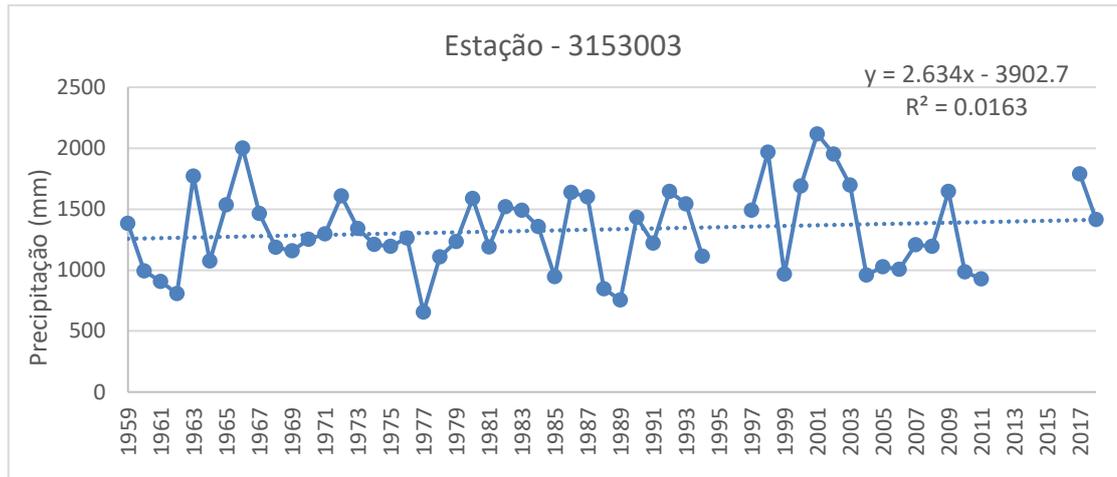


Figura 16 – Precipitação obtida na Estação Pluviométrica – 3153003

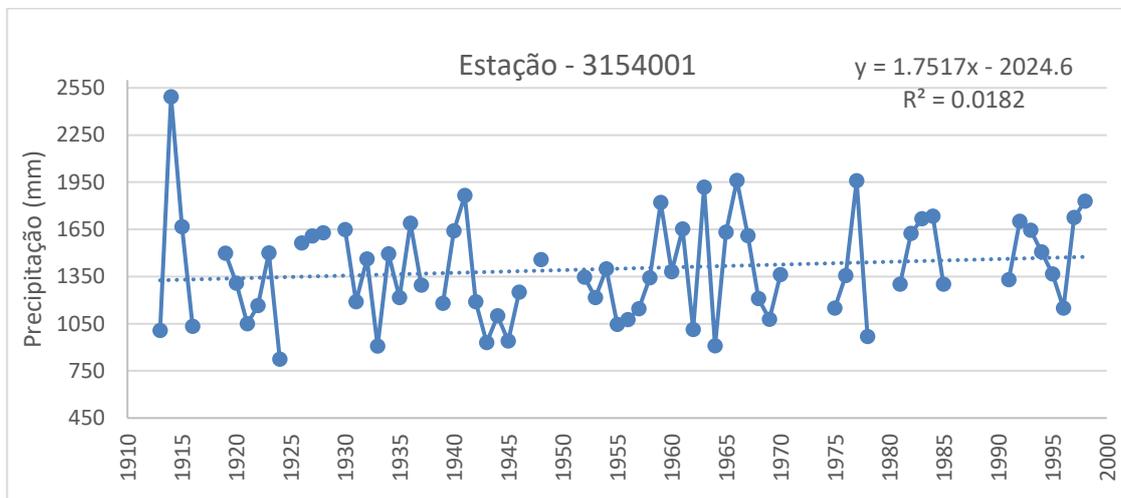


Figura 17 - Precipitação obtida na Estação Pluviométrica - 3154001

Analisando as Figuras 15, 16 e 17, obtemos uma média anual de precipitação em torno de 1400 mm, e nota-se uma tendência de aumento nas médias anuais de precipitação, de acordo com a linha de tendência apresentada. Porém nota-se que existem muitas falhas, pois só foram considerados anos que não obtivessem falhas diárias.

Na Figura 18, observa-se a variabilidade mensal para o período de dados de cada estação. Nota-se que as precipitações médias diárias não variam muito ao longo do ano, mostrando que na região não há uma estação chuvosa, sendo a chuva percebida ao longo de todo ano.

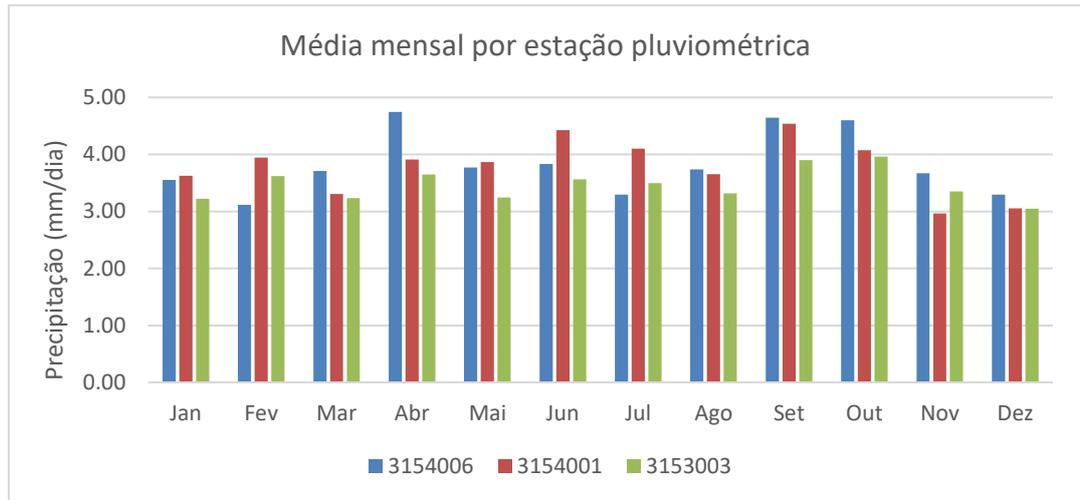


Figura 18 - Precipitação média mensal nas estações pluviométricas 3154006, 3154001 e 3153003

Observou-se também os dados de vazão obtidos na estação fluviométrica 79400000, na Figura 19 analisou-se a média anual da série temporal da estação, e na Figura 20 as médias mensais. Verifica-se uma grande variabilidade da média ao longo dos anos. Já na análise dos valores mensais, observa-se que a vazão é bastante reduzida nos meses de verão, coincidindo com os meses mais quentes.

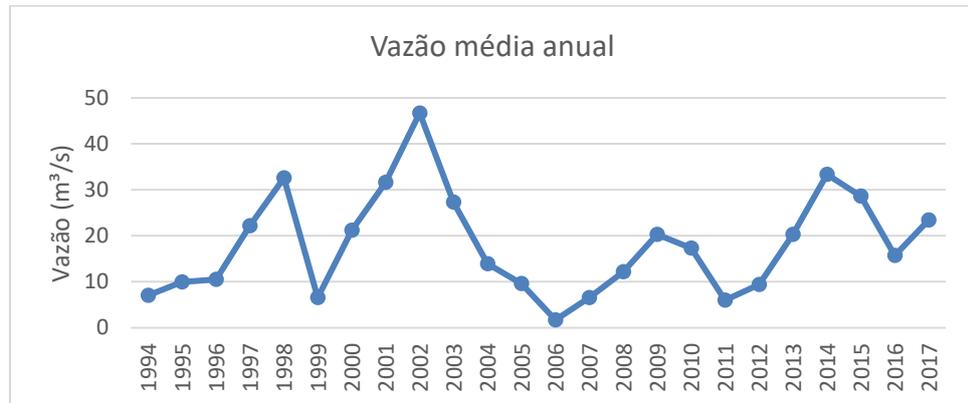


Figura 19 - Vazão média anual na Estação Fluviométrica - 79400000

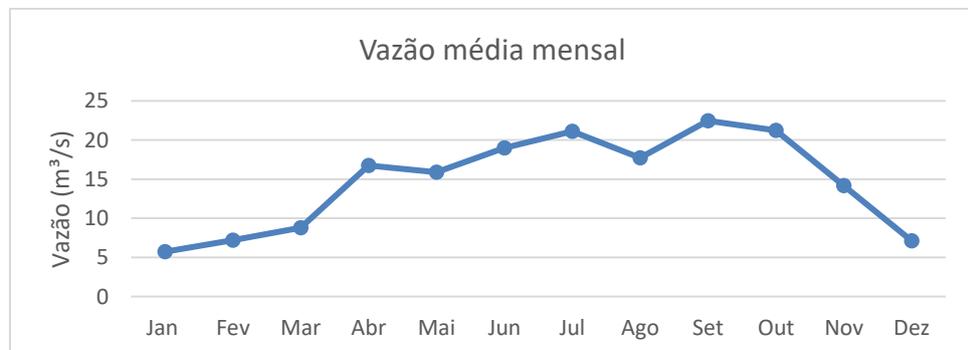


Figura 20 - Variação média mensal na Estação Fluviométrica - 79400000

## 5.2. CALIBRAÇÃO DO MODELO MGB-IPH

Para a calibração do modelo MGB-IPH, utilizou-se os dados de entrada citados anteriormente, juntamente com a definição dos parâmetros fixos e calibráveis do modelo.

Para os parâmetros fixos adotados foram consideradas as sugestões inseridas no próprio modelo e no Manual do MGB-IPH (2019), como apresentado nas Tabelas em anexo.

Para os parâmetros calibráveis, iniciou-se também com valores apresentados na própria interface do modelo. Esses parâmetros foram sendo alterados conforme as etapas da calibração manual, até que a mesma foi considerada satisfatória. Assim, os valores dos parâmetros calibráveis são os apresentados na Tabela em anexo.

Através dos dados de entrada, juntamente com os parâmetros fixos e calibráveis, foi possível a calibração do modelo para o período de 01/01/2000 a 31/12/2005, como mostra a Figura 21.

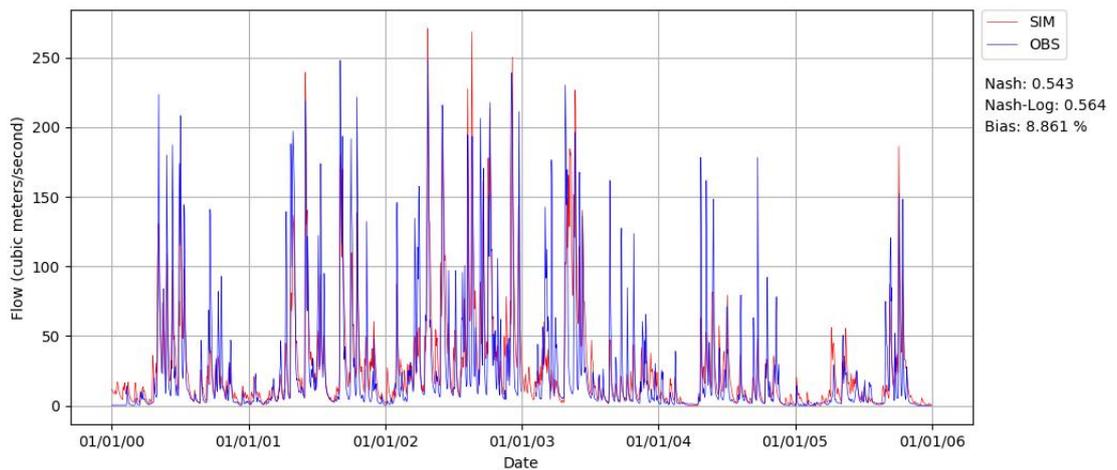


Figura 21 - Hidrogramas simulado e observado - período de calibração do modelo MGB-IPH

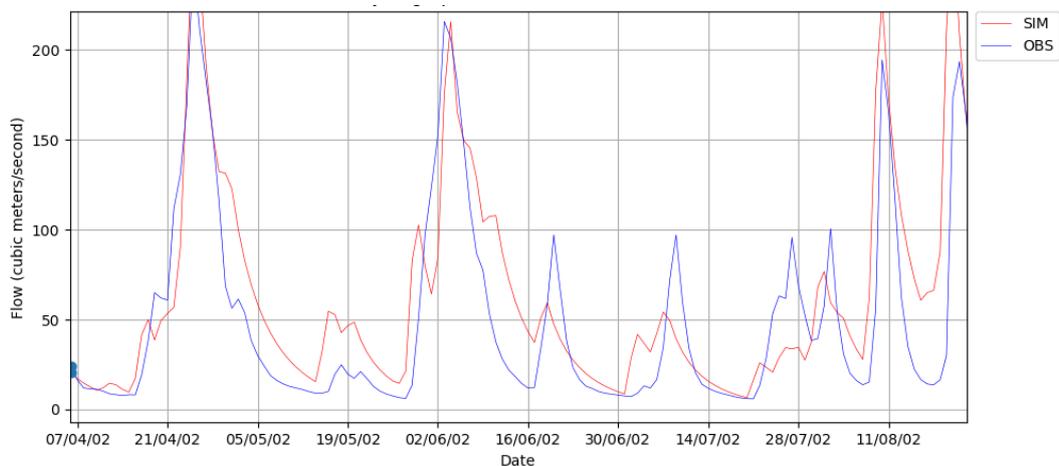


Figura 22 - Hidrogramas simulado e observado aproximado - período de calibração no modelo MGB-IPH

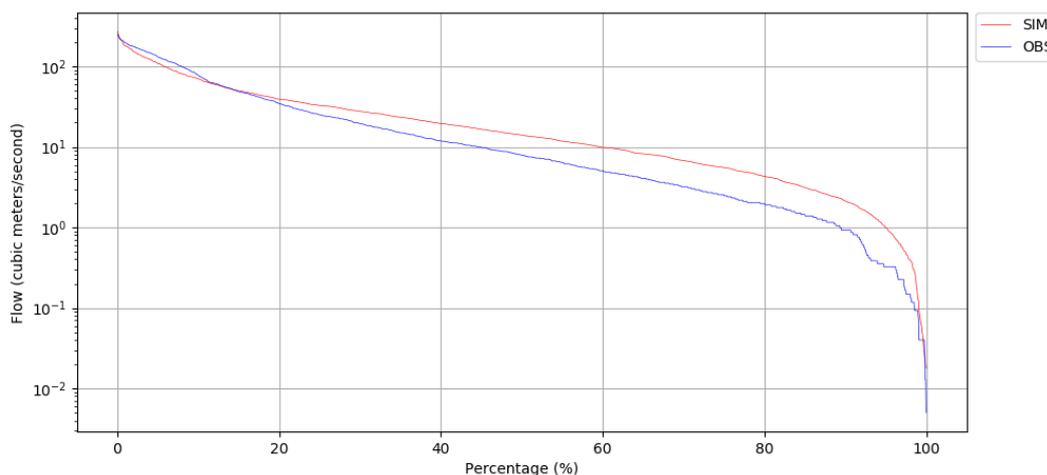


Figura 23 - Curvas de permanência - período de calibração do modelo MGB-IPH

Observando-se os hidrogramas, nota-se que existem alguns picos que superestimam e outros que subestimam as vazões observadas. Já observando a curva de permanência, percebe-se que as vazões simuladas são maiores que as observadas em vazões menores que 40 m<sup>3</sup>/s, essas que ocorrem em cerca de 80% do tempo.

Vemos pela Figura 21, que o R2 possui um valor de 0,54 e o Rlog igual a 0,56, o que demonstra que o modelo é considerado bom, para esse tipo de aplicação. Além disso, observa-se que o  $\Delta V$  tem valor de 8,8%, que é considerado bom pois está abaixo de 10%.

A partir disso, passou-se para a etapa de validação, para confirmar que para um período diferente do utilizado anteriormente, os parâmetros utilizados no modelo também são satisfatórios.

### 5.3. VALIDAÇÃO DO MODELO MGB-IPH

O período de validação, como o próprio nome indica, serve para validar aquilo que foi feito na calibração. Para isso foi utilizado o período de 01/01/2006 a 31/12/2009.

Nota-se que o R2 ficou com um valor ainda melhor, acima de 0,65. Porém percebe-se que o valor de Rlog ficou muito baixo, abaixo de 0,5, o que mostra que o modelo não é tão satisfatório para vazões baixas de estiagens. O que também é possível verificar pela análise da curva de permanência (Figura 26). Analisando a diferença relativa entre a soma de todas as vazões, nota-se uma melhora, quando comparada ao período de calibração.

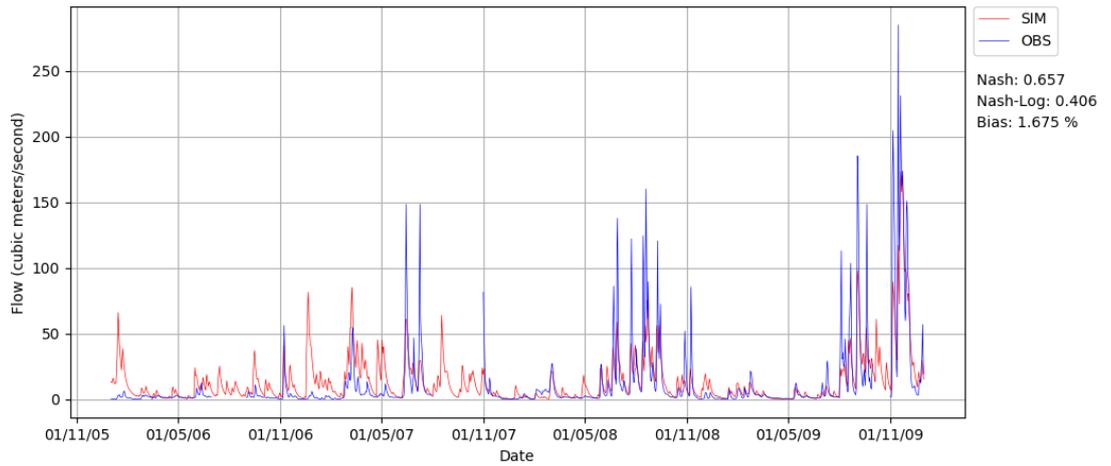


Figura 24 - Hidrograma simulado e observado - período de validação do modelo MGB-IPH

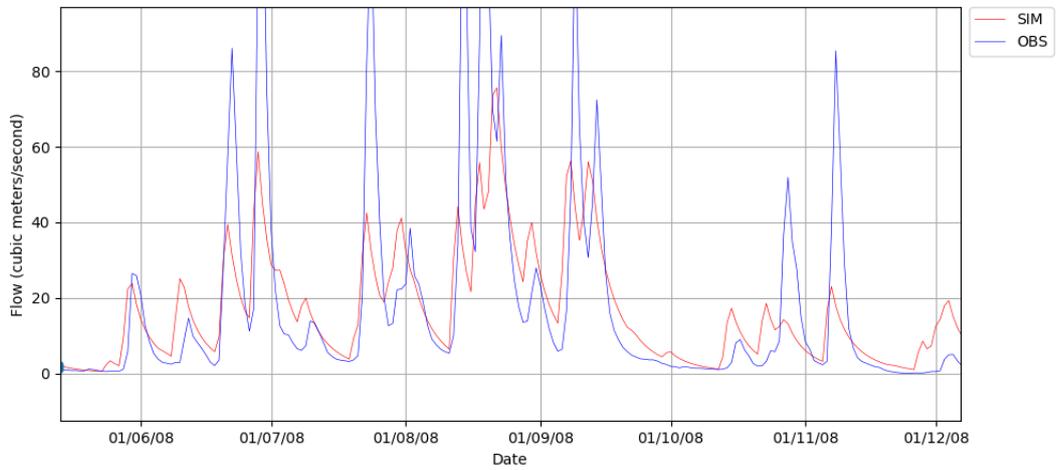


Figura 25 - Hidrograma simulado e observado aproximado - período de validação do modelo MGB-IPH

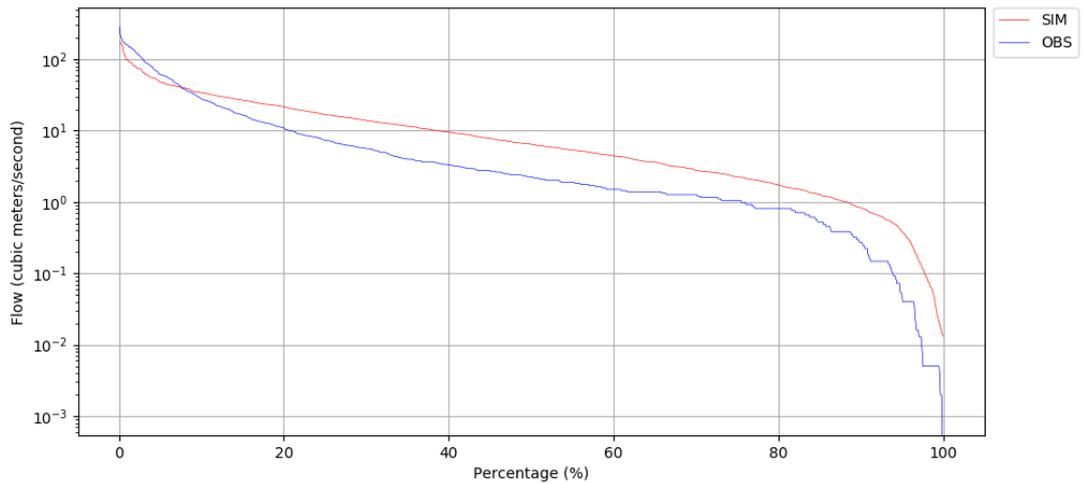


Figura 26 - Curva de permanência - período de validação do modelo MGB-IPH

Assim, analisando os gráficos comparativos de vazão observada e vazão calculada, os resultados são considerados satisfatórios, principalmente para vazões médias na bacia.

## 5.4. VARIAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA A PARTIR DOS MODELOS CLIMÁTICOS

A partir dos modelos climáticos citados anteriormente, foi feita a média dos resultados e estes foram interpolados para a área da bacia. Assim, através das perturbações dos dados do período simulado, foram obtidas as alterações no clima e nas precipitações para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.

Nota-se um aumento na temperatura média anual de cerca de 9% no cenário 4.5 e de 18% no cenário 8.5, confirmando que um aumento na concentração de GEE na atmosfera elevaria a temperatura na bacia, que é notado principalmente no cenário 8.5, que é o mais extremo. Essa variação é vista na Figura 27.

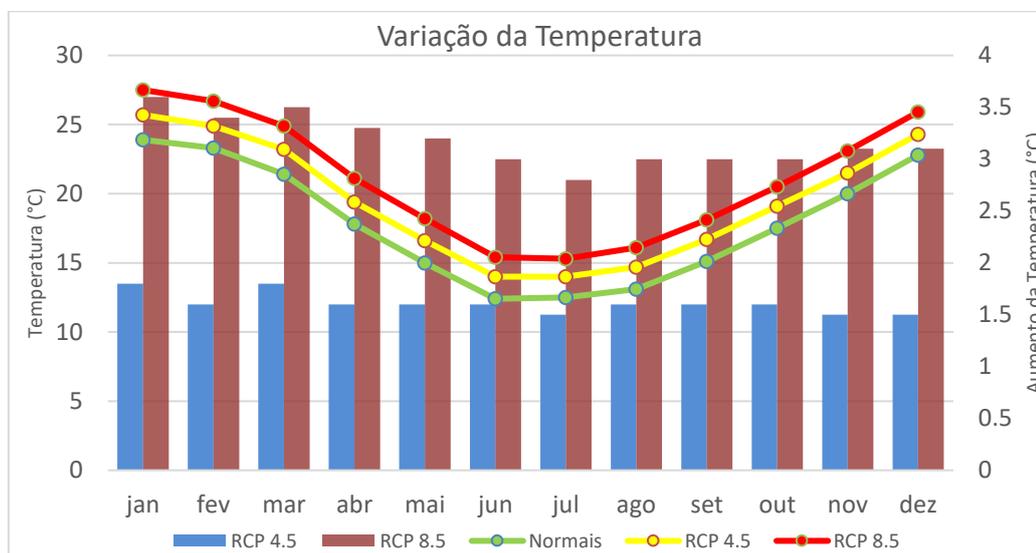


Figura 27 - Variação da Temperatura com os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5

Verifica-se também que nos meses de verão ocorre o maior aumento da temperatura, chegando a 1.8°C no mês janeiro no cenário 4.5, e até 3.6°C no mesmo mês considerando o cenário 8.5.

Analisou-se também a variação na precipitação em ambos os cenários, nas médias anuais e mensais, como apresentado nas Figuras 28 e 29. Em ambos os cenários, notou-se um aumento nas precipitações.

No cenário RCP 4.5 ocorre um aumento médio de 11% na precipitação média anual no período futuro, como é visto na Figura 28. Já no cenário RCP 8.5, o aumento é ainda maior, como mostrado na Figura 28, chegando a média de 18% nas médias anuais.

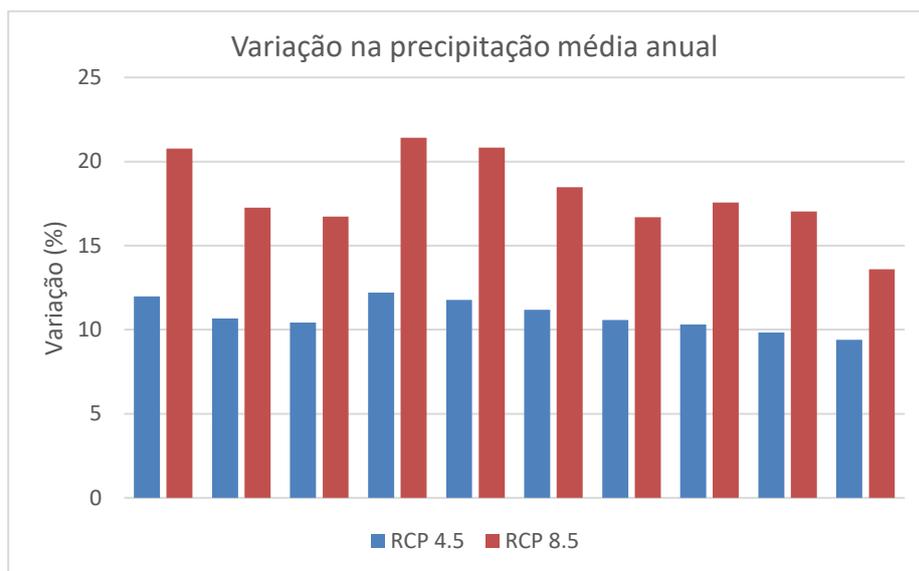


Figura 28 - Variação na precipitação anual frente aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5

Analisou-se além da variação anual, como a precipitação se altera ao longo do ano. Pela Figura 29, nota-se que existe uma variação entre os dois cenários, não apresentando a mesma tendência de aumento ao longo do ano.

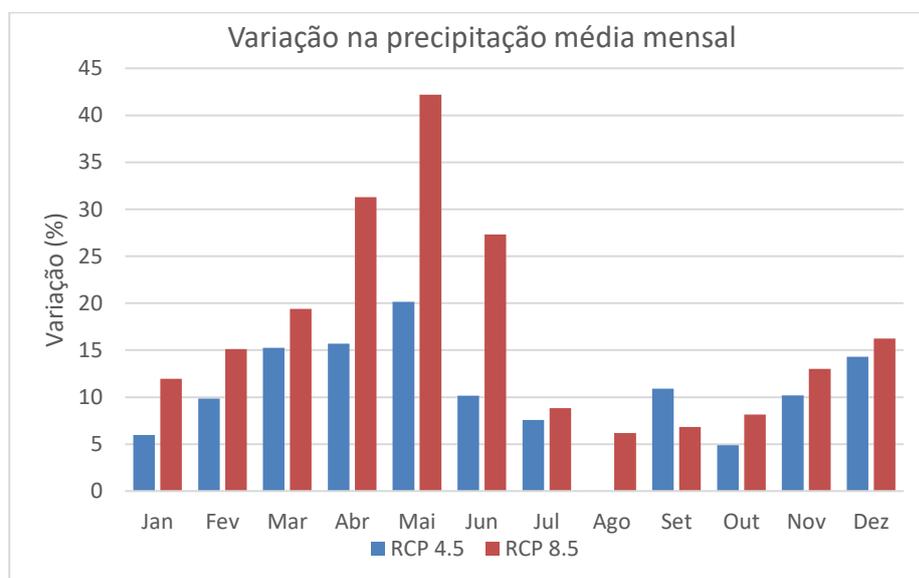


Figura 29 - Variação na precipitação mensal frente aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5

## 5.5 ANÁLISE DAS VAZÕES FRENTE AOS CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A partir das anomalias obtidas para o clima e para as precipitações, criaram-se novos arquivos de entrada para o modelo MGB-IPH, mantendo-se os parâmetros utilizados para a

calibração e validação do modelo, como descrito anteriormente. Assim, obteve-se uma série de vazões futuras para a bacia hidrográfica do Rio Negro – RS.

Para possibilitar uma análise mais específica de toda a série, foi feita uma verificação da vazão média anual. Para isso, fez-se a média da vazão anual para cada uma das 29 minibacias, e para cada um dos cenários.

No cenário RCP 4.5, as vazões médias tiveram um aumento de 19% para o período, enquanto para o cenário RCP 8.5, esse aumento chegou a 32%. Na Figura 30 vemos a variação da média das vazões para cada cenário e a porcentagem da variação em cada ano.

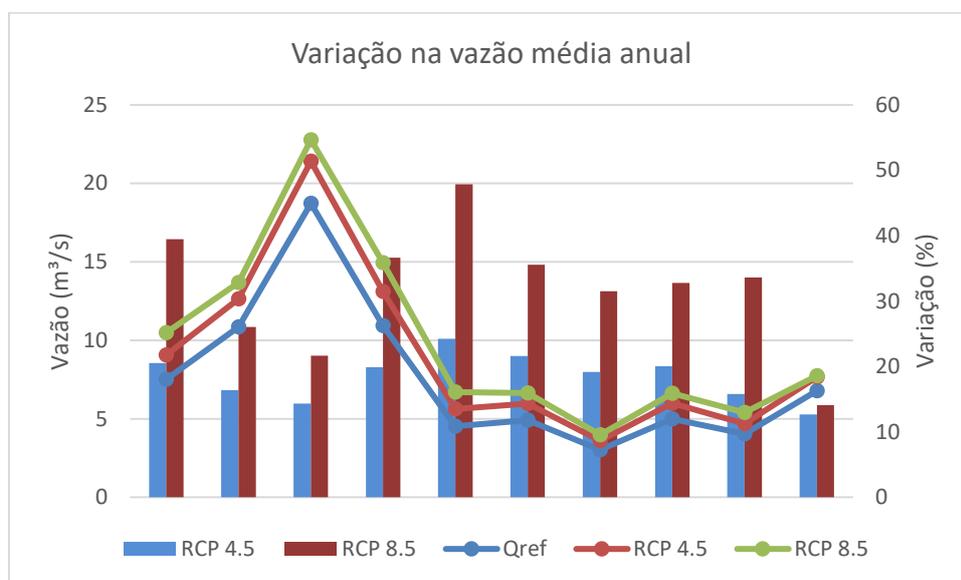


Figura 30 - Variação da vazão média anual frente aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5

Afim de conhecer-se o efeito que o aumento da concentração de GEE na atmosfera terá sobre as vazões máximas, fez-se o mesmo procedimento que para as vazões médias, porém, levou-se em conta as máximas vazões anuais. Com isso, mostrou-se um aumento de 23% nas vazões máximas no cenário RCP 4.5 e de 46% no cenário RCP 8.5, como mostrado na Figura 31.

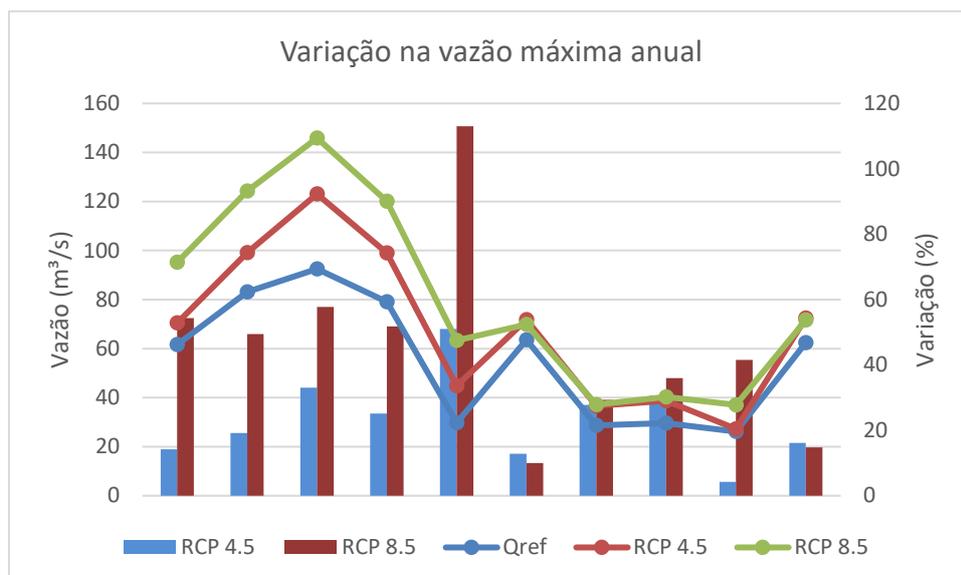


Figura 31 - Variação da vazão máxima anual frente aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5

A vazão, assim como a precipitação, varia muito ao longo do ano, variando conforme a estação, e sendo dependente de fatores externos, como o uso para a irrigação. Nota-se, analisando a Figura 32, um aumento na taxa de variação entre as vazões do modelo no período de referência e os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 nos meses com maior vazão. Nota-se também que as menores variações na vazão ocorrem simultaneamente à menor taxa de variação nas precipitações, entre os meses de agosto e novembro.

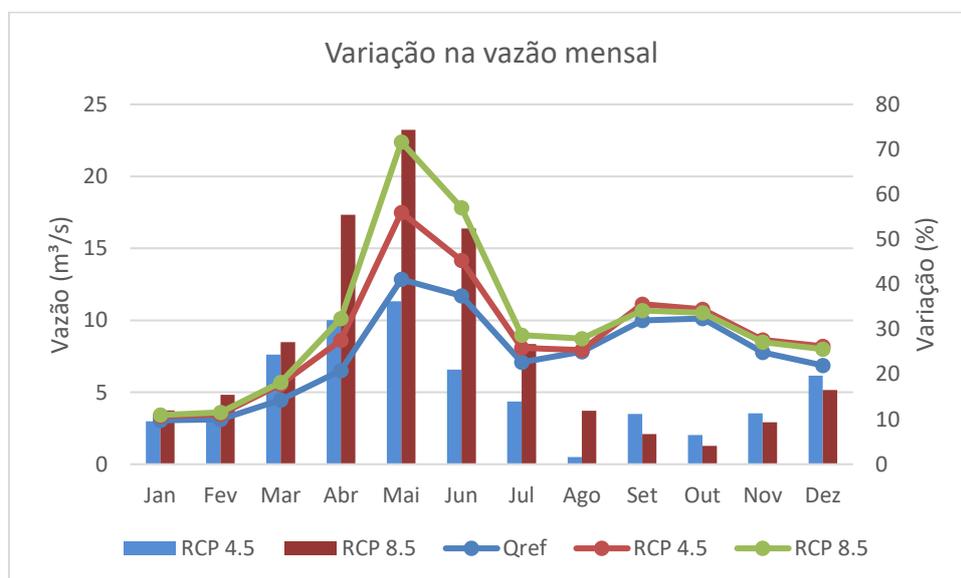


Figura 32 - Variação da vazão média mensal frente aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5

Uma outra análise interessante, é conhecer o impacto que o acréscimo na precipitação tem sobre a vazão na bacia hidrográfica do Rio Negro – RS, e pode ser chamado de sensibilidade de vazões. Essa sensibilidade é o efeito que a mudança na precipitação média

tem sobre a vazão, e pode ser obtida pela razão entre a variação nas vazões e a variação nas precipitações.

Assim, obteve-se uma razão  $\Delta Q/\Delta P=1,72$  no cenário RCP 4.5, ou seja, a cada 1% de aumento na precipitação média, ocorre um acréscimo de 1,72% na vazão média da bacia. Já no cenário RCP 8.5, a razão  $\Delta Q/\Delta P=1,77$ , que representa um acréscimo de 1,77% na vazão média da bacia, com um aumento de 1% na precipitação média.

## 6. DISCUSSÃO

Nota-se através dos resultados apresentados até aqui, que poderão ocorrer aumentos na precipitação e na vazão até o final do século, devido ao aumento na concentração de GEE na atmosfera. Assim, nesta etapa apresentam-se hipóteses, através dos dados obtidos nas estações pluviométricas e na estação fluviométrica, se esse aumento é uma tendência, já de anos passados.

Através dos dados de precipitação ao longo dos anos, não podemos afirmar que ocorre um aumento anual na precipitação na bacia, pois as chuvas são muito sazonais, ocorrendo anos com baixa pluviosidade entre períodos bastante chuvosos. Porém se comparamos toda a série temporal disponível, conseguimos perceber um aumento na média entre períodos distintos. Para isso, foi separada a série temporal de cada estação pluviométrica em duas, fazendo-se a média de cada parte, e comparando se ocorre um aumento ou uma diminuição entre esses dois períodos. Fez-se também, o desvio padrão e o coeficiente de variação em cada período, para verificar a dispersão na precipitação anual nos anos de cada período.

Tabela 4 - Variação da precipitação ao longo da série temporal das estações pluviométricas

<b>Estação</b>	<b>Período</b>	<b>Precipitação média (mm)</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coeficiente de variação (%)</b>	<b>Variação na média(%)</b>
3154001	1913 - 1956	1339	332,5	24	9,3
	1957 - 1998	1464	303,4	21	
3154006	1998 - 2008	1369	480,6	35	4,1
	2009 - 2018	1426	289,1	20	
3153003	1959 - 1988	1287	303,3	23	7,2
	1989 - 2018	1380	386,2	28	

Nota-se que em todas as estações analisadas ocorreram aumentos na precipitação média anual. Esse aumento é mais perceptível quando comparam-se períodos maiores.

O período na estação 3154001 é o mais próximo do período utilizado como referência e período futuro na aplicação dos modelos climáticos. Nota-se uma semelhança entre a variação obtida nessa estação, e a variação que se obteve com as mudanças climáticas do modelo, onde a primeira teve um aumento de 9,3% e a segunda 11%.

Percebe-se também que nas estações 3154001 e 3154006 ocorre um decréscimo no desvio padrão das médias de precipitação, que mostra uma diminuição na irregularidade da chuva, ou seja, as precipitações se mantiveram mais próximas a média nesse período. Isso também é notado através dos coeficientes de variação, que diminuíram, mostrando que as

chuvas no período mais recentes aumentaram na média, e se mantiveram mais altas que no período anterior. Já na estação 3153003 isso não se verifica, porém o período mais recente apresenta uma maior quantidade de anos com falhas, que pode ser responsável pelo aumento no desvio padrão e conseqüentemente no coeficiente de variação.

Para a série temporal de vazões, fez-se o mesmo procedimento que o utilizado nos dados de precipitação.

Tabela 5 - Variação da vazão ao longo da série temporal da estação fluviométrica 79400000

<b>Estação</b>	<b>Período</b>	<b>Vazão média (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Coefficiente de variação (%)</b>	<b>Variação (%)</b>
79400000	1994 - 2006	18,5	13,09	70	- 6
	2007 - 2018	17,4	8,4	50	

Percebe-se que para a série de vazões, diferentemente da série de precipitações, ocorreu uma diminuição na vazão média. Essa diminuição da vazão entre os dois períodos analisados pode estar diretamente ligada a seca dos anos 2005 e 2006, que diminuíram drasticamente os volumes armazenados nos reservatórios utilizados na região, o que ocasiona a diminuição no volume de água que chega aos cursos d'água nos anos seguintes, ou pode ter ocorrido um aumento no número de reservatórios, assim aumentando-se o volume de água retida, e conseqüentemente, diminuiu-se o volume escoado até os cursos d'água.

Outra hipótese, pode ser o aumento nas retiradas de água em afluentes menores ao longo da bacia, assim sendo percebida uma diferença na vazão da estação, que está próxima ao exutório da bacia hidrográfica.

Nota-se que o desvio padrão e o coeficiente de variação se mantêm altos, mas diminuíram no período mais recente, isso também pode ser ocasionado pelo aumento de barragens de reservação e açudes, que acabam por regularizar as vazões na bacia.

Aumentos no regime de vazões também podem causar impactos negativos na bacia, pois podem causar problemas de inundações e alagamentos em áreas de planície, principalmente próximo ao exutório, afetando populações ribeirinhas e áreas de plantio, trazendo prejuízos ambientais e econômicos.

Com isso, fortalece-se que um correto planejamento dos usos dos recursos hídricos é indispensável para se diminuir conflitos e problemas no abastecimento, de áreas urbanas e agrícolas.

## 7. CONCLUSÕES

Esse estudo teve o objetivo de avaliar como as mudanças climáticas podem afetar o regime de vazões na bacia hidrográfica do Rio Negro – RS, considerando cenários apresentados no quinto relatório do IPCC. Notou-se uma tendência ao aumento das vazões na bacia hidrográfica, pois ambos os cenários avaliados indicaram percentuais de aumento nas vazões médias e máximas. Esta conclusão vai ao encontro aos resultados apresentados por Paiva e Collischonn (2010) e por Schuster (2019) que mostraram uma tendência de aumento das vazões para o sul do Brasil.

Verificou-se neste trabalho um aumento na temperatura média anual de 9% no cenário RCP 4.5, e 18% no cenário RCP 8.5, representando um aumento médio de 1,6°C e 3,1°C respectivamente. Um aumento também pode ser visto nas precipitações médias e máximas, que chegou a 11% nas médias no cenário RCP 4.5 e 18% nas médias no cenário RCP 8.5, e as máximas tiveram um aumento de 13% no RCP 4.5 e 22,5% no RCP 8.5.

Utilizando-se o modelo hidrológico MGB-IPH, obteve-se as vazões futuras considerando as variações no clima e nas precipitações. Um aumento de 19% nas vazões médias anuais foi verificado no cenário RCP 4.5, chegando a 32% no cenário RCP 8.5. Já a variação nas vazões máximas chega a 23% no cenário RCP 4.5 e 46% no cenário RCP 8.5.

Notou-se que a precipitação tem grande influência nas vazões, tanto no cenário de referência, quanto nos cenários de mudanças climáticas, pois esses apresentam um aumento/diminuição na vazão juntamente com o aumento/queda na precipitação. Essa influência é percebida através da análise de sensibilidade de vazão, que mostraram que o efeito da mudança nas precipitações médias, tem efeito amplificado na vazão, em uma razão  $\Delta Q/\Delta P=1,72$  no cenário RCP 4.5, e  $\Delta Q/\Delta P=1,77$  no cenário RCP 8.5.

As informações obtidas neste estudo, podem ajudar no planejamento de ações futuras visando os recursos hídricos, e ajudar a diminuir possíveis conflitos pelo uso da água, principalmente em bacias como a do Rio Negro – RS, onde existe uma grande demanda.

## 8. BIBLIOGRAFIA

Adam, K.N., *Impactos de Mudanças Climáticas nos Regimes de Precipitação e Vazão na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí*. 2011. *Dissertação de Mestrado*. IPH, UFRGS.

Boyle, D.P., Gupta, H.V., *Toward improved calibration of hydrologic models: Combining the strengths of manual and automatic methods*. *Water Resources Research*. vol. 36. Soroosh 2000.

Bravo, J.M., et al., *Impact of projected climate change on hydrologic regime of the Upper Paraguay River basin*. 2013.

Collischonn, W. *Simulação Hidrológica de Grandes Bacias*. 2001 *Tese de doutorado*. Porto Alegre: IPH, UFRGS

Collischonn, W., Allasia, D.G., Silva, B.C., Tucci, C.E.M., *The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modeling*. 2007. *Hydrological Sciences Journal*, v.52 p.

Departamento de água e esgoto de Bagé – DAEB. *Caracterização e diagnóstico da bacia do Negro*. 2007. Bagé.

Fan, F. M. ,*Simulação dos impactos de lançamentos de poluentes sobre a qualidade da água de bacias hidrográficas integrada com Sistema de Informação Geográfica*. 2013. *Dissertação de mestrado*. IPH, UFRGS.

Gross, J.A., *Índice de anomalias de chuva (IAC) dos municípios do Rio Grande do Sul afetados pelas estiagens no período de 1991 a 2012*. 2015. *Dissertação de mestrado*. UFSM.

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

IPCC, *Climate Change 2014: Synthesis Report*. 2014. Contributions of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Krol, Maarten S.; Bronstert, Axel, *Regional integrated modelling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil*. 2007. *Environmental Modelling & Software*, v. 22, n. 2, p. 259-268.

Leivas, F.P., *Elementos do Clima: o contraste de tempos frios e quentes*. *Atlas Ambiental de Porto Alegre*. 2006. Porto Alegre: Editora UFRGS, 256 p.

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

Mendes, C.A.B., Cirilo, J.A., *Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação*. 2001. Porto Alegre: ABRH, 536 p.

Moraes, J.M., *Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico*. 2003. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 8(1):61-70.

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

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

Paiva, R.C.D., Collischonn, W., *Climate change impacts on river Quaraí flow*. 2010. Modeling the Impact of Climate and Water Resources.

Pontes, P.R.M., et al., *Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões*. 2015. Porto Alegre: RBRH, p 888-904.

Ravanello, M. M; Pante, A. R., *Outorga de direito de uso de recursos hídricos em bacia carente de dados – Rio Negro-RS*. 2013. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves.

Rosenzweig, Cynthia et al., *Water resources for agriculture in a changing climate: international case studies*. 2004. Global Environmental Change, v. 14, n. 4, p. 345- 360.

Santhi, C. et al., *Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources*. 2001. Journal of the American Water Resources Association, v.37, p.1169-1188.

Schuster, R. C., *Análise de cenários futuros de mudanças climáticas na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica da Laguna dos Patos*. 2019. Dissertação de Mestrado. IPH, UFRGS.

Siqueira, V. A. et al., *IPH – Hydro Tools: uma ferramenta open source para determinação de informações topológicas em bacias hidrográficas integrada a uma ambiente SIG*. 2016. RBRH.

Siqueira, V. A. et al., *Toward continental hydrologic–hydrodynamic modeling in South America*, *Hydrol*. 2018. Earth Syst. Sci. Discuss.

Site *CGIAR – Consortium FOR Spatial Information*. 2019. <<http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>>. Acesso em: 10 janeiro 2019.

Site *HGE – Hidrologia de Grande Escala*. 2019. UFRGS/IPH. <<https://www.ufrgs.br/hge/mgb>>. Acesso em: 31 maio 2019.

Site *SEMA/RS – Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura*. 2019. <<https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>>. Acesso em: 17 janeiro 2019.

Site *TRMM – Tropical Rainfall Measuring Mission*. 2019. <<https://trmm.gsfc.nasa.gov>>. Acesso em: 05 junho 2019.

Tucci, C.E.M., *Modelos hidrológicos*. 1998. Porto Alegre. UFRGS/ABRH, 669 p.

Viana, D.R., *Avaliação da precipitação e desastres naturais associados a complexos convectivos de mesoescala no Rio Grande do Sul entre outubro e dezembro de 2003. 2006. Trabalho de conclusão de curso.* UFRGS. Porto Alegre, RS – BR, 121 p.

## ANEXOS

Tabela 6 - Valores da altura média das árvores inseridos no MGB-IPH

URH	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
FlorRas	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
FlorProf	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
AgriRas	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
AgriProf	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
CampRas	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CampProf	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Água	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabela 7 - Valores de albedo inseridos no MGB-IPH

URH	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
FlorRas	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
FlorProf	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
AgriRas	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
AgriProf	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
CampRas	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
CampProf	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Água	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

Tabela 8 - Valores de índice de área foliar (IAF) inseridos no MGB-IPH

URH	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
FlorRas	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
FlorProf	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
AgriRas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AgriProf	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
CampRas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CampProf	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Água	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabela 9 - Valores de resistência superficial inseridos no MGB-IPH

URH	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
FlorRas	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
FlorProf	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
AgriRas	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AgriProf	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
CampRas	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
CampProf	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Água	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 10 - Valores dos parâmetros calibráveis inseridos no MGB-IPH

URH	Wm	b	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
FlorRas	200	0.5	0.05	0.01	0.6	0	0.1
FlorProf	270	0.5	0.05	0.01	0.6	0	0.1
AgriRas	200	0.5	0.05	0.01	0.6	0	0.1
AgriProf	270	0.5	0.05	0.01	0.6	0	0.1
CampRas	200	0.5	0.05	0.01	0.6	0	0.1
CampProf	270	0.5	0.05	0.01	0.6	0	0.1
Agua	0	0	0	0	0	0	0

CS	30
CI	50
CB	571
QB	0.01