

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARIANA GIACOMONI

**AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DOS DADOS DE REGIONALIZAÇÃO DE
VAZÕES PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CHOPIM**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

FRANCISCO BELTRÃO

2019

MARIANA GIACOMONI

**AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DOS DADOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES
PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CHOPIM**

Monografia de especialização apresentada ao Curso de Especialização em Métodos Matemáticos Aplicados da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Francisco Beltrão como requisito parcial para a obtenção do título de “Especialista em Métodos Matemáticos Aplicados”.

Orientadora: Prof. Dra Meire C. Fugihara.

Co-orientadora: Prof. Dra. Sheila Regina Oro.

FRANCISCO BELTRÃO

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização

AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DOS DADOS DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CHOPIM

por

MARIANA GIACOMONI

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentado às 08 horas e 00 min. do dia 26 de outubro de 2019, como requisito parcial para obtenção do grau de especialista em Métodos Matemáticos Aplicados, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Francisco Beltrão. A candidata foi arguida pela Banca Avaliadora composta pelos professores que abaixo assinam este Termo. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho _____ (Aprovado ou Reprovado).

MEIRE CRISTINA FUGIHARA

Professora Orientadora

SHEILA REGINA ORO

Professora Coorientadora

MAIQUEL SCHMIDT DE

OLIVEIRA

Membro da Banca

VILMAR STEFFEN

Membro da Banca

Prof. Vilmar Steffen

Responsável pela Coordenação do CEMMA
Curso de Especialização em Métodos Matemáticos Aplicados

A FOLHA DE APROVAÇÃO ORIGINAL (ASSINADA) ENCONTRA-SE NA COORDENAÇÃO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM MÉTODOS MATEMÁTICOS APLICADOS.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus por ter me dado força, saúde e sabedoria permitindo assim concluir esta jornada.

Agradeço imensamente à minha família, em especial meus pais Nilson Giacomoni e Neuza Oliva Santin Giacomoni por acreditarem em mim e me apoiarem incondicionalmente, amparando a realização de meus sonhos.

À Prof^a Dra. Meire C. Fugihara pela oportunidade e compreensão durante toda a orientação desse trabalho. À coorientadora Prof^a Dra. Sheila Regina Oro pela colaboração e apoio na realização do mesmo.

À universidade Tecnológica Federal do Paraná e a todo o corpo docente do curso de Especialização em Métodos Matemáticos Aplicados pela oportunidade e por todo o conhecimento adquirido.

Não poderia deixar de agradecer a todos os colegas deste curso, por todo o convívio, troca de experiências e de conhecimento, fazendo com que meus dias na universidade fossem mais produtivos e aconchegantes.

Por fim, agradeço a todos os amigos que estiveram e estão próximos de mim, contribuindo para minha especialização e fazendo meus dias valer cada vez mais a pena.

A todos, meu muito obrigada!

Mariana Giacomoni

RESUMO

A disponibilidade de recursos hídricos é de fundamental importância para a obtenção de dados fluviométricos confiáveis, visto que a escassez de informações quantitativas, junto à inconsistência espacial e temporal dos dados disponíveis são fatores limitadores da representação do comportamento hídrico. Por mais ampla que seja a rede fluviométrica de monitoramento, dificilmente há capacidade de recobrir todos os pontos de interesse. Por isso faz-se necessário o uso de metodologias para estimativas em diferentes seções, onde não há disponibilidade de dados registrados. Desta forma, este trabalho objetivou avaliar as vazões máximas, médias, mínimas e de permanência (Q_{90}) estimadas a partir do método tradicional de regionalização de vazões para a bacia hidrográfica do rio Chopim. Sua elaboração ocorreu em etapas, iniciando-se a partir da definição do problema e a realização de uma pesquisa bibliográfica para identificação de trabalhos semelhantes. Em seguida, procedeu-se a modelagem das variáveis e a coleta de dados para posterior processamento e análise dos resultados. Desta forma, observou-se que o modelo potencial é o que apresenta melhor ajuste com os dados regionalizados, sendo que para as vazões médias e de permanência a variável área de drenagem possui melhor representatividade, enquanto que para as vazões mínimas e máximas, a variável com resultado mais satisfatório é o comprimento do rio principal.

Palavras chave: Modelo Potencial. Regionalização. Rio Chopim. Vazões.

ABSTRACT

The water resources availability has fundamental importance to obtain reliable fluviometric data, since the insufficiency of quantitative information, combined with the spatial and temporal inconsistency of the available data are limiting factors for the representation of water behavior. As wide as the river monitoring network is, there is hardly any capacity to cover all points of interest. Therefore, it is necessary to use methodologies for estimation in different sections, where there is no availability of recorded data. Thus, this work aimed to evaluate the maximum, average, minimum and permanence flows (Q90) estimated from the traditional regionalization method of flows for the Chopim river basin. The elaboration of this work took place in stages, starting from the definition of the problem and a bibliographic research to identify similar works. Thereafter, the variables were defined and data collected for further processing and analysis of the results. Therefore, it was observed that the potential model is the one that presents the best adjustment with the regionalized data; and for the average and permanence flows the drainage area variable has better representation, while for the maximum and minimum flows, the length of the main river is the satisfactory variable result.

Keywords: Potential model. Regionalization. Chopim River. Flow rates.

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Estações fluviométricas selecionadas | 21 |
| Tabela 2 -Valores das variáveis explicativas para as estações fluviométricas selecionadas. | 25 |
| Tabela 3 - Vazões máximas, médias, mínimas e de permanência em 90% do tempo (Q_{90}) para as estações fluviométricas selecionadas | 26 |
| Tabela 4 - Comparação entre os modelos testados para as vazões máximas em função da área de drenagem | 27 |
| Tabela 5 - Comparação entre os modelos testados para as vazões máximas em função do comprimento do rio | 28 |
| Tabela 6 - Gráfico das vazões máximas observadas e estimadas em função da declividade média do rio principal pelo modelo potencial. | 29 |
| Tabela 7 - Comparação entre os modelos testados para as vazões médias em função da área de drenagem | 30 |
| Tabela 8 - Comparação entre os modelos testados para as vazões médias em função do comprimento do rio | 31 |
| Tabela 9 - Comparação entre os modelos testados para as vazões médias em função da declividade média do rio principal | 32 |
| Tabela 10 - Comparação entre os modelos testados para as vazões mínimas em função da área de drenagem | 33 |
| Tabela 11 - Comparação entre os modelos testados para as vazões mínimas em função do comprimento do rio | 34 |
| Tabela 12 - Comparação entre os modelos testados para as vazões mínimas em função declividade média do rio principal | 35 |
| Tabela 13 - Comparação entre os modelos testados para as vazões de permanência (Q_{90}) em função da área de drenagem | 36 |
| Tabela 14 - Comparação entre os modelos testados para as vazões de permanência (Q_{90}) em função do comprimento do rio | 37 |
| Tabela 15 - Comparação entre os modelos testados para as vazões de permanência (Q_{90}) em função da declividade média do rio principal | 38 |
| Tabela 16 -Resumo geral dos coeficientes de determinação e erro padrão | 40 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Chopim | 15 |
| Figura 2 - Distribuição da precipitação anual no estado do Paraná | 16 |
| Figura 3 - Fluxograma de realização do trabalho | 19 |
| Figura 4 - Localização das estações fluviométricas na bacia hidrográfica | 21 |
| Figura 5 - Gráfico das vazões máximas observadas e estimadas em função da área de drenagem pelo modelo potencial | 27 |
| Figura 6 - Gráfico das vazões máximas observadas e estimadas em função do comprimento do rio pelo modelo potencial. | 28 |
| Figura 7 - Gráfico das vazões médias observadas e estimadas em função da área de drenagem pelo modelo potencial. | 29 |
| Figura 8 - Gráfico das vazões médias observadas e estimadas em função da área de drenagem pelo modelo potencial. | 30 |
| Figura 9 - Gráfico das vazões médias observadas e estimadas em função do comprimento do rio pelo modelo potencial. | 31 |
| Figura 10 - Gráfico das vazões médias observadas e estimadas em função da declividade média do rio principal pelo modelo potencial. | 32 |
| Figura 11 - Gráfico das vazões mínimas observadas e estimadas em função da área de drenagem pelo modelo potencial. | 34 |
| Figura 12 - Gráfico das vazões mínimas observadas e estimadas em função do comprimento do rio pelo modelo potencial. | 35 |
| Figura 13 - Gráfico das vazões mínimas observadas e estimadas em função da declividade média do rio principal pelo modelo potencial. | 36 |
| Figura 14 - Gráfico das vazões de permanência (Q_{90}) observadas e estimadas em função da área de drenagem pelo modelo potencial. | 37 |
| Figura 15 - Gráfico das vazões de permanência (Q_{90}) observadas e estimadas em função do comprimento do rio pelo modelo potencial. | 38 |
| Figura 16 - Gráfico das vazões de permanência (Q_{90}) observadas e estimadas em função da declividade média do rio principal pelo modelo potencial. | 39 |

Sumário

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 11 |
| 1.1.1 | Objetivo geral | 11 |
| 1.1.2 | Objetivos específicos | 12 |
| 1.2 | JUSTIFICATIVA | 12 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| 2.1 | REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES | 14 |
| 2.2 | BACIA HIDROGRÁFICA | 15 |
| 2.2.1 | Área de drenagem, comprimento e declividade média do rio | 17 |
| 2.3 | SISTEMA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISES HIDROLÓGICAS – SISCAH | 17 |
| 2.4 | SISTEMA COMPUTACIONAL PARA REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES - SISCORV | 17 |
| 2.5 | MÉTODO TRADICIONAL | 18 |
| 2.6 | IMPORTÂNCIA DAS VAZÕES MÁXIMAS, MÉDIAS, MÍNIMAS E DE PERMANÊNCIA. | 18 |
| 3 | METODOLOGIA | 19 |
| 3.1 | SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS | 20 |
| 3.2 | VARIÁVEIS EXPLICATIVAS | 22 |
| 3.3 | MODELOS DE REGRESSÃO | 22 |
| 3.4 | CÁLCULO DOS INDICADORES DE VAZÃO | 23 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 25 |
| 4.1 | OBTENÇÃO DOS VALORES DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS | 25 |
| 4.2 | OBTENÇÃO DAS VAZÕES | 25 |
| 4.3 | VAZÕES MÁXIMAS | 26 |
| 4.3.1 | Área de drenagem | 26 |
| 4.3.2 | Comprimento do rio | 27 |
| 4.3.3 | Declividade média do rio principal | 28 |
| 4.4 | VAZÕES MÉDIAS | 29 |
| 4.4.1 | Área de drenagem | 29 |
| 4.4.2 | Comprimento do rio principal | 31 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.4.3 | Declividade média do rio principal | 32 |
| 4.5 | VAZÕES MÍNIMAS | 33 |
| 4.5.1 | Área de drenagem | 33 |
| 4.5.2 | Comprimento do rio | 34 |
| 4.5.3 | Declividade média do rio principal | 35 |
| 4.6 | VAZÃO DE PERMANÊNCIA (Q ₉₀) | 36 |
| 4.6.1 | Área de drenagem | 36 |
| 4.6.2 | Comprimento do rio principal | 37 |
| 4.6.3 | Declividade média do rio principal | 38 |
| 4.7 | RESUMO GERAL | 39 |
| 5 | CONCLUSÃO | 40 |
| | REFERENCIAS | 41 |

1. INTRODUÇÃO

O planejamento e a gestão dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica são fundamentados no conhecimento da disponibilidade hídrica da mesma, sendo sua quantificação determinada a partir de leituras realizadas e registradas em estações fluviométricas inseridas em seções específicas da hidrografia (ANA, 2013).

A disponibilidade de recursos hídricos é de fundamental importância para a obtenção de dados fluviométricos confiáveis, visto que a escassez de informações quantitativas, junto à inconsistência espacial e temporal dos dados disponíveis são fatores limitadores da representação do comportamento hídrico (PEREIRA, 2012). No entanto, por mais ampla que seja a rede fluviométrica de monitoramento, dificilmente há capacidade de recobrir todos os pontos de interesse, o que faz necessário o uso de metodologias para estimativas em diferentes seções, onde não há disponibilidade de dados registrados. (PEREIRA, 2012).

Neste contexto, a aplicação de metodologias como a regionalização de vazões é fundamental para o conhecimento e quantificação dos recursos hídricos em sessões de interesse, pois possibilita a transferência de informações em bacias hidrográficas semelhantes.

No que tange a legislação, a política nacional dos recursos hídricos, Lei 9.433/97, é a principal referência, sendo que a mesma cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e estabelece, dentre outros instrumentos, a outorga de direito de uso dos mesmos. Em âmbito federal o órgão de gerenciamento é a Agência Nacional das Águas, enquanto no estado do Paraná o órgão gestor dos recursos hídricos é o Instituto das Águas do Paraná.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho busca avaliar as vazões máximas, médias, mínimas e de permanência (Q_{90}) estimadas a partir do método tradicional de regionalização de vazões para a bacia hidrográfica do rio Chopim a partir de dados disponíveis em

estações fluviométricas locais e comparar os resultados obtidos de acordo com os modelos e variáveis utilizados.

1.1.2 Objetivos específicos

- Representar as vazões máximas, médias, mínimas e de permanência (Q_{90}) por meio de equações utilizando-se diferentes modelos;
- Avaliar os resultados obtidos para os parâmetros estatísticos definidos;
- Identificar a variável e o modelo que melhor representam a regionalização.

1.2 JUSTIFICATIVA

O conhecimento da disponibilidade hídrica é um fator muito importante para a gestão dos recursos hídricos, no entanto a implantação de uma rede de postos fluviométricos requer um custo elevado e necessita de vários anos de registro para obtenção de uma representatividade. Desta forma, a regionalização de vazões é uma ferramenta útil ao preenchimento de lacunas temporais e espaciais capaz de suprir a deficiência de informações quantitativas, visto que por mais ampla que seja a disponibilidade, a mesma pode não cobrir pontos de interesse específico.

O rio Chopim, um dos principais afluentes do rio Iguaçu e sua bacia hidrográfica drena a água de boa parte da mesorregião Sudoeste do Paraná, sendo seus recursos hídricos amplamente utilizados para abastecimento urbano e geração de energia.

O conhecimento das vazões máxima, médias, mínimas e de permanência possui ampla aplicação e importância para a realização de estudos que visem dimensionar estruturas hidráulicas como vertedouros, bem como conhecer a vazão disponível, a fim de obter autorizações para uso dos recursos hídricos. Desta forma, ressalta-se que a regionalização das vazões para a bacia hidrográfica do rio Chopim é essencial para o conhecimento da disponibilidade hídrica em diferentes pontos da bacia hidrográfica, principalmente em rios menores onde não há registros de dados disponíveis, seja qual for a finalidade de uso ou interesse dos mesmos.

1.3 ESTRUTURA DO TEXTO

Desta forma, o presente trabalho está subdividido em cinco capítulos. O primeiro diz respeito à introdução, onde é apresentado e descrito o assunto tratado, além de delinear os objetivos do trabalho, sendo os mesmos subdivididos em objetivo geral e objetivos específicos os quais caracterizam a pesquisa efetuada. Além de abordar a justificativa do trabalho ressaltando a importância e as razões pelas quais desenvolveu-se a pesquisa.

O capítulo dois apresenta uma revisão bibliográfica que contempla conceitos e aplicações da regionalização de vazões e definições e caracterização da bacia hidrográfica e das variáveis utilizadas.

No decorrer do capítulo três tem-se a descrição metodológica do trabalho, com a apresentação das equações e modelos de ajuste dos dados bem como os critérios para análise da regressão e os softwares utilizados para obtenção e processamento das informações.

O capítulo quatro descreve os resultados obtidos na realização do trabalho, sendo tais resultados compostos por equações de regionalização, coeficiente de determinação, erro e resíduos, além da comparação entre os valores observados e estimados, sendo obtidos para as vazões máximas, médias, mínimas e de permanência em 90% do tempo, através das variáveis: área de drenagem, comprimento e declividade do rio principal.

No capítulo cinco encontram-se as conclusões do trabalho obtidas a partir da discussão dos resultados, com a análise dos modelos e variáveis para regionalização das vazões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES

A regionalização de vazões consiste em um conjunto de procedimentos e métodos estatísticos para estimativa da vazão em locais com ausência ou insuficiência de dados fluviométricos. Tal estimativa é realizada baseando-se em dados disponíveis regionalmente (BARBOSA et al, 2004).

De acordo com Wolff (2014), existem duas metodologias amplamente empregadas em estudos para regionalização de vazões. A primeira consiste no uso de equações de regressão aplicadas em regiões hidrologicamente homogêneas (com características hidrológicas semelhantes), enquanto a segunda diz respeito ao uso de sistemas de informações geográficas através de técnicas de interpolação e extrapolação. Desta forma, a transferência de informações fluviométricas em locais com características físicas ou climáticas semelhantes é denominada regionalização de vazões. Onde o parâmetro climático de maior influência é a precipitação, e as características físicas como área de drenagem, comprimento e declividade do rio são utilizadas como variáveis independentes para representação da distribuição de vazões (BARBOSA et al, 2004).

A regionalização de vazões tem sido objeto de estudo de diversos pesquisadores, seja para avaliação dos métodos e variáveis utilizados ou para o conhecimento hidrológico de determinada região. Schneider et al (2017), procedeu a regionalização da vazão de permanência Q_{90} das bacias hidrográficas do estado do Sergipe, utilizando como variáveis a área de drenagem e a precipitação média acumulada e empregando-se os softwares SisCAH e SisCoRV¹ para análise e processamento dos dados a partir do método tradicional.

Barbosa et al (2004) utilizou dados de precipitação e de vazão para geração de modelos de regionalização das vazões máximas, médias de longo período e mínimas de 7 dias para a bacia do rio do Carmo. Oliveira (2013), realizou a regionalização de vazões de permanência em 90% e 95% do tempo (Q_{90} , Q_{95}), da vazão mínima observada em 7 dias por um período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), e da vazão média

¹ <http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>

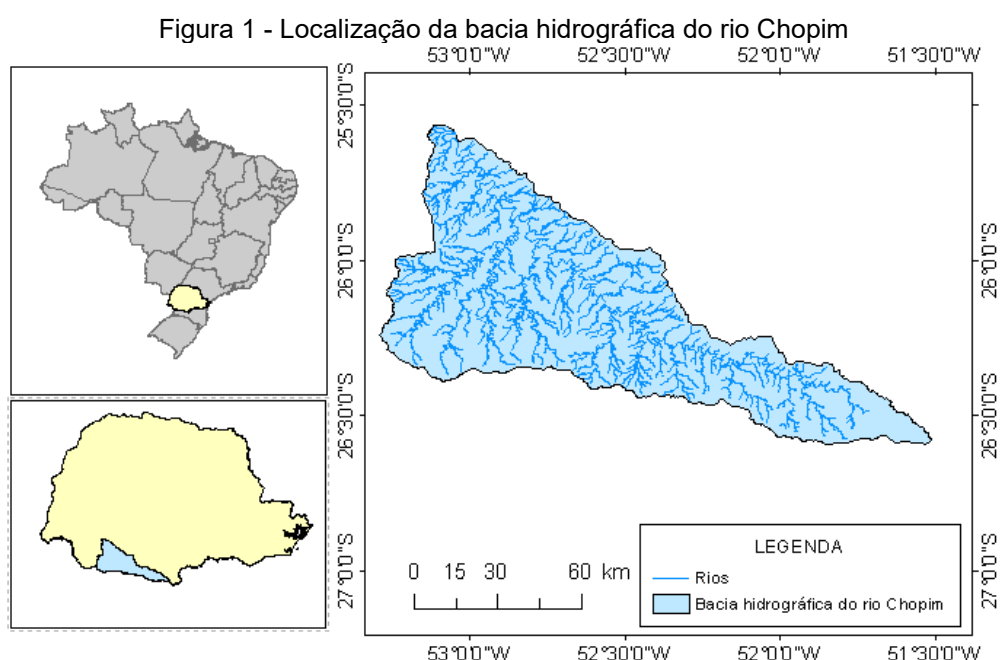
de longo termo (Q_{mt}) para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos Alto Rio Grande (GD1) e Vertentes do Rio Grande (GD2) em Minas Gerais, utilizando-se de equações de regressão regional a partir de características físicas e climáticas definidas como variáveis para a área de estudo.

Pereira (2012), utilizou os softwares SisCAH e SisCoRV para regionalização das vazões de permanência na região hidrográfica do Uruguai, a partir do método tradicional.

2.2 BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica tem sido amplamente utilizada como unidade ambiental, tanto para o desenvolvimento de estudos científicos, sejam estes associados a suas características ou ao desenvolvimento regional, quanto para o gerenciamento ambiental (SCHIAVETTI, 2002).

De acordo com Tucci e Mendes (2006), as principais características da bacia hidrográfica são a área de drenagem, o comprimento do rio principal, a declividade do rio e a declividade da bacia. De acordo com os autores, a bacia hidrográfica é toda a área que contribui por gravidade para os rios até a seção que define a bacia, sendo a mesma definida pela topografia. A figura 1 apresenta a localização da bacia hidrográfica do rio Chopim.

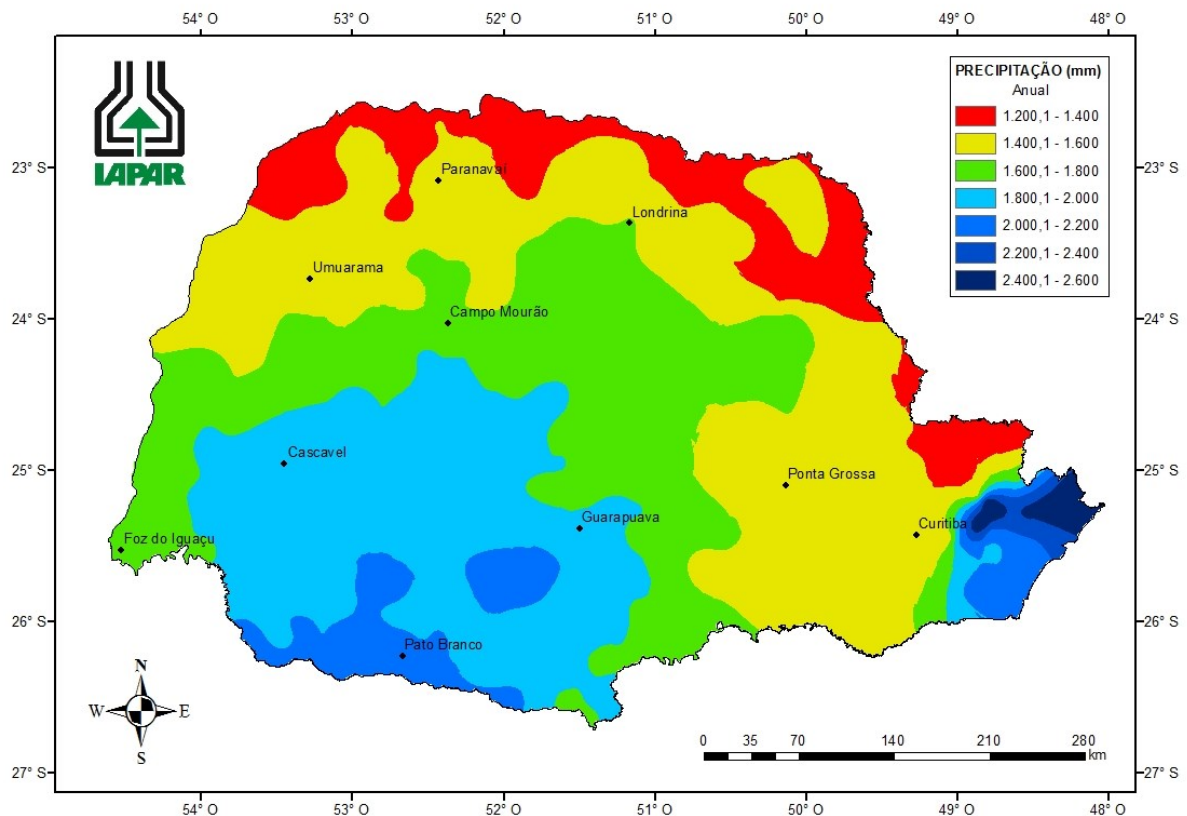


Fonte: Adaptado de IBGE, 2017.

De acordo com a delimitação realizada no decorrer do trabalho, a bacia hidrográfica do rio Chopim, objeto de estudo do presente trabalho, possui área de drenagem de 7.480 km² e é nascente no município de Palmas – PR. O rio Chopim é afluente do rio Iguaçu pela margem esquerda e pertence à bacia hidrográfica do rio Paraná.

De acordo com as cartas climáticas do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, a precipitação média anual para a região onde se localiza a bacia hidrográfica do rio Chopim varia de 1.801 a 2.200 mm. A figura 2 apresenta a distribuição da precipitação média anual em todo o estado.

Figura 2 - Distribuição da precipitação anual no estado do Paraná



Fonte: IAPAR, 2019.

A formação fitogeográfica na bacia hidrográfica do rio Chopim é dada na maior parte por Floresta Ombrófila Mista, também conhecida como Floresta com Araucária ou Mata dos Pinhais, próximo a nascente do rio Chopim há também os Campos Naturais. Em sua maioria a Floresta Ombrófila Mista é Montana, ocorrendo também a Altomontana e a Submontana (ITCG, 2009).

2.2.1 Área de drenagem, comprimento e declividade média do rio

A área de drenagem corresponde a área plana ou projeção horizontal compreendida entre os divisores de água (CARVALHO; SILVA, 2006). Desta forma, representa a área de contribuição da precipitação para cada estação fluviométrica selecionada. O comprimento médio do rio principal é a distância total desde a nascente do rio até o ponto a foz, no entanto, neste estudo é representado pela distância em quilômetros entre a nascente e a estação fluviométrica. A declividade média do rio principal é dada pela diferença de altitude entre a nascente e a seção de interesse sobre o comprimento do rio.

2.3 SISTEMA COMPUTACIONAL PARA ANÁLISES HIDROLÓGICAS – SISCAH

O SisCAH 1.0 é um software livre desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GRPH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) que permite a importação de dados a partir do site da ANA ou em planilhas com formatos TXT e MDB e para obtenção das vazões máximas, médias, mínimas e de permanência (ANA, 2009).

2.4 SISTEMA COMPUTACIONAL PARA REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES - SISCORV

O SisCoRV 1.0 é um software livre desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GRPH) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) que está integrado a base hidrográfica ottocodificada da Agência Nacional de Águas (ANA) e que possibilita a regionalização de vazões máximas, médias, mínimas e de permanência (ANA, 2013). De acordo com ANA (2015, p. 6) “a base recebe a denominação “ottocodificada” porque as suas bacias são codificadas segundo a metodologia de Otto Pfafstetter”.

A regionalização das vazões pode ser feita através dos métodos: tradicional, da curva adimensional e da conservação de massas. As características físicas e

climáticas representam as variáveis independentes ou explicativas utilizadas para regressão das variáveis representativas (ANA, 2013).

O SisCoRV 1.0 apresenta interface gráfica e permite a importação de séries históricas de vazão através do Portal Hidroweb² bem como a inserção direta ou a importação de planilhas com dados oriundos de outras fontes.

2.5 MÉTODO TRADICIONAL

De acordo com ANA (2013), o método tradicional pode ser aplicado a regionalização de vazões máximas, médias, mínimas, bem como as curvas de regularização e de permanência. No entanto, a escolha das variáveis e das vazões utilizadas podem requerer informações adicionais.

O método tradicional consiste na análise da regressão múltipla para investigar como as variáveis independentes afetam a variação da variável dependente (ANA, 2013).

2.6 IMPORTÂNCIA DAS VAZÕES MÁXIMAS, MÉDIAS, MÍNIMAS E DE PERMANÊNCIA.

No estado do Paraná o Instituto das Águas do Paraná avalia e concede o direito de uso, tendo como base para a avaliação os valores de vazão.

De acordo com a ANA (2013):

As vazões mínimas e curvas de permanências estão diretamente relacionadas ao conhecimento da disponibilidade hídrica, que é fundamental na gestão dos recursos hídricos para evitar que a demanda supere a disponibilidade.

[...] O conhecimento das vazões médias e das curvas de regularização relaciona-se ao potencial de regularização da vazão do rio, visando aumentar e regular a disponibilidade dos recursos hídricos ao longo da bacia. As vazões máximas afetam diretamente a segurança da população e os empreendimentos econômicos no interior das bacias, o que torna o seu

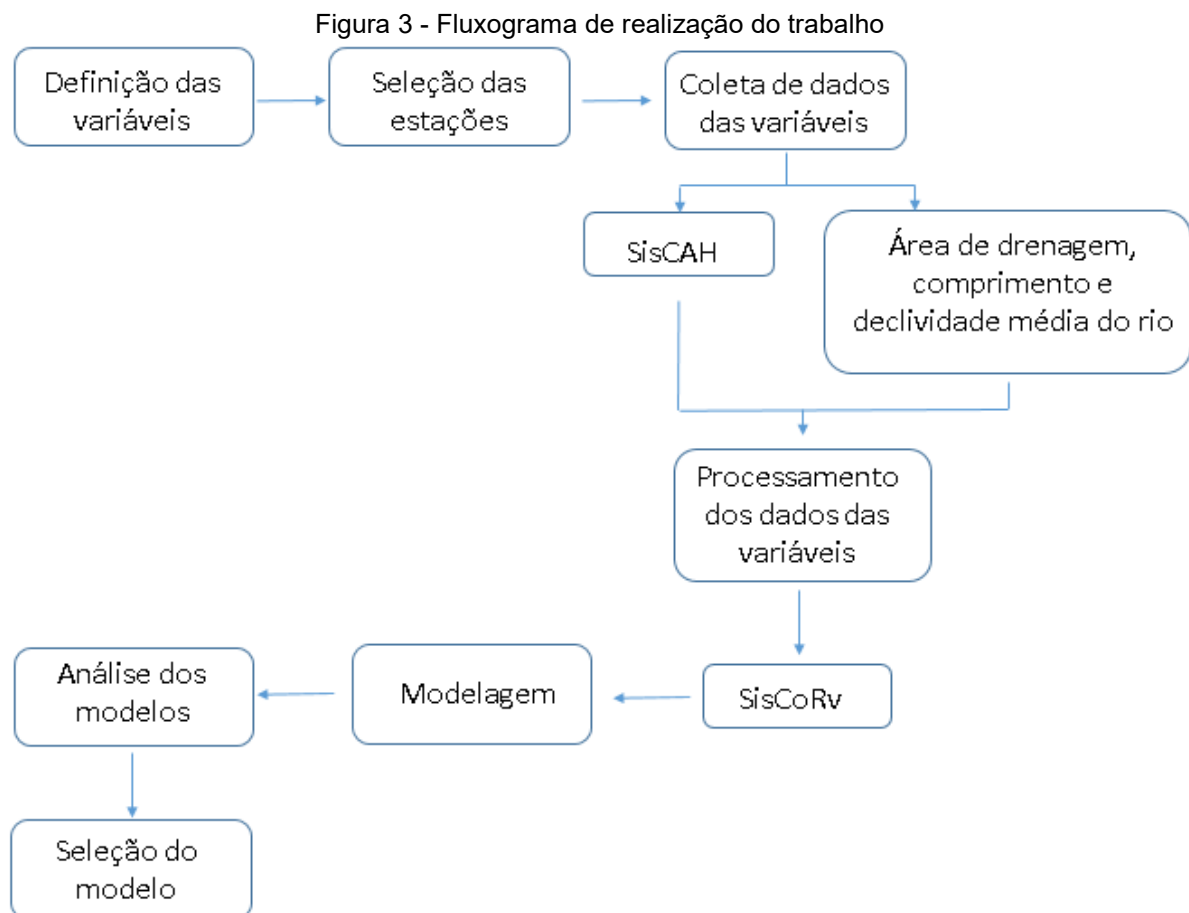
² http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf

conhecimento indispensável, sendo essenciais no dimensionamento das obras hidráulicas (ANA, 2013, p.17).

Desta forma, o conhecimento das vazões é imprescindível para diferentes formas de uso, sendo que uma série ampla de dados permite identificar e estimar eventos de vazões mínimas ou extremas.

3. METODOLOGIA

A elaboração do presente trabalho baseou-se nas etapas descritas no fluxograma apresentado na figura 3, iniciando-se a partir da definição do problema e a realização de uma pesquisa bibliográfica para identificação de trabalhos semelhantes. Em seguida procedeu-se a definição das variáveis e a coleta de dados para posterior processamento e análise dos resultados.



Fonte: Autoria própria (2019).

A elaboração do presente trabalho iniciou-se a partir da definição das variáveis repostas (vazões máximas, médias, mínimas e de permanência (Q_{90}) e das variáveis explicativas (área de drenagem, comprimento do rio e declividade média do rio principal). Em seguida, procedeu-se a identificação das estações fluviométricas presentes na bacia hidrográfica do rio Chopim para então iniciar a coleta de dados das mesmas.

A coleta de dados das estações fluviométricas consistiu na identificação dos valores quantitativos referentes as variáveis explicativas e as variáveis repostas para cada estação fluviométrica selecionada.

A partir do conhecimento de todos os dados quantitativos das estações fluviométricas iniciou-se o processamento dos dados por meio do software SisCoRV, onde realizou-se a modelagem dos dados, ou seja, a identificação dos coeficientes para as equações de cada modelo utilizado, bem como os valores de coeficiente de determinação, erro padrão e resíduos.

Após obtidos todos os parâmetros foram analisados os modelos obtidos e determinado qual o modelo e a variável que melhor se ajustaram aos dados observados e estimados.

3.1 SELEÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS

Para a obtenção das vazões regionais procedeu-se a identificação das estações fluviométricas presentes na bacia hidrográfica do rio Chopim. Em um primeiro momento a busca no Portal Hidroweb foi realizada através dos municípios pertencentes à bacia. Posteriormente, realizou-se a classificação das estações obtidas observando-se a disponibilidade de dados através do período de registro disponível e do percentual de falhas.

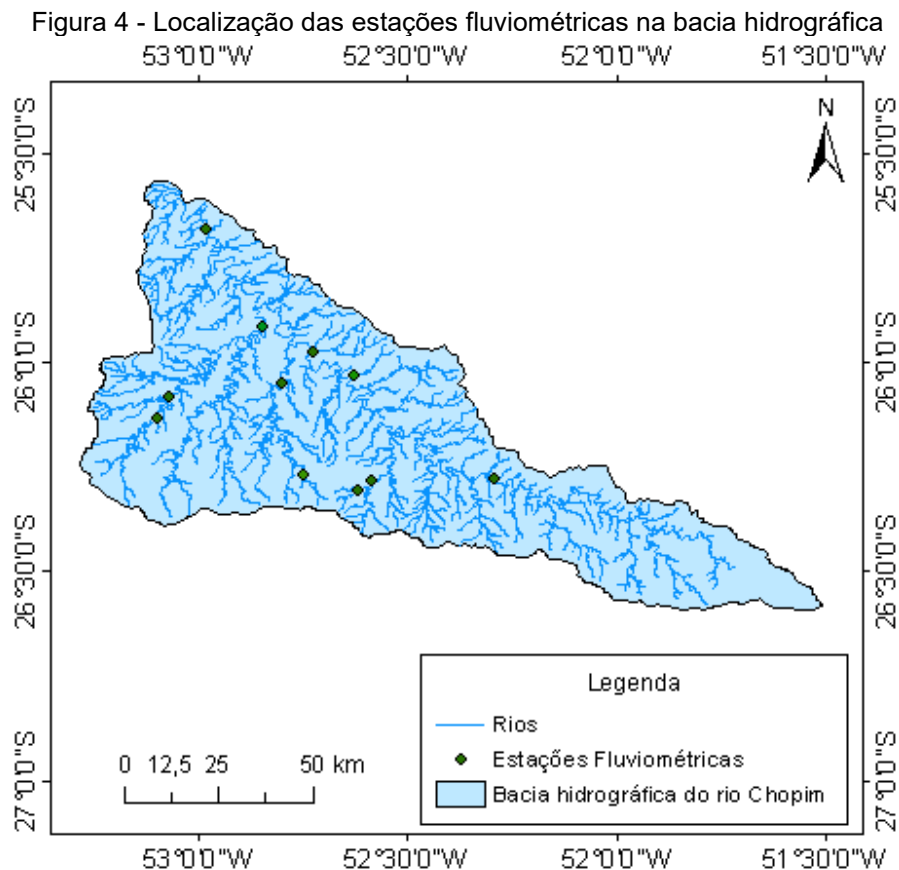
Com objetivo de ampliar o número de estações fluviométricas a definição das estações fluviométricas definitivamente utilizadas considerou uma série histórica com percentual de falhas inferior a 5%, ou seja, com falta de registro das vazões inferior a 5%. A identificação das falhas foi realizada com o auxílio da ferramenta de pré-processamento do SisCAH 1.0, a qual permite delimitar o percentual de falhas para descarte do ano, sendo considerado o início do ano hidrológico em janeiro. Junto a esta ferramenta há o recurso “exibir informações” que indica o número de anos

analisados e descartados para o cálculo da vazão. Desta forma foram identificadas as estações listadas na tabela 1. A localização das respectivas estações dentro da bacia hidrográfica do rio Chopim está apresentada na figura 4.

Tabela 1 - Estações fluviométricas selecionadas

| Número | Estação | Nome da estação | Latitude | Longitude |
|--------|----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| 1 | 65925000 | Salto Claudelino | -26,2782 | -52,2956 |
| 2 | 65925770 | Sítio São João (Pinheiro Jusante) | -26,3126 | -52,6027 |
| 3 | 65925800 | Eta - Pato Branco | -26,2873 | -52,5868 |
| 4 | 65927000 | Porto Palmeirinha | -26,0301 | -52,6286 |
| 5 | 65930000 | Moinho Caçador | -26,2677 | -52,7488 |
| 6 | 65940010 | Canal de Fuga Salto Grande | -25,9734 | -52,7282 |
| 7 | 65945000 | Ponte do Vitorino | -26,0514 | -52,8004 |
| 8 | 65950155 | Mandurim Jusante | -26,1331 | -53,1031 |
| 9 | 65950200 | ETA- Francisco Beltrão | -26,0814 | -53,0733 |
| 10 | 65955000 | Balsa do Santana | -25,9165 | -52,8518 |
| 11 | 65962000 | Flor da Serra | -25,6803 | -52,9813 |

Fonte: Autoria própria (2019).



Fonte: Autoria própria (2019).

3.2 VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

Para a regionalização de vazões denominam-se variáveis explicativas as variáveis utilizadas para estimativa dos valores, sendo as mesmas compostas por aspectos físicos ou climáticos (CASTIGLIONE, 2013).

O estudo de regionalização de vazões para a bacia hidrográfica do rio Chopim procedeu-se utilizando como variáveis explicativas os seguintes parâmetros físicos:

- Ad - Área de drenagem (km²);
- L - Comprimento do rio (km);
- S - Declividade média do rio principal (%)

Os dados referentes a área de drenagem para cada estação fluviométrica podem ser obtidos no Portal Hidroweb, o qual disponibiliza todas as informações referentes a localização e caracterização das mesmas. No entanto o software SisCoRV identifica o valor deste parâmetro automaticamente após a inserção do código da estação, sendo procedido desta forma no presente estudo.

O comprimento do rio principal para cada estação fluviométrica foi determinado com base em cartas topográficas matriciais na escala 1:50.000 disponibilizadas pelo Banco de Dados Geográficos do Exército Brasileiro – BDGEx³ sobrepostas no software Google Earth Pro.

Por fim, a determinação da declividade média do rio principal foi realizada a partir da diferença de elevação na nascente e na seção de interesse pelo comprimento do rio principal.

3.3 MODELOS DE REGRESSÃO

De acordo com ANA (2013), cinco diferentes modelos de regressão podem ser aplicados para a série de dados utilizados. Os mesmos podem ser utilizados para regionalização de vazões máximas, médias, mínimas e de permanência, conforme apresentado nas equações 1 a 5.

³ <https://bdgex.eb.mil.br/mediador/>

Destaca-se ainda, que os modelos apresentados são para regressão múltipla, no entanto, no presente trabalho utilizou-se a regressão simples, com a finalidade de avaliar as variáveis separadamente.

Modelo linear

$$Q = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 \dots + B_nX_n \quad (\text{Equação 1})$$

Modelo potencial

$$Q = B_0X_1^{B_1}X_2^{B_2}X_3^{B_3} \dots X_n^{B_n} \quad (\text{Equação 2})$$

Modelo Exponencial

$$Q = e^{B_0X_1^{B_1}+X_2^{B_2}X_3^{B_3} \dots X_n^{B_n}} \quad (\text{Equação 3})$$

Modelo Logarítmico

$$Q = B_0 + B_1\ln X_1 + B_2\ln X_2 + B_3\ln X_3 \dots + B_n\ln X_n \quad (\text{Equação 4})$$

Modelo Recíproco

$$Q = \frac{1}{B_0+B_1X_1+B_2X_2+B_3X_3 \dots + B_nX_n} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde Q é a vazão estimada, X é a variável independente, B os coeficientes e n o número de variáveis independentes.

3.4 CÁLCULO DOS INDICADORES DE VAZÃO

De acordo com ANA (2013), o cálculo dos indicadores para avaliação e seleção dos modelos é dado a partir das equações descritas nos itens a seguir:

3.4.1 Coeficiente de determinação

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

$$SQT = SQR + SQE \quad (\text{Equação 7})$$

Sendo que SQT é a soma dos quadrados totais, SQR é a soma dos quadrados da regressão com p graus de liberdade e SQE é a soma dos quadrados dos desvios.

3.4.2 Erro padrão

$$E = S^2 - A^{-1} \quad (\text{Equação 8})$$

Sendo S^2 é a matriz de variância amostral e A é obtido a partir da equação:

$$A = X'X \quad (\text{Equação 9})$$

Em que X' é a matriz transposta de X observada, onde:

$$\begin{pmatrix} 1 & X_{11} & \dots & X_{p1} \\ 1 & X_{12} & \dots & X_{p2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_{1n} & \dots & X_{pn} \end{pmatrix}$$

3.4.3 Resíduos

De acordo com Azevedo (2016, p.185) os resíduos são definidos como “a diferença entre o valor observado e o valor estimado”. Desta forma procedeu-se o cálculo dos resíduos conforme a equação 10 e em seguida o cálculo da raiz do erro quadrático médio (RMSE) para o modelo que melhor se ajustou a regionalização de vazões.

$$R = Q_{obs} - Q_{est} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde Q_{obs} é a vazão observada e Q_{est} é a vazão estimada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 OBTENÇÃO DOS VALORES DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

A obtenção dos valores das variáveis explicativas área de drenagem, comprimento do rio e declividade média do rio principal para as estações fluviométricas selecionadas resultou nos dados apresentados na tabela 2.

Tabela 2 -Valores das variáveis explicativas para as estações fluviométricas selecionadas.

| Estação | Nome da estação | Área (km²) | Comprimento do rio (km) | Declividade média (m/km²) |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|---|
| 1 | Salto Claudelino | 1.782 | 92,6 | 4,79 |
| 2 | Sítio São João (Pinheiro Jusante) | 28,8 | 10,5 | 14,95 |
| 3 | ETA- Pato Branco | 155,8 | 26,3 | 8,13 |
| 4 | Porto Palmeirinha | 3.410 | 208,6 | 3,53 |
| 5 | Moinho Caçador | 73 | 21,4 | 14,53 |
| 6 | Canal de Fuga Salto Grande | 3.720 | 234,8 | 3,3 |
| 7 | Ponte do Vitorino | 545 | 77,4 | 4,01 |
| 8 | Mandurim Jusante | 25,4 | 12,5 | 12,96 |
| 9 | ETA- Francisco Beltrão | 338,2 | 60,5 | 4,54 |
| 10 | Balsa do Santana | 1.720 | 129 | 2,78 |
| 11 | Flor da Serra | 7.130 | 327,1 | 2,65 |

Fonte: Autoria própria (2019).

A estação fluviométrica com maior área de drenagem foi a de Flor da Serra e a menor a Mandurim Jusante. Quanto ao comprimento do rio, Flor da Serra e Sítio São João, foram as de maior e menor medida, respectivamente. Com relação a declividade média do rio principal, o maior valor ocorreu para a estação fluviométrica Sítio São João e o menor para a Flor da Serra.

4.2 OBTENÇÃO DAS VAZÕES

A partir da obtenção da série histórica de vazões das estações fluviométricas selecionadas procedeu-se a importação para o software SisCAH, onde foram identificados os valores referentes as vazões máximas, médias, mínimas e de permanência em 90% do tempo (Q_{90}), conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3 - Vazões máximas, médias, mínimas e de permanência em 90% do tempo (Q_{90}) para as estações fluviométricas selecionadas

| Número | Vazão máxima (m ³ /s) | Vazão média (m ³ /s) | Vazão mínima (m ³ /s) | Q_{90} (m ³ /s) |
|--------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| 1 | 1.355 | 56,77 | 2,25 | 12,23 |
| 2 | 5,5 | 0,58 | 0,1 | 0,1 |
| 3 | 89,46 | 5,00 | 0,40 | 0,98 |
| 4 | 1.352 | 92,81 | 5,01 | 20,60 |
| 5 | 47,5 | 1,99 | 0,31 | 0,34 |
| 6 | 2.219,56 | 359,94 | 69,05 | 106 |
| 7 | 259,2 | 14,84 | 1,91 | 3,86 |
| 8 | 5,88 | 0,55 | 0,04 | 0,08 |
| 9 | 362,13 | 10,85 | 0,7 | 1,05 |
| 10 | 1419 | 52,3 | 1,46 | 9,06 |
| 11 | 12.545 | 537,62 | 51,00 | 76,60 |

Fonte: Adaptado de Hidrowe, 2019.

Com base nos valores obtidos procedeu-se a regressão para cada vazão, os valores obtidos estão apresentados nos itens a seguir juntamente com a análise dos respectivos parâmetros.

4.3 VAZÕES MÁXIMAS

A regionalização das vazões máximas pelo método tradicional apresentou os resultados descritos nos itens a seguir, de acordo com cada variável analisada.

4.3.1 Área de drenagem

Os resultados dos modelos testados referentes à regionalização de vazões máximas, onde a área de drenagem (A_d) foi a variável preditora, são apresentados na tabela 4. Ao analisar os resultados, verificou-se que o modelo potencial foi o melhor, pois apresentou a maior qualidade de ajuste, medida pelo valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,96$) e um baixo erro padrão (0,50).

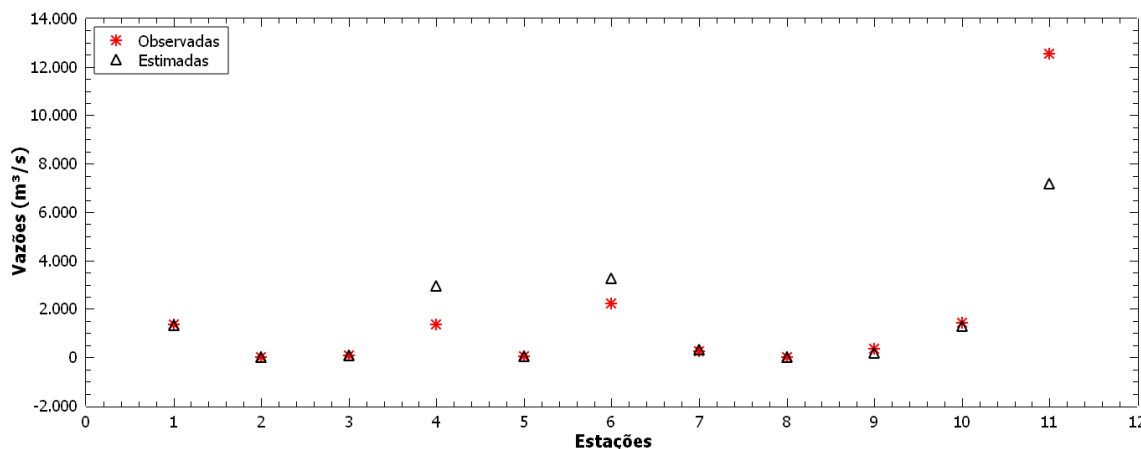
Tabela 4 - Comparação entre os modelos testados para as vazões máximas em função da área de drenagem

| Modelo | Equações de regressão | R ² | Erro padrão |
|-------------|---|----------------|-------------|
| Linear | $Q_{\text{máx}} = -730 + 1,463332Ad$ | 0,80 | 1677,33 |
| Potencial | $Q_{\text{máx}} = 0,154415Ad^{1,211506}$ | 0,96 | 0,50 |
| Exponencial | $Q_{\text{máx}} = e^{60,52048+0,000897Ad}$ | 0,66 | 1,52 |
| Logarítmico | $Q_{\text{máx}} = -4970,54 + 1089,601\ln(Ad)$ | 0,36 | 3079,80 |
| Recíproco | $Q_{\text{máx}} = (0,058132 - 1,3 \times 10^{-5}Ad)^{-1}$ | 0,17 | 0,07 |

Fonte: Autor, 2019.

Comparando-se os valores observados com os estimados pelo modelo potencial (Figura 5) para a vazão máxima, percebeu-se grande proximidade, o que resultou em medidas de erro padrão (0,50) e RMSE (4,45) baixas. No entanto, observou-se que a estação 11 (Flor da Serra) apresentou o maior resíduo, provavelmente porque ela possui características muito distintas das demais.

Figura 5 - Gráfico das vazões máximas observadas e estimadas em função da área de drenagem pelo modelo potencial



Fonte: Autoria própria (2019).

4.3.2 Comprimento do rio

Os resultados dos modelos testados referentes à regionalização de vazões máximas, onde o comprimento do rio (L) foi a variável preditora, são apresentados na tabela 5. Ao analisar os resultados, verificou-se que o modelo potencial foi o melhor, pois apresentou a maior qualidade de ajuste, medida pelo valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,94$) e um baixo erro padrão (0,60).

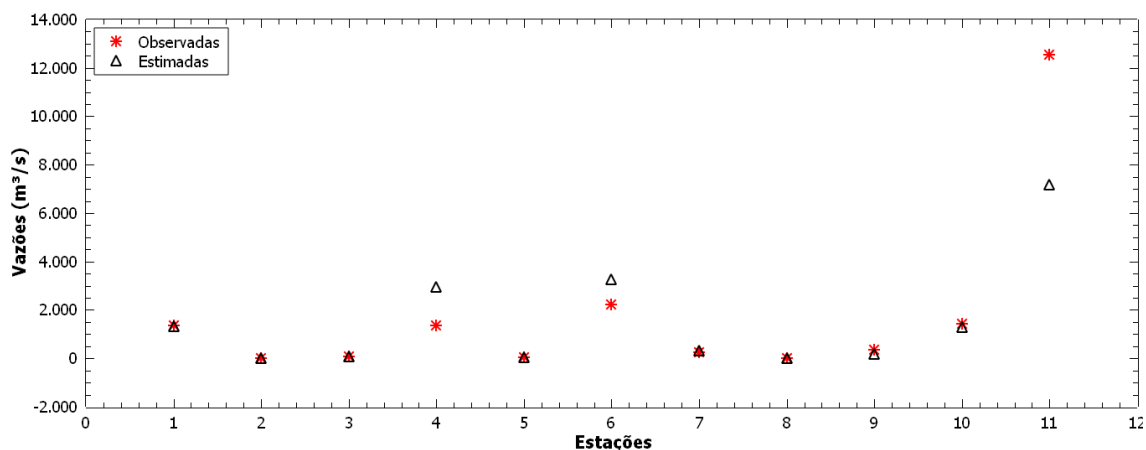
Tabela 5 - Comparação entre os modelos testados para as vazões máximas em função do comprimento do rio

| Modelo | Equações de regressão | R ² | Erro padrão |
|-------------|--|----------------|-------------|
| Linear | $Q_{máx} = -1279,42 + 28,09Cr$ | 0,65 | 2249,56 |
| Potencial | $Q_{máx} = 0,0676Cr^{2,0098}$ | 0,94 | 0,60 |
| Exponencial | $Q_{máx} = e^{30,798+0,0203Cr}$ | 0,74 | 1,31 |
| Logarítmico | $Q_{máx} = -5885,27 + 1849,24\ln(Cr)$ | 0,36 | 3055,37 |
| Recíproco | $Q_{máx} = (0,0724 - 0,000336Cr)^{-1}$ | 0,25 | 0,06 |

Fonte: Autoria própria (2019).

Comparando-se os valores observados com os estimados pelo modelo potencial (Figura 6) para a vazão máxima, percebeu-se grande proximidade na maioria dos valores, no entanto, para as estações 1 (Salto Claudelino), 4 (Porto Palmeirinha), 6 (Canal de Fuga Salto Grande) e 11 (Flor da Serra) há uma diferença notável, o que resultou em uma medida de RMSE (225,65) alta. A diferença observada para essas estações ocorre provavelmente porque as mesmas possuem características muito distintas das demais, neste caso, observou-se que são as estações com maiores valores de comprimento do rio.

Figura 6 - Gráfico das vazões máximas observadas e estimadas em função do comprimento do rio pelo modelo potencial.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.3.3 Declividade média do rio principal

Os resultados referentes à regionalização de vazões máximas, onde a declividade média do rio principal (S) é a variável são apresentados na tabela 6. Ao

analisar os resultados, verificou-se que o modelo potencial foi o melhor, pois apresentou a maior qualidade de ajuste, medida pelo valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,86$) e um baixo erro padrão (0,97).

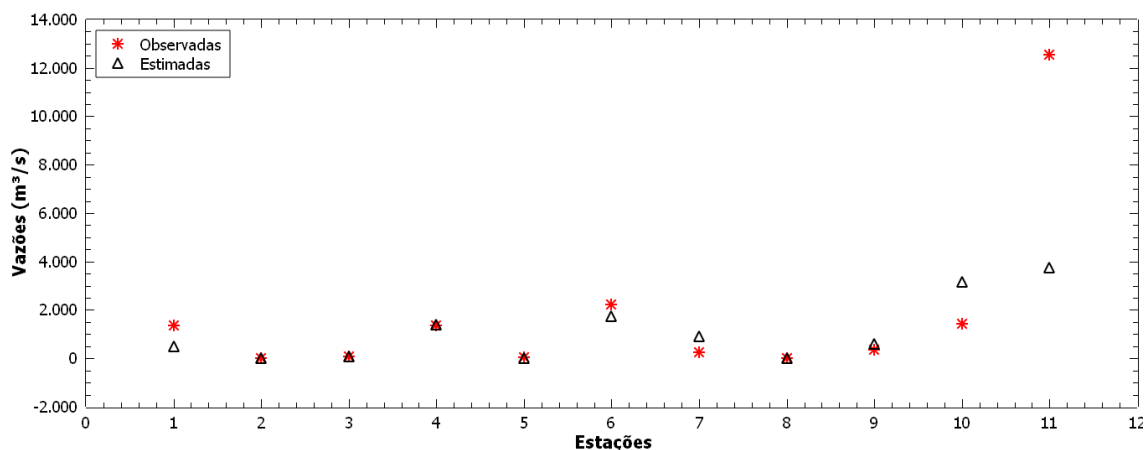
Tabela 6 - Gráfico das vazões máximas observadas e estimadas em função da declividade média do rio principal pelo modelo potencial.

| Modelo | Equações de regressão | R ² | Erro padrão |
|-------------|--|----------------|-------------|
| Linear | $Q_{máx} = 3992,41 - 318,449Dm$ | 0,18 | 3447,16 |
| Potencial | $Q_{máx} = 107356,89Dm^{-3,445}$ | 0,86 | 0,97 |
| Exponencial | $Q_{máx} = e^{6719,78-0,4573Dm}$ | 0,81 | 1,11 |
| Logarítmico | $Q_{máx} = 6631,9 - 2810,86\ln(Dm)$ | 0,26 | 3299,44 |
| Recíproco | $Q_{máx} = (-0,0405 + 0,01101Dm)^{-1}$ | 0,59 | 0,04 |

Fonte: Autoria própria (2019).

Comparando-se os valores observados com os estimados pelo modelo potencial (Figura 7) para a vazão máxima, percebeu-se que há proximidade para a maioria das estações. No entanto, apenas a estação 8 (Mandurim Jusante) apresenta grande proximidade, enquanto na estação 11 (Flor da Serra) nota-se grande diferença, o que resultou em uma medida de RMSE (261,97) alta.

Figura 7 - Gráfico das vazões médias observadas e estimadas em função da área de drenagem pelo modelo potencial.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.4 VAZÕES MÉDIAS

4.4.1 Área de drenagem

Os resultados dos modelos testados referentes à regionalização de vazões médias, onde a área de drenagem (Ad) foi a variável preditora, são apresentados na tabela 7. Ao analisar os resultados, verificou-se que o modelo potencial foi o melhor, pois apresentou a maior qualidade de ajuste, medida pelo valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,98$) e um baixo erro padrão (0,36).

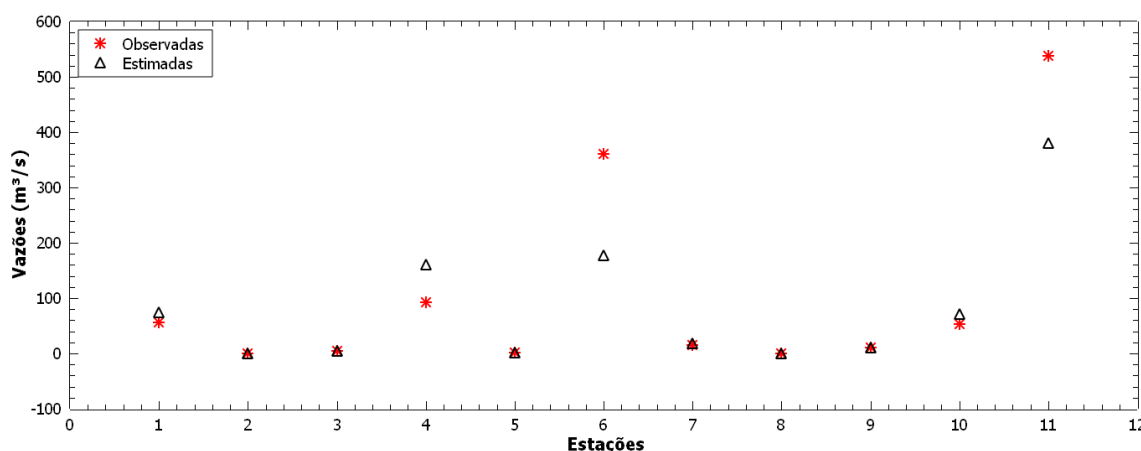
Tabela 7 - Comparação entre os modelos testados para as vazões médias em função da área de drenagem

| Modelo | Equações de regressão | R ² | Erro padrão |
|-------------|--------------------------------------|----------------|-------------|
| Linear | $Q_{méd} = -24,98 + 0,074Ad$ | 0,87 | 65,30 |
| Potencial | $Q_{méd} = 0,0116Ad^{1,172}$ | 0,98 | 0,36 |
| Exponencial | $Q_{méd} = e^{3,513+0,0009Ad}$ | 0,73 | 1,30 |
| Logarítmico | $Q_{méd} = -277,52 + 61,36\ln(Ad)$ | 0,47 | 135,63 |
| Recíproco | $Q_{méd} = (0,65 - 0,000145Ad)^{-1}$ | 0,22 | 0,64 |

Fonte: Autoria própria (2019).

Comparando-se os valores observados com os estimados pelo modelo potencial (Figura 8) para a vazão média, percebeu-se grande proximidade, o que resultou em medidas de erro padrão (0,36) e RMSE (5,47) baixas. No entanto, observou-se que a estação 11 (Flor da Serra) apresentou o maior resíduo, provavelmente porque ela possui características muito distintas das demais.

Figura 8 - Gráfico das vazões médias observadas e estimadas em função da área de drenagem pelo modelo potencial.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.4.2 Comprimento do rio principal

Os resultados dos modelos testados referentes à regionalização de vazões médias, onde o comprimento do rio (L) foi a variável preditora, são apresentados na tabela 8. Ao analisar os resultados, verificou-se que o modelo potencial foi o melhor, pois apresentou a maior qualidade de ajuste, medida pelo valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,96$) e um baixo erro padrão (0,43).

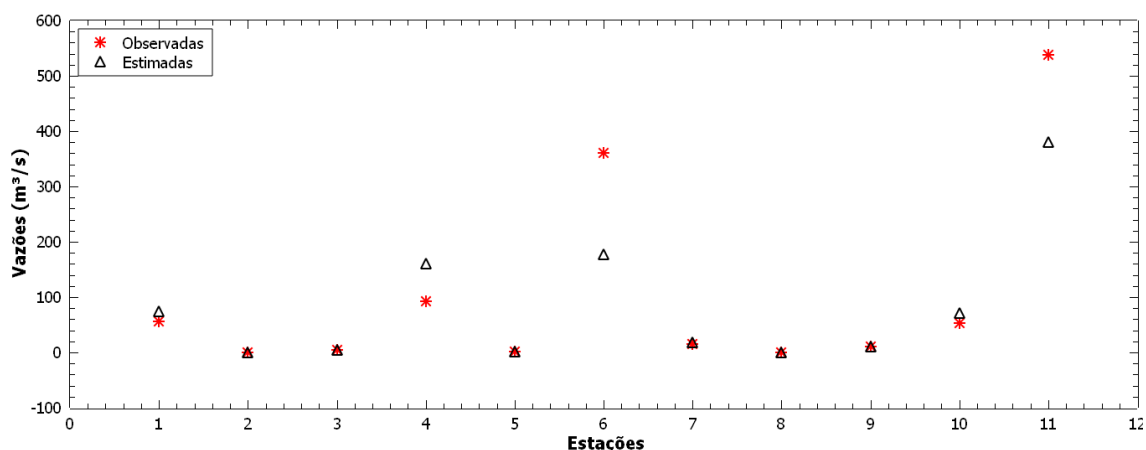
Tabela 8 - Comparação entre os modelos testados para as vazões médias em função do comprimento do rio

| Modelo | Equações de regressão | R ² | Erro padrão |
|-------------|------------------------------------|----------------|-------------|
| Linear | $Q_{méd} = -64,38 + 1,53Ad$ | 0,82 | 78,89 |
| Potencial | $Q_{méd} = 0,0050Ad^{1,9518}$ | 0,96 | 0,43 |
| Exponencial | $Q_{méd} = e^{1,749+0,0206Ad}$ | 0,83 | 1,01 |
| Logarítmico | $Q_{méd} = -335,95 + 105,8\ln(Ad)$ | 0,51 | 131,77 |
| Recíproco | $Q_{méd} = (0,81 - 0,0376Ad)^{-1}$ | 0,31 | 0,60 |

Fonte: Autoria própria (2019).

Comparando-se os valores observados com os estimados pelo modelo potencial (Figura 9) para a vazão média, percebeu-se proximidade, o que resultou em medidas de erro padrão (0,36) e RMSE (6,59) baixas. No entanto, observou-se que a estação 11 (Flor da Serra) apresentou o maior resíduo, provavelmente porque ela possui características muito distintas das demais.

Figura 9 - Gráfico das vazões médias observadas e estimadas em função do comprimento do rio pelo modelo potencial.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.4.3 Declividade média do rio principal

Os resultados dos modelos testados referentes à regionalização de vazões médias, onde a declividade média do rio principal (S) foi a variável preditora, são apresentados na tabela 9. Ao analisar os resultados, verificou-se que o modelo potencial foi o melhor, pois apresentou a maior qualidade de ajuste, medida pelo valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,84$) e um baixo erro padrão (0,99).

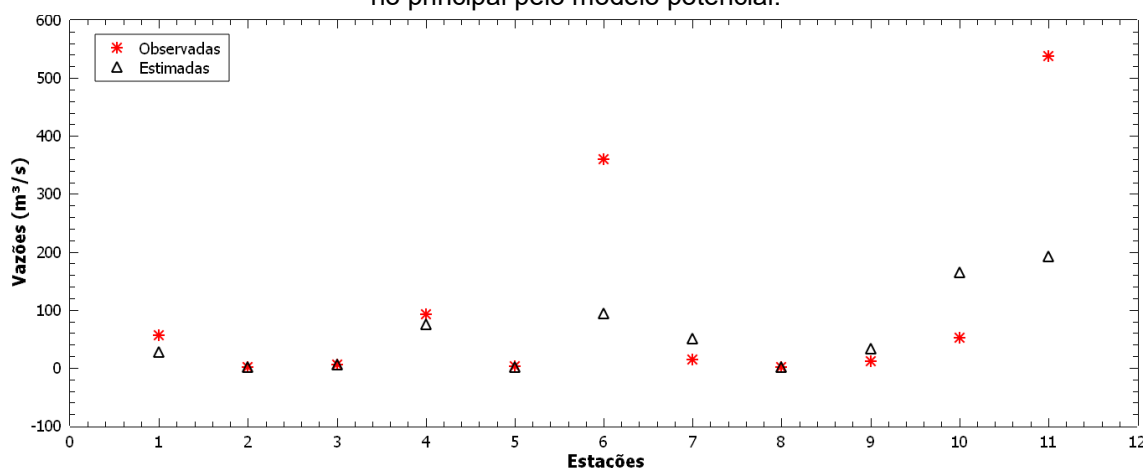
Tabela 9 - Comparação entre os modelos testados para as vazões médias em função da declividade média do rio principal

| Modelo | Equações de regressão | R ² | Erro |
|-------------|-------------------------------------|----------------|--------|
| Linear | $Q_{méd} = 227,49 - 7,97Ad$ | 0,24 | 163,15 |
| Potencial | $Q_{méd} = 04664,93Ad^{-3,36971}$ | 0,84 | 0,99 |
| Exponencial | $Q_{méd} = e^{328,9-0,308Ad}$ | 0,79 | 1,15 |
| Logarítmico | $Q_{méd} = -368,67 + 154,13\ln(Ad)$ | 0,33 | 153,23 |
| Recíproco | $Q_{méd} = (-0,41 + 0,83Ad)^{-1}$ | 0,70 | 0,40 |

Fonte: Autoria própria (2019).

Comparando-se os valores observados com os estimados pelo modelo potencial (Figura 10) para a vazão média, percebeu-se grande proximidade na maioria dos valores, no entanto, para as estações 6 (Canal de Fuga Salto Grande), 10 (Balsa do Santana) e 11 (Flora da Serra) há uma diferença notável, o que resultou em uma medida de RMSE (32,49) alta. A diferença observada para essas estações ocorre provavelmente porque as mesmas possuem características muito distintas das demais.

Figura 10 - Gráfico das vazões médias observadas e estimadas em função da declividade média do rio principal pelo modelo potencial.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.5 VAZÕES MÍNIMAS

4.5.1 Área de drenagem

Os resultados dos modelos testados referentes à regionalização de vazões mínimas, onde a área de drenagem (A_d) foi a variável preditora, são apresentados na tabela 10. Ao analisar os resultados, verificou-se que o modelo potencial foi o melhor, pois apresentou a maior qualidade de ajuste, medida pelo valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,86$) e um baixo erro padrão (0,91).

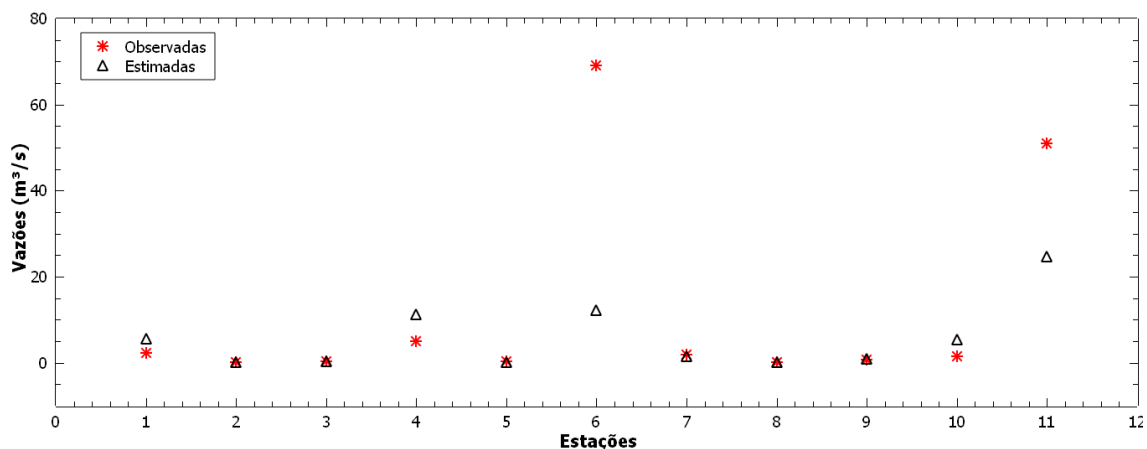
Tabela 10 - Comparação entre os modelos testados para as vazões mínimas em função da área de drenagem

| Modelo | Equações de regressão | R^2 | Erro padrão |
|-------------|---|-------|-------------|
| Linear | $Q_{\min} = -2,27383 + 0,008307A_d$ | 0,60 | 16,14 |
| Potencial | $Q_{\min} = 0,001748A_d^{1,077249}$ | 0,86 | 0,91 |
| Exponencial | $Q_{\min} = e^{0,299422+0,000894A_d}$ | 0,74 | 1,24 |
| Logarítmico | $Q_{\min} = -32,5249 + 7,182478\ln(A_d)$ | 0,35 | 20,40 |
| Recíproco | $Q_{\min} = (6,419257 - 0,00014A_d)^{-1}$ | 0,17 | 7,22 |

Fonte: Autoria própria (2019).

Comparando-se os valores observados com os estimados pelo modelo potencial (Figura 11) para a vazão mínima, percebeu-se grande proximidade, o que resultou em medidas de erro padrão (0,90) e RMSE (0,99) baixas. No entanto, observou-se que as estações 6 (Canal de Fuga Salto Grande) e 11 (Flor da Serra) apresentam os maiores resíduos, provavelmente porque possuem características muito distintas das demais.

Figura 11 - Gráfico das vazões mínimas observadas e estimadas em função da área de drenagem pelo modelo potencial.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.5.2 Comprimento do rio

Os resultados dos modelos testados referentes à regionalização de vazões mínimas, onde o comprimento do rio (L) foi a variável preditora, são apresentados na tabela 11. Ao analisar os resultados, verificou-se que o modelo potencial foi o melhor, pois apresentou a maior qualidade de ajuste, medida pelo valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,87$) e um baixo erro padrão (0,85).

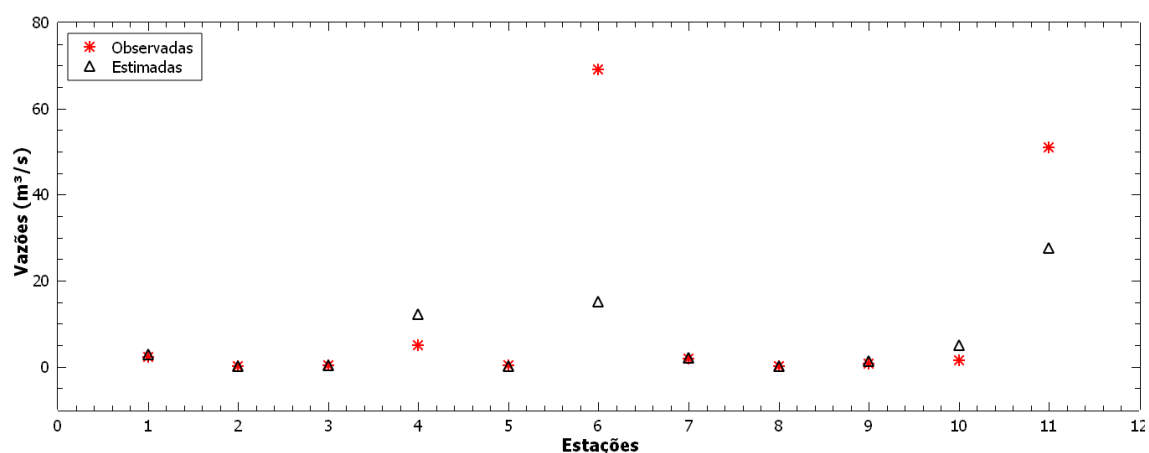
Tabela 11 - Comparação entre os modelos testados para as vazões mínimas em função do comprimento do rio

| Modelo | Equações de regressão | R^2 | Erro |
|-------------|------------------------------------|-------|-------|
| Linear | $Q_{min} = -7,78 + 0,18Ad$ | 0,62 | 15,51 |
| Potencial | $Q_{min} = 0,0073Ad^{1,819}$ | 0,87 | 0,85 |
| Exponencial | $Q_{min} = e^{0,1509+0,0203Ad}$ | 0,85 | 0,94 |
| Logarítmico | $Q_{min} = -40,47 + 12,65\ln(Ad)$ | 0,39 | 19,77 |
| Recíproco | $Q_{min} = (7,89 - 0,0356Ad)^{-1}$ | 0,25 | 6,89 |

Fonte: Autoria própria (2019).

Comparando-se os valores observados com os estimados pelo modelo potencial (Figura 12) para a vazão mínima, percebeu-se grande proximidade, o que resultou em medidas de erro padrão (0,85) e RMSE (0,15) baixas. No entanto, observou-se que as estações 6 (Canal de Fuga Salto Grande) e 11 (Flor da Serra) apresentam os maiores resíduos, provavelmente porque possuem características muito distintas das demais.

Figura 12 - Gráfico das vazões mínimas observadas e estimadas em função do comprimento do rio pelo modelo potencial.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.5.3 Declividade média do rio principal

Os resultados dos modelos testados referentes à regionalização de vazões mínimas, onde a declividade média do rio principal (S) foi a variável preditora, são apresentados na tabela 12. Ao analisar os resultados, verificou-se que o modelo potencial foi o melhor, pois apresentou a maior qualidade de ajuste, medida pelo valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,69$) e um baixo erro padrão (1,37).

Tabela 12 - Comparação entre os modelos testados para as vazões mínimas em função declividade média do rio principal

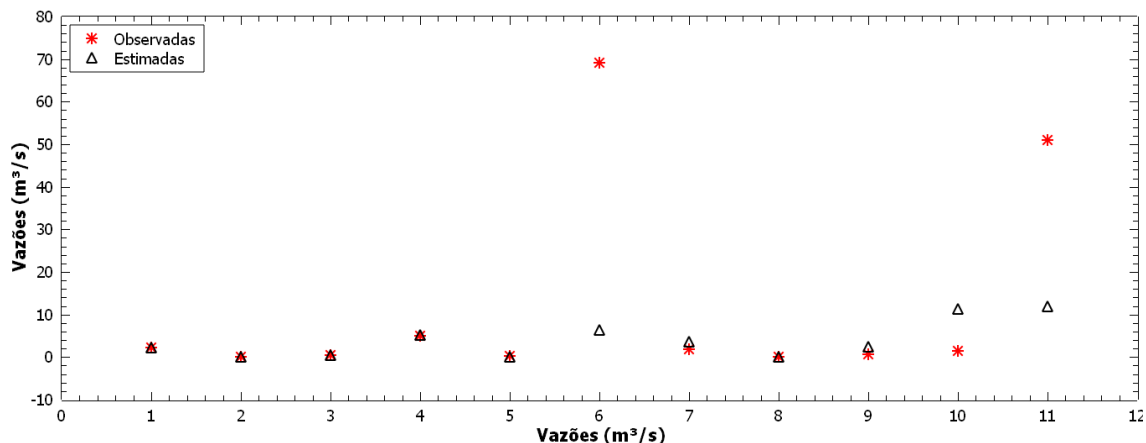
| Modelo | Equações de regressão | R ² | Erro |
|-------------|-----------------------------------|----------------|-------|
| Linear | $Q_{min} = 26,41 - 2,08Ad$ | 0,18 | 23,04 |
| Potencial | $Q_{min} = 196,2Ad^{-2,874}$ | 0,69 | 1,37 |
| Exponencial | $Q_{min} = e^{18,65-0,375Ad}$ | 0,62 | 1,50 |
| Logarítmico | $Q_{min} = 42,11 - 17,48\ln(Ad)$ | 0,24 | 22,23 |
| Recíproco | $Q_{min} = (-3,19 + 1,04Ad)^{-1}$ | 0,46 | 5,86 |

Fonte: Autoria própria (2019).

Comparando-se os valores observados com os estimados pelo modelo potencial (Figura 13) para a vazão mínima, percebeu-se grande proximidade, o que resultou em medidas de erro padrão (1,37) e RMSE (0,02) baixas. No entanto, observou-se que as estações 6 (Canal de Fuga Salto Grande) e 11 (Flor da Serra)

apresentam os maiores resíduos, provavelmente porque possuem características muito distintas das demais.

Figura 13 - Gráfico das vazões mínimas observadas e estimadas em função da declividade média do rio principal pelo modelo potencial.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.6 VAZÃO DE PERMANÊNCIA (Q₉₀)

4.6.1 Área de drenagem

Os resultados dos modelos testados referentes à regionalização de vazões de permanência (Q₉₀), onde a área de drenagem (Ad) foi a variável preditora, são apresentados na tabela 13. Ao analisar os resultados, verificou-se que o modelo potencial foi o melhor, pois apresentou a maior qualidade de ajuste, medida pelo valor do coeficiente de determinação (R² = 0,97) e um baixo erro padrão (0,48).

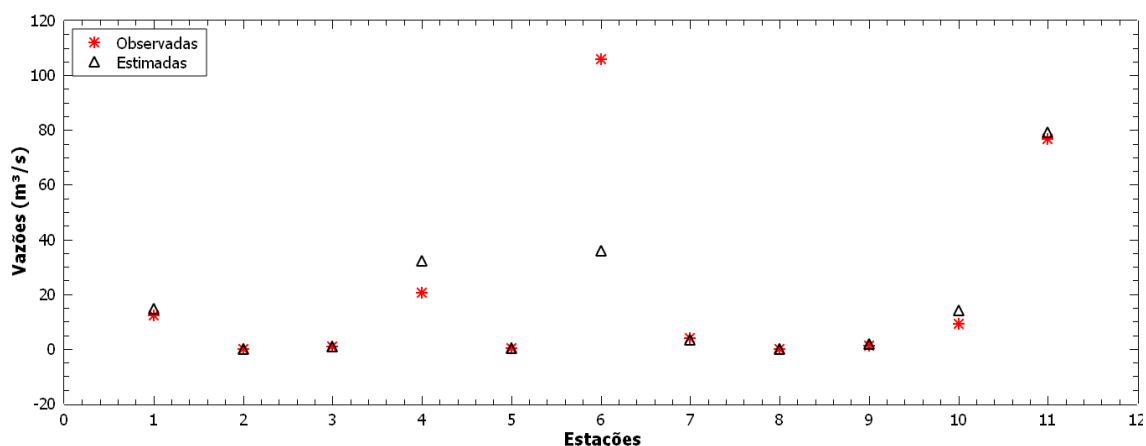
Tabela 13 - Comparação entre os modelos testados para as vazões de permanência (Q₉₀) em função da área de drenagem

| Modelo | Equações de regressão | R ² | Erro padrão |
|-------------|--|----------------|-------------|
| Linear | $Q_{90} = -1,35835 + 0,012988Ad$ | 0,65 | 22,22 |
| Potencial | $Q_{90} = 0,001558Ad^{1,221263}$ | 0,97 | 0,48 |
| Exponencial | $Q_{90} = e^{0,620765+0,000922Ad}$ | 0,69 | 1,46 |
| Logarítmico | $Q_{90} = -53,6061 + 12,02787\ln(Ad)$ | 0,45 | 28,12 |
| Recíproco | $Q_{90} = (4,11299 - -0,00091Ad)^{-1}$ | 0,21 | 4,13 |

Fonte: Autoria própria (2019).

Comparando-se os valores observados com os estimados pelo modelo potencial (Figura 14) para a vazão de permanência (Q_{90}), percebeu-se grande proximidade, o que resultou em medidas de erro padrão (0,48) e RMSE (0,69) baixas. No entanto, observou-se que as estações 6 (Canal de Fuga Salto Grande) e 11 (Flor da Serra) apresentam os maiores resíduos, provavelmente porque possuem características muito distintas das demais.

Figura 14 - Gráfico das vazões de permanência (Q_{90}) observadas e estimadas em função da área de drenagem pelo modelo potencial.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.6.2 Comprimento do rio principal

Os resultados dos modelos testados referentes à regionalização de vazões de permanência (Q_{90}), onde o comprimento do rio principal (L) foi a variável preditora, são apresentados na tabela 14. Ao analisar os resultados, verificou-se que o modelo potencial foi o melhor, pois apresentou a maior qualidade de ajuste, medida pelo valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,95$) e um baixo erro padrão (0,59).

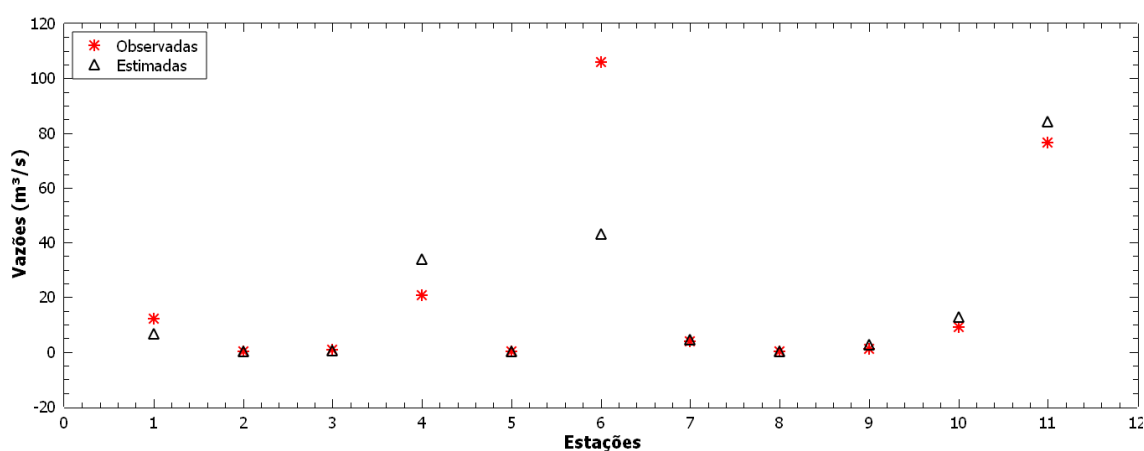
Tabela 14 - Comparação entre os modelos testados para as vazões de permanência (Q_{90}) em função do comprimento do rio

| Modelo | Equações de regressão | R^2 | Erro padrão |
|-------------|-------------------------------------|-------|-------------|
| Linear | $Q_{90} = -10,25 + 0,2862Ad$ | 0,7 | 20,66 |
| Potencial | $Q_{90} = 0,000679Ad^{2,0256}$ | 0,95 | 0,59 |
| Exponencial | $Q_{90} = e^{0,2978+0,02126Ad}$ | 0,8 | 1,15 |
| Logarítmico | $Q_{90} = -65,63 + 20,87(Ad)$ | 0,48 | 27,25 |
| Recíproco | $Q_{90} = (5,08 - 0,023296Ad)^{-1}$ | 0,31 | 3,88 |

Fonte: Autoria própria (2019).

Comparando-se os valores observados com os estimados pelo modelo potencial (Figura 15) para a vazão de permanência (Q_{90}), percebeu-se grande proximidade, o que resultou em medidas de erro padrão (0,59) e RMSE (1,71) baixas. No entanto, observou-se que a estações 6 (Canal de Fuga Salto Grande) apresenta o maior resíduo, provavelmente porque possui características muito distintas das demais.

Figura 15 - Gráfico das vazões de permanência (Q_{90}) observadas e estimadas em função do comprimento do rio pelo modelo potencial.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.6.3 Declividade média do rio principal

Os resultados dos modelos testados referentes à regionalização de vazões de permanência (Q_{90}), onde a declividade média do rio principal (S) foi a variável preditora, são apresentados na tabela 15. Ao analisar os resultados, verificou-se que o modelo potencial foi o melhor, pois apresentou a maior qualidade de ajuste, medida pelo valor do coeficiente de determinação ($R^2 = 0,81$) e um baixo erro padrão (1,14).

Tabela 15 - Comparação entre os modelos testados para as vazões de permanência (Q_{90}) em função da declividade média do rio principal

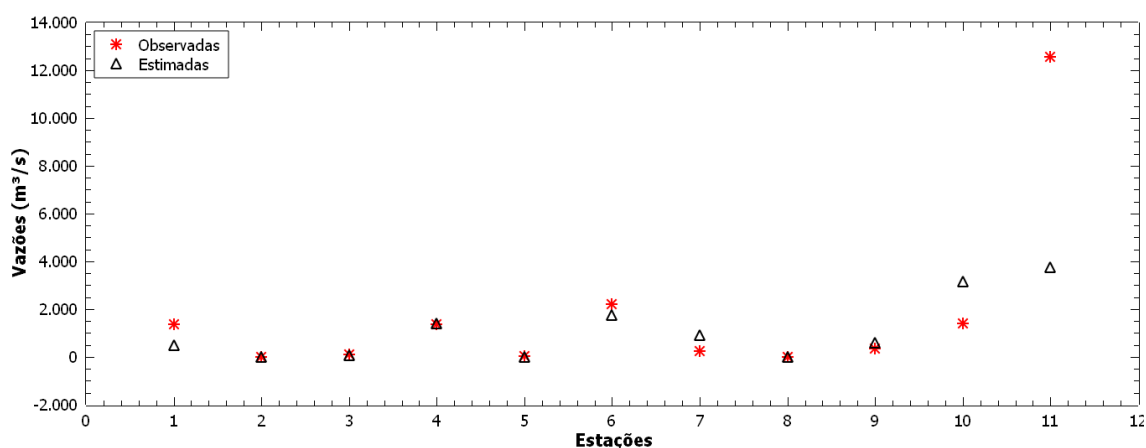
| Modelo | Equações de regressão | R^2 | Erro padrão |
|-------------|--------------------------------|-------|-------------|
| Linear | $Q_{máx} = 45,73 - 3,57Ad$ | 0,15 | 33,13 |
| Potencial | $Q_{máx} = 998,67Ad^{-3,36}$ | 0,81 | 1,14 |
| Exponencial | $Q_{máx} = e^{65,82-0,444Ad}$ | 0,76 | 1,28 |
| Logarítmico | $Q_{máx} = 72,22 - 29,72n(Ad)$ | 0,30 | 31,63 |

| | | | |
|-----------|---|------|------|
| Recíproco | $Q_{m\acute{a}x} = (-2,54 + 0,73Ad)^{-1}$ | 0,65 | 2,73 |
|-----------|---|------|------|

Fonte: Aatoria pr3pria (2019).

Comparando-se os valores observados com os estimados pelo modelo potencial (Figura 16) para a vaz3o de perman3ncia (Q_{90}), percebeu-se grande proximidade, o que resultou em medidas de erro padr3o (1,14) e RMSE (2,13) baixas. No entanto, observou-se que as esta33es 6 (Canal de Fuga Salto Grande) e 11 (Flor da Serra) apresentam os maiores res3duos, provavelmente porque possuem caracter3sticas muito distintas das demais.

Figura 16 - Gr3fico das vaz3es de perman3ncia (Q_{90}) observadas e estimadas em fun333o da declividade m3dia do rio principal pelo modelo potencial.



Fonte: Aatoria pr3pria (2019).

4.7 RESUMO GERAL

Com base em todos os resultados obtidos para a regionaliza33o das vaz3es m3dias, m3ximas, m3nimas e de perman3ncia para a bacia hidrogr3fica do rio Chopim, observa-se que com rela333o as vaz3es m3ximas o modelo com melhor ajuste de dados 3 o potencial, enquanto a vari3vel que melhor representa 3 declividade m3dia do rio principal.

Com rela333o 3 vaz3o m3dia, o modelo com melhor ajuste 3 o potencial, enquanto a vari3vel 3 a 3rea de drenagem. Ao analisar os resultados obtidos para as vaz3es m3nimas, observa-se que o modelo potencial apresenta melhor ajuste, e que a vari3vel declividade m3dia do rio principal 3 a que apresenta menor valor de RMSE

(0,02), indicando que os valores estimados estão mais próximos dos valores observados.

Por fim, para a vazão de permanência (Q_{90}) o modelo potencial apresenta melhor ajuste de dados, enquanto a variável na qual os valores observados estão mais próximos aos estimados é a área de drenagem.

Tabela 16 -Resumo geral dos coeficientes de determinação e erro padrão.

| Parâmetros | Modelo de ajuste | Área de drenagem (km²) | Comprimento do rio principal (km) | Declividade média do rio principal (km/km²) |
|--|-------------------------|--|--|---|
| Vazões máximas | | | | |
| R ² | Potencial | 0,96 | 0,94 | 0,86 |
| Erro padrão | Potencial | 0,50 | 0,6 | 0,97 |
| RMSE | Potencial | 4,45 | 225,65 | 0,04 |
| Vazões médias | | | | |
| R ² | Potencial | 0,98 | 0,96 | 0,84 |
| Erro padrão | Potencial | 0,36 | 0,43 | 0,4 |
| RMSE | Potencial | 5,47 | 6,59 | 32,49 |
| Vazões mínimas | | | | |
| R ² | Potencial | 0,86 | 0,87 | 0,69 |
| Erro padrão | Potencial | 0,9 | 0,85 | 1,37 |
| RMSE | Potencial | 0,99 | 0,15 | 0,02 |
| Vazões de permanência (Q_{90}) | | | | |
| R ² | Potencial | 0,96 | 0,95 | 0,81 |
| Erro padrão | Potencial | 0,47 | 0,59 | 1,14 |
| | Potencial | 0,69 | 1,71 | 2,13 |

Fonte: Autoria própria (2019).

5. CONCLUSÃO

Ao analisar os dados quantitativos obtidos no decorrer do presente estudo, observa-se que é possível utilizar a regionalização de vazões por meio do método tradicional para representar as vazões máximas, médias, mínimas e de permanência (Q_{90}) para a bacia hidrográfica do rio Chopim.

Com base nos valores obtidos para os parâmetros analisados é possível afirmar que o modelo potencial se mostrou mais satisfatório que os demais, apresentando em geral, valores de coeficiente de determinação maiores e valores de erro padrão menores.

Com relação às variáveis explicativas, a área de drenagem, associada ao modelo potencial é a que apresenta maior aproximação aos dados observados e estimados para as vazões médias e de permanência em 90% do tempo (Q_{90}), enquanto a variável declividade média do rio principal, associada ao modelo potencial possui maior ajuste dos dados para as vazões máximas e mínimas.

Desta forma, podemos dizer que, devido aos resultados observados, é possível realizar a regionalização de vazões para a bacia hidrográfica do rio Chopim, através do software SisCoRv, utilizando-se dados quantitativos de estações fluviométricas localizadas no rio Chopim e seus afluentes.

No decorrer da análise dos dados observa-se que as estações 6 e 11 apresentam maior discrepância quando comparados os valores de vazão observados e estimados, sugerindo assim, uma análise da regionalização de vazões para a bacia hidrográfica do rio Chopim sem a utilização de seus dados. Sugere-se ainda estudar as correlações e a possibilidade de multicolinearidade para a regionalização das vazões a partir de regressão múltipla.

REFERENCIAS

Agência Nacional de Águas (ANA). SisCAH 1.0: Sistema Computacional para Análises Hidrológicas / Agência Nacional de Águas; Superintendência de Gestão da Informação (SGI) Universidade Federal de Viçosa --- Brasília: SGI, 2009. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2009/SISCAHManual.pdf>>.

Agência Nacional de Águas (ANA). SISCORV 1.0: Sistema Computacional para Regionalização de Vazões / Agência Nacional de Águas; Superintendência de Gestão da Informação (SGI) Universidade Federal de Viçosa --- Brasília: SGI, 2013. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2013/siscorv10.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

Agência Nacional do Aguas (ANA). Base hidrográfica ottocodificada. -- Brasília: ANA, 2015. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2015/BaseHidrograficaOttocodificada.pdf>>. Acesso em 01 out 2019.

Agencia Nacional das Águas (ANA). **Portal Hidroweb**. 2019. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf>. Acesso em 15 ago 2019.

AZEVEDO, PAULO ROBERTO MEDEIROS DE. **Introdução à estatística**. - 3. ed. - Natal, RN : EDUFRN, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/21298/2/Introduc%CC%A7a%CC%83o%20a%CC%80%20Estati%CC%81stica%20%28digital%29.pdf>>. Acesso em 09 out. 2019.

Banco de Dados Geográficos do Exército Brasileiro (BDGEX). 2019. Disponível em: <<https://bdgex.eb.mil.br/mediador/>>. Acesso em 17 jul. 2019.

BARBOSA, Sylvio Elvis da Silva; JUNIOR, Antenor Rodrigues Barbosa; SILVA, Gilberto Queiroz da; CAMPOS, Elizabeth Neves Borges; RODRIGUES, Vanessa de Carvalho. **Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a bacia do rio do Carmo, Minas Gerais**. Eng. Sanit. Amb. Vol.10 - Nº 1 - jan/mar 2005, 64-71. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v10n1/v10n01a07.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2019.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 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.

CARVALHO, Daniel Fonseca de; SILVA, Leonardo Duarte Batista. **Capítulo 3: Bacia hidrográfica**. 2006. Disponível: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3-BH.pdf>>.

CASTIGLIONE, Isabela Fadini. **Análise regional de vazões para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim**. Vitória, 2013. Disponível em: <http://ambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/analise_regional_de_vazoes_para_a_bacia_hidrografica_do_rio_itapemirim_-_isabela_fadini_castiglioni.pdf>. Acesso em 25 jul 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Base de dados Nacional**. 2017. Disponível em; < ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2017/shapefile/>. Acesso em 30 out. 2019.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). 2019. Disponível em: < <http://www.iapar.br/pagina-677.html>>. Acesso em 12 set. 2019.

INSTITUTO DE TERRAS CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS (ITCG). 2009. <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Fi_tografico_A3.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2019.

OLIVEIRA, Vinícius Augusto de. **Regionalização de vazões nas regiões das unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos GD1 e GD2, Minas gerais**. Lavras, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/3744/1/DISSERTACAO_Regionaliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20vaz%C3%B5es%20mas%20regi%C3%B5es%20das%20unidades....pdf>. Acesso em 15 ago 2019.

PEREIRA, Luiz Adriel. Regionalização de vazões de permanência aplicada na Região Hidrográfica do Uruguai utilizando o programa SISCORV. Passo Fundo, 2012. Disponível em: < <http://usuarios.upf.br/~engeamb/TCCs/2012-2/LUIS%20ADRIEL%20PEREIRA.pdf>>. Acesso em 15 set. 2019.

SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antonio, F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. - Ilhéus, Ba : Editus, 2002. 293p. : il. Disponível em: <http://www.uesc.br/editora/livrosdigitais2015/conceitos_de_bacias.pdf>. Acesso em 26 ago 2019.

SCHNEIDER, E. H. M; Et al, BARBOSA A de G; ROCHA, I. M. L; MENDES, L. A. **Regionalização das vazões de permanência para as bacias hidrográficas do Estado de Sergipe segundo suas regiões climáticas**. 2017

TUCCI, Carlos E. M; MENDES, Carlos André. **Avaliação ambiental integrada da bacia hidrográfica**. Brasília, 2006. Disponível em: < https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/sqa_3.pdf>. Acesso em 15 se. 2019.

WOLFF, Wagner. **Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o Estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 19 n.4 –Out/Dez 2014, 21-332014.