



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIAS E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

Amarfelina Fernandes de Oliveira de Aguiar

**REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÍNIMAS DIÁRIAS E MENSAIS PARA BACIAS
HIDROGRÁFICAS DO SUL DE SANTA CATARINA, BRASIL**

Araranguá

2020

Amarfelina Fernandes de Oliveira de Aguiar

**REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES MÍNIMAS DIÁRIAS E MENSAIS PARA BACIAS
HIDROGRÁFICAS DO SUL DE SANTA CATARINA, BRASIL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Energia e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Maria Angeles Lobo Recio,
Dra.

Coorientador: Prof. Cláudia Weber Corseuil,
Dra.

Araranguá

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Aguiar, Amarfelina Fernandes de Oliveira de
Regionalização de vazões mínimas diárias e mensais para
bacias hidrográficas do sul de Santa Catarina, Brasil /
Amarfelina Fernandes de Oliveira de Aguiar ; orientadora,
Maria Angeles Lobo Recio, coorientadora, Cláudia Weber
Corseuil, 2020.
113 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em
Energia e Sustentabilidade, Araranguá, 2020.

Inclui referências.

1. Energia e Sustentabilidade. 2. Regionalização
Hidrológica. 3. Curva de Permanência . 4. Hidrologia
Estatística. I. Recio, Maria Angeles Lobo. II. Corseuil,
Cláudia Weber. III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Energia e
Sustentabilidade. IV. Título.

Amarfelina Fernandes de Oliveira de Aguiar

**Regionalização de vazões mínimas diárias e mensais para bacias hidrográficas do sul de
Santa Catarina, Brasil**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora
composta pelos seguintes membros:

Prof^ª. Maria Angeles Lobo Recio, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª. Nilza Maria dos Reis Castro, Dra.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Álvaro José Back, Dr.
Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof^ª. Carla de Abreu D'aquino, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado
adequado para obtenção do título de mestre em Energia e Sustentabilidade.

Prof. Ricardo Alexandre Reinaldo de Moraes, Dr.
Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Maria Angeles Lobo Recio, Dra.
Orientadora

Prof. Cláudia Weber Corseuil, Dra.
Coorientadora

Araranguá, 2020.

A Deus.

A minha mãe por todo amor e dedicação.

Ao meu amado filho Miguel.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pai todo poderoso, por me abençoar e proteger, proporcionando conforto e fé em todos os momentos.

À minha mãe, Edilia, pelo amor, carinho, dedicação, sempre me auxiliando e incentivando, principalmente nos momentos de desânimo, sei que a senhora continua me cuidando aí do céu, te amo mãe.

Agradeço ao meu esposo Rogério, que sempre esteve do meu lado durante os momentos felizes e nas dificuldades, me apoiando. Obrigada por suprir toda a ausência durante a realização do mestrado, como mãe, para nosso amado filho Miguel.

Agradeço às professoras orientadoras Cláudia e Maria pela ajuda, pela experiência, pelos ensinamentos repassados e pela paciência e dedicação no desenvolvimento da dissertação, não conseguiria sem vocês.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade, por terem contribuído de forma significativa para o meu crescimento profissional e pessoal.

Agradeço ao Prof. Álvaro José Back, pela inestimável ajuda na realização desse estudo.

À Fernanda, pela amizade durante todo o mestrado, obrigada pelos momentos de companhia, pelo carinho e, principalmente, pelas conversas que fizeram tudo parecer mais fácil.

À equipe do Laboratório HidroEN, Gabriela, Gardênia, Rafael, Eduardo e Marcos pela agradável convivência. Em especial a Ariele pela ajuda na realização desse estudo.

Aos meus amigos e colegas de mestrado, em especial, Franciele, Vitor, Sabrina, Solange e Ruana, por sempre me apoiarem e ajudarem nessa caminhada. Um agradecimento especial a Rahisa por todo carinho, apoio e incentivo.

Aos professores, Álvaro, Carla e Nilza por aceitarem serem avaliadores dessa dissertação.

Agradeço também à CAPES (coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal a Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudo.

À ANA e a EPAGRI pela disponibilização dos dados e informações utilizados na realização deste estudo.

A todos que, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

*“Sábio é aquele que conhece o limite da própria
ignorância.”
(Sócrates)*

RESUMO

Conhecer a disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas é fundamental para o gerenciamento dos diversos usos da água. Essa disponibilidade pode ser estabelecida pela análise das vazões, por meio da curva de permanência, usando dados mensais e diários medidos em estações fluviométricas. No entanto, a elaboração das curvas de permanência pode ser prejudicada pela inexistência ou pela baixa densidade de estações fluviométricas, que não abrange a totalidade da bacia ou dos locais de interesse. Assim, com a finalidade de suprir essa deficiência, a regionalização de vazões tem sido uma técnica amplamente utilizada. Esse método possibilita transferir informações de vazões de um local para outro, dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar as vazões de permanência Q50, Q90, Q95 e Q98, mensais e diárias, estimadas através do método tradicional de regionalização, para as bacias dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga, localizadas no sul de Santa Catarina. Foram utilizadas equações de regressão lineares, exponenciais, logarítmicas e potenciais para estimar as vazões de permanência. Na regionalização foram utilizadas as variáveis explicativas: área de drenagem, comprimento do rio principal, precipitação média anual da bacia e declividade média da bacia. Para avaliar o desempenho das equações de regressão linear e potencial e das variáveis explicativas foram utilizados: o coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2a) e erro padrão fatorial (σF). Na identificação de regiões hidrológicamente homogêneas (RHH) as variáveis que tiveram melhor desempenho foram área de drenagem, precipitação média da bacia e a declividade média da bacia. Como resultado, obtiveram-se duas regiões hidrológicamente homogêneas: a RHH I, formada pelas bacias do rio Tubarão e Urussanga, e a RHH II definida para a bacia do rio Araranguá. As vazões de permanência mensais apresentaram valores maiores em relação às diárias. Para a bacia do rio Araranguá, a diferença encontrada entre as vazões mensais e diárias variou de 16,22% a 78,18%. Já para a bacia do rio Tubarão essa variação ficou entre 12,74% e 53,74%. Para a RHH I a equação que forneceu os melhores resultados foi a potencial, utilizando a área de drenagem como variável explicativa, tanto para as vazões mensais, quanto para as diárias. Entretanto, para a RHH II a equação potencial e a área de drenagem estimaram melhor a Q50 e a Q90. Já para as vazões Q95 e Q98 os melhores resultados foram obtidos com a equação linear, utilizando três variáveis: área de drenagem, precipitação média anual e declividade média da bacia. Comparando-se as vazões observadas e regionalizadas verificou-se que, no geral, o ER% foi menor do que 60%, sendo a diferença em magnitude menor do que $16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para todas as vazões analisadas. Desta forma, o presente estudo mostrou a importância da regionalização para a extrapolação das vazões Q50, Q90, Q96 e Q98, uma vez que, essas vazões podem auxiliar nos estudos hidrológicos que necessitam dessas informações em locais com escassez de dados, bem como os gestores nos processos de outorga de uso da água nas bacias do sul de Santa Catarina.

Palavras-chave: Curva de permanência. Regionalização hidrológica. Vazões mínimas.

ABSTRACT

Knowing water availability of river basins is fundamental for management of the various uses of water. This availability can be established by analyzing flows, through the permanence curve, using monthly and daily data measured in fluviometric stations. However, elaboration of permanence curves can be hindered by non-existence or low density of fluviometric stations, which do not cover the entire basin or places of interest. Thus, in order to overcome this deficiency, flow regionalization has been a widely used technique. This method makes it possible to transfer flow information from one location to another, within an area with similar hydrological behavior. In this context, the objective of the present work was to evaluate monthly and daily flow rates Q50, Q90, Q95 and Q98, estimated through the traditional regionalization method, for the Araranguá, Tubarão and Urussanga river basins, located in the south of Santa Catarina. Linear, exponential, logarithmic and potential regression equations were used to estimate the permanence flows. In the regionalization the explanatory variables were used, such as: drainage area, average annual precipitation and average slope of the basin. To evaluate the performance of linear and potential regression equations and explanatory variables were used: the coefficient of determination (R^2), adjusted coefficient of determination (R^2a) and standard error factor (σF). For identification of homogeneous regions, the variables that had better performance were drainage area, mean basin precipitation and mean basin slope. As a result, two hydrologically homogeneous regions were delimited to RHH I formed by the Tubarão and Urussanga river basins and RHH II to the Araranguá river basin. Monthly permanence flows presented higher values in relation to the daily ones. For the Araranguá river basin, the difference found between monthly and daily flows varied from 16.22% to 78.18%. For Tubarão river basin this variation was between 12.74% and 53.74%. The equation that provided the best results for the RHH I was the potential, using the drainage area as an explanatory variable, both for monthly as daily flows. However, for RHH II, the potential equation and drainage area better estimated the Q50 and Q90. For the Q95 and Q98 flows, best results were obtained with linear equation, using three variables: drainage area, average annual precipitation and basin average slope. Comparing the observed and regionalized flows, it was found that, in general, the ER% was less than 60%, with magnitude difference less than $16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ for all the flows analyzed. Thus, the present study showed the importance of regionalization for the extrapolation of flows Q50, Q90, Q96 and Q98, since these flows can assist in hydrological studies that need this information in places with limited data, as well as managers in the water use granting processes in southern Santa Catarina basins.

Keywords: Permanence curve. Hydrological regionalization. Minimum flows.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Regime de um corpo hídrico representado pela curva de permanência.	22
Figura 2– Fluxograma metodológica das etapas do estudo	33
Figura 3– Localização das bacias do rio Araranguá, Tubarão e Urussanga (SC).	34
Figura 4– Estações fluviométricas e pluviométricas presentes nas bacias dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão, SC.	36
Figura 5– Precipitação média anual para as bacias de estudo.	54
Figura 6 – A) Mapa de Distribuição espacial das vazões específicas para as bacias do rio Araranguá e Urussanga B) Mapa de Distribuição espacial das vazões específicas para as bacias do rio Tubarão e Urussanga.	62
Figura 7– Delimitação das regiões homogêneas.	63
Figura 8– Gráfico entre a área de drenagem e o erro percentual para as vazões de permanência diárias para a RHH I e RHHII.	70
Figura 9– Gráfico entre a área de drenagem e o erro percentual para as vazões de permanência mensais para a RHH I e RHHII.	70
Figura 10– A) Mapa da vazão de permanência Q98 diária e B) Mapa da vazão de permanência Q98mensal, para as bacias de estudo.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Principais Métodos de Regionalização de vazões.	25
Tabela 2– Características das bacias hidrográficas de estudo.	35
Tabela 3– Características das estações fluviométricas presentes na bacia do rio Tubarão.	37
Tabela 4 – Características das estações fluviométricas presentes na bacia do rio Araranguá..	37
Tabela 5– Estações pluviométricas presentes nas bacias dos rios Araranguá e Tubarão.....	38
Tabela 6 – Vazões de permanência diárias e mensais e área de drenagem dos rios da bacia do rio Araranguá.....	48
Tabela 7– Vazões de permanência diárias e mensais dos rios da BHRT.....	49
Tabela 8– Características físicas da bacia do rio Araranguá (SC) e respectivas sub-bacias.	52
Tabela 9– Características físicas da bacia do rio Tubarão (SC) e respectivas sub-bacias.....	53
Tabela 10– Características físicas e climáticas da bacia do rio Urussanga (SC).	54
Tabela 11 – Precipitação média anual ($\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$) da área de abrangência das estações pluviométricas, calculadas por Thiessen.	55
Tabela 12– Matriz de correlação de Pearson para vazões diárias Q50, Q90, Q95 e Q98 e as variáveis independentes obtidas para a bacia do rio Araranguá.....	56
Tabela 13– Matriz de correlação de Pearson para vazões mensais Q50, Q90, Q95 e Q98 e as variáveis independentes obtidas para a bacia do rio Araranguá.....	56
Tabela 14– Matriz de correlação de Pearson para vazões diárias Q50, Q90, Q95 e Q98 e as variáveis independentes obtidas para a bacia do rio Tubarão.	57
Tabela 15– Matriz de correlação de Pearson para vazões mensais Q50, Q90, Q95 e Q98 e as variáveis independentes obtidas para a bacia do rio Tubarão.	57
Tabela 16– Resultados dos ajustes das equações para as RHH I e RHH II para vazões diárias Q50, Q90, Q95 e Q98.....	59
Tabela 17 – Resultados dos ajustes das equações para as RHH I e RHH II para vazões.....	60
Tabela 18– Equações de regressão obtidos pelo método de regionalização tradicional para a RHH I e II.....	64
Tabela 19– Comparação entre as vazões de permanência de Q50, Q90, Q95 e Q98 diárias observadas e estimadas para as RHH I e II, com seus erros relativos (ER).....	66
Tabela 20– Comparação entre as vazões de permanência de Q50, Q90, Q95 e Q98 mensais observadas e estimadas para as RHH I e II, com seus erros relativos (ER).....	67
Tabela 21– Resultados dos critérios de avaliação de desempenho das equações de regressão para estimativa das vazões de permanência de Q50, Q90, Q95 e Q98 para a RHH I.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BHRA	Bacia Hidrográfica do rio Araranguá
BHRT	Bacia Hidrográfica do rio Tubarão
BHRU	Bacia Hidrográfica do rio Urussanga
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétrica
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
DAEE/SP	Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo
MAE	Erro Médio Absoluto
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDEHC	Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente
FEMARH	Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
GPRH	Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IMASUL	Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul
INPE	Instituto de Pesquisas Espaciais
IPAGUAS	Instituto das Águas do Paraná
IPH	Instituto de Pesquisa Hidráulicas
MDE	Modelo Digital de Elevação
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RH	Regiões Hidrográficas
RHH	Regiões Hidrologicamente Homogênea
RMSE	Raiz Quadrada do Erro Médio
SDS	Secretária de Estado do desenvolvimento Social
SEIA	Sistema Estadual de Informações Ambientais e Recursos Hídricos
SEMA/MA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais
SEMA/MT	Secretaria de Estado do Meio Ambiente
SEMA/RS	Secretaria Estadual do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SERLA	Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas
SIGSC	Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina
SisCAH	Sistema Computacional para Análises Hidrológica
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área de drenagem
Cfa	Subtropical Mesotérmico Úmido e Verão Quente
Cf	Temperado Mesotérmico Úmido e Verão Ameno
Dd	Densidade de drenagem
DmB	Declividade média da bacia
DmR	Declividade média do rio
ER%	Erro Relativo Percentual
L_p	Comprimento do rio principal
Peq	Vazão equivalente ao volume precipitado
P_m	Precipitação média anual
Q50	Vazão de permanência em 50% do tempo
Q90	Vazão de permanência em 90% do tempo
Q95	Vazão de permanência em 95% do tempo
Q98	Vazão de permanência em 98% do tempo
Q_{ml}	Vazão média de longa duração
$Q_{7,10}$	Vazão mínima de 7 dias de duração com 10 anos de período de retorno
Q_{est}	Vazão estimada
Q_{obs}	Vazão observada
r	Coefficiente de correlação de Pearson
R^2a	Coefficiente de determinação ajustado
R^2	Coefficiente de Determinação
Decl.B	Declividade média da bacia
Decl.R	Declividade média do rio
ΣL_{tot}	Comprimento total dos rios
σF	Erro Padrão Fatorial
ΔH	Diferença de cotas dos pontos iniciais e finais do rio e da sub-bacia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 Objetivo Geral.....	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 ESTUDO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL.....	20
2.2 CURVA DE PERMANÊNCIA	22
2.3 REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA	24
2.3.1 Equações de regionalização da vazão.....	30
2.3.2 Verificação das equações de regionalização	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	34
3.2 DADOS HIDROLÓGICOS.....	35
3.2.1 Dados de vazão	35
3.2.2 Dados de chuva.....	37
3.2.3 Determinação das variáveis explicativas	39
3.3 REGIÕES HOMOGÊNEAS.....	42
3.4 CURVA DE PERMANÊNCIA	43
3.5 REGIONALIZAÇÃO DA CURVA DE PERMANÊNCIA	44
3.5.1 Verificação das equações de regionalização	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
4.1 VAZÕES DE PERMANÊNCIA MENSAL E DIÁRIA.....	48
4.2 VARIÁVEIS EXPLICATIVAS	52
4.2.1 Matriz de correlação de Person	56
4.3 IDENTIFICAÇÃO DAS REGIÕES HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS	58

4.4 REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES DE PERMANÊNCIA Q50, Q90, Q95 E Q98.....	63
4.5 COMPARAÇÃO ENTRE AS VAZÕES REGIONALIZADAS E OBSERVADAS	65
4.6 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS EQUAÇÕES DE REGIONALIZAÇÃO	70
5 CONCLUSÕES.....	75
REFERÊNCIAS	77
APÊNDICE A – Modelo digital de elevação para as bacias de estudo.....	87
APÊNDICE B – Curvas de permanência mensal e diária para a bacia do rio Araranguá.	88
APÊNDICE C – Curvas de permanência mensal e diária para a bacia do rio Tubarão.	91
APÊNDICE D – Mapa das sub-bacias do rio Araranguá.....	99
APÊNDICE F – Mapas dos Polígonos de Thiessen para as bacias: A) do rio Araranguá e B) Tubarão.	102
APÊNDICE G – Mapa dos Polígonos de Thiessen para a bacias do rio Urussanga.	103
APÊNDICE H – Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para as vazões de permanência diárias e mensais da RHH I.	104
APÊNDICE I – Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para as vazões de permanência diárias e mensais da RHH II.....	108
APÊNDICE J – Dados utilizados para o cálculo do desempenho estatístico EMA, RMSE e log do coeficiente de Nash e Sutcliffe – $\log(C_{NS})$, da estimativa das vazões de permanência Q50, Q90, Q95 e Q98 diárias e mensais para as RHH I e II.	112

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a conservação do meio ambiente e sobrevivência dos seres vivos. No entanto, a água pode ser captada e utilizada para abastecimento público, atividades industriais, irrigação, lazer e geração de energia. Essas atividades podem alterar a quantidade e a qualidade da água dos rios e, conseqüentemente, a manutenção e a conservação dos ecossistemas aquáticos.

Portanto, para o planejamento e o gerenciamento dos usos dos recursos hídricos é fundamental realizar a quantificação da disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica (KOBAYAMA et al., 2008). Essa disponibilidade pode ser estabelecida com base nos estudos de frequências de vazões observadas. Esses estudos podem ser feitos através de funções de probabilidade de ocorrência de vazões, tais como: vazões médias e mínimas ou por meio da curva de permanência de vazões (BACK; ZAMBRANO; CORSEUIL, 2019).

As vazões médias (Q50) envolvem os processos associados ao escoamento superficial direto e subterrâneo, elas permitem caracterizar a maior vazão possível de ser regularizada em uma bacia, permitindo a avaliação dos limites superiores (abstraindo as perdas) da disponibilidade de água de um manancial (PRUSKI et al., 2012). Já as vazões mínimas, representam a condição crítica da bacia, uma vez que, ocorrem no período de estiagem, quando a oferta de água está comprometida (NOVAES, 2009). Essas vazões estão relacionadas diretamente ao escoamento subterrâneo e refletem a capacidade de produção de água da bacia hidrográfica (PRUSKI et al., 2012).

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei Federal 9.433 de 1997, que utiliza como instrumento a outorga de uso da água, tem como objetivo assegurar o controle qualitativo e quantitativo dos usos dos recursos hídricos e os direitos de acesso à água da bacia hidrográfica (BRASIL, 1997). Assim, o conhecimento do comportamento hidrológico das bacias é fundamental para que a outorga seja implementada de maneira mais efetiva, especialmente na determinação das vazões de referência para o processo de decisão (OLIVEIRA; FIOREZE, 2011). Essas vazões, correspondem a um valor que representa um limite superior de utilização da água do rio que, normalmente, é baseado em vazões de estiagens ou em vazões com alta probabilidade de superação. No entanto, somente parte do percentual dessas vazões pode ser utilizado, o restante é destinado para a manutenção do meio biótico (BACK et al. 2018).

As vazões de referência mais comumente adotadas pelos órgãos gestores de recursos hídricos no Brasil, como critério de outorga do uso da água são: as vazões mínimas relacionadas às permanências de 90% e 95% do tempo (Q90 e Q95). Se os usos exigem maior garantia, deve-se optar por vazões mais conservadoras, como a Q7,10 (vazão de permanência de sete dias para um período de retorno de 10 anos). Essas vazões são obtidas com base em análise estatística de séries históricas de dados de vazão (SANTOS et al., 2006).

A vazão utilizada no processo de outorga no Brasil, pode ser obtidas pelo método da curva de permanência de vazões ou de probabilidade de vazões mínimas. Essas curvas são geradas a partir da relação entre a magnitude e a frequência de vazões, em uma determinada seção de um rio de interesse, sendo possível obter a partir dela a porcentagem do tempo que certa vazão pode ser igualada ou superada (CRUZ e TUCCI, 2008).

As curvas de permanência podem ser obtidas com base em valores de vazões médias diárias, mensais ou anuais, sendo as primeiras mais realistas, pois há uma tendência de que os valores mensais e anuais sejam superestimados (TUCCI, 2002).

A quantificação das vazões de referência é possível por meio de séries históricas de vazão medidas em estações fluviométricas. No entanto, a escassez de dados de vazões com séries históricas longas e confiáveis é um dos principais problemas enfrentados em trabalhos e estudos hidrológicos, pois a rede de estações fluviométricas atuais disponíveis não contempla todos os rios de interesse à gestão de recursos hídricos brasileiros (PESSOA, 2015).

Com a finalidade de suprir essa deficiência, a regionalização de vazões tem sido uma técnica amplamente utilizada no Brasil. Para Tucci (2002), o método de regionalização de vazões possibilita transferir informações de vazões de um local para outro, dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante.

Nas bacias hidrográficas do sul de Santa Catarina são desenvolvidas diversas atividades que consomem uma quantidade considerável de água para os processos produtivos, tais como: mineração, agricultura, criação de animais, indústrias cerâmica, termoelétricas, abastecimento público e geração de energia.

De acordo com as Portaria SDS nº 036/08 e Portaria SDS nº 051/08, essas atividades necessitam de concessão de outorga de uso da água, a qual requer o conhecimento da vazão mínima de referência para avaliar a disponibilidade hídrica das bacias. Essa portaria estabelece que, para a captação e derivações de rios de domínio do estado de Santa Catarina, deve ser adotado a Q98 como vazão mínima de referência. A outorga visa o gerenciamento dos usos da

água para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas e das atividades desenvolvidas na bacia hidrográfica.

Neste contexto, o presente trabalho visa determinar equações de regionalização para as vazões de referência Q90, Q95 e Q98 e vazão mediana Q50, diárias e mensais, para as bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga, fim de fornecer subsídios para estudos hidrológicos em locais com escassez de dados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar as vazões mínimas de referência, Q90, Q95 e Q98 e vazão mediana Q50 para as bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga, região sul de Santa Catarina, bem como obter as equações de regionalização usando o método Tradicional para estas vazões, a fim de fornecer subsídios para estudos hidrológicos em locais com escassez de dados.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estimar as vazões de permanência Q50%, Q90%, Q95%, Q98% mensais e diárias.
- Verificar as variáveis explicativas mais adequadas para a regionalização das vazões de permanência diárias e mensais.
- Avaliar o desempenho das equações de regionalização determinados para as bacias de estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ESTUDO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL

Água é um recurso natural, desassociado de qualquer uso ou utilização. Já, o termo recurso hídrico considera a água como um bem econômico. Deste modo, nem toda a água da terra é um recurso hídrico, seu uso ou utilização nem sempre tem valor econômico agregado (ANA,2011).

Santos e Cunha (2013) discorrem que a disponibilidade hídrica é baseada nas vazões mínimas ou regularizadas. Ao ser instituída uma vazão outorgável tendo por base uma vazão de referência, como um percentual, o órgão gestor estabelece um limite para a apropriação da água, sem comprometer a demanda ecológica.

A vazão ecológica é a demanda necessária de água para assegurar a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos naturais num rio. Existem várias terminologias para seu conceito, como: vazão mínima, vazão ambiental, vazão de preservação ambiental, vazão mínima residual, entre outras (SARMENTO, 2007).

A vazão é um dos parâmetros necessários para a realização de estudos voltados à gestão de recursos hídricos, sendo a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica determinada com base nas vazões máximas, médias e mínimas (CUPAK, 2017).

As vazões mínimas estão relacionadas diretamente ao escoamento subterrâneo, refletem a capacidade de produção de água da bacia hidrográfica, enquanto as vazões médias envolvem os processos associados ao escoamento superficial direto e ao escoamento subterrâneo (PRUSKI et al., 2012). A vazão máxima, é definida aqui como a maior vazão ocorrida num dado período.

Para Novaes (2009), as vazões mínimas representam a condição crítica da bacia, uma vez que ocorrem no período de estiagem, quando a oferta de água é comprometida.

É de suma importância quantificar as vazões mínimas, elas fornecem subsídios para os processos de outorga e influenciam na gestão de conflitos pelo uso da água em situação de escassez hídrica (BARROS et al., 2018).

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, instituída pela Lei 9.433 de 1997, tem como princípios básicos: a bacia hidrográfica como unidade de planejamento; os usos múltiplos da água; a outorga de direitos de uso da água; a cobrança pelo uso das águas bem como; o reconhecimento da água como um bem finito, vulnerável e dotado

de valor econômico. Além disso, estabelece que a gestão da água deve ser descentralizada e participativa (BRASIL, 1997).

A outorga possibilita aos gestores o controle quantitativo e qualitativo dos corpos hídricos. Esse controle é obtido pela vazão mínima de referência que estabelece percentuais de vazão, por meio de séries históricas. A vazão de referência é considerada como a vazão mínima outorgável sem que haja comprometimento do curso d'água (ALMEIDA e CURI, 2016).

As vazões mínimas de referência têm como principal objetivo garantir o suprimento de água em períodos de seca. No Brasil, as vazões de referência utilizadas para gestão da água são: a vazão mínima de 7 dias, associada ao período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) e as vazões com permanência de tempo de 90%, 95%, 98% do tempo (Q_{90} , Q_{95} , Q_{98} , respectivamente) (ANA, 2011).

De acordo com a Agência Nacional das Águas - ANA (2011) após ser definida a vazão de referência, deve ser determinado o percentual máximo a ser alocado para a divisão entre os diferentes usos na bacia. Esse percentual é determinado em função da possibilidade de atendimento aos usos na bacia e das vazões mínimas que devem ser mantidas nos cursos d'água.

As vazões de referência podem ser determinadas pelo método da Curva de Permanência (ou de probabilidade), que relaciona a vazão com a porcentagem de tempo em que determinada vazão pode ser igualada ou excedida, durante todo o período histórico de dados analisado (PIOL, 2019).

De acordo com a ANA (2011), as vazões mínimas de referência, adotadas para fins de outorga pelos órgãos gestores de recursos hídricos, influenciam diretamente no total disponível para outorga, no Brasil, cada estado, bem como em nível federal, tem-se adotado critérios específicos para o estabelecimento das vazões mínimas de referência para outorga.

A Agência Nacional de Águas (ANA) utilizou a Q_{95} , para o cálculo da estimativa da disponibilidade hídrica de águas superficiais no Brasil (ANA, 2012). Já os órgãos gestores estaduais devem considerar a disponibilidade dos recursos hídricos das bacias de cada região.

Pereira et al. (2018), citam como exemplo, os estados de Rondônia, Goiás, Alagoas e Paraná, que outorgam vazões de até 30% da Q_{95} , 50% da Q_{95} , 90% da Q_{90} , 50% da Q_{95} de seus rios, respectivamente. Já o estado de São Paulo, estabelece que a vazão de referência para a outorga é a $Q_{7,10}$, está que calculada com base na média mínima de 7 dias consecutivos e 10 anos de período de retorno (Wolff et al., 2014).

Em Santa Catarina, a disponibilidade hídrica é determinada com base nas portarias da SDS de nº 36 de 29 de julho de 2008, e nº 51 de 02 de novembro de 2008, que estabelece que

nos processos de outorga avaliados pelo órgão gestor do estado seja utilizada a vazão de referência Q98 sendo a vazão outorgável o equivalente a 50 % desta (SDS, 2008).

2.2 CURVA DE PERMANÊNCIA

As curvas de permanência são representadas por distribuições de probabilidades, ajustadas aos dados das séries históricas de vazão, as quais são estimadas para uma dada probabilidade da vazão ser igualada ou excedida (CASTELLARIN, 2014).

Essas curvas, segundo Cruz e Tucci (2008), refletem a relação entre a magnitude e a frequência de vazões (diárias, mensais ou anuais) de uma determinada área de interesse, e representam a potencialidade natural de um curso d'água e o grau de permanência para qualquer valor de vazão.

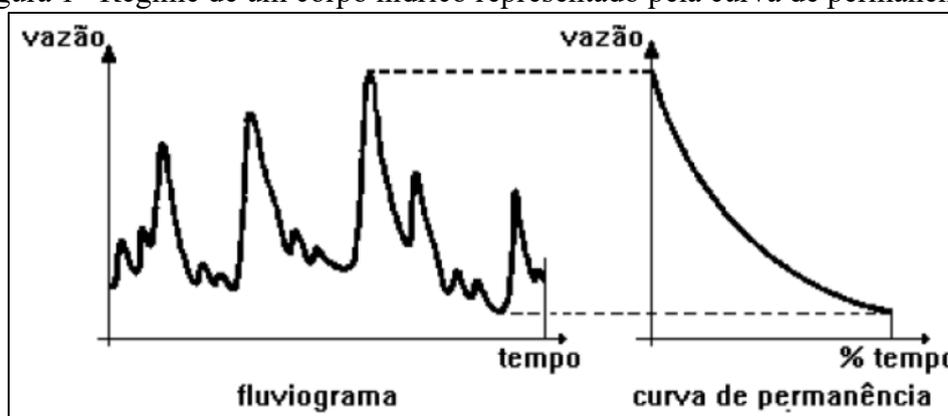
O método da curva de Permanência é amplamente utilizado em estudos voltados para a engenharia de recursos hídricos, dentre os quais podem ser citados o de disponibilidade hídrica para análise de frequência de vazões ecológicas como Q90, Q95 ou Q98, abastecimento público, análise de qualidade de águas, irrigação, estudos hidrelétricos, entre outros (BARBOSA et al, 2002).

A curva de permanência mostra de forma simples e concisa a variabilidade das vazões ao longo do tempo (PINTO, 2006).

O eixo das abcissas mostra que o regime de vazões depende do escoamento de base, ou seja, da recarga dos aquíferos. A quantidade e a duração do escoamento de base são inerentes à precipitação e às características físicas da bacia hidrográfica (RODRIGUES, 2008).

Já o eixo das ordenadas, reflete a magnitude das vazões (RODRIGUES, 2008). Esse comportamento foi ilustrado por Cruz e Tucci (2008), conforme mostra a Figura 1.

Figura 1– Regime de um corpo hídrico representado pela curva de permanência.



Fonte: Cruz e Tucci (2008).

As curvas de permanência podem ser elaboradas para uma série histórica de longo período, para um ano hidrológico, para cada mês ou de acordo com a sazonalidade do ano, observando-se os períodos secos, úmidos e normais (PINHEIRO; NAGHETTINI, 2010).

Entretanto, Tucci (2002) ressalta que, as curvas obtidas com dados diários são mais adequadas para análises hidrológicas, uma vez que, curvas com dados mensais ou anuais, geralmente, superestimam as vazões.

Santos et al. (2015), por meio da curva de permanência obtida com uma série de dados diários, avaliaram as variações de vazões da bacia Cancela -Tramandaí, e concluíram que as vazões diárias são adequadas para diferenciar o comportamento de rios e para avaliar os efeitos de uso do solo.

Athl et al. (2017) utilizaram as curvas de permanência diárias para previsão de vazão em bacias sem monitoramento de vazão e concluíram que elas apresentaram bons resultados para duas equações de regularização de vazão *Artificial Neural Networks* e o *Model that Predicts the Mean*.

Costa e Santos (2018) estudaram a influência do uso das vazões médias mensais e vazões diárias na construção de centrais hidrelétricas e constataram que as vazões mensais superestimam em até 25% a potência instalada, o que pode ocasionar problemas energéticos e econômicos à central de energia.

Em estudo das curvas de permanência de vazões diárias e mensais, Back et al. (2019), constataram que a utilização da curva de permanência mensal superestima os valores de vazão para frequências superiores a 20% em relação à curva de permanência diária.

Visando suprir as deficiências no monitorando dos rios, que muitas vezes não abrange todas as áreas de interesse, devem-se desenvolver ações técnicas que diminuam o impacto da falta de dados de vazão (MELATI,2016;).

Diante dessa necessidade, a técnica de regionalização de vazões surge como uma possibilidade para a obtenção de informações hidrológicas em locais sem ou com poucos dados de vazões medidos (WOLFF et al., 2014).

2.3 REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA

A regionalização hidrológica é um método de transferência de informações obtidas em locais com dados medidos para outros locais onde não há dados disponíveis em quantidade suficiente para um estudo de interesse. Neste caso, é necessário que as regiões apresentem um comportamento hidrológico semelhante (TUCCI, 2002; OLIVEIRA et al., 2010; PRUSKI et al., 2012; GASQUES et al., 2018).

Segundo Oliveira (2008), a regionalização de vazões é um instrumento eficaz em estudos de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, pois permite estimar variáveis hidrológicas, como por exemplo, vazões máximas, mínimas e médias, em locais onde não há estações hidrometeorológicas suficientes.

O método de regionalização permite correlacionar as equações de regressão regional entre determinada vazão medida e as características físicas e climáticas da área de estudo, uma vez que essas interferem diretamente nos diferentes regimes hidrológicos de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2002; PRUSKI et al., 2012; PEREIRA et al., 2016).

A Tabela 1 apresenta os principais métodos propostos para regionalização de vazões, utilizados no Brasil, com o propósito de superar as limitações das bases de dados existentes na maioria de suas bacias hidrográficas, sendo que a escolha de cada um, segundo Sousa (2009), depende de fatores como: o objetivo do estudo, a disponibilidade de dados e as características físicas e climáticas da bacia. No entanto, no presente trabalho para a regionalização das vazões foi escolhido o método Tradicional (ELETROBRÁS, 1985a) por ser amplamente utilizado no Brasil e por fornecer melhores resultados para estimativa de vazões mínimas, quando comparado aos demais métodos. Esse método está melhor descrito nos parágrafos abaixo.

Tabela 1– Principais Métodos de Regionalização de vazões.

Método de Regionalização	Principais comentários	Autores	Área de Estudo	Dados de Entrada
Interpolação Linear (Eletrobrás, 1985)	A vazão de interesse é obtida por uma relação de proporcionalidade entre as vazões e as áreas de drenagem das estações fluviométricas próximas.	Cecílio et al. (2018) Molina et al. (2014) Silva et al. (2009)	Bacia do rio Itapemirim,ES Bacio do rio Amambaia,MS Bacia do rio São Francisco	Vazão na seção de interesse, Pm e A. Q _{7,10} , Q ₉₀ e Q ₉₅ e P anual e Pm. Q _{7,10} , Q ₉₀ e Q ₉₅ e A, Dd, L, Pa.
Interpolação Linear Modificada (Eletrobrás, 1985)	Considera-se que a vazão na seção de interesse é proporcional aos volumes precipitados.	Moreira e Silva (2014) Novais et al. (2007)	Bacia do rio Paraopeba, MG Bacia do rio Paracatu, MG	Q _{7,10} , Q _{mld} e A. Q _{7,10} , Q _{mld} , Q ₉₈ e A
Chaves (Chaves et al, 2002)	Utiliza técnicas de interpolação e extrapolação de vazões, dispensando o uso de RHH.	Veiga et al. (2011) Novais et al., (2007)	Bacia do rio Teles, AM Bacia do rio Paracatu, MG	Q ₉₅ e A. Q _{7,10} , Q _{mld} , Q ₉₈ e A
Conservação de massas (Pereira,2004)	Consiste no ajuste das equações de regressão, utilizando a Ad ou vazão equivalente ao volume precipitado.	Bazzo et al. (2017) Molina et al. (2014)	Bacia do rio Taquari, RS Bacio do rio Amambaia,MS	Q ₉₅ e A. Q _{7,10} , Q ₉₀ e Q ₉₅ e Pa e Pm.

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Nota: RHH é Regiões Hidrologicamente Homogênea; Q₅₀, Q₉₀, Q₉₅, Q₉₈, Q_{7,10}, Q_{mld} (Vazão em m³.s⁻¹); A Área de Drenagem (km²), Dd densidade de Drenagem (km.km⁻²); L comprimento do rio principal (km) Pa precipitação média anual (mm.ano); Pm precipitação média (mm).

A Eletrobrás em parceria com o instituto de Pesquisa Hidráulicas – IPH (UFRGS), apresentou em 1984 o método denominado de Eletrobrás ou método tradicional (ELETROBRÁS, 1985a). Esse método pode ser aplicado na regionalização de vazões mínimas, máximas, médias, bem como nas curvas de regularização e de permanência.

O método consiste na análise das equações de regressão e na identificação de regiões homogêneas, considerando a vazão a ser regionalizada e as características físicas ou climáticas (precipitação), de cada região homogênea (ELETROBRAS, 1985a; TUCCI, 2002; RODRIGUEZ, 2008; SOUSA, 2009; PRUSKI et al., 2012).

Estudos de regionalização de vazões que utilizaram o método tradicional para estimativa de vazões obtiveram bons resultados, como por exemplo, Matuguma (2019) que encontrou valores de coeficiente de determinação ajustado (R^2a) e erro padrão fatorial (σF) considerados satisfatórios ($R^2a > 0,90$ e $\sigma F < 1,5$). Araújo et al. (2018) Também encontraram bons resultados com esse método, confirmados por um coeficiente de determinação (R^2) de 0,97 e um ER% (erro percentual) em torno de 30,6%.

No estudo de Lopes et al.(2016), os coeficientes de determinação variaram entre 0,93 e 0,97. Lisboa et al. (2008) apresentou valores de coeficiente de determinação superiores a 0,97 com erro relativo menor que 0,20. Dentre os métodos de regionalização utilizados no estudo, Moreira e Silva (2014) obtiveram valores de R^2 em torno de 0,99 e erro relativo médio (ERM) igual a 0,158.

Poissant et al, (2017); Arsenault e Brissette (2014) e Razavi e Coulibaly (2013) desenvolveram estudos baseados em métodos de regressão, proximidade espacial e características físicas, semelhantes ao método tradicional utilizado no Brasil, e concluíram que as equações geradas apresentam bons ajustem para estimativa das vazões analisadas.

No método tradicional são utilizadas diversas variáveis na regionalização das vazões, que segundo Tucci (2009) denominam-se de variáveis explicativas. O autor explica que, para uma variável ser considerada adequada para o estudo de regionalização, os dados devem ter qualidade e a quantidade suficientes e o método utilizado não deve aumentar as incertezas na estimativa da vazão, além disso, a variável deve ser de fácil obtenção, para não tornar a metodologia de regionalização complicada.

Oliveira (2008) e Sousa (2009) ressaltam que muitas variáveis têm alta correlação entre si, de forma que ao serem introduzidas no método de regionalização não acrescentam informações significativas.

As variáveis explicativas mais empregadas em estudos de regionalização de vazões são: área de drenagem, comprimento do rio, densidade de drenagem e declividade média do rio principal, precipitação média anual. Adicionalmente, pode-se utilizar o perímetro da bacia, o comprimento axial, precipitação semestral ou mensal, evapotranspiração, vazão do volume precipitado, entre outras (ULIANA et al., 2017; PEREIRA, 2012).

Para Tucci (2002), a área de drenagem constitui uma das principais variáveis explicativas nos estudos de regionalização, devido à sua influência na potencialidade hídrica da bacia hidrográfica.

No entanto, a área de drenagem é a principal variável empregada para representar o comportamento das vazões mínimas em diferentes estudos de regionalização. A área de drenagem, além de influenciar na disponibilidade hídrica ao longo da bacia, possui uma boa correlação com as demais características físicas (LOPES et al., 2017, BAZZO et al., 2017; BESKOW et al., 2016; LISBOA et al., 2014; MOREIRA e SILVA, 2014; RAZAVI e COULIBALY, 2013; NOVAES et al., 2009; CHAVES et al., 2002).

Melati e Marcuzzo (2016) e Lopes et al. (2016) obtiveram bons resultados nas equações de regionalização, utilizando somente a área de drenagem como variável explicativa. Eles encontraram valores de R^2 em torno de 0,90 e 0,93 respectivamente.

Na tentativa de regionalizar a vazão mínima associada à permanência de Q95 e à vazão média de longa duração (Q_{ml}), Uliana et al. (2017) observaram que as variáveis explicativas que possibilitaram os melhores ajustes das equações de regressão foram a área de drenagem e o comprimento do rio principal, enquanto que para a regionalização da Q_{ml} foram a área de drenagem e o comprimento axial (que é medido da saída da bacia até seu ponto mais remoto).

Elesbon et al. (2015), a fim de identificar as variáveis físicas mais representativas nos estudos de regionalização das vazões Q90, Q95 e $Q_{7,10}$, concluíram que, para as três vazões estudadas, a declividade média da bacia foi a menos representativa, sendo a área de drenagem e a precipitação semestral as variáveis que deram melhores resultados.

Para aplicar o método tradicional na regionalização de vazões é fundamental identificar a homogeneidade das regiões de estudo.

Uma região é homogênea se apresentar comportamento semelhantes, em relação às características físicas e climáticas, que permitem transferir as informações das bacias hidrográficas monitoradas para as bacias sem monitoramento (CUPAK, 2017)

Na prática, segundo Lemos (2006), a identificação das regiões homogêneas pode ser feita delimitando as regiões com base nas características locais e realizando testes estatísticos que analisam os resultados preliminares obtidos.

Nas regiões ditas homogêneas, as variáveis a serem regionalizadas possuem tendências similares e, segundo Tucci (2002), não se estendem por áreas muito extensas, devido às variabilidades de características como clima, geologia, geomorfologia, pedologia e uso e ocupação do solo.

A delimitação dessas regiões geralmente é feita utilizando dois critérios: o primeiro, a delimitação é fundamentada nas características locais, e o segundo, com base em um teste formado a partir das estatísticas locais, com o objetivo de verificar os resultados preliminarmente obtidos (TUCCI, 2002).

Euclides et al. (2001) comentam que as análises estatísticas comumente utilizadas são a análise de distribuição de frequência de vazões adimensionalizadas de cada estação, a qual é embasada no fato de que as distribuições de frequências das vazões mínimas das estações em uma região hidrologicamente homogênea seguem uma mesma tendência, sendo as diferenças proporcionais à média das séries de vazões consideradas.

Outra análise realizada nos estudos de regionalização é a do ajuste do modelo de regressão múltipla, em que são analisados os coeficientes de determinação (R^2) e o erro percentual entre os valores das vazões observadas e as estimadas pelo modelo.

A combinação das estações que apresentarem o melhor ajuste, provavelmente, estão em uma região hidrologicamente homogênea (PINTO, 2006; TUCCI, 2002).

Maciel et al. (2019) verificaram que a relação que apresentou o melhor ajuste nas equações de regressão para a determinação das regiões homogêneas foi a área de drenagem correspondentes às estações fluviométricas utilizadas no estudo, com um coeficiente de determinação (R^2) maior do que 0,85 e erro padrão fatorial (σF) menor que 1.

Samuel, Coulibaly e Metcalfe (2011) avaliaram o desempenho de seis métodos para regionalização de vazões e concluíram que a metodologia que alia o emprego de técnicas de interpolação e extrapolação às semelhanças físicas entre bacias foi a mais apropriada para bacias não monitoradas de Ontário, Canadá.

2.3.1 Equações de regionalização da vazão

As equações de regressão são as equações pelas quais pode-se encontrar o valor médio de vazão em função das variáveis explicativas independentes. A precisão das equações de regionalização depende do modelo de regressão selecionado e dos parâmetros utilizados (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

Tucci (2009) discorre que as equações de regressão são equações matemáticas que relacionam uma variável dependente (vazões máximas, médias, mínimas, de permanência) com uma ou mais variáveis independentes (área de drenagem, comprimento do rio principal, precipitação média anual, entre outras), visto que buscam explicar como ocorre a variação desta função. As equações mais utilizadas na regionalização de vazões máximas, médias, mínimas e de permanência são: Linear, Potencial, Exponencial, Logarítmico e Recíproco.

Quando a função matemática “f” relaciona duas variáveis do tipo $y = f(x) = a + bx$, considera-se um modelo de regressão simples. Quando o comportamento de y é explicado por mais de uma variável independente ($y = a + bx + b_2x_2 + b_nx_n$), chama-se o modelo de regressão linear múltipla. As equações de regressão simulam a associação entre as variáveis do tipo linear (equação da reta ou do plano) ou não-linear (equação exponencial, de potência, logarítmica, etc.) (TUCCI, 2002).

Segundo Tucci (2002), o modelo mais eficaz será aquele que permitirá a estimativa dos valores da variável dependente estudada com menores erros e que tenha o menor número de variáveis explicativas, fazendo uma redução no custo e no tempo de obtenção desses valores no processo de previsão.

Costa et al. (2012), avaliaram a regionalização de curvas de permanência de vazões, realizaram a calibração das curvas de permanência e aplicaram 5 equações matemáticas de regressão, logarítmico, exponencial, quadrático, potencial e cúbico. Os melhores resultados obtidos foram com as equações cúbico e exponencial, pois apresentaram maiores coeficientes de Nash-Sutcliffe, superiores a 0,85 para ambos, e R^2

ajustados por volta de 0,97 para os dois métodos, bem como bons ajustes gráficos das curvas de permanência de vazões simuladas e observadas.

Elesbon et al (2015), com o intuito de desenvolver uma metodologia baseada na análise estatística multivariada, a fim de regionalizar as vazões mínimas $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} da bacia do rio Doce, utilizaram as equações linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco. Os melhores resultados obtidos foram com o modelo potencial, que apresentou um coeficiente de determinação ajustado R^2 de 0,95, o erro padrão da estimativa para todas as equações de regressão foi menor que 0,5 e o nível de significância de 5% pelo teste F, concluindo assim que o modelo potencial apresentou o melhor ajuste para as vazões mínimas explanadas.

Diferentes equações de regressão, linear, exponencial, potencial, logarítmica foram utilizados por Lopes et al (2016) para regionalização de vazões máximas e mínimas. As equações potencial e linear obtiveram melhores resultados (R^2 de 0,92) para as vazões máximas, quando correlacionados com às variáveis de precipitação média anual total e área de drenagem. Para as vazões mínimas $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$, o modelo potencial denotou melhores ajustes (R^2 de 0,97) quando a variável independente adotada foi a área de drenagem da bacia.

Para avaliar o ajuste das equações de regressão, os métodos mais utilizados são: o coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão fatorial (σ_F) e o erro percentual (ER%) (TUCCI, 2009).

2.3.2 Verificação das equações de regionalização

Quando se utiliza um modelo matemático para estimar dados hidrológicos físicos, raramente se consegue uma representação exata do fenômeno que se deseja estudar. Na grande maioria dos casos ocorrem erros, devido aos problemas inerentes ao uso de cada método (ORTIS, 2017).

Assim, a partir das vazões de referência estimadas pela regionalização hidrológica e dos valores de vazões observadas nas estações fluviométricas, se faz necessário avaliar a acurácia das equações geradas pela regressão.

Para avaliar as vazões mínimas, segundo Pushpalatha et al. (2012), os parâmetros estatísticos mais utilizados são: o log de *Nash-Sutcliffe* (logNS); a raiz quadrada do erro médio (*Root Mean Squared Error* -RMSE) e o erro médio absoluto - EMA (*Mean Absolute Error* – MAE).

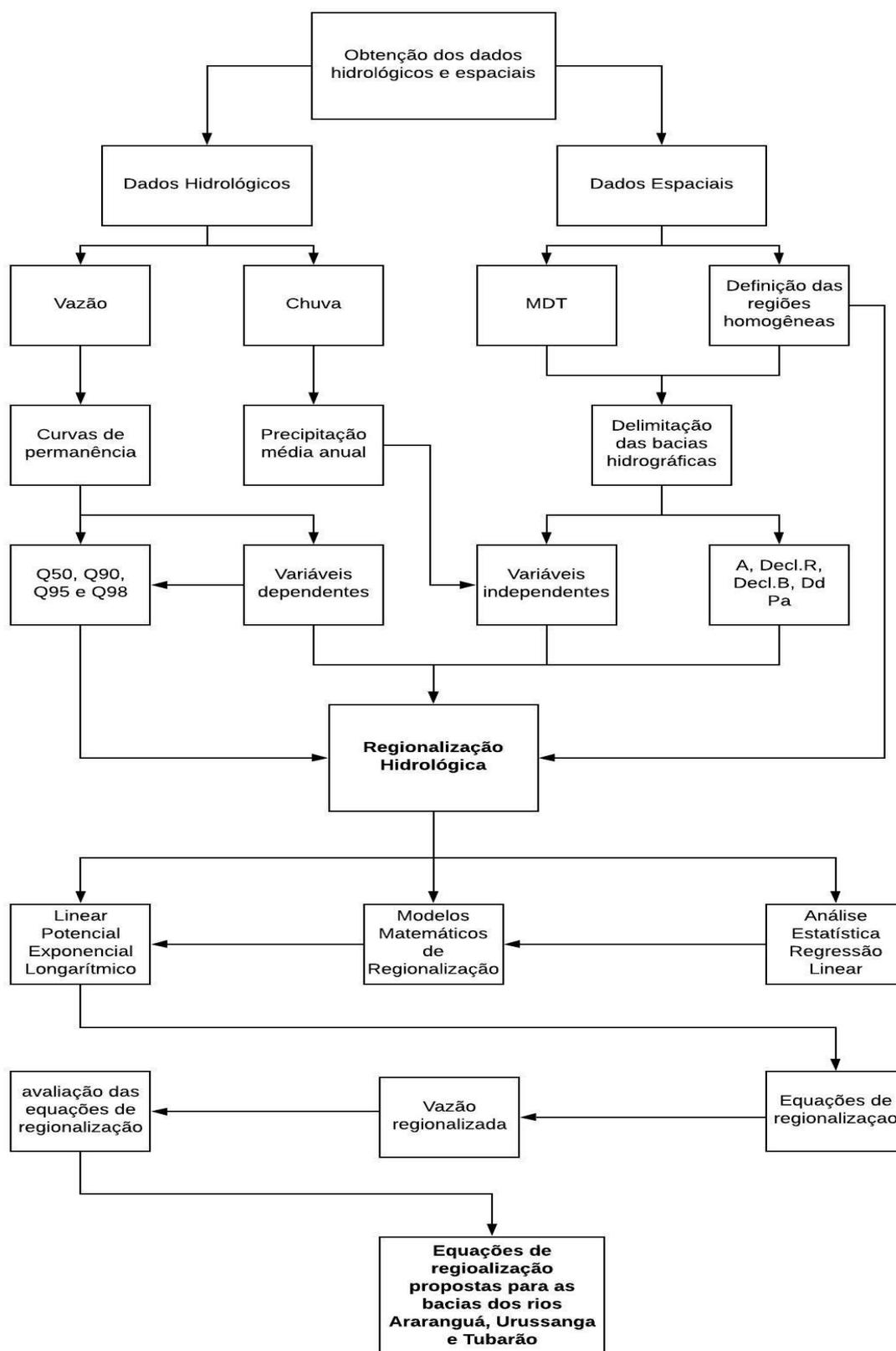
Ortis (2017) comenta que, de maneira geral, o RMSE e EMA permitem verificar o desvio padrão das diferenças entre os valores observados e estimados. Essas diferenças são chamadas de resíduos, os quais podem ser positivos ou negativos, dependendo se o valor estimado for inferior ou superior ao valor observado, respectivamente.

Para Hallak e Pereira Filho (2011), o EMA pode ser considerado um parâmetro preciso, que mede a habilidade das equações em reproduzir a realidade. Já o RMSE é comumente usado para expressar a acurácia dos resultados, com a vantagem de mostrar valores do erro nas mesmas unidades da variável analisada.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão apresentados os materiais e métodos que serão utilizados para atingir os objetivos previamente definidos. A primeira seção apresenta a área de estudo, o material e os métodos utilizados para a determinação da curva de permanência, bem como a obtenção das variáveis dependentes e independentes que serão utilizadas para a obtenção das equações de regionalização hidrológicas. Na sequência apresentam-se as discussões dos resultados deste trabalho e a conclusão. A Figura 2 apresenta o fluxograma metodológico com o resumo das principais etapas utilizadas para o desenvolvimento do presente estudo.

Figura 2– Fluxograma metodológica das etapas do estudo



Fonte: Elaborada pelo autor (2020). Nota: * A Área de Drenagem (km^2), D_{mB} declividade média da bacia (m.km^{-1}); D_{mR} declividade média do rio (m.km^{-1}); P_a precipitação média anual (mm.ano).

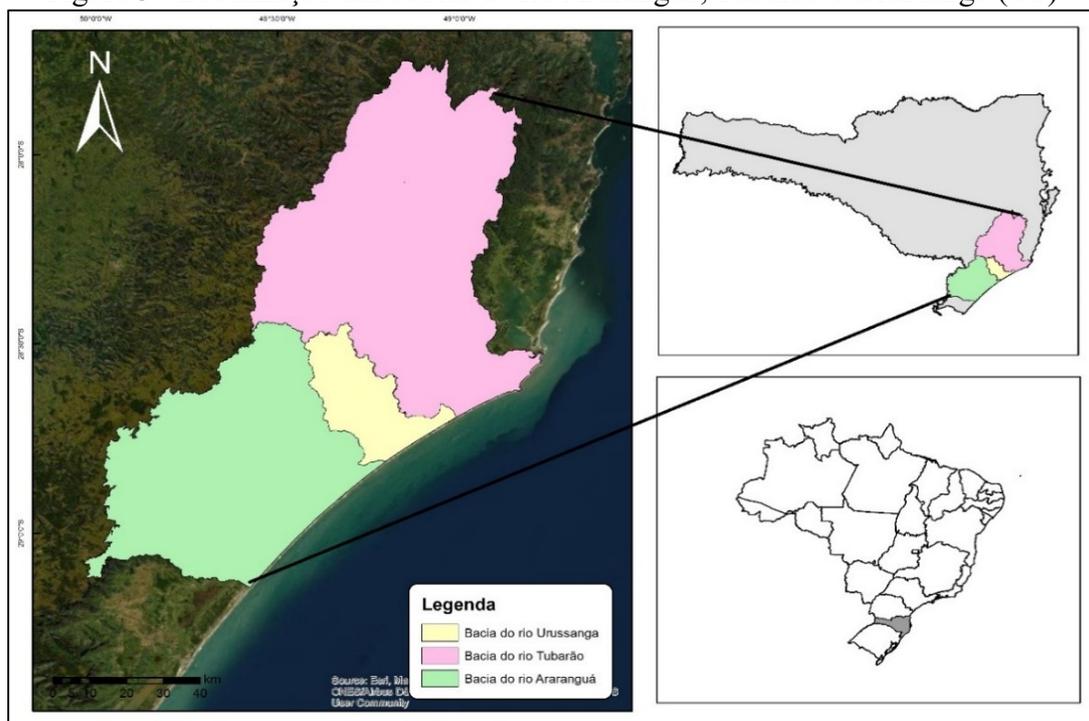
3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende as bacias hidrográficas dos rios: Tubarão (4.735 km²), Urussanga (679,16 km²) e Araranguá (3.089 km²), localizadas na região sul de Santa Catarina (Figura 3).

O Estado de Santa Catarina foi subdividido em 10 Regiões Hidrográficas (RH), segundo a Lei estadual nº 10.949, de 09 de novembro de 1998, que considera região hidrográfica um conjunto de bacias hidrográficas que apresentem características físicas e hidrológicas semelhantes. A bacia hidrográfica do rio Tubarão faz parte da RH -9, já as bacias hidrográficas de Araranguá e Urussanga estão inseridas na RH - 10. A Tabela 2 mostra a descrição de cada bacia hidrográfica.

Na classificação climática de Köppen, a área de estudo apresenta dois tipos de clima: (i) o subtropical mesotérmico úmido com verões quentes (Cfa), caracterizado por temperaturas médias maiores que 10°C, no mês mais frio e, maiores do que 22°C, no mês mais quente, abrangendo 60% da BHRT; (ii) subtropical mesotérmico úmido, com verões amenos (Cfb), caracterizados por temperaturas médias menores que 22°C no mês mais quente, ocorrendo em 40% da bacia. A precipitação média anual é de 1.300 à 1.600 mm, distribuída irregularmente em toda a região. Já a umidade relativa do ar é de 81,5% (ALVARES et al., 2014).

Figura 3– Localização das bacias do rio Araranguá, Tubarão e Urussanga (SC).



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Na Tabela 2 é apresentado as principais características físicas das bacias de estudo.

Tabela 2– Características das bacias hidrográficas de estudo.

Bacia Hidrográfica	BHRA	BHRT	BHRU
Localização	29,096°S e 28,429°S 50,024°W e 49,234°W	27,736° S e 28,698° S 48,629° W e 49,568° W	28,433°S e 28,816°S 49,416°W e 49,100°W
Rio Principal	Araranguá	Tubarão	Urussanga
Relevo	Plano (40,30%) Suave Ondulado (17,80%) Ondulado (14,70%) Forte Ondulado (15,30%) Montanhoso (8,50%) Forte Montanhoso (3,40%)	Plano (13,60%) Suave Ondulado (12,80%) Ondulado (33,70%) Forte Ondulado (33,30%) Montanhoso (4,90%) Forte Montanhoso (1,70%)	Plano (32,10%), Suave Ondulado (30,20%) Ondulado (28,10%) Forte Ondulado (9,10%) Montanhoso (0,50%)
Pedologia	Neossolos (22,45%) Cambissolos (30,82%) Nitossolos (0,82%) Gleissolos (28,53%) Organossolos (0,28%) Argissolo (14,96%) Dunas (0,68%)	Cambissolos (51,29%) Argilossolos (26,60%) Gleissolos (3,43%) Organossolos (3,15%) Neossolos (11,21%) Afloramento rochoso (0,56%) Dunas (0,83%)	Argissolos (49,22%) Cambissolos (16,23%) Gleissolos (17,41%) Organossolos (0,89%) Neossolos (10,52%) Dunas (2,51%) Espodossolos (1,49%)
Vegetação	*FOMD (87,91%) *FN (7,78%) Litorânea (4,70%)	FOMD (82,88%) Campos de Altitude (1,4%) * FCB (0,32%) Floresta de Faxinais (6,47%) Floresta Nebular (3,74%) Litorânea (5,35%)	FOMD (81,66%) Litorânea (18,34%)

Fonte: SDS (2018) e Adami (2010).

Nota: *FOMD-Floresta Ombrófila Densa; FN – Floresta Nebular; FCB- Florestas Ciliares e Bosques

3.2 DADOS HIDROLÓGICOS

3.2.1 Dados de vazão

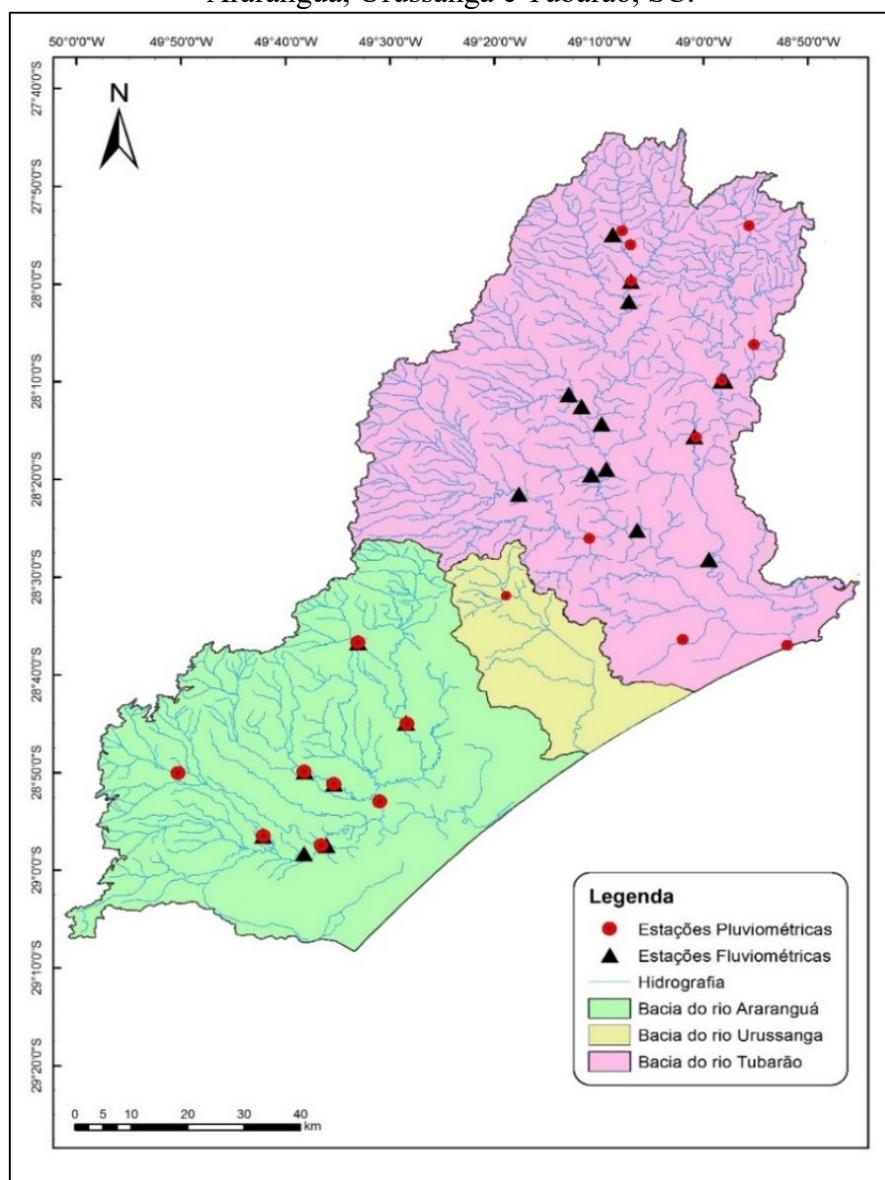
No presente estudo foram utilizados dados de vazão das estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas (ANA), obtidos no Sistema de Informações Hidrológicas (Snirh), disponível em (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>). Na área de estudo identificaram-se 25 estações fluviométricas com dados disponíveis de séries históricas de vazão, sendo 18 inseridas na bacia do rio Tubarão e 7 na bacia do rio Araranguá, a bacia do rio Urussanga não possui estação fluviométrica em sua extensão.

Os dados de vazão, utilizados na elaboração da curva de permanência foram selecionados conforme recomendam Cupak (2017) e Molina *et al.* (2014), ou seja, as

séries históricas para estudos que envolvam análises estatísticas devem ter no mínimo 10 anos de dados observados e não exceder o limite de 10% de dados faltantes. Com base nesses requisitos foram selecionadas 16 estações fluviométricas na bacia do rio Tubarão e 6 na bacia do rio Araranguá, conforme mostram as Tabelas 5 e 6.

Na Tabela 3 e 4 encontram-se as principais informações descritivas das estações fluviométricas das bacias dos rios Araranguá e Tubarão, respectivamente. A localização das estações fluviométricas e pluviométricas pode ser visualizada na Figura 4.

Figura 4– Estações fluviométricas e pluviométricas presentes nas bacias dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão, SC.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Tabela 3– Dados das estações fluviométricas utilizadas na bacia do rio Tubarão.

Código	Nome	A* (km²)	Latitude (S)	Longitude (W)	Período (Anos)
84598002	São Martinho	621,10	27,99°	49,11°	1978 - 1989
84600000	Armazém	617,10	28,26°	49,01°	1981 - 2014
84300000	Pedras Grandes	823,90	28,43°	49,18°	1942 - 2014
84500000	Povoamento	140,00	27,92°	49,13°	1986 - 2014
84520000	Anitápolis	367,80	27,99°	49,11°	1942 - 1967
84520010	Santa Rosa de Lima	617,30	28,02°	49,12°	1944 - 2014
84541000	Grão Pará	153,16	28,18°	49,21°	1986 - 2014
84551000	Rio Pequeno	380,60	28,20°	49,20°	1945 - 1967
84559800	Braço do Norte	1495,25	28,23°	49,16°	1942 - 2014
84560002	São Ludgero I	1554,90	28,32°	49,17°	1986- 2017
84560000	São Ludgero II	1683,40	28,31°	49,16°	1946 - 1988
84250008	Ordens I	613,30	28,36°	49,28°	1939 - 2014
84250000	Orleans II	613,30	28,36°	49,28°	1939 - 1954
84580000	Rio do Pouso	2731,60	28,42°	49,10°	1950 - 1981
84580500	Tubarão	2835,30	28,47°	49,99°	1939 - 2014
84249998	Orleans Montante	592,20	28,35°	49,29°	1984 - 2014

Fonte: ANA (2020). Nota: *Área de drenagem (km²).

Tabela 4 – Dados das estações fluviométricas utilizadas na bacia do rio Araranguá.

Código	Nome	A* (km²)	Latitude (S)	Longitude (W)	Período (Anos)
84950000	Taquaraçu	977,50	28,95°	49,60°	1943 - 2010
84949800	Ermo	870,60	28,97°	49,63°	1978 - 2014
84820000	Forquilha	590,00	28,74°	49,47°	1942 - 2014
84853000	Foz do Manoel Alves	343,50	28,85°	49,58°	1943 - 2011
84800000	Serrinha	119,90	28,61°	49,55°	1975 - 2014
84949000	Turvo	373,80	28,94°	49,70°	1976 - 2014

Fonte: ANA (2019). Nota: *Área de drenagem (km²).

3.2.2 Dados de chuva

Na região de abrangência das bacias do estudo existem 37 estações pluviométricas, sendo 24 instaladas na bacia do rio Tubarão, 9 na bacia do rio Araranguá e 4 na bacia do rio Urussanga. Entretanto, do total de estações foram selecionadas: 10 na bacia do rio Tubarão, 8 na bacia do rio Araranguá e 1 na bacia do rio Urussanga. Na seleção dessas estações também adotaram-se os critérios propostos por Cupak (2017) e Molina et al. (2014), citados anteriormente.

A identificação das falhas nas estações fluviométricas e pluviométricas foi realizada com o auxílio do software SisCAH 1.0 (Sistema Computacional para Análises Hidrológica), desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da

Universidade federal de Viçosa-MG (SOUZA, 2009), disponível em (<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>). Esse processamento permitiu eliminar as estações que não atenderam os critérios utilizados no presente estudo. A Tabela 6 e a Figura 4 apresentam as estações pluviométricas utilizadas neste estudo.

A Tabela 5 apresenta as estações pluviométricas e a Figura 4 a distribuição espacial das estações pluviométricas utilizadas neste estudo.

Tabela 5– Estações pluviométricas utilizadas nas bacias dos rios Araranguá e Tubarão.

Bacia	Código	Nome	Latitude (S)	Longitude (W)	Período (Anos)
BHRA	2849004	Taquaruçu	28,95°	49,60°	1946 - 2006
	2849019	Timbé Do Sul	28,83°	49,83°	1976 - 2017
	2849006	Forquilha	28,75°	49,47°	1946 - 2017
	2849024	Foz Do Manuel Alves	28,85°	49,58°	1978 - 2017
	2849005	Meleiro	28,83°	49,63°	1942 - 2017
	2849012	Araranguá	28,88°	49,51°	1948 - 1978
	2849029	Serrinha	28,61°	49,55°	1986 - 2017
	2849026	Turvo	28,94°	49,70°	1981 - 1991
	BHRT	2848006	Vargem do Cedro	28,10°	48,91°
2848009		São Martinho-	28,16°	48,97°	1986- 2018
2848000		Armazém Capivari	28,26°	49,01°	1945 - 2018
2748018		São Bonifácio	27,90°	48,92°	1976 - 2018
2849020		Jaguaruna	28,60°	49,03°	1976 - 2017
2848008		Jaguaruna	28,61°	48,86°	1979 - 1991
2849028		Pedras Grandes	28,43°	49,18°	1986 - 2017
2749010		Morro da Fumaça	28,65°	49,15°	1962 - 1968
2749012		Divisa de Anitápolis	27,99°	49,11°	1945 - 2017
2749027	Anitápolis	27,90°	49,12°	1972 -2017	
BHRU	2849011	Urussanga	28,53°	49,31°	1948 - 1994

Fonte: ANA (2019).

Para as séries históricas de precipitação anual que apresentaram períodos com falhas menores do que os recomendados por Cupak (2017) e Molina et al. (2014), foi utilizado o método de Ponderação Regional para o preenchimento dos dados. Neste método são selecionadas pelo menos três estações pluviométricas que possuem no mínimo 10 anos de dados, localizadas em uma região com características climáticas semelhantes às da estação que apresenta falhas (TUCCI, 2002). As falhas foram preenchidas com base na Equação 1.

$$PY = \frac{1}{3} \left(\frac{PM_y}{PM_{x1}} P_{x1} + \frac{PM_y}{PM_{x2}} P_{x2} + \frac{PM_y}{PM_{x3}} P_{x3} \right) \quad (1)$$

Onde, PY é a precipitação do posto a corrigir (mm); PMY é a precipitação média (anual ou mensal) do posto Y (mm); $Px1$ a $Px3$ é a precipitação dos postos $x1$ a $x3$ (mm); $PMx1$ a $PMx3$ precipitação média (anual ou mensal (mm) dos postos $x1$ a $x3$.

3.2.3 Determinação das variáveis explicativas

As características físicas e climáticas de uma bacia hidrográfica possuem importante papel no comportamento hidrológico da mesma, possibilitando identificar o grau de homogeneidade entre as duas bacias (com e sem dados suficientes), para então determinar a regionalização das vazões.

O método tradicional de regionalização requer como dados as características físicas das bacias, tais como: área de drenagem (A), declividade média do rio principal ($Decl.R$), declividade média da bacia ($Decl.B$) e densidade de drenagem (Dd). Assim, para a obtenção dessas variáveis utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) produzido pela SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission* ou Missão Topográfica Radar Shuttle - EUA) com resolução espacial de 30 metros. Esse MDE foi obtido na página do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>).

Entretanto, esse modelo apresenta alguns pixels com valores de altitudes errados, sendo necessário corrigi-los para então extrair essas informações corretamente. Para corrigir o MDE foi utilizada a ferramenta *fill* do software ArcGIS 10.5. A partir do MDE (Apêndice A) corrigido foram delimitadas as sub-bacias usando como referência a localização (latitude e longitude) das estações fluviométricas selecionadas, utilizando o *software* ArcGis 10.5.

Para delimitar todas as sub-bacias da área de estudo definiu-se uma área de drenagem mínima, onde foram considerados apenas os cursos d'água de ordem superior a 5, segundo o critério de hierarquização de rios descrito por Strahler (1957), que dão origem aos rios da região de interesse. Desta forma, utilizou-se o método D8 (O'CALLAGHAN e MARK, 1984), que calcula a direção de fluxo de cada pixel e o fluxo acumulado a partir do somatório de pixels que drenam para o mesmo local, indicando os locais mais propensos a serem identificados como um rio.

O MDE com representação do fluxo acumulado foi utilizado para a identificação da rede de drenagem. Para verificar se essa representação estava correta,

comparou-se visualmente, por sobreposição no ArcGIS 10.5, a hidrografia extraída do MDE, com a hidrografia da base cartográfica (escala a 1:10000) da SDS (2010).

Por meio da ferramenta *coditional* foi definido o valor do limiar utilizado, com base na hierarquização dos canais de drenagem e do detalhamento desejado para o delineamento das drenagens (RECH *et al.*, 2011). O limiar utilizado no estudo para delimitar a rede de drenagem foi de 500, já que foram selecionados somente rios acima de 4ª ordem.

Para a bacia do rio Urussanga, as características físicas e climáticas foram obtidas com base em toda a sua área de drenagem, já que a mesma não possui estações fluviométricas.

A área de drenagem foi calculada usando a ferramenta Hydrology do ArcGis 10.5, a partir dos dados de direção de fluxo e fluxo acumulado. O valor para cada área delimitada foi calculado com base no número de *pixels* que drena cada superfície definida no MDE com resolução de 30 m, onde cada pixel corresponde a 900 m².

As áreas de drenagem delimitadas nesse estudo para cada estação fluviométrica foram comparadas com as disponibilizadas pelo site da ANA, sendo identificadas variações entre as duas estimativas. Essa variação pode ser justificada pela resolução do MDE, com resolução de 30 metros. Salienta-se que, conforme Baena *et al.* (2004) comentam, a precisão das características físicas das bacias hidrográficas, como a área, densidade de rios e comprimento dos rios, é dependente da resolução do MDE utilizado no estudo.

O comprimento do rio principal foi estimado a partir da digitalização manual sobre os arquivos vetoriais de cada rio no ARCGIS 10.5, usando a ferramenta *editar*. Neste procedimento, selecionaram-se visualmente, os rios que drenam a maior área da bacia, e assim foi estimado o comprimento de cada rio para cada sub-bacia delimitada.

Já para a determinação do comprimento total dos rios (ΣL_{tot}) utilizou-se a base cartográfica digital (escala 1:10.000) de Santa Catarina, disponível no Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina – SIGSC (SDS-SC, 2011), que contém a hidrografia das bacias de estudo. A estimativa do comprimento dos rios, bem como o somatório de todos os rios das bacias foram feitos usando as ferramentas do ARCGIS 10.5

A densidade de drenagem foi obtida pela razão entre os comprimentos totais dos rios (ΣL_{tot}) de cada sub-bacia, e suas respectivas áreas de drenagem (A), conforme a equação (2).

$$Dd = \frac{\Sigma L_{tot}}{Ad} \quad (2)$$

A declividade do rio principal é dada pela Equação 3:

$$\text{Decl. R} = \frac{\Delta H}{L_p} \quad (3)$$

Em que ΔH é a diferença entre as cotas dos pontos iniciais (cabeceira do rio principal) e finais do rio (no ponto próximo do exutório) (m) e L_p é o comprimento do rio principal (km).

Já a declividade média da bacia (Decl.B) é obtida pela razão entre as diferenças das cotas dos pontos iniciais (cotas do divisor de água das bacias) e finais (cotas no exutório) de cada sub-bacia (ΔH) e a área de drenagem da mesma (A), conforme a Equação 4:

$$\text{Decl. B} = \frac{\Delta H}{A} \quad (4)$$

Como variável climática utilizou-se a precipitação média anual (P_m) da bacia, a qual foi calculada utilizando o método dos polígonos de Thiessen. Esse método calcula a média ponderada das alturas pluviométricas, que é diretamente proporcional à área de influência da bacia, considerando a não uniformidade da distribuição espacial das estações. Esse método não leva em conta a influência do relevo na precipitação da bacia.

A precipitação média anual das bacias dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão foi calculada conforme Equação (5):

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (5)$$

Onde P_m é a precipitação média na bacia (mm); P_i é a precipitação no posto i (mm); A_i é a área do polígono de Thiessen (km²); A é a área de influência de cada estação pluviométrica (km²).

Após a obtenção das variáveis dependentes (Q50, Q90, Q95 e Q98) e das variáveis independentes de cada sub-bacia inseridas nas bacias do rio Tubarão e Araranguá, calculou-se o valor do coeficiente de Person, que mostra o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas (NAGHETTINI e PINTO, 2007), por meio da Matriz de Correlação de Person.

As informações obtidas foram submetidas à avaliação dos coeficientes de correlação de Pearson (r), e as variáveis independentes mais significativas foram utilizadas para a estimativa das vazões de permanência, através das equações de regionalização obtidas do uso do software IBM SPSS Statistics 20.

O coeficiente de correlação de Pearson ou correlação linear simples (r), expressa o grau de correlação (e a direção dessa correlação se positiva ou negativa) entre duas variáveis. O valor de r é adimensional e varia de -1 (correlação perfeita negativa) a 1 (correlação perfeita positiva), sendo zero indicativo de que não há correlação entre as variáveis. O coeficiente de Pearson auxilia na tomada de decisão entre incluir ou não a variável no modelo de regionalização (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

3.3 REGIÕES HOMOGÊNEAS

As regiões hidrologicamente homogêneas (RHH), foram definidas com base na distribuição geográfica das estações e da similaridade das características físicas e climáticas entre as bacias.

Primeiramente separou-se as bacias de estudo em três RHH distintas, assim foram realizadas as regressões matemáticas individualmente para cada bacia, levando-se em consideração as características físicas e as vazões de referência encontradas para cada estação fluviométricas presentes nas bacias dos rios Tubarão e Araranguá. Posteriormente, foi avaliada a adequação da delimitação inicialmente realizada com base nos critérios estatísticos estabelecidos por Euclides et al. (2001). Já para a BHRU foi realizado o procedimento de interpolação pelo inverso da distância IDW, já que a mesma não conta com estações fluviométricas inseridas em sua área de drenagem.

Segundo Euclides et al. (2001) as regiões podem ser delimitadas analisando os coeficientes de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2_a), erro padrão fatorial (σF) e o erro relativo (ER%).

As estações que apresentaram valores de coeficiente de regressão (β_i) próximos, coeficientes de determinação (R^2 e R^2_a) maiores ou igual 0,70 e erro padrão fatorial (σF) inferiores a 1,5, foram consideradas inseridas na mesma região hidrológica (COLLISCHONN, 2001; BAZZO, 2015).

Posteriormente, foi realizada uma interpolação a fim de verificar a homogeneidade entre as três bacias de estudo. A interpolação foi utilizada no software ArcGIS 10.5, onde foram plotados os dados de localização e a vazão específica de cada estação fluviométrica usada no estudo. Por meio da ferramenta *Interpolation no ArcGIS* foi feita a interpolação dos valores de vazão específica para toda a área das bacias de estudo. Essa interpolação se baseia na distância euclidiana, ponderada pelo o inverso do quadrado da distância.

3.4 CURVA DE PERMANÊNCIA

As curvas de permanência foram elaboradas com base nas séries históricas de dados de vazões diárias e mensais obtidas das estações fluviométricas presentes nas bacias do rio Tubarão e Araranguá, usando o software SisCAH 1.0.

Para a elaboração da curva de permanência, os dados de vazões (Q) foram organizados em ordem decrescente, atribuindo-se para cada vazão ordenada (Q_{mi}) sua respectiva ordem de classificação (n). Associou-se a cada vazão ordenada (Q_{mi}) a respectiva probabilidade (P) dos valores a serem iguais ou superados, $P(Q \geq Q_m)$ (NAQUETTINI e PINTO, 2007). A probabilidade foi calculada pela Equação 6. As curvas de permanência relacionam os valores de vazão (diária ou média mensal) na ordenada, com a respectiva probabilidade (P) de serem iguais ou superados nas abscissas, para o período de dados analisado.

$$P = \frac{n}{N} * 100 \quad (6)$$

em que P é a probabilidade da vazão ser igualada ou superada (%); n é o número de ordem da classificação; N é o número de dados de vazão da série histórica analisada.

A partir das curvas de permanência mensais e diárias estimaram-se as vazões Q50, Q90, Q95 e Q98, que correspondem a 50%, 90%, 95% e 98% do tempo que a respectiva vazão é igualada ou excedida na seção de interesse (estação fluviométrica).

Essas vazões são utilizadas como referência nos processos de outorga do uso da água, indicando o limite superior de utilização da água em um curso d'água de interesse (OLIVEIRA, 2011).

3.5 REGIONALIZAÇÃO DA CURVA DE PERMANÊNCIA

Para a regionalização das vazões Q50, Q90, Q95 e Q98 foi utilizado o método tradicional. Este método consiste no ajuste de regressões múltiplas entre a vazão e as características físicas e climáticas das bacias, previamente determinadas a partir da avaliação dos coeficientes estatísticos.

Na regionalização das Q50, Q90, Q95 e Q98 foram utilizados as equações de regressão linear (Eq. 7), exponencial (Eq. 8), potencial (Eq. 9) e logarítmico (Eq. 10)

$$Q = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (7)$$

$$Q = \beta_0 \cdot e^{\beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n} \quad (8)$$

$$Q = \beta_0 \cdot X_1^{\beta_1} \cdot X_2^{\beta_2} + \dots + X_n^{\beta_n} \quad (9)$$

$$\ln Q = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \dots + \beta_n \ln X_n \quad (10)$$

em que, Q representa a vazão característica de interesse em (m^3s^{-1}), X_1, X_2, \dots, X_n são as variáveis independentes (ou explicativas); $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ são os coeficientes de regressão das variáveis explicativas.

As equações de regionalização foram calculadas com base em regressões lineares e não lineares, obtidas por meio do software SPSS *Statistics*, que permite construir um modelo matemático para prever os valores da variável dependente (y) a partir de uma ou mais variáveis independentes (x).

O ajuste das equações de regionalização foi avaliado através dos coeficientes de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2_a) e do erro padrão fatorial (σF).

Para Naghettini e Pinto (2007), o coeficiente de determinação (R^2) é sempre positivo e deve ser interpretado como a proporção da variância total da variável dependente Y explicada pelo modelo de regressão, e pode ser estimado por:

$$R^2 = b^2 \frac{S_x^2}{S_y^2} \quad (11)$$

onde S_x^2 é a variância amostral de X ; S_y^2 é a variância amostral de Y ; b é o coeficiente angular da reta de regressão.

No entanto, quando o ajuste do modelo é realizado com a inserção de um número maior de variáveis independentes é recomendado que se utilize o R^2_a , que, ao contrário de R^2 , nem sempre aumenta com a adição de novos parâmetros (CASTRO e RUHOFF, 2009; TUCCI, 2009). O R^2_a é dado pela seguinte equação:

$$R^2_a = 1 - \frac{(n-1)}{(n-p-1)} \cdot (1 - R^2) \quad (12)$$

em que n é o número de valores observados; p é o número de variáveis independentes; e R^2 é coeficiente de determinação.

O σF pode ser compreendido como o erro padrão calculado para a expressão linearizada referente aos valores logarítmicos da vazão. Ele quantifica a dispersão dos valores observados da variável independente em torno da função ajustada, sendo que um valor baixo do erro padrão significa um bom ajuste, dado que o mesmo indica a confiabilidade da média amostral (PINTO, 2006).

Para tanto, faz-se o uso do σF , que é obtido através da Equação 13.

$$\sigma F = e^S \quad (13)$$

onde, σF corresponde ao erro padrão fatorial; S ao desvio padrão e; e é a base do logaritmo Neperiano. O valor de σF foi obtido no programa SisCoRV 1.0.

Moriasi et al. (2015), consideram que para a estimativa de vazões, valores de R^2 superiores a 0,85 são considerados muito bom para vazões. Já Baena (2017) considera que as equações de regressão mais adequadas para a regionalização possuem valores de σ_F menores que 1.

Maciel et al. (2019) comentam que mesmo que a regressão atenda todos os critérios estatísticos, as vazões estimadas pelas equações podem apresentar vazões negativas, ou superestimam ou subestimam os valores das vazões observadas.

Por esse motivo, se fez necessário a comparação entre as vazões estimadas pelo método tradicional (Q_{est}) com as vazões observadas (Q_{obs}) nas 22 estações fluviométricas inseridas nas bacias de estudo, e para isso foi utilizado o erro percentual ($ER\%$), conforme:

$$ER\% = \left(\frac{Q_O - Q_E}{Q_O} \right) \times 100 \quad (14)$$

onde, $ER\%$ é o erro percentual ou relativo (%), Q_O é a vazão observada ($m^3 \cdot s^{-1}$) e Q_E é a vazão estimada pelo modelo ($m^3 \cdot s^{-1}$).

Os erros menores que 30 % são considerados aceitáveis. Valores negativos (-) representam superestimava das vazões, entretanto para valores positivos (+) as vazões são subestimadas pelo modelo (MACIEL *et al.*, 2019).

3.5.1 Verificação das equações de regionalização

Afim de avaliar o desempenho das equações de regressão na estimativa das vazões de permanência mensais e diárias Q50, Q90, Q95 e Q98, foram utilizados os indicadores estatísticos: (i) erro médio absoluto (EMA); (ii) raiz do erro quadrado médio (RMSE) e o logaritmo do índice de eficiência de Nash-Sutcliffe ($\log NSE$).

O EMA é uma medida que indica a média do afastamento entre todos os valores estimados e os observados, assim, quanto menores os valores encontrados nesses índices, melhor é a qualidade do ajuste da equação, logo, menores erros. Moreira, Guilhon e Rocha (2007) salientam que a tendência em rios com maiores vazões é que o valor de EMA seja mais elevados e que seja menor nos rios com valores menores de vazão. O EMA é calculado pela Equação 15:

$$EMA = \frac{\sum_{i=1}^n |(Q_{est} - Q_{obs})|}{n} \quad (15)$$

A RMSE é utilizada para estimar a qualidade de um modelo e mede a magnitude média dos erros estimados. Bork (2018) comenta que o uso da RMSE apresenta grande vantagem em relação ao coeficiente de determinação (R^2), contudo não estabelece um percentual como critério de comparação. O RMSE apresenta um valor sempre positivo, sendo que quanto mais próximo de zero, maior a qualidade dos valores medidos ou estimados (SANTOS et al., 2014), sendo calculado pela Equação 16:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{est} - Q_{obs})^2}{n}} \quad (16)$$

onde n é o número de estações fluviométricas analisadas; Q_{obs} é a vazão observada nas estações fluviométricas ($m^3.s^{-1}$) e Q_{est} é a vazão estimada pelo modelo de regionalização ($m^3.s^{-1}$).

Souza et al. (2009) salientam que o Nash-Sutcliffe prioriza as vazões máximas da série de dados, sendo o log de NSE mais indicado para avaliar o ajuste das vazões mínimas, uma vez que, valoriza mais essas vazões. O NSE_{log} variam de $-\infty$ a 1, sendo 1 indicativo de um ajuste perfeito entre as vazões calculadas e medidas.

Segundo Souza e Santos (2013), valores de $logNSE$ maiores que 0,7 são considerados satisfatórios para análise de vazões mínimas. O $logNSE$ é determinado por:

$$logNSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\log(Q_{obs}) - \log(Q_{est}))^2}{\sum_{i=1}^n (\log(Q_{obs}) - \overline{\log(Q_{obs})})^2} \quad (17)$$

onde Q_{obs} é a vazão observada nas estações fluviométricas ($m^3.s^{-1}$) e Q_{est} é a vazão estimada pela equação de regionalização ($m^3.s^{-1}$), $\log(Q_{est})$ é o logaritmo da vazão estimada em ($m^3.s^{-1}$), $\log(Q_{obs})$ é o logaritmo da vazão observada em ($m^3.s^{-1}$), $\overline{\log(Q_{obs})}$ é a média das vazões observadas em ($m^3.s^{-1}$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 VAZÕES DE PERMANÊNCIA MENSAL E DIÁRIA

As Tabelas 6 e 7 apresentam as vazões de referência diárias e mensais e a diferença (Dif. em percentual (%)) entre elas, associadas às permanências de 50%, 90%, 95% e 98% de tempo (Q50, Q90, Q95 e Q98), determinadas para as bacias dos rios Araranguá e Tubarão. Nos Apêndices B e C constam as curvas de permanências dessas vazões.

Tabela 6 – Vazões de permanência diárias e mensais e área de drenagem dos rios da bacia do rio Araranguá.

Código da estação	A* (km ²)	Permanência (%)	Qd (m ³ .s ⁻¹)	Qm (m ³ .s ⁻¹)	Dif. (%)
84950000	977,50	50	15,49	28,31	45,28
		90	4,15	7,41	44,00
		95	2,86	5,27	45,73
		98	1,86	4,12	54,12
84949800	870,60	50	11,94	24,16	50,58
		90	3,59	7,28	50,69
		95	2,65	4,88	45,70
		98	1,83	3,41	46,33
84820000	590,00	50	7,40	13,31	44,40
		90	2,12	3,63	41,60
		95	1,53	2,63	41,83
		98	1,09	1,59	31,45
84853000	343,50	50	5,39	10,58	49,05
		90	0,70	2,75	74,54
		95	0,34	1,52	77,63
		98	0,18	0,44	57,50
84800000	119,90	50	2,54	3,39	25,07
		90	0,70	0,99	29,29
		95	0,55	0,66	16,17
		98	0,31	0,42	26,19
84949000	373,80	50	4,15	9,64	56,95
		90	1,03	2,53	59,28
		95	0,66	1,63	59,50
		98	0,24	1,13	78,76

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Nota: A é a área de drenagem, Qd é a vazão diária; Qm é a vazão mensal e Dif. é a diferença.

Na Tabela 6 as maiores vazões de permanência (Q50, Q90, Q95 e Q98) tanto diárias, quanto mensais, foram encontradas na estação 84950000 localizada no rio Itoupava, o qual apresenta a maior área de contribuição (977,50 km²). De acordo com

Maciel et al. (2019), o valor da vazão aumenta à medida que o local de monitoramento se distancia das suas nascentes e se aproxima do exutório, ou seja, a sua área de contribuição aumenta.

Já as menores vazões foram estimadas para as bacias de cabeceiras da bacia do rio Araranguá, formadas pelos rios São Bento (estação 84800000) e Amola Faca (estação 84949000), com áreas de contribuição de 119,90 km² e 373,80 km², respectivamente.

Na sub-bacia do rio São Bento (177,40 km²), está localizada a barragem de São Bento, com vazões mensais mínimas, médias e máximas de 0,80 m³.s⁻¹, 3,12 m³.s⁻¹ e 23,13 m³.s⁻¹, respectivamente (CASAN, 2004). Essa barragem é destinada para o abastecimento público, cerca de 75 milhões de litros de água por dia para atender a população dos 6 municípios sul catarinenses: Criciúma, Forquilha, Maracajá, Nova Veneza, Siderópolis e zona urbana de Içara. Além disso, a barragem é utilizada para irrigar os cultivos agrícolas, a jusante (COSTA, 2008).

Já a sub-bacia do rio Itoupava é responsável pelo maior número de declarações de outorga para captações de água para irrigação de 33.566,00 ha de arroz (99%) e outras culturas (1%) (SDS, 2014), cerca de 39.757.603,19 m³ por mês de água são destinados a irrigação de arroz, o que resulta em aproximadamente 33.566 hectares cultivados.

Tabela 7– Vazões de permanência diárias e mensais dos rios da BHRT.

(Continua)

Código da estação	A (km²)	Permanência (%)	Qd (m³.s⁻¹)	Qm (m³.s⁻¹)	Dif. (%)
84598002	621,13	50	13,9	15,94	12,80
		90	8,12	9,54	14,88
		95	7,15	8,31	13,96
		98	6,36	7,44	14,52
84600000	617,13	50	15,87	18,13	12,48
		90	8,55	10,06	15,01
		95	7,19	8,67	17,07
		98	5,81	7,23	19,74
84500000	140,00	50	3,30	4,16	20,67
		90	1,71	2,26	24,34
		95	1,53	1,98	22,73
		98	1,32	1,60	17,50
84520000	367,80	50	8,49	9,93	14,54
		90	4,72	5,60	15,66
		95	4,05	4,94	18,12
		98	3,32	4,34	23,48

(Conclusão)					
Código da estação	A (km²)	Permanência (%)	Qd (m³.s⁻¹)	Qm (m³.s⁻¹)	Dif. (%)
84520010	617,13	50	15,69	18,55	15,45
		90	8,17	10,14	19,42
		95	7,00	8,87	21,09
		98	6,20	8,05	23,04
84541000	153,16	50	2,72	3,69	26,29
		90	1,23	1,65	25,45
		95	0,97	1,30	25,54
		98	0,73	1,10	34,09
84551000	380,63	50	7,41	9,85	24,79
		90	2,81	4,14	32,30
		95	2,25	3,14	28,40
		98	1,42	2,34	39,26
84559800	1495,25	50	23,82	31,21	23,69
		90	13,28	15,92	16,58
		95	11,37	14,11	19,40
		98	9,37	12,53	25,20
84560002	1554,98	50	31,40	39,07	19,63
		90	14,64	18,87	22,40
		95	12,12	15,96	24,07
		98	9,48	13,26	28,49
84560000	1683,49	50	29,70	35,96	17,42
		90	11,84	14,58	18,77
		95	9,22	10,85	14,99
		98	7,58	9,01	15,87
84249998	592,20	50	10,50	14,67	28,43
		90	4,35	5,60	22,19
		95	3,73	4,85	23,18
		98	3,08	4,26	27,65
84250000	613,36	50	9,60	14,60	34,25
		90	3,36	4,99	32,67
		95	2,42	3,81	36,48
		98	1,83	2,93	37,54
84580000	2731,64	50	46,80	60,21	22,28
		90	20,90	27,47	23,92
		95	16,19	21,59	25,02
		98	12,09	16,71	27,64
84580500	2835,31	50	68,36	83,62	18,25
		90	38,61	50,55	23,63
		95	34,64	45,26	23,46
		98	29,22	37,80	22,69
84300000	823,79	50	15,65	22,12	29,26
		90	6,71	9,18	26,89
		95	5,39	7,24	25,47
		98	4,33	6,54	33,85

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Nota: A é a área de drenagem, Qd é a vazão diária; Qm é a vazão mensal e Dif. é a diferença.

As vazões de permanência da bacia do rio Tubarão apresentaram o mesmo comportamento dos rios da bacia do rio Araranguá. Na Tabela 7 observa-se que, as maiores vazões de permanência (Q50, Q90, Q95 e Q98) foram obtidas para o rio Tubarão (estação 84580500), cuja área de contribuição é de 2835,30km².

Os principais afluentes na bacia do rio Tubarão são: rio Braço do Norte (85,57 km²) e o rio Capivari (63,37 os quais possuem um grande potencial para geração de energia hidrelétrica, segundo Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (2016), atualmente estão instaladas 5 Centrais Geradoras Hidrelétrica (CGH) e 6 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), totalizando um potencial hidrelétrico de 56,57 MW. Esse fato se deve as grandes vazões desses rios e ao relevo fortemente ondulado, que representa 33,30% da área total da bacia ao entorno dos rios.

Já para o abastecimento das atividades industriais da bacia, são destinados cerca de 23.727,96 m³.ano⁻¹ de água, sendo que 84,96% desse valor é destinado ao abastecimento da Usina Termoelétrica Jorge Lacerda, localizada no município de Capivari de Baixo. O uso da água para a irrigação de culturas (arroz, soja, milho, hortaliças e frutas) na região, representa cerca de 196.507.500,00 m³.ano⁻¹, sendo que desse valor 10.354 m³.ha⁻¹/safra são destinados ao cultivo de arroz irrigado com sistema de plantio tradicional.

Verifica-se também nas Tabelas 6 e 7 que as maiores diferenças foram de 78 m³.s⁻¹ e 53,71 m³.s⁻¹ para as vazões diárias e mensais das bacias dos rios Araranguá e Tubarão, respectivamente. Essa diferença é devido à vazão mensal ser a média entre todos os dados observados no mês.

Tucci (2009) comenta que no dimensionamento de pequenas centrais hidrelétricas, seja utilizado a vazão de referência diária, afinal deseja-se assegurar que a central tenha vazão para gerar energia na maior parte dos dias. Contudo é comum a adoção de valores médios mensais de vazão, em razão de ser mais simples obtê-las do que as diárias. Obviamente os resultados não serão os mesmos, ficando a hidrelétrica um número maior de dias parada ao ser adotados valores mensais de vazão de referência.

Back et al. (2019) constataram que as vazões de permanência mensais são superestimadas em 26% em relação às vazões diárias, e que por isso, nos projetos de construção de hidrelétricas a fio d'água ou nos casos de captação d'água sem reservatórios, deve-se elaborar a curva de permanência com base nos valores de vazões diárias.

Costa et al. (2018) também encontraram diferenças significativas entre as vazões diárias e mensais, quando avaliaram a viabilidade econômica de uma central hidrelétrica na bacia do rio Itajaí-Açu - PR. Os autores verificaram que as vazões de permanência mensais podem superestimar 25% a potência instalada, impactando diretamente os resultados econômicos da central.

As diferenças entre as vazões mínimas de permanência influenciam diretamente os processos de outorga da água para diferentes usos.

Por exemplo, em Santa Catarina, de acordo com as portarias de N° 36 de 29 de julho de 2008 e N° 51 de 02 de outubro de 2008 (SDS, 2008), que regularizam os critérios de outorga para os rios de domínio do estado, estabelece-se como vazão de referência 50% da Q98. Assim, o uso da Q98 mensal pode superestimar o dimensionamento de obras hidráulicas, como barragens para o abastecimento de água, irrigação e empreendimentos hidrelétricos. Além disso, dependendo da vazão outorgada a vazão ecológica do curso d'água pode ser impactada.

4.2 VARIÁVEIS EXPLICATIVAS

Na regionalização das vazões diárias e mensais Q50, Q90, Q95 e Q98 foram utilizadas as características físicas (Tabela 8 e 9) e climáticas (Tabela 10), as quais foram definidas a partir do local onde estão instaladas as estações fluviométricas nas bacias dos rios Araranguá e Tubarão (os mapas encontram-se no Apêndice D e Apêndice E, respectivamente).

Tabela 8– Características físicas da bacia do rio Araranguá (SC) e respectivas sub-bacias.

Código da Estação	Sub-bacias	A (km²)	D_a (km.km⁻²)	D_{mB} (m.km⁻¹)	D_{mR} (m.km⁻¹)
84950000	Taquaraçu	977,50	1,85	17,57	9,39
84949800	Ermo	870,60	1,98	21,19	8,86
84820000	Forquilha	590,00	1,95	14,47	7,36
84853000	Foz Manoel Alves	343,50	2,33	25,83	12,41
84800000	Serrinha	119,90	1,95	66,32	25,14
84949000	Turvo	373,80	2,04	32,82	12,37

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Verifica-se na Tabela 8 que a maior área de drenagem é da bacia do rio Taquaraçu (977,5 km²), localizada próximo ao seu exutório, já a menor área de drenagem encontrada foi para a bacia do rio Serrinha (119,9 km²). No entanto, essa bacia apresentou

maior declividade média, tanto para bacia ($66,32 \text{ m.km}^{-1}$), como para o rio principal ($25,14 \text{ m.km}^{-1}$), sendo isso é característico de bacias de cabeceiras.

A área de drenagem tem forte influência na vazão mínima dos rios, uma vez que, bacias hidrográficas com áreas de drenagem grandes têm maior probabilidade de ter uma vazão mais firme em períodos de estiagem (TUCCI, 2009).

Tabela 9 – Características físicas da bacia do rio Tubarão (SC) e respectivas sub-bacias.

Código da Estação	Sub-bacias	A (km²)	D_d (km.km⁻²)	D_{mB} (m.km⁻¹)	D_{mR} (m.km⁻¹)
84598002	São Martinho Jusante	621,10	2,32	16,08	11,86
84600000	Armazém	617,10	2,32	16,30	12,27
84300000	Pedras Grandes	823,70	2,40	11,92	6,10
84500000	Povoamento	140,00	2,48	25,64	21,59
84520000	Divisa Anitápolis	367,80	2,72	20,54	17,62
84520010	Santa Rosa de Lima	617,30	3,50	21,15	21,02
84541000	Grão Pará	153,10	2,74	35,28	22,78
84551000	Rio Pequeno	380,60	3,00	30,30	19,58
84559800	Braço do Note Montante	1495,20	3,40	11,25	10,09
84560002	São Ludgero II	1554,90	3,37	10,93	9,85
84560000	São Ludgero I	1683,49	3,32	10,55	9,45
84250008	Orleans I	613,30	2,39	24,83	14,82
84250000	Orleans II	613,30	2,39	24,83	14,82
84580000	Rio do Pouso	273160	2,98	9,04	8,15
84580500	Tubarão	2835,30	2,97	7,81	7,03
84249998	Orleans Montante	592,20	2,39	25,75	23,53

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

De acordo com Vilella e Mattos (1975), a densidade de drenagem reflete consideravelmente no escoamento superficial da bacia, sendo que ela pode variar de $0,5 \text{ km.km}^{-2}$ (bacias de drenagem pobre) a $3,5 \text{ km.km}^{-2}$ ou mais (bacia muito bem drenada). Essa característica tem uma relação inversa com o comprimento dos rios.

No caso da BHRA e BHRT os valores obtidos de densidade de drenagem mostram que a região é muito bem drenada, com várias ramificações e canais principais com comprimento maior.

Os valores de densidade de drenagem médios obtidos para as bacias foram 2,05 para a BHRA e 2,80 para a BHRT, os valores calculados estão próximos dos valores determinados pela SDS (2017), que foram de 1,75 e 2,80 para as BHRA e BHRT, respectivamente. Essa diferença pode estar associada à forma obtenção da densidade média. No caso do presente estudo consideraram-se somente os rios de ordem superior a

4, de acordo com Strahler (1957), para geração da rede de drenagem, a qual influencia o cálculo da densidade de drenagem.

A Tabela 10 apresenta as características físicas e climáticas médias para toda a bacia hidrográfica do rio Urussanga.

Tabela 10– Características físicas e climáticas da bacia do rio Urussanga (SC).

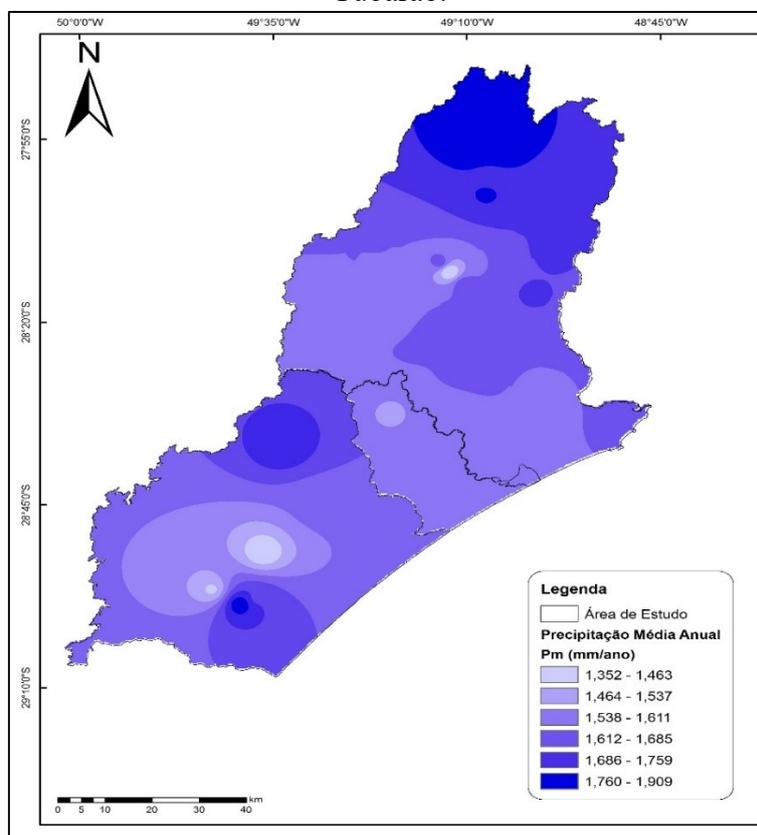
Pm (mm.ano⁻¹)	A (km²)	Dd (km.km⁻²)	D_{mB} (m.km⁻²)	D_{mR} (m.km⁻¹)
1524	685,40	1,67	0,75	7,67

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A Tabela 11 apresenta os valores de precipitação média anual, calculados com base nas séries históricas de cada estação, usando o método de Thiessen. As falhas encontradas nas séries foram preenchidas utilizando a Equação 1.

A Figura 5 apresenta o mapa de precipitação média anual gerado pelos polígonos de Thiessen para as estações fluviométricas presentes nas bacias dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão. Os mapas com os polígonos de Thiessen para a área de estudo encontram-se no Apêndice F e Apêndice G.

Figura 5– Precipitação média anual para as bacias dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Tabela 11 – Precipitação média anual (mm.ano^{-1}) da área de abrangência das estações pluviométricas, calculadas por Thiessen.

Bacia	Sub-bacias	Pm (mm.ano^{-1})
BHRA	Taquaraçu	1801,3
	Ermo	1907,8
	Forquilha	1720,4
	Foz Manoel Alves	1546,2
	Serrinha	1854,3
	Turvo	1588,5
BHRT	São Martinho Jusante	1701,8
	Armazém	1703,6
	Pedras Grandes	1615,0
	Povoamento	1908,7
	Divisa Anitápolis	1744,4
	Santa Rosa de Lima	1768,9
	Grão Pará	1651,0
	Rio Pequeno	1351,4
	Braço do Note Montante	1673,8
	São Ludgero II	1640,9
	São Ludgero I	1638,3
	Orleans I	1656,1
	Orleans II	1615,6
	Rio do Pouso	1602,8
Tubarão	1569,4	

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Na Tabela 11 evidencia-se que, a precipitação média anual varia de 1300 mm.ano^{-1} a 1900 mm.ano^{-1} para a BHRT e de 1500 mm.ano^{-1} a 1900 mm.ano^{-1} para a BHRA. Esses valores são próximos dos valores obtidos por SDS (2017) que encontrou para a BHRT os valores de 1100 a 1900 mm.ano^{-1} , e para a BHRA entre 1100 mm.ano^{-1} a 2100 mm.ano^{-1} .

Back e Poletto (2018) geraram o mapa de precipitação média anual para todo o estado de Santa Catarina, e encontraram valores entre 1500 mm a 1800 mm para as bacias da região sul do estado, o que corrobora com os valores da Tabela 11.

Também Wolff (2018) encontrou valores de precipitação de 1400 mm e 1700 mm para o litoral Sul e a parte central de Santa Catarina, respectivamente. Segundo o autor a variação ocorre devido ao litoral sofrer a influência das correntes de ar frio que vem das Malvinas, Argentina, e das modificações locais da circulação atmosférica.

4.2.1 Matriz de correlação de Person

As Tabelas 12 à 15 apresentam os coeficientes de correlação linear (r) entre as variáveis explicativas e as vazões de referências Q50, Q90, Q95 e Q98 mensais e diárias determinadas para as bacias dos rios Araranguá e Tubarão.

Tabela 12– Matriz de correlação de Pearson para vazões diárias Q50, Q90, Q95 e Q98 e as variáveis independentes obtidas para a bacia do rio Araranguá.

*	Q50 d	Q90 d	Q95 d	Q98 d	A	Dd	D _{mB}	D _{mR}	Pm
A	0,98	0,97	0,95	0,94	1				
Sig (p)	0,000	0,001	0,001	0,002	-	0,283	0,039	0,040	0,068
Dd	-0,41	-0,46	-0,47	-0,40	-0,35	1,00			
Sig (p)	0,196	0,181	0,181	0,214	0,283	-	0,253	0,246	0,329
Decl.B	-0,67	-0,60	-0,57	-0,58	-0,74	-0,33	1		
Sig (p)	0,073	0,103	0,121	0,115	0,039	0,253	-	0,000	0,006
Decl.R	-0,64	-0,60	-0,57	-0,58	-0,73	-0,32	0,99	1	
Sig (p)	0,086	0,105	0,120	0,115	0,040	0,246	0,000	-	0,005
Pm	0,59	0,50	0,45	0,44	0,68	0,22	-0,91	-0,92	1
Sig (p)	0,110	0,157	0,185	0,192	0,068	0,329	0,006	0,005	-

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Nota: * Q50, Q90, Q95, Q98 (Vazão em $m^3.s^{-1}$), d (diária); m (mensal); A Área de Drenagem (km^2), Dd densidade de Drenagem ($km.km^{-2}$); D_{mB} declividade média da bacia ($m.km^{-1}$); D_{mR} declividade média do rio ($m.km^{-1}$); Pm precipitação média anual (mm.ano); Sig é a significância.

Tabela 13– Matriz de correlação de Pearson para vazões mensais Q50, Q90, Q95 e Q98 e as variáveis independentes obtidas para a bacia do rio Araranguá.

*	Q50 m	Q90 m	Q95 m	Q98 m	A	Dd	D _{mB}	D _{mR}	Pm
A	1,00	0,99	0,99	0,97	1				
Sig (p)	0,000	0,000	0,000	0,001	-	0,283	0,039	0,040	0,068
Dd	-0,39	-0,39	-0,41	-0,54	-0,35	1,00			
Sig (p)	0,216	0,221	0,211	0,145	0,283	-	0,253	0,246	0,329
Decl.B	-0,71	-0,69	-0,67	-0,58	-0,74	-0,33	1		
Sig (p)	0,057	0,066	0,071	0,115	0,039	0,253	-	0,000	0,006
Decl.R	-0,69	-0,68	-0,67	-0,58	-0,73	-0,32	0,99	1	
Sig (p)	0,064	0,068	0,073	0,114	0,040	0,246	0,000	-	0,005
Pm	0,67	0,66	0,62	0,52	0,68	0,22	-0,91	-0,92	1
Sig (p)	0,074	0,077	0,097	0,144	0,068	0,329	0,006	0,005	-

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Nota: * Q50, Q90, Q95, Q98 (Vazão em $m^3.s^{-1}$), d (diária); m (mensal); A Área de Drenagem (km^2), Dd densidade de Drenagem ($km.km^{-2}$); D_{mB} declividade média da bacia ($m.km^{-1}$); D_{mR} declividade média do rio ($m.km^{-1}$); Pm precipitação média anual (mm.ano); Sig é a significância.

Tabela 14– Matriz de correlação de Pearson para vazões diárias Q50, Q90, Q95 e Q98 e as variáveis independentes obtidas para a bacia do rio Tubarão.

*	Q50 d	Q90 d	Q95 d	Q98 d	A	Dd	D _{mB}	D _{mR}	Pm
A	0,97	0,92	0,89	0,86	1				
Sig (p)	0,000	0,000	0,000	0,000	-	0,036	0,000	0,001	0,222
Dd	0,43	0,40	0,38	0,37	0,46	1			
Sig (p)	0,048	0,063	0,074	0,079	0,036	-	0,091	0,278	0,327
Decl.B	-0,78	-0,75	-0,72	-0,71	-0,80	-0,35	1		
Sig (p)	0,000	0,000	0,001	0,001	0,00	0,091	-	0,000	0,410
Decl.R	-0,69	-0,65	-0,62	-0,60	-0,73	-0,16	0,89	1	
Sig (p)	0,002	0,003	0,005	0,007	0,001	0,278	0,000	-	0,320
Pm	-0,17	-0,13	-0,12	-0,10	-0,21	-0,12	-0,06	0,13	1
Sig (p)	0,260	0,319	0,332	0,361	0,002	0,327	0,410	0,320	-

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Nota: * Q50, Q90, Q95, Q98 (Vazão em $m^3.s^{-1}$), d (diária); m (mensal); A Área de Drenagem (km^2), Dd densidade de Drenagem ($km.km^{-2}$); D_{mB} declividade média da bacia ($m.km^{-1}$); D_{mR} declividade média do rio ($m.km^{-1}$); Pm precipitação média anual ($mm.ano$); Sig é a significância.

Tabela 15– Matriz de correlação de Pearson para vazões mensais Q50, Q90, Q95 e Q98 e as variáveis independentes obtidas para a bacia do rio Tubarão.

*	Q50 m	Q90 m	Q95 m	Q98 m	A	Dd	D _{mB}	D _{mR}	Pm
A	0,97	0,92	0,89	0,88	1				
Sig (p)	0,000	0,000	0,000	0,000	-	0,036	0,000	0,001	0,222
Dd	0,42	0,38	0,37	0,37	0,46	1			
Sig (p)	0,052	0,071	0,079	0,077	0,036	-	0,091	0,278	0,327
Decl.B	-0,78	-0,73	-0,71	-0,71	-0,80	-0,35	1		
Sig (p)	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,091	-	0,000	0,410
Decl.R	-0,70	-0,64	-0,62	-0,61	-0,73	-0,16	0,89	1	
Sig (p)	0,001	0,004	0,006	0,006	0,001	0,278	0,000	-	0,320
Pm	-0,19	-0,15	-0,13	-0,12	-0,21	-0,12	-0,06	0,13	1
Sig (p)	0,236	0,295	0,316	0,333	0,222	0,327	0,410	0,320	-

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Nota: * Q50, Q90, Q95, Q98 (Vazão em $m^3.s^{-1}$), d (diária); m (mensal); A Área de Drenagem (km^2), Dd densidade de Drenagem ($km.km^{-2}$); D_{mB} declividade média da bacia ($m.km^{-1}$); D_{mR} declividade média do rio ($m.km^{-1}$); Pm precipitação média anual ($mm.ano$); Sig é a significância.

Nas Tabelas 12 a 15 observa-se que há uma forte correlação entre as vazões de permanência (diárias e mensais) com a área de drenagem (A), uma vez que todas as correlações feitas apresentaram um coeficiente de correlação de Pearson (r) maior que 0,90. Para Araújo et al. (2019), um $r > 0,89$ indica a forte correlação entre variáveis.

Observa-se também que os valores de significância (p) para todas as variáveis utilizadas no presente estudo foram $<0,005$, indicando que a área de drenagem (A) é a que mais influência no cálculo das vazões de permanência.

Também nas Tabelas 12 e 15 observa-se que a D_{mb} e a D_{mR} são fortemente correlacionadas e têm forte significância entre si, por isso não podem ser utilizadas em conjunto no modelo de regressão para evitar a multicolinearidade. .

Naghetini e Pinto (2007), comentam que as variáveis independentes que apresentam multicolinearidade entre si ($r > 0,89$ e $p < 0,005$) dificultam a interpretação dos coeficientes obtidos na regressão, pois em alguns casos o sinal do coeficiente de regressão pode ser o oposto do esperado.

Vários estudos utilizam a variável área de drenagem como previsores da variável de resposta (Vazão) nas equações de regionalização de vazões, devido à facilidade de obtenção dessa variável.

Cecílio et al. (2019), por exemplo, em estudo de regionalização de vazões médias e mínimas para a bacia do rio Itapemirim no ES, obtiveram bons ajustes (R^2 de 0,98) para as equações de regionalização, utilizando como variáveis área de drenagem e a vazão equivalente ao volume precipitado. Lelis et al. (2020), alcançaram ótimos resultados nas avaliações ($R^2 = 0,99$, $Pbias = 7,5$ a 9% e NS de 0,2) utilizando a área de drenagem e a precipitação média anual nas equações de regionalização de vazões mínimas. Matos et al. (2020) regionalizaram a vazão mínima de permanência Q_{95} e a vazão média de longo prazo (Q_{ltm}) e encontraram melhores resultados usando a área de drenagem, comprimento do rio principal e a declividade média da bacia.

4.3 IDENTIFICAÇÃO DAS REGIÕES HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS

A área de estudo foi dividida em duas regiões hidrologicamente homogêneas, sendo RHH I atribuída à bacia do rio Tubarão e Urussanga e RHH II para a bacia do rio Araranguá, essa divisão baseou-se na distribuição geográfica das estações fluviométricas e nas semelhanças entre os coeficientes de regressão (β_i), coeficientes de determinação (R^2 e R^2_a) e dos valores de σF , obtidos para as equações de regionalização geradas para cada região homogênea.

Nas Tabela 16 e 17 é possível observar as equações de regionalização estabelecidos para cada RHH I e II, juntamente com os coeficientes de determinação (R^2 e R^2a) e o erro padrão fatorial (σF).

Tabela 16– Resultados dos ajustes das equações para as RHH I e RHH II para vazões diárias Q50, Q90, Q95 e Q98.

Região	Vazão Diária* ($m^3.s^{-1}$)	Modelo	R^2	R^2a	σF
RHH I	Q50	Linear	0,93	0,92	4,694
		Potencial	0,95	0,94	0,213
		Exponencial	0,81	0,79	0,396
		Logarítmico	0,73	0,71	9,292
	Q90	Linear	0,92	0,84	3,913
		Potencial	0,94	0,88	0,399
		Exponencial	0,86	0,73	0,486
		Logarítmico	0,63	0,61	5,988
	Q95	Linear	0,89	0,80	3,978
		Potencial	0,90	0,80	0,447
		Exponencial	0,85	0,72	0,518
		Logarítmico	0,59	0,52	5,526
	Q98	Linear	0,89	0,75	1,436
		Potencial	0,86	0,74	0,531
		Exponencial	0,82	0,68	0,590
		Logarítmico	0,56	0,55	4,795
RHH II	Q50	Linear	0,98	0,95	1,210
		Potencial	0,92	0,90	0,208
		Exponencial	0,96	0,96	0,130
		Logarítmico	0,77	0,72	2,606
	Q90	Linear	0,99	0,99	0,105
		Potencial	0,98	0,98	0,107
		Exponencial	0,97	0,95	0,177
		Logarítmico	0,98	0,97	0,223
	Q95	Linear	0,99	0,98	0,140
		Potencial	0,95	0,95	0,232
		Exponencial	0,93	0,93	0,297
		Logarítmico	0,98	0,96	0,124
	Q98	Linear	0,95	0,90	0,280
		Potencial	0,80	0,64	0,726
		Exponencial	0,91	0,83	0,511
		Logarítmico	0,62	0,40	0,495

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Nota: * Q50, Q90, Q95 e Q98 são vazões de permanência no tempo.

Tabela 17 – Resultados dos ajustes das equações para as RHH I e RHH II para vazões mensais Q50, Q90, Q95 e Q98.

Região	Vazão Mensal* (m ³ .s ⁻¹)	Modelo	R ²	R ² a	σF
RHH I	Q50	Linear	0,97	0,95	5,013
		Potencial	0,98	0,97	0,163
		Exponencial	0,90	0,83	0,370
		Logarítmico	0,87	0,76	11,033
	Q90	Linear	0,91	0,85	4,951
		Potencial	0,94	0,89	0,320
		Exponencial	0,89	0,80	0,420
		Logarítmico	0,80	0,63	7,682
	Q95	Linear	0,89	0,79	5,149
		Potencial	0,91	0,83	0,404
		Exponencial	0,87	0,76	0,476
		Logarítmico	0,76	0,59	7,262
	Q98	Linear	0,88	0,77	4,670
		Potencial	0,91	0,83	0,409
		Exponencial	0,86	0,73	0,503
		Logarítmico	0,76	0,55	6,105
RHH II	Q50	Linear	0,98	0,97	1,721
		Potencial	0,99	0,98	0,119
		Exponencial	0,96	0,92	0,246
		Logarítmico	0,92	0,84	4,171
	Q90	Linear	0,97	0,96	0,549
		Potencial	0,98	0,97	0,132
		Exponencial	0,94	0,92	0,211
		Logarítmico	0,82	0,79	1,224
	Q95	Linear	1,00	0,99	0,163
		Potencial	0,99	0,98	0,122
		Exponencial	0,99	0,99	0,083
		Logarítmico	0,90	0,84	0,769
	Q98	Linear	0,99	0,99	0,154
		Potencial	0,88	0,81	0,430
		Exponencial	0,92	0,87	0,348
		Logarítmico	0,86	0,77	0,741

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Nota: * Q50, Q90, Q95 e Q98 são vazões de permanência no tempo.

Nas Tabelas 16 e 17 observa-se que, R² e R²a apresentaram valores maiores que 0,70 para ambas RH I e RH II exceto para as vazões diárias Q90, Q95 e Q98, onde o R²a foi de 0,61, 0,52 e 0,55, respectivamente para o modelo logarítmico. Elesbon et al.

(2015) e Silva et al. (2009) comentam que, quando os valores de R^2 e R^2_a forem maiores que 0,70, a delimitação das regiões homogêneas é considerada adequada para regionalização.

A Tabela 16 apresenta as equações de regressão que melhor estimaram as vazões diárias foram o linear (R^2 variando de 0,89 a 0,99) e potencial (R^2 variando de 0,94 a 0,98). Já o R^2_a potencial variou entre 0,83 a 0,99 e o linear de 0,79 a 0,99 e o σF de 0,10 a 1,43.

Baena et al. (2004) obtiveram valores de σF variando de 1,10 a 1,87, e observaram que para ambas as regiões homogêneas delimitadas as equações obtidas foram consideradas satisfatórias para a regionalização da Q_{95} .

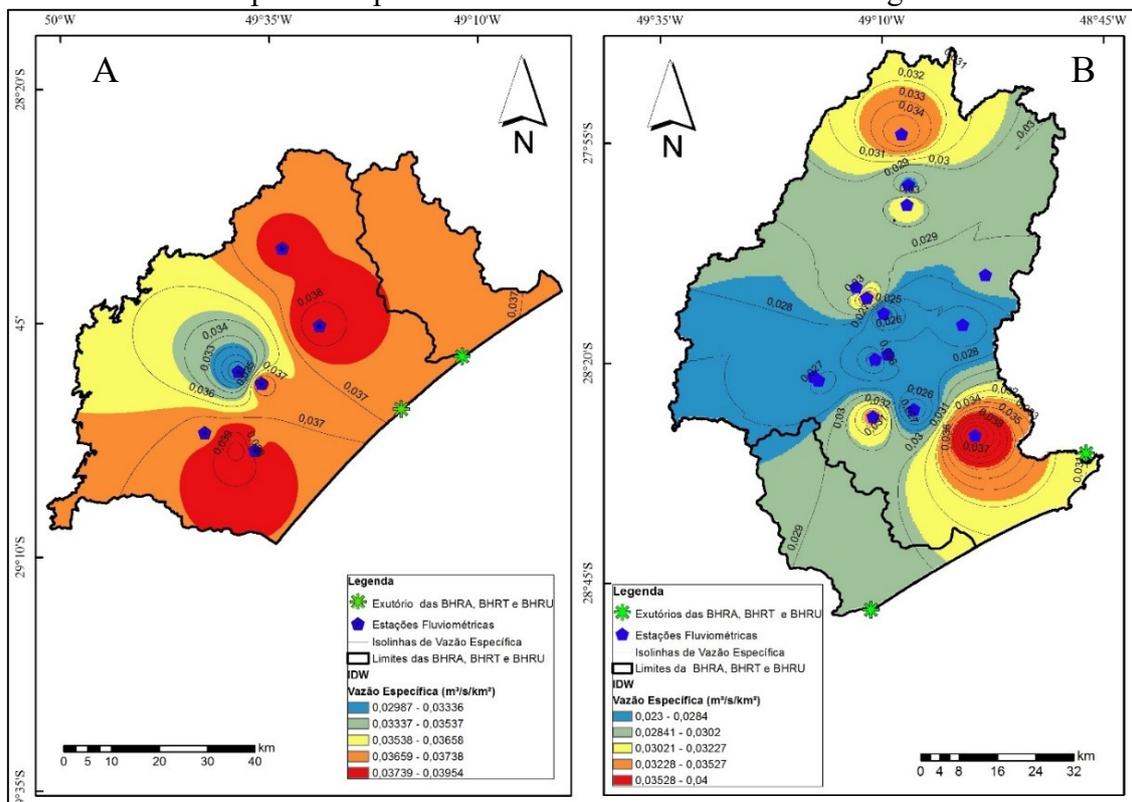
A Tabela 17 apresenta que as equações que melhor estimaram as vazões de permanência mensais também foram o potencial e o linear, os quais apresentaram os maiores valores de R^2 0,99 para a Q_{50} e R^2 igual a 1 para Q_{95} , evidenciando uma relação perfeita entre as variáveis utilizadas para regionalização.

Cecílio et al. (2018), Lopes et al. (2017) e Bazzo et al. (2017) em estudo de regionalização de vazões mínimas $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{95} para bacias hidrográficas dos rios Itapemirim-ES, Teles-MT/PA e Taquari-Antas-RS, respectivamente, utilizaram equações de regressão linear múltipla e obtiveram valores de $R^2 > 0,90$ e de $\sigma F < 1$.

Para avaliar a homogeneidade entre as bacias considerando a vazão específica, foi feita uma interpolação dos valores de vazão médias anuais, usando o método de ponderação pelo Inverso do Quadrado da Distância.

O resultado da interpolação pode ser visto nas Figuras 6A e 6B, onde verifica-se que a melhor distribuição das vazões específicas foi verificada na Figura 6B, devido à distribuição espacial das vazões específicas, pois o padrão de distribuição gerado segue a topografia do terreno, apresentando relevos fortemente ondulados. Este fato faz com que a velocidade do escoamento superficial seja mais rápida, ocasionando valores de vazões maiores nas áreas mais baixas da bacia (próximas do exutório). Fato que não foi observado da Figura 6A, onde as maiores vazões se concentram na parte central da bacia, devido ao relevo plano da mesma.

Figura 6 – A) Mapa de Distribuição espacial das vazões específicas médias anuais para as bacias do rio Araranguá e Urussanga B) Mapa de Distribuição espacial das vazões específicas para as bacias do rio Tubarão e Urussanga.

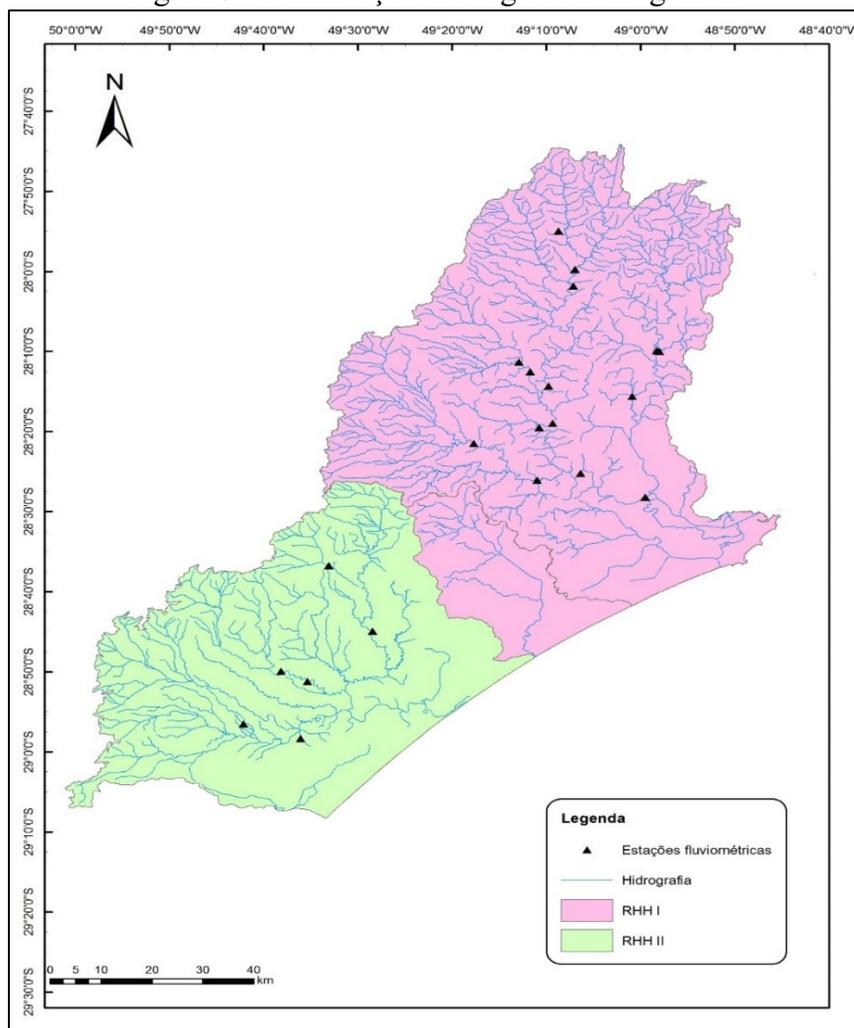


Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Podemos observar na Figura 6B que os maiores valores de vazões foram encontrados para a estação 84580500 (Tubarão), que são representados pelo aglomerado de isolinhas ao redor da mesma, o método conseguiu modelar a dinâmica da bacia, já que nesse ponto a bacia o rio Tubarão recebe à contribuição de dois grandes afluentes, rio Braço do Norte e rio Capivari.

Após observas as características físicas e climáticas, os parâmetros estatísticos analisados e o mapa de interpolação, gerados para as bacias hidrográficas contempladas no estudo, optou-se por dividir a área de estudo em duas regiões hidrologicamnte homogêneas: a RHH I formada pela bacia do rio Tubarão e Urussanga e a RHH II composta pela bacia do rio Araranguá. A Figura 7 mostra a delimitação das regiões homogêneas para esse estudo.

Figura 7– Delimitação das regiões homogêneas.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

4.4 REGIONALIZAÇÃO DAS VAZÕES DE PERMANÊNCIA Q50, Q90, Q95 E Q98

A Tabela 18 mostra as equações de regressão que apresentaram melhores desempenhos para a estimativa das vazões de permanência mensais e diárias (Q₅₀, Q₉₀, Q₉₅, Q₉₈), para cada RHH.

Observa-se que das equações testadas, as que melhor se ajustaram aos dados das RHH I e RHHII foram as equações linear simples e múltiplos (Eq. 7) e potencial simples (Eq. 8).

Tabela 18– Equações de regressão diárias e mensais obtidos pelo método de regionalização tradicional para a RHH I e II.

Região	Tempo	Variável	Equação de Regressão	R^2	R^2_a	σF
RHH I	Diária	Q50	$Q50d = 0,024 \cdot A^{0,971}$	0,95	0,94	0,21
		Q90	$Q90d = 0,009 \cdot A^{0,983}$	0,94	0,88	0,40
		Q95	$Q95d = 0,008 \cdot A^{0,978}$	0,90	0,80	0,44
		Q98	$Q98d = 0,006 \cdot A^{0,989}$	0,91	0,83	0,40
	Mensal	Q50	$Q50m = 0,032 \cdot A^{0,959}$	0,98	0,97	0,16
		Q90	$Q90m = 0,014 \cdot A^{0,972}$	0,94	0,89	0,32
		Q95	$Q95m = 0,012 \cdot A^{0,969}$	0,91	0,83	0,40
		Q98	$Q98m = 0,011 \cdot A^{0,955}$	0,91	0,83	0,40
RHH II	Diária	Q50	$Q50d = -0,176 + 0,014 \cdot A$	0,98	0,95	1,2
		Q90	$Q90d = 0,024 + (0,005 \cdot A) + (-0,001 \cdot Pm)$	0,99	0,99	0,10
		Q95	$Q95d = 0,056 + (0,004 \cdot A) + (-0,001 \cdot Pm)$	0,99	0,98	0,14
		Q98	$Q98d = -0,310 + 0,002 \cdot A$	0,95	0,90	0,28
	Mensal	Q50	$Q50m = 0,031 \cdot A^{0,979}$	0,99	0,98	0,11
		Q90	$Q90m = 0,009 \cdot A^{0,966}$	0,98	0,97	0,13
		Q95	$Q95m = -1,387 + (0,007 \cdot A) + (0,019 \cdot Decl. B)$	1,00	0,99	0,16
		Q98	$Q98m = -2,323 + (0,006 \cdot A) + (0,031 \cdot Decl. B)$	0,99	0,99	0,15

Fonte: Elaborada pelo autor (2020). Nota: * Q50, Q90, Q95 e Q98 são vazões de permanência no tempo.

A Tabela 18 apresenta que para a RHH I a variável explicativa que melhor descreveu as vazões de permanência foi a área de drenagem (A), para o modelo potencial.

Para a RHH II a equação que melhor explicou a vazão Q50 e Q90 mensal e diária foi a potencial somente com a área de drenagem, já a equação linear foi utilizada para estimar as vazões diárias e mensais Q95 e Q98 em função das variáveis área de drenagem precipitação média anual e declividade média da bacia. Portanto, para as bacias do estudo qualquer uma dessas variáveis podem ser utilizadas para regionalização das vazões usando as equações da Tabela 20.

Conforme estudo de regionalização de vazões das bacias hidrográficas estaduais do estado de Santa Catarina (2006), a equação de regionalização que melhor estimou as vazões mínimas médias de 1 a 12 meses para as três bacias de estudo (Araranguá, Urussanga e Tubarão) foi a potencial utilizando como variáveis explicativas: área de drenagem e a precipitação anual.

Para Collischonn (2001) e BAENA (2004), equações que apresentam valores de R^2 e R^2 maiores que a 0,75 e σF menor que 1, são satisfatórias para a regionalizar vazões mínimas.

Matos et al. (2020) em estudo de regionalização da vazão mínima Q95 para a bacia do rio Juruena-MT também encontraram bons resultados ($R^2 > 0,99$) usando equações potenciais e lineares, e a área de drenagem e declividade média como variáveis explicativas.

Diversos estudos no Brasil (Matos et al., 2020; Piol et al., 2019; Goncalves et al., 2017; Barbosa et al., 2005; Baena et al., 2004) também obtiveram bons resultados para regionalização da Q50, Q90 e Q95, com as equações potenciais e lineares, usando a área de drenagem (A), precipitação média anual (P_m), densidade de drenagem e perímetro da bacia.

No Apêndice H constam os gráficos de dispersão e os histogramas de frequência entre as variáveis explicativas e as vazões de permanência (Q50, Q90, Q95 e Q98). Os resultados mostram que as equações potencial, linear e linear múltipla satisfazem alguns pressupostos conforme recomendam por Oliveira *et al.* (2016) que são: os dados devem apresentar uma tendência a linearidade, ausência de multicolinearidade entre as variáveis independentes e apresentação de homocedasticidade nos gráficos, a fim de se obter avaliações consistentes, eficientes e não-tendenciosas.

4.5 COMPARAÇÃO ENTRE AS VAZÕES REGIONALIZADAS E OBSERVADAS

As Tabelas 19 e 20 apresenta a diferença percentual (ER%) entre as vazões estimadas e observadas das estações fluviométricas (Tabela 4 e 5).

Tabela 19– Comparação entre as vazões de permanência de Q50, Q90, Q95 e Q98 diárias observadas e estimadas para as RHH I e II, com seus erros relativos (ER).

RHH	Estação	Vazões de Permanência Diária (m ³ .s ⁻¹)											
		Q50% Obs.	Q50% Est.	ER %	Q90% Obs.	Q90% Est.	ER %	Q95% Obs.	Q95% Est.	ER %	Q98% Obs.	Q98% Est.	ER %
RHH I	São Martinho Jus	13,91	12,37	11,04	8,12	5,01	38,27	7,15	4,31	39,69	6,36	3,47	45,44
	Armazém Capivari	15,87	12,29	22,54	8,55	4,98	41,76	7,19	4,29	40,37	5,81	3,45	40,58
	Povoamento	3,3	2,91	11,78	1,71	1,16	32,25	1,53	1	34,34	1,32	0,8	39,73
	Divisa Anitápolis	8,49	7,44	12,36	4,72	2,99	36,56	4,05	2,58	36,17	3,32	2,07	37,73
	Santa Rosa de Lima	15,69	12,3	21,61	8,17	4,98	39,07	7	4,29	38,72	6,2	3,45	44,41
	Grão Pará	2,72	3,18	-16,79	1,23	1,27	-2,88	0,97	1,1	-13,31	0,73	0,87	-19,93
	Rio Pequeno	7,41	7,69	-3,81	2,81	3,1	-10,39	2,25	2,67	-18,8	1,42	2,14	-50,44
	Braço do Norte Mont	23,82	29,03	-21,88	13,28	11,88	10,51	11,37	10,18	10,45	9,37	8,28	-11,65
	São Ludgero I	31,4	30,15	3,97	14,64	12,35	15,64	12,12	10,58	12,69	9,48	8,6	9,23
	São Ludgero II	29,7	32,57	-9,68	11,84	13,35	-12,79	9,22	11,44	-24,05	7,58	9,31	-22,82
	Orleans Montante	10,5	11,81	-12,48	4,35	4,78	-9,82	3,73	4,12	-10,43	3,08	3,31	-7,44
	Orleans I	7,35	12,22	-66,29	2,10	4,95	-135,45	1,66	4,26	-157,11	1,05	3,43	-226,88
	Orleans II	9,60	12,22	-27,28	3,36	4,95	-47,29	2,42	4,26	-76,04	1,83	3,43	-87,37
	Rio do Pouso	46,80	52,12	-11,37	20,90	21,49	-2,85	16,19	18,36	-13,42	12,09	15,02	-24,23
Tubarão	68,36	54,04	20,95	38,61	22,29	42,26	34,64	19,04	45,03	29,22	15,59	46,66	
Pedras Grandes	15,65	16,26	-3,95	6,71	6,61	1,54	5,39	5,68	-5,38	4,33	4,59	-6,01	
RHH II	Taquaraçu	15,49	13,51	12,79	4,15	3,04	26,77	2,86	2,09	26,75	1,86	1,65	11,42
	Ermo	11,94	12,01	-0,59	3,59	2,36	34,23	2,65	1,52	42,58	1,83	1,43	21,62
	Forquilha	7,41	8,08	-9,13	2,12	1,41	33,43	1,54	0,85	44,44	1,09	0,87	20,33
	Foz Manoel Alves	5,39	4,63	14,08	0,70	-0,12	117,45	0,34	-0,43	227,75	0,19	0,38	-101,60
	Serrinha	2,55	1,50	40,98	0,70	0,62	11,31	0,56	0,54	4,01	0,31	-0,07	122,57
	Turvo	4,16	5,06	-21,63	1,03	0,13	87,00	0,66	-0,21	131,45	0,25	0,44	-77,17

Fonte: Elaborada pelo autor (2020). Nota: Jus é jusante e Mont é montante.

Tabela 20– Comparação entre as vazões de permanência de Q50, Q90, Q95 e Q98 mensais observadas e estimadas para as RHH I e II, com seus erros relativos (ER).

RHH	Estação	Vazões de Permanência Mensal (m ³ .s ⁻¹)											
		Q50% Obs.	Q50% Est.	ER%	Q90% Obs.	Q90% Est.	ER%	Q95% Obs.	Q95% Est.	ER%	Q98% Obs.	Q98% Est.	ER%
RHH I	São Martinho Jus	15,94	15,27	4,24	9,54	7,26	23,86	8,31	6,11	26,49	7,45	5,12	31,30
	Armazém Capivari	18,13	15,17	1632	10,06	7,22	28,25	8,67	6,07	30,00	7,23	5,08	29,72
	Povoamento	4,16	3,66	12,06	2,26	1,71	24,48	1,98	1,44	27,20	1,60	1,23	22,94
	Divisa Anitápolis	9,93	9,24	6,97	5,60	4,36	22,00	4,94	3,68	25,67	4,34	3,10	28,54
	Santa Rosa de Lima	18,55	15,18	18,19	10,14	7,22	28,83	8,87	6,07	31,54	8,05	5,09	36,84
	Grão Pará	3,69	3,99	-8,06	1,65	1,86	-12,88	1,30	1,57	-20,96	1,10	1,34	-22,13
	Rio Pequeno	9,85	9,55	3,06	4,14	4,51	-8,91	3,14	3,80	-20,95	2,34	3,20	-36,84
	Braço do Norte Mont	31,21	35,46	-13,59	15,92	17,06	-7,15	14,11	14,30	-1,37	12,53	11,84	5,51
	São Ludgero I	39,07	36,81	5,78	18,87	17,72	6,07	15,96	14,86	6,92	13,26	12,29	7,31
	São Ludgero II	35,96	39,73	-10,47	14,58	19,14	-31,44	10,85	16,05	-47,95	9,01	13,26	-47,15
	Orleans Montante	14,67	14,59	0,57	5,60	6,93	-23,91	4,85	5,83	-20,14	4,26	4,89	-14,71
	Orleans I	10,00	15,08	-51,30	3,50	7,17	-104,79	2,28	6,03	-165,01	2,27	5,05	-123,03
	Orleans II	14,60	15,08	-3,32	4,99	7,17	-43,76	3,81	6,03	-58,31	2,93	5,05	-72,49
	Rio do Pouso	60,20	63,19	-4,97	27,47	30,64	-11,57	21,59	25,65	-18,79	16,71	21,05	-25,93
Tubarão	83,62	65,49	21,68	50,55	31,77	37,14	45,26	26,59	41,24	37,80	21,81	42,30	
Pedras Grandes	22,12	20,01	9,54	9,18	9,55	-4,00	7,24	8,02	-10,90	6,54	6,69	-2,23	
RHH II	Taquaraçu	28,31	26,22	7,36	7,41	6,96	6,05	5,27	5,79	-19,79	4,12	4,09	0,74
	Ermo	24,16	23,41	3,10	7,28	6,22	14,50	4,89	5,11	-4,60	3,41	3,56	-4,45
	Forquilha	13,32	16,00	-20,12	3,64	4,27	-17,59	2,63	3,02	-14,67	1,59	1,67	-4,50
	Foz Manoel Alves	10,58	9,42	10,97	2,75	2,53	7,82	1,52	1,51	0,77	0,44	0,54	-22,43
	Serrinha	3,39	3,36	0,84	0,99	0,92	7,56	0,67	0,71	-6,96	0,42	0,45	-7,17
	Turvo	9,646	10,23	-6,08	2,538	2,75	-8,37	1,63	1,85	-13,56	1,13	0,94	17,20

Fonte: Elaborada pelo autor (2020). Nota: Jus é jusante e Mont é montante.

Verifica-se nas Tabelas 19 e 20 que as estações que apresentaram valores positivos de ER%, subestimam a magnitude das vazões de permanência, desta maneira as vazões estimadas contribuem para a conservação dos recursos hídricos nos processos de pedido de outorga do uso da água. Já as estações com ER% negativo superestimam os valores das vazões estimadas, o que poderia ocasionar conflitos entre os usuários da água e o órgão gestor responsável pelos recursos hídricos.

A sub-bacia Foz do Manoel Alves foi a que apresentou o maior ER% (227,75%), entretanto a diferença entre as vazões foi de $0,09 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Novais et al. (2007) e Bazzo et al. (2017) discorrem que os valores de erro percentuais tendem a ser majorados, caso o valor da vazão observada seja pequeno.

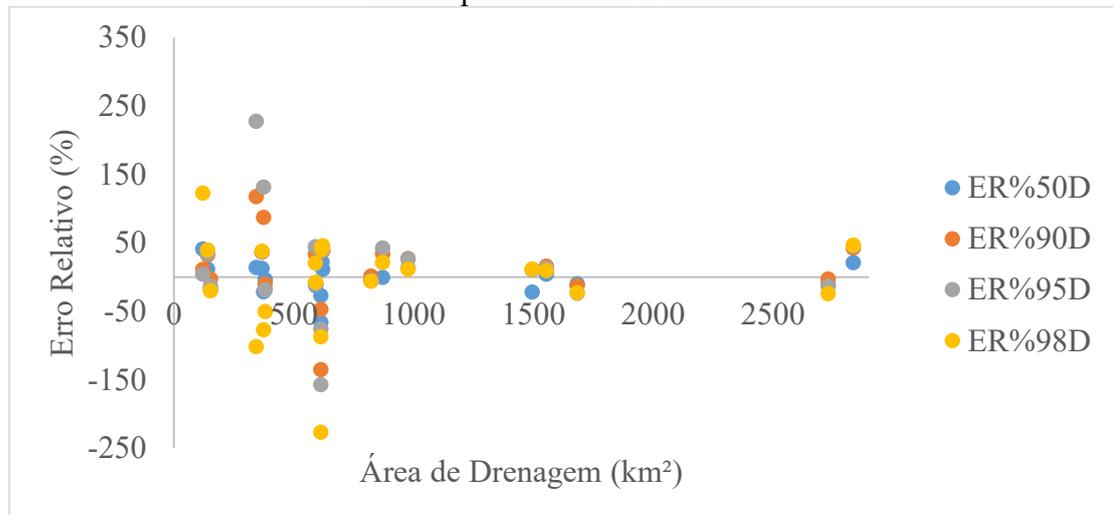
Para as sub-bacias que apresentaram ER% muito alto ($>100\%$), uma das hipóteses é que há problemas com a curva-chave das estações avaliadas. Segundo Santos et al. (2001), valores elevados de ER%, estão associados a curva-chave, cujo objetivo é determinar a relação entre o nível de água e vazão. Entretanto, para as vazões mínimas e máximas há necessidade de extrapolar os valores de vazão, uma vez que, o número de medições desses eventos extremos é reduzido. Além disso, as extrapolações podem apresentar erros, cuja consequência é a propagação das incertezas nas vazões mínimas.

No presente estudo, os maiores erros relativos foram identificados nas estações com menores áreas de drenagem (Tabelas 8 e 9). Pruski et al. (2015), comentam que as equações de regionalização que utilizam somente a área de drenagem para estimativa de vazões, podem não refletir o efeito da variabilidade espacial das precipitações na bacia, implicando em superestimava das vazões estimadas em relação às observadas, nas menores áreas de drenagem.

Nas figuras 8 e 9 é possível observar essa relação entre a área de drenagem e os erros percentuais determinados para as vazões de permanência Q50, Q90, Q95 e Q98 mensais e diárias.

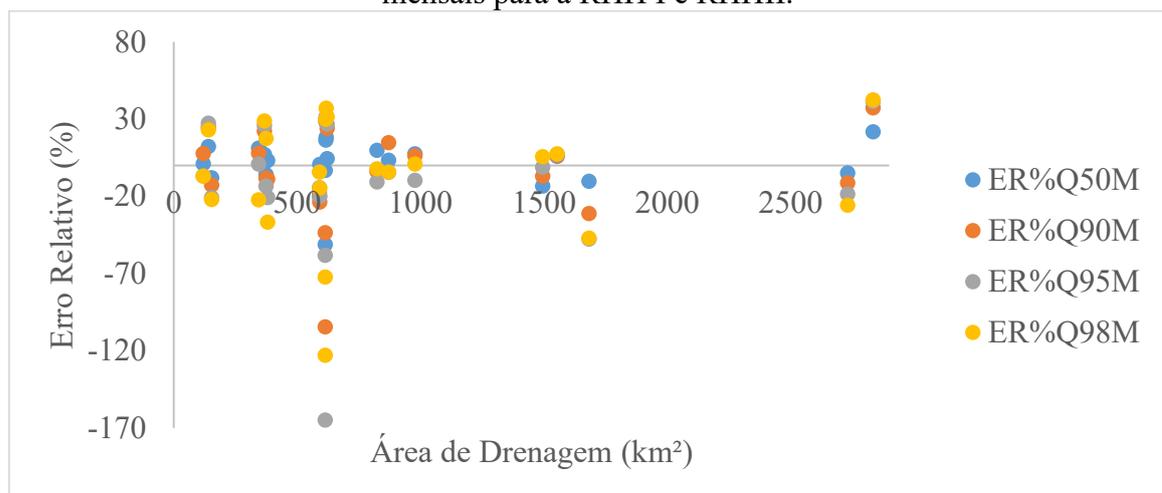
Observa-se nas Figura 8 e 9 que os maiores valores de ER% foram encontrados para as vazões de permanência diárias Q50, Q90 e Q98 para as sub-bacias do rio Araranguá que são: Foz do Manoel Alves ($343,50 \text{ km}^2$), Serrinha ($119,90 \text{ km}^2$) e Turvo ($373,80 \text{ km}^2$). Já para a bacia do rio Tubarão os maiores erros foram encontrados para as sub-bacias: Povoamento (140 km^2), Divisa de Anitápolis ($367,80 \text{ km}^2$), Grã Pará ($153,10 \text{ km}^2$) e Rio Pequeno ($380,60 \text{ km}^2$). Ressalta-se que, essas sub-bacias apresentam os menores valores de vazões de permanência observadas.

Figura 8– Gráfico entre a área de drenagem e o erro percentual para as vazões de permanência diárias para a RHH I e RHHII.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Figura 9– Gráfico entre a área de drenagem e o erro percentual para as vazões de permanência mensais para a RHH I e RHHII.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

4.6 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DAS EQUAÇÕES DE REGIONALIZAÇÃO

Para verificar a diferença em magnitude entre as vazões observadas e regionalizadas foram calculados o EMA, RSME e Log(CNS) (Tabela 21).

Tabela 21– Resultados dos critérios de avaliação de desempenho das equações de regressão para estimativa das vazões de permanência de Q50, Q90, Q95 e Q98 para a RHH I.

Região	Tempo	Variável	Equação de Regressão	R^2	EMA ($m^3.s^{-1}$)	$RSME$ ($m^3.s^{-1}$)	Log (C_{NS})
RHH I	Diária	Q50	$Q50d = 0,024 \cdot A^{0,971}$	0,95	-0,12	0,49	0,9999
		Q90	$Q90d = 0,009 \cdot A^{0,983}$	0,94	-1,56	6,24	0,9957
		Q95	$Q95d = 0,008 \cdot A^{0,978}$	0,90	-1,17	4,68	0,9984
		Q98	$Q98d = 0,006 \cdot A^{0,989}$	0,91	-0,96	3,84	0,9966
	Mensal	Q50	$Q50m = 0,032 \cdot A^{0,959}$	0,98	-0,88	3,54	0,9998
		Q90	$Q90m = 0,014 \cdot A^{0,972}$	0,94	-0,79	3,18	0,9994
		Q95	$Q95m = 0,012 \cdot A^{0,969}$	0,91	-0,69	2,76	0,9993
		Q98	$Q98m = 0,011 \cdot A^{0,955}$	0,91	-0,70	2,83	0,9990
RHH II	Diária	Q50	$Q50d = -0,176 + 0,014 \cdot A$	0,98	-0,35	0,87	0,9993
		Q90	$Q90d = 0,024 + (0,005 \cdot A) + (-0,001 \cdot Pm)$	0,99	-0,80	1,98	0,9215
		Q95	$Q95d = 0,056 + (0,004 \cdot A) + (-0,001 \cdot Pm)$	0,99	-0,70	1,73	0,8557
		Q98	$Q98d = -0,310 + 0,002 \cdot A$	0,95	-0,13	0,33	0,9917
	Mensal	Q50	$Q50m = 0,031 \cdot A^{0,979}$	0,99	-0,12	0,31	0,9999
		Q90	$Q90m = 0,009 \cdot A^{0,966}$	0,98	-0,15	0,39	0,9995
		Q95	$Q95m = -1,387 + (0,007 \cdot A) + (0,019 \cdot Decl. B)$	1,00	-0,23	0,56	0,9980
		Q98	$Q98m = -2,323 + (0,006 \cdot A) + (0,031 \cdot Decl. B)$	0,99	0,03	0,07	0,9999

Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

Os resultados obtidos na Tabela 21 mostram que as equações geradas desempenharam ajustes satisfatórios para os parâmetros analisados. Os valores de EMA variaram de -0,12 a 1,56 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ sendo que, os valores negativos mostram uma subestimativa e os positivos uma superestimativa das vazões calculadas em relação às observadas nas estações.

Vários estudos de regionalização de vazões obtiveram valores elevados de EMA, como os de Matos et al. (2020), Araújo et al. (2018) e Uliana et al (2017), os quais obtiveram valores superiores a 2 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ e consideraram suas equações aceitáveis para a estimativa de vazões mínimas.

A maioria das equações de regionalização para ambas as RHH apresentaram valores de RSME inferiores a 4,82, apenas 7 equações apresentaram valores abaixo de 1. Araújo et al. (2018) obteve valores de RSME maiores que 5,39 $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ para as equações de estimativa das vazões mínimas Q90 e Q5, e concluíram que as equações propostas são adequadas para previsão das vazões.

A tendência é que o EMA seja sempre menor que RMSE; quanto maior as diferenças entre eles, maior será a variação dos erros individuais entre as variáveis dependentes. No entanto, se eles apresentarem valores iguais, significa que todos os erros têm a mesma ordem de magnitude (MATOS et al., 2020).

Todas as equações analisadas denotam valores de log do coeficiente de Nash e Sutcliffe ($\log(C_{NS})$) maiores que 0,85, mostrando que o ajuste das equações utilizadas no presente estudo foi satisfatório.

Souza et al. (2009) utilizaram o SWAT como ferramenta para análise de concessão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos, na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro, os autores consideraram que valores de $\log(C_{NS})$ maiores que 0,72 são satisfatórios para vazões mínimas.

Cecílio et al. (2018) em estudo que avaliou o desempenho de cinco diferentes métodos para regionalização das vazões mínimas e médias na bacia hidrográfica do rio Itapemirim no estado do Espírito Santo, obteve para o método Tradicional de regionalização valores de $NS > 0,90$.

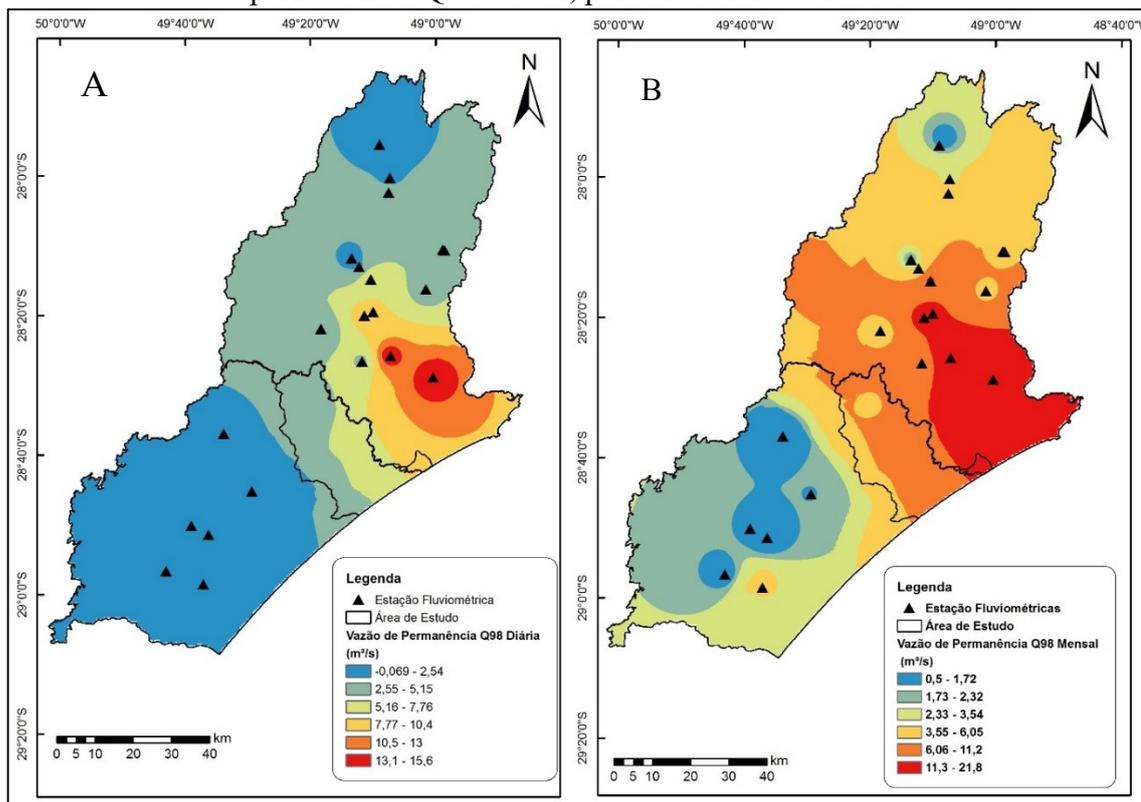
Bazzo et al. (2017), obtiveram NS de 0,824 e 0,876 para os métodos de regionalização Tradicional e de Conservação de Massas, respectivamente, e concluíram que estes valores são considerados muito bons para representação da vazão Q95.

Costa et al. (2012) tiveram desempenho satisfatório nas equações de regionalização das curvas de permanência, com valores de coeficientes de NS superiores a 0,85 e dos erros quadráticos relativos médios percentuais inferiores a 10%.

Por fim, as equações de regressão (Tabela 18) analisadas para as RHHI e RHHII foram consideradas adequadas para a estimativa das vazões de permanência em locais sem dados medidos, evidenciadas por EMA e RSME e $(\log(C_{NS}))$ próximos a 1,00.

As Figuras 10A e a 10B apresentam a distribuição espacial das vazões de permanência Q98 diária e mensal, estimadas pelas equações de regionalização. Optou-se por apresentar a espacialização somente a Q98, pelo fato dessas vazões serem utilizadas como referência nos processos de outorga no estado de Santa Catarina, conforme descrito no capítulo de introdução. O conhecimento dessa informação pode servir como base para gestão dos recursos hídricos

Figura 10– A) Mapa da vazão de permanência Q98 diária e B) Mapa da vazão de permanência Q98 mensal, para as bacias de estudo.



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Nas Figura 10 podemos observar que as vazões estimadas por regionalização conseguiram simular satisfatoriamente o comportamento hidrológico das bacias de estudo. As maiores vazões de Q98 diárias ($10,5$ a $15,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e mensais ($11,2$ a $21,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) foram

encontradas próximas do exutório da bacia (áreas em vermelho e laranja). Enquanto as menores vazões foram obtidas próximas às nascentes dos rios principais (áreas em azul e verde claro). O mesmo comportamento foi evidenciado nas vazões observadas nas estações inseridas nas bacias de estudo.

5 CONCLUSÕES

Neste estudo, avaliou-se as vazões mínimas de referência, Q90, Q95 e Q98 e vazão mediana Q50 e mostrou-se a importância da regionalização dessas vazões para a gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas. Para isso as vazões de permanência Q50%, Q90%, Q95%, Q98% mensais e diárias foram estimadas para 22 estações fluviométricas presentes nos rios Araranguá e Tubarão - sul de Santa Catarina por meio do método da Curva de Permanência. Essas vazões foram regionalizadas por sub-bacias representativas das bacias dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga pelo método Tradicional.

Os resultados mostraram que:

As vazões de permanência mensais foram todas maiores em relação às diárias. Para bacia do rio Araranguá, a diferença encontrada entre as vazões mensais e diárias variou de 16,17% a 78%. Já para a bacia do rio Tubarão essa variação ficou entre 12% e 23%.

No presente estudo para a regionalização das vazões de permanência foram identificadas duas regiões hidrologicamente homogêneas, sendo uma (RHI) formada pelas bacias dos rios Tubarão e Urussanga, e a outra (RHII) pela bacia do rio Araranguá. A homogeneidade dessas regiões foi confirmada por $R^2 > 0,80$, $R^2_a > 0,83$ e $\sigma F < 0,44$.

Para as bacias do estudo, as equações lineares e potenciais apresentaram um desempenho satisfatório para a regionalização das vazões de permanência Q50, Q90, Q95 e Q98 (mensais e diárias). Nesse caso, a área de drenagem, a precipitação média anual e a declividade média da bacia obtiveram os melhores resultados.

Comparando as vazões observadas e estimadas, verificou-se que, no geral, o ER% foi menor do que 60%. O maior ER% (227,75%) entre as vazões observadas e estimadas foi encontrado na sub-bacia Foz do Manoel Alves (RHIII). Entretanto essa diferença em magnitude foi de $0,09 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Por fim, as equações definidas para as bacias dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga podem ser utilizadas para estimar as vazões de referência nos locais sem dados monitorados, com uma boa aproximação. Sendo assim, o presente trabalho pode contribuir para estudos futuros que utilizem vazões de permanência para avaliar a disponibilidade hídrica das bacias do estudo.

Entretanto, recomenda-se aumentar o monitoramento hidrológico nas bacias dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga, principalmente nos locais sem dados medidos, uma vez que nestas bacias o consumo de água é alto devido ao cultivo do arroz irrigado.

Adicionalmente, recomenda-se a atualização das equações encontradas à medida que os bancos de dados hidrológicos aumentarem em disponibilidade temporal e espacial nas bacias do presente estudo.

REFERÊNCIAS

ADAMI, R. M.; CUNHA, Y. M.; FRANK, B. **Caderno do educador ambiental das bacias dos rios Araranguá e Urussanga**. Blumenau: Fundação Agência de Água do Vale do Itajaí, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (Brasil). **HidroWeb**. Sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>. Acesso em: 31 mai 2019.

_____. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Brasília: SAG, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL (Brasil). 2016. **Banco de informações de geração (BIG)**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 21 jun. 2019.

ALMEIDA M. A.; CURI W. F. Gestão do uso de água na bacia do Rio Paraíba, PB, Brasil com base em modelos de outorga e cobrança. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 11, n. 4, p. 989-1005, 2016. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1820>.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONCALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARAÚJO, F. C.; MELLO, E. L. de; GOLLIN, G. M.; QUADROS, L. E. de; GOMES, B. M. Streamflow regionalization in Piquiri river basin. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 22-31, 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n1p22-31/2018>.

ARSENAULT, R.; BRISSETTE, F. Analysis of continuous streamflow regionalization methods within a virtual setting. **Hydrological Sciences Journal**, p.1-14, 2016. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1154557>.

ATIEH, M., TAYLOR, G., SATTAR, A.M.A., GHARABAGHI, B. Prediction of Flow Duration Curves for Ungauged Basins. **Journal of Hydrology**. v. 545, p.383-394, 2017.

BACK, Á. J.; ZAMBRANO, G. J. D.; CORSEUIL, C. W. Streamflow permanence curve of the river Timbó, Santa Catarina, Brazil. **Acta Brasiliensis**, v. 3, n. 2, p. 56-61, 2019. <http://dx.doi.org/10.22571/2526-4338182>.

BACK, Á. J.; POLETO, C. Avaliação do potencial erosivo das chuvas de Florianópolis-SC. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 21, p. 264-283, 2017. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.49018>.

BAENA, L. G. N.; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F.; CALIJURI, M. L. Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do Rio Paraíba do Sul. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 24, n. 3, p. 612-624, 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162004000300013>.

BARBOSA, S. E. DA S.; BARBOSA, A. R. J.; SILVA, G. Q.; CAMPOS, E. N. B.; RODRIGUES, V. DE C. 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. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 64-71. 2005.

BARROS, C.G.D; SANTANA, L.; PESSOA, F.; LOPES, Y.K.L. Vazão mínima $Q_{7,10}$ no Amapá estimada por modelos probabilísticos. **Revista Engenharia na Agricultura**. v. 26, n. 3, p. 284-294, 2018. <https://doi.org/10.13083/reveng.v26i3.930>.

BAZZO K. R.; GUEDES H. A. S.; CASTRO A. S.; SIQUEIRA T. M.; TEIXEIRAGANDRA C. F. A. Regionalização da vazão Q_{95} : comparação de métodos para a bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.12, n. 5, p. 855-870, 2017. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2032>.

BESKOW, S.; MELLO, C. R. de; VARGAS, M. M.; CORRÊA, L. de L.; CALDEIRA, T. L.; DURÃES, M. F.; AGUIAR, M. S. de. Artificial intelligence techniques coupled with seasonality measures for hydrological regionalization of Q_{90} under Brazilian conditions. **Journal of Hydrology**, [S.L.], v. 541, p. 1406-1419, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.046>.

BRASIL. Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Diário oficial da república federativa do Brasil**. Disponível em: <http://www2.planalto.gov.br/>. Acesso em: Jan. 2019.

BORK, C. K. **Regionalização de vazões mínimas para o estado do Rio Grande do Sul**. 2018. 156 f. Tese (Doutorado) - Curso de Recursos Hídricos, Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

CASAN - COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO (MAGMA). **Programa de gerenciamento de risco da barragem de São Bento**. Santa Catarina, 2004. Relatório Técnico.

CASTELLARIN, A. Regional prediction of flow-duration curves using a three-dimensional kriging. **Journal of Hydrology**, [S.L.], v. 513, p. 179-191, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.050>.

CASTRO, A. de; RUHOFF, A. L. **Estudo de regionalização de vazões médias na região do Médio Uruguai**. 2009. EMBRAPA. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/bitstream/handle/1/3282/ESTUDO%20DE%20REGIONALIZA%20%87%20%83O.pdf?sequence=1>. Acesso em: mar. 2019.

CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; GASPARINI, K. A. C; CATRINCK, C. N. Avaliação de métodos para regionalização das vazões mínimas e médias na bacia do rio Itapemirim. **Revista Scientia Agraria**, Curitiba, v. 19, n. 2, p. 122-132, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v19i2.52726>.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica em grandes bacias**. 2001. 194 f. Tese (Doutorado) - Curso de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

COSTA, T. F.; SANTOS, I. F. S. Análise do impacto da metodologia de construção da curva de permanência de vazões sobre os benefícios ótimos de uma central hidrelétrica. In: **XII Conferência de Pequenas Centrais Hidrelétricas, Mercado & Meio Ambiente**, São Paulo, 2018.

COSTA, A. S.; CARIELLO, B. L.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, Francisco C. L. Regionalização de curvas de permanência de vazão de regiões hidrográficas do estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 27, n. 4, p. 413-422, 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862012000400005>.

COSTA, P.R. **Processos hidrológicos aplicados ao controle hidráulico operacional de reservatórios de acumulação de água: O caso da Barragem do Rio São Bento - SC**. 2008. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais. Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Criciúma, 2008.

CUPAK A. Initial results of nonhierarchical cluster methods use for low flow grouping. **Journal of Ecological Engineering, Poland**, v. 18, n. 2, p. 44–50, 2017. <https://doi.org/10.12911/22998993/67504>.

CRUZ, J. C. TUCCI, C. M. E. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], vol. 13. n. 1, p. 111-114, 2008. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v13n1.p111-124>.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S. A. – ELETROBRAS. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro. v. 1, 1985a.

CHAVES, H. M. L., ROSA, J. W. C., VADAS, R. G., OLIVEIRA, R. V. T. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informações geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 3, p. 43-51, 2002.

ELESBON, A. A. A.; SILVA, D. D. da; SEDIYAMA, G. C.; GUEDES, H. A. S; RIBEIRO, C. A. A. S.; RIBEIRO, C. B. de M. Multivariate statistical analysis to support the minimum streamflow regionalization. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 35, n. 5, p. 838-851, 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v35n5p838-851/2015>.

EUCLYDES, H.; RUBERT, O.; FERREIRA, P.; SANTOS, R. Regionalização Hidrológica na Bacia do Alto São Francisco à Montante da Barragem de Três Marias, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 81-105, 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v6n2.p81-105>.

FARIAS, O. G.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A. Avaliação de métodos de interpolação espacial aplicados à pluviosidade em região montanhoso no litoral sul do estado Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 21, p. 172-185, 2017. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.52065>.

GASQUES, A.C.F.; NEVES, G.L.; SANTOS, J.D.; MAUAD, F.F.; OKAWA, C.M.P. Regionalização de vazões mínimas: breve revisão teórica. *Revista eletrônica de Engenharia Civil*. v.14, n.2, p.60-70, 2018.

GONÇALVES, C. J.; OLIVEIRA, A. C. M. de; OLIVEIRA, J. R. S. de; RIBEIRO, R. B. Estudo de regionalização de vazões para a bacia hidrográfica do rio Paranaíba. *Sustentare, Vale do Rio Verde*, v. 2, n. 2, p. 97-114, 2018.

HALLAK, R.; PEREIRA FILHO, A. J. Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na região metropolitana de São Paulo com o modelo ARPS: sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [S.L.], v. 26, n. 4, p. 591-608, 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862011000400009>.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A. A.; CORSEUIL, C. W. **Recursos hídricos e saneamento**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 160p, 2008.

LANDIM, P.M.B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Rio Claro: UNESP. 20 p, 2000.

LELIS, L. C. da S.; NASCIMENTO, J. G.; DUARTE, S. N.; PACHECO, A. B.; BOSQUILIA, R. W. D.; WOLFF, Wr. Assessment of hydrological regionalization methodologies for the upper Jaguari River basin. *Journal of South American Earth Sciences*, [S.L.], v. 97, p. 1-10, 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2019.102402>.

LISBOA, L.; CORRÊDO, L. P.; SILVA, D. D.; ULIANA, E. M.; MOREIRA, M. C. Estimativa e regionalização das vazões mínimas anuais e quadrimestrais na bacia do Piracicaba-MG. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v. 10, n. 18, p.1580 – 1592, 2014.

LOPES, T. R.; ZOLIN, C. A.; PRADO, G. do; PAULINO, J.; ALMEIDA, F. T. de. Regionalization of maximum and minimum flow in the Teles Pires basin, Brazil. *Engenharia Agrícola*, [S.L.], v. 37, n. 1, p. 54-63, fev. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n1p54-63/2017>.

LOPES, T. R.; PRADO, G.; ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; ANTONIEL, L. S. Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do Rio IVAÍ – PR. *Irriga, Botucatu*, v. 21, n. 1, p. 188-201, 2016.

MACIEL, A. L.; VIEIRA, E. M.; MOR, R. C. M.; VASQUES, A. C. Regionalização e espacialização de vazões de permanência: estudo aplicado na bacia rio Piracicaba MG. *Revista Brasileira de Climatologia*, [S.L.], v. 24, p. 114-133, 23, 2019. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v24i0.58420>.

MATOS, T. S.; ULIANA, E. M.; MARTINS, C. A. da S.; RAPALO, L. M.C. Regionalization of maximum, minimum and mean streamflows for the Juruena River basin, Brazil. *Ambiente e Agua - an Interdisciplinary Journal of Applied Science*, [S.L.], v. 15, n. 3, p. 1-18, 2020.

Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi).
<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2418>.

MATUGUMA, R. E. **Avaliação das vazões mínimas regionalizadas para estimativa do potencial hidrelétrico da bacia do rio Braço do Norte, SC**. 2019. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2019.

MELATI, M. D. Regressões simples e robusta na regionalização da vazão Q95 na Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas. **Ciência e Natura**, v.38, n.2, p. 722-739, 2016.

MELLO, F. W. P. J.; PESSOA, F. C. L.; SANTANA, L. R. Regionalização de vazões mínimas da bacia hidrográfica do Rio Mearim no estado do Maranhão. **Research, Society and Development**, [S.L.], v. 9, n. 6, p. 1-23. 2020. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i6.2651>.

MOLINA S. K. M.; ALMEIDA I. K.; STEFFEN J. L.; ALVES SOBRINHO T. Caracterização De Disponibilidade Hídrica E Comparação De Metodologias De Regionalização De Vazões. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 33, n. 3, p.506-515, 2014.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. da. Análise de Métodos para Estimativa das Vazões da Bacia do Rio Paraopeba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, p. 313–324, 2014.

MOREIRA, J.; GUILHON, L.; ROCHA, V. Comparação de métodos de previsão de vazões naturais afluentes a aproveitamentos hidroelétricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 12, n. 3, p. 13-20, 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v12n3.p13-20>.

MORIASI, D. N.; PAI, N.; GITAU, M.; DAGGUPATI, P. Hydrologic and water quality models: performance measures and evaluation criteria. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. 58(6): 1763-1785 <http://dx.doi.org/10.13031/trans.58.10715>

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte, CPRM,2007. 552p.

NOVAES, L. F.; PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S.B.; QUEIROZ, D. O.; RODRIGUEZ, R. D. G. Gestão de recursos hídricos: uma nova metodologia para a estimativa das vazões mínimas. **Engenharia na Agricultura**, v. 17, n. 1, p. 62–74, 2009.

NOVAES, L. F.; PRUSKI, F.F.; QUEIROZ, D.O.; RODRIGUEZ, R.G.; SILVA, D.D.; RAMOS, M.M. Avaliação do desempenho de cinco metodologias de regionalização de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 51-61, 2007.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics, And Image Processing**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 323-344, dez. 1984. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0734-189x\(84\)80011-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0734-189x(84)80011-0).

OLIVEIRA, R. F. de; RAMOS, A.P. M.; MALAMAN, C. S.r; AMORIM, A. **Analysis of multiple linear regression models to produce land value assessment dataset**. UFSC, 2016. Disponível em:

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:FAmzo6PIFWoJ:ocs.cobrac.ufsc.br/index.php/cobrac/cobrac2016/paper/download/226/31+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>

Acesso em: mar. 2019.

OLIVEIRA, L.F.C.; FIOREZE A.P. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.1, p.9-15, janeiro 2011.

OLIVEIRA, L. F. C. de; FIOREZE, A. P.; MEDEIROS, A. M. M.; SILVA, M. A. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n. 11, p. 1186-1192, 2010.

OLIVEIRA, F. A. **Procedimentos para aprimorar a regionalização de vazões: estudo de caso da bacia do Rio Grande**. 187 f. 2008. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

ORTIS, L. E. F. **Método genérico para estimação e modelagem do erro RMS em dados de profundidade de sensores para visão 3D**. 2017. 62 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecatrônica, Engenharia da Computação e Automação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

PESSOA, F.C.L. **Desenvolvimento de metodologia para regionalização de curvas de permanência de vazões na Amazônia legal**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Pará, 2015.

PEREIRA M. A. F.; CAMPO G. F. N.; KOBAYAMA M.; CASTRO N. M. R. Regionalização com geometria hidráulica e fractal: estudo de caso com hidrograma unitário instantâneo geomorfológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n.2, p. 347 – 359, 2016.

PEREIRA, E. M. **Análise de conflitos pelo uso da água relacionados à oferta e à demanda: bacia do rio Piracicaba – MG**. 2012. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PEREIRA, S.B. **Evaporação no lago de Sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco**. 2004. 105p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa,2004.

PINHEIRO, V. B.; NAGHETTINI, M. Calibração de um modelo chuva-vazão em bacias sem monitoramento fluviométrico a partir de curvas de permanência sintéticas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 143-156, 2010.

PINTO, J. A. O. **Avaliação de métodos para a regionalização de curvas de permanência de vazões para a bacia do rio das velhas**. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.

PIOL, M. V. A.; REIS, J. A. T. dos; CAIADO, M. A. C.; MENDONÇA, A. S. F. Performance evaluation of flow duration curves regionalization methods. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 24, p. 1-13, 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.241920170202>.

POISSANT, D.; ARSENAULT, R.; BRISSETTE, F. Impact of parameter set dimensionality and calibration procedures on streamflow prediction at ungauged catchments. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, [S.L.], v. 12, p. 220-237, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.05.005>.

PUSHPALATHA, R.; PERRIN, C.; MOINE, N. Le; ANDRÉASSIAN, V. A review of efficiency criteria suitable for evaluating low-flow simulations. **Journal of Hydrology**, [S.L.], v. 420-421, p. 171-182, 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.055>.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUEZ, R. del G.; NUNES, A. A.; PRUSKI, P. L.; SINGH, V. P. Low-flow estimates in regions of extrapolation of the regionalization equations: a new concept. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 35, n. 5, p. 808-816, 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v35n5p808-816/2015>.

PRUSKI, F. F.; NUNES, A. A.; REGO, F. S.; SOUZA M. F. Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: alternativas para atenuar os riscos. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, BA, v. 1, n. 1, p. 51-59, 2012.

RAZAVI, T.; COULIBALY, P. Streamflow prediction in ungauged basins: review of regionalization methods. **Journal of Hydrologic Engineering**, [S.L.], v. 18, n. 8, p. 958-975, 2013. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000690](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000690).

RECH, M. A.; MONGUILHOTT, M.; MIOLA, A. C.; SEBEM, E. **Determinação de modelo hidrográfico de escoamento para a microbacia do Arroio Inhamandá a partir de parâmetros morfométricos das imagens dos sensores Aster e SRTM**. 2011. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.19.17.34/doc/p1098.pdf>. Acesso em: ago. 2019.

RODRIGUEZ, R. d. G.. **Proposta conceitual para a regionalização de vazões**. 2008. 195 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

SAMUEL, J.; COULIBALY, P.; METCALFE, R. A. Estimation of continuous streamflow in Ontario ungauged basins: comparison of regionalization methods. **Journal of Hydrologic Engineering**, [S.L.], v. 16, n. 5, p. 447-459, 2011. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000338](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000338).

SANTA CATARINA. **Lei nº 10.949 de 09 de novembro de 1998**. Dispõe sobre a caracterização do estado em dez regiões hidrográficas. Florianópolis: 1998. Disponível em: https://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Legislacao/Lei-Estadual-10949-1998.pdf. Acesso em: mar. 2019.

_____. **Portaria SDS nº 51, de 02 de outubro de 2008**. Altera a Portaria SDS nº 36, de 29 de julho de 2008. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. Florianópolis, 2008. Disponível em: http://www.cadastro.aguas.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa=1&idMenu=1011&idMenuPai=333>. Acesso em: mar. 2019.

_____. **Portaria SDS nº 36, de 29 de julho de 2008**. Estabelece os critérios de natureza técnica para outorga de direito de uso de recursos hídricos para captação de água superficial, em rios de domínio do Estado de Santa Catarina e dá outras providências. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. Florianópolis, 2008. Disponível em: http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa=12&idMenu=717&idMenuPai=333. Acesso em: mar. 2019.

SANTOS, S. S.; PIVETTA, G.; GASTALDINI, M. C. C. **Curva de permanência das vazões diárias da bacia hidrográfica Cancela - Tramandaí, Santa Maria - RS**. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Brasília - DF, nov. 2015.

SANTOS, W. de O.; SILVA, K. B. da; COELHO, D. da C. L.; SILVA, K. Mariany P.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; SILVA, P. C. M. da; BATISTA, R. Ol. Variabilidade espacial e temporal das precipitações para a Microrregião de Pau dos Ferros-RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 7, n. 3, p. 434-441, 2014.

SANTOS, P. V. C. J.; CUNHA A. C.; Outorga de recursos hídricos e vazão ambiental no Brasil: Perspectivas metodológicas frente ao desenvolvimento do setor hidrelétrico na Amazônia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n.3, p. 81-95, 2013. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v18n3.p81-95>

SANTOS, I.; KOBIYAMA, M. **O modelo SWAT como ferramenta para a gestão de recursos hídricos: avaliação de vazões de outorga na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.

SANTOS, H.; OLIVEIRA, L.; FIOREZE, A. Avaliação das Vazões Alocáveis na Bacia Hidrográfica do Rio dos Bois e sub-bacia do Rio do Peixe, Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 47-58, 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v11n2.p47-58>.

SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.V.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L.F.C. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba - Pr: Lactec, 2001.

SARMENTO, R. **Estado da arte da vazão ecológica no Brasil e no mundo**. UNESCO. 2007. Disponível em: http://www.saofrancisco.cbh.gov.br/_docs/estudos/Vazao.Ecologica.Produo.02.Robson.Sarmeto.20.06.07.pdf. Acesso em: 01 mar 2020.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL - SDS. **Recursos hídricos de Santa Catarina**. Florianópolis, SDS, 2018. Disponível em: http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/bacias_hidrograficas_sc.pdf. Acesso em: ago. 2019.

_____. **Plano de recursos hídricos da bacia do rio Araranguá**. Florianópolis: SDS, 2014. Disponível em: http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Planos%20de%20Bacias/Plano%20da%20Bacia%20Hidrografica%20do%20Rio%20Ararangua/Relatorio%20B%201%20-%20Consolidacao%20das%20informacoes%20sobre%20recursos%20hidricos.pdf Acesso em: ago. 2019.

_____. **Plano estadual de recursos hídricos de Santa Catarina** - Florianópolis: SDS, 2017. Disponível em: http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Plano%20Estadual/etapa_e/perh_sc_plano_de_acoes-2017-final.pdf Acesso em: ago. 2019.

SILVA, D. D.; MARQUES, F. A.; LEMOS, A. F. Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para bacia do rio São Francisco, **Engenharia na Agricultura**: REVENG, Viçosa, v. 17, n. 5, p.392-403, 2009.

SOS MATA ATLÂNTICA. (org.). **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**. 2014. São Paulo, SOS Mata Atlântica. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/sobre/relatorios-e-balancos/>. Acesso em: ago 2019.

SOUSA, H. T. de. **Sistema computacional para regionalização de vazões**. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SOUZA, R. M. de; SANTOS, I. dos. Estimativa da variabilidade espacial de vazões mínimas na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro, Região sul-brasileira, com aplicação do modelo SWAT. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.L.], v. 28, p. 134-154, 2013. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v28i0.32304>.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions, American Geophysical Union**, [S.L.], v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/tr038i006p00913>.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4ª Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2009.

_____. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre, Ed. ABRH/UFRGS, 2002. 256 p.

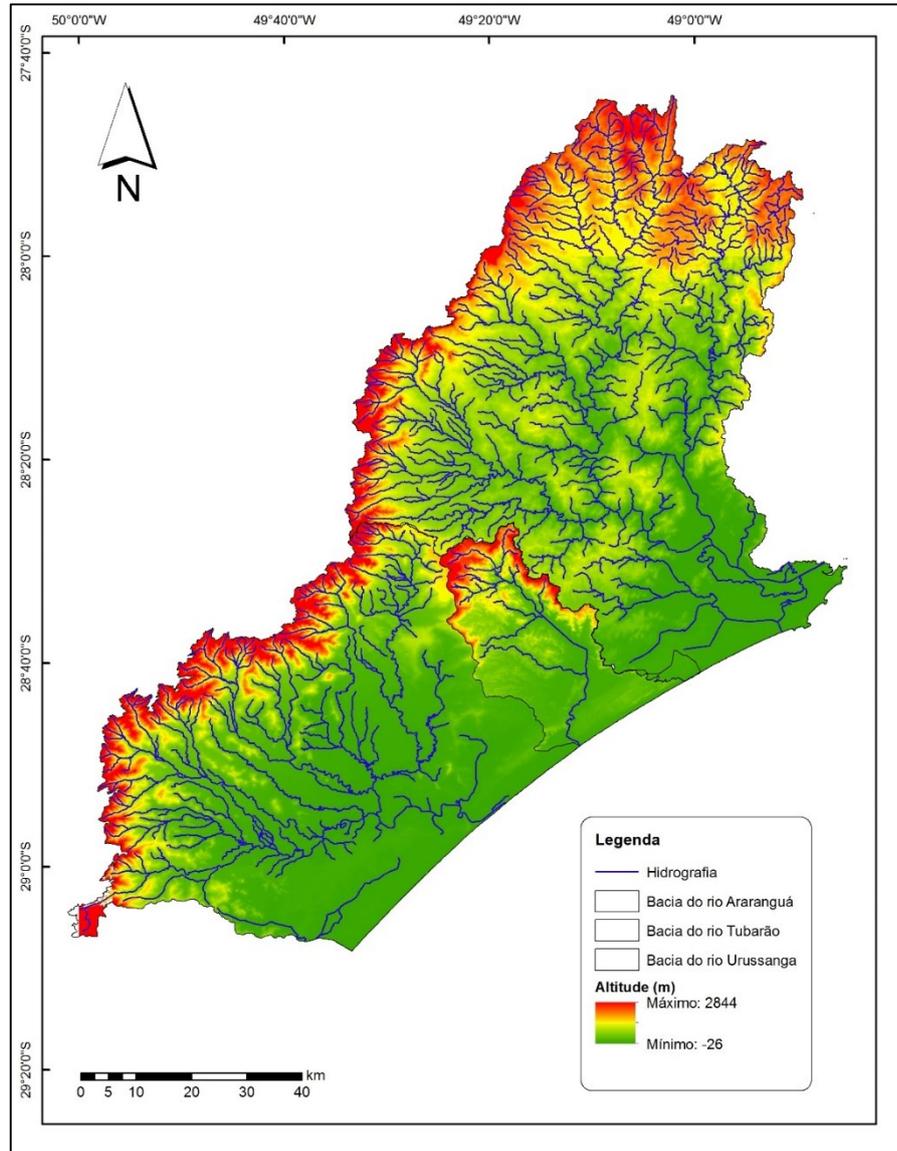
ULIANA E. M.; SOUZA L. G. S.; SILVA D. D.; ALMEIDA F. T.; ARAUJO H. B. Regionalização de vazões para o médio e alto Rio Teles Pires – MT. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 59, n. 4, p. 333-338, 2017.

VEIGA, A. M.; MELO, D.; MARCUZZO, F. F. N.; CARDOSO, M. R. D. **Métodos de regionalização de vazões em cotas baixas de referência para o rio Teles Pires na bacia Amazônica**. 2011. Disponível em:
<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/17646/1/regionalizacao.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2011.

VILELLA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

WOLFF, W. **Regionalização hidrológica do estado de Santa Catarina: uma abordagem sazonal e geoestatística baseada em modelos**. 2017. 80 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

WOLFF, W.; DUARTE, S.N.; MINGOTI, R. Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p.21-33, 2014.

APÊNDICE A – Modelo digital de elevação para as bacias de estudo.

APÊNDICE B – Curvas de permanência mensal e diária para a bacia do rio Araranguá.

Figura 1 - Curva de permanência da estação código ANA 84800000 (1975 -2014).

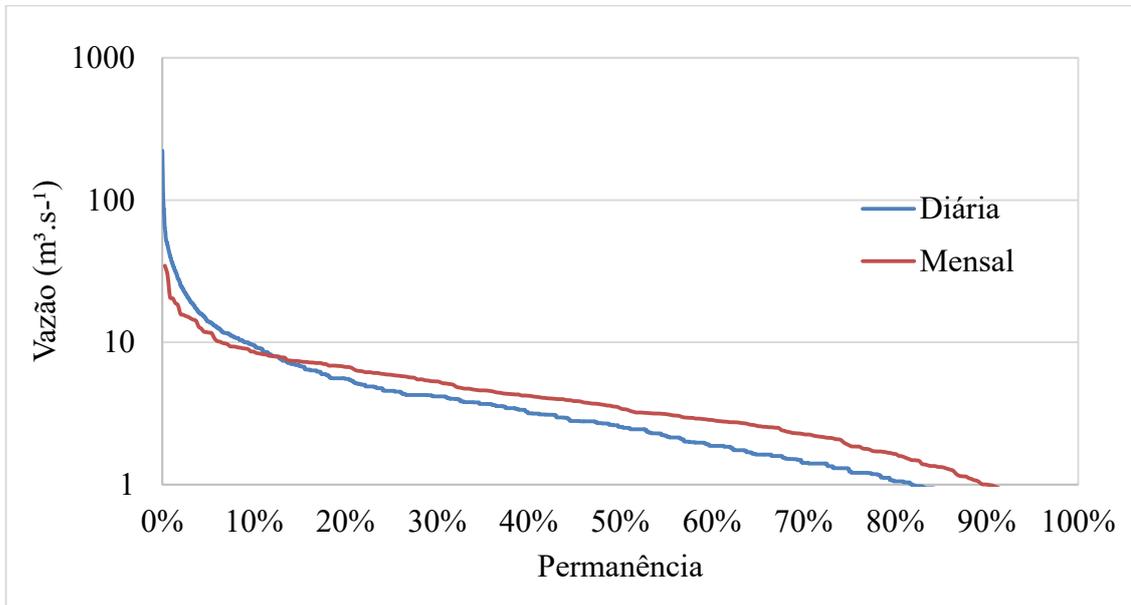


Figura 2 - Curva de permanência da estação código ANA 84853000 (1943 – 2011).

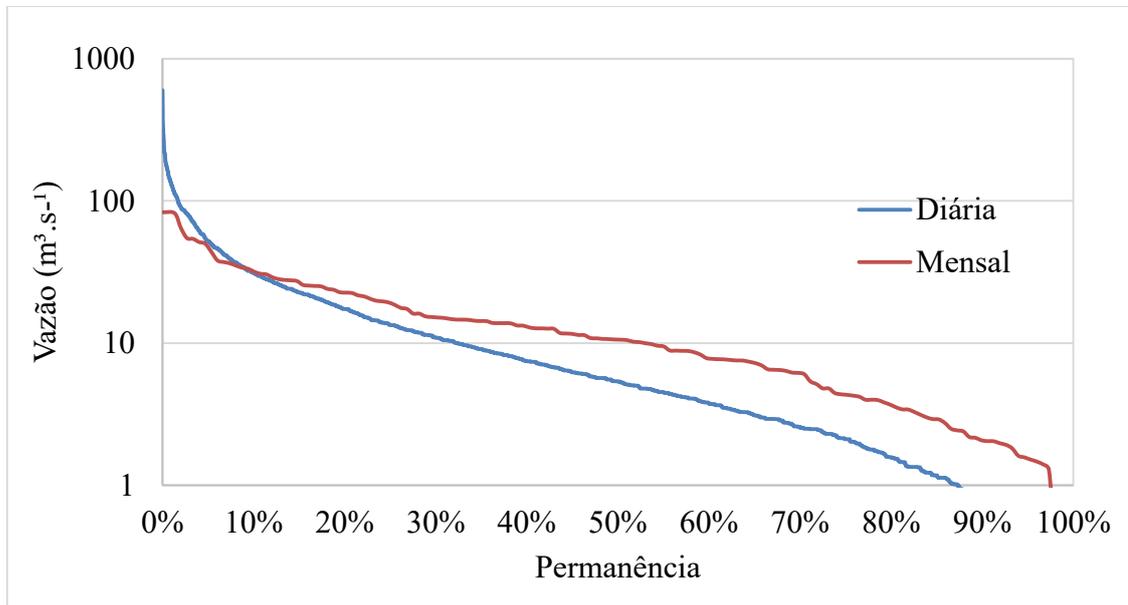


Figura 3 - Curva de permanência da estação código ANA 84820000 (1942-2014).

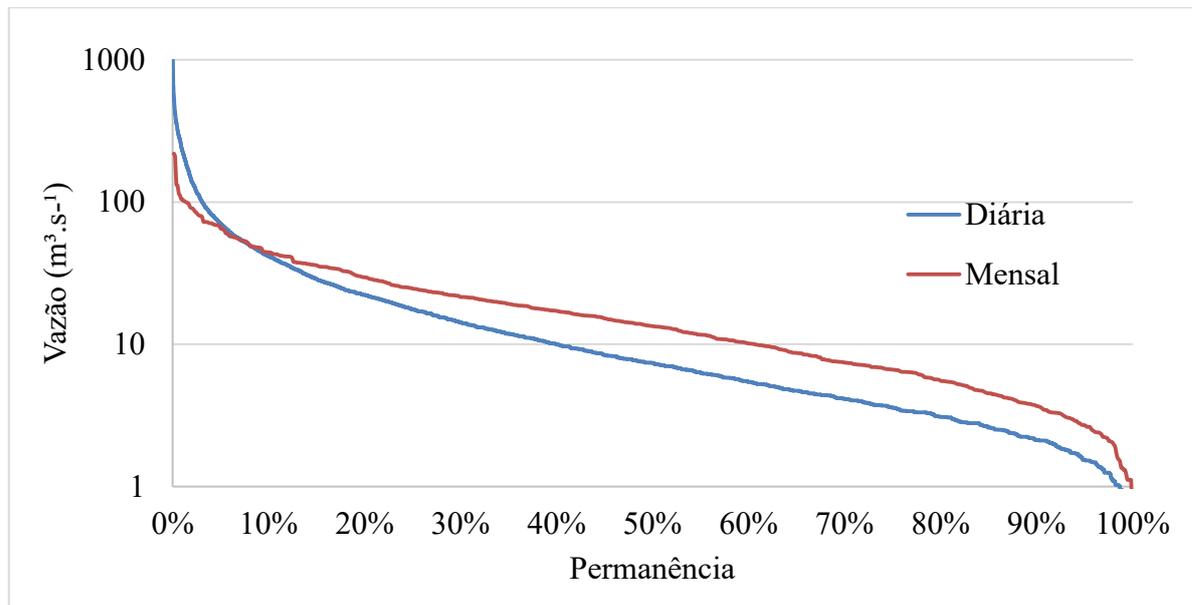


Figura 4 - Curva de permanência da estação código ANA 84949000 (1976-2014).

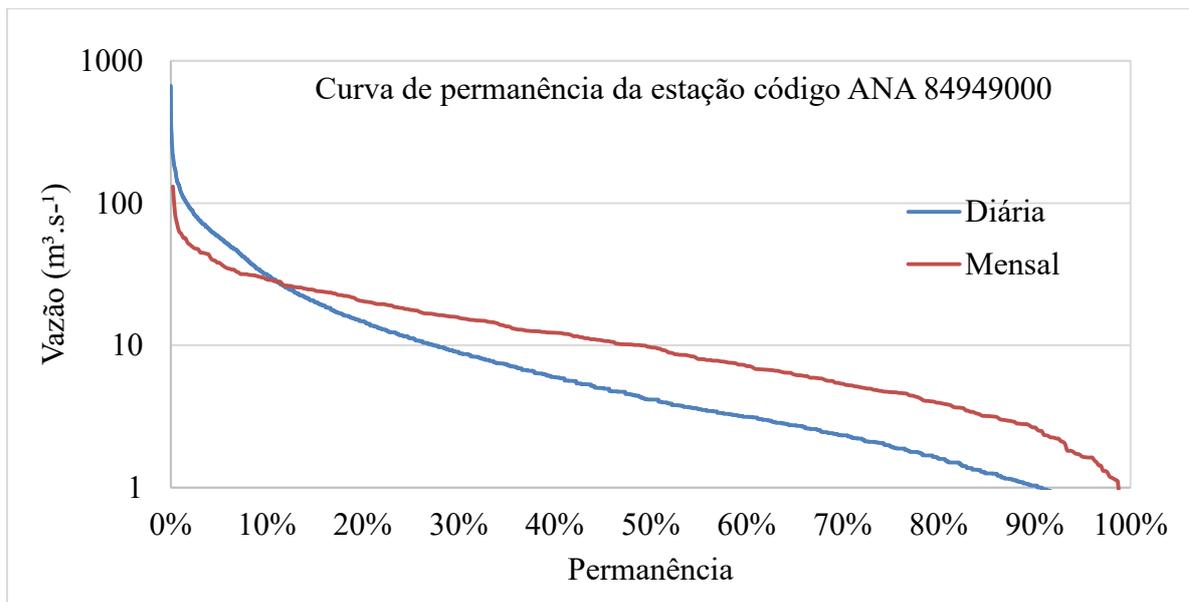


Figura 5 - Curva de permanência da estação código ANA 84949800 (1978-2014).

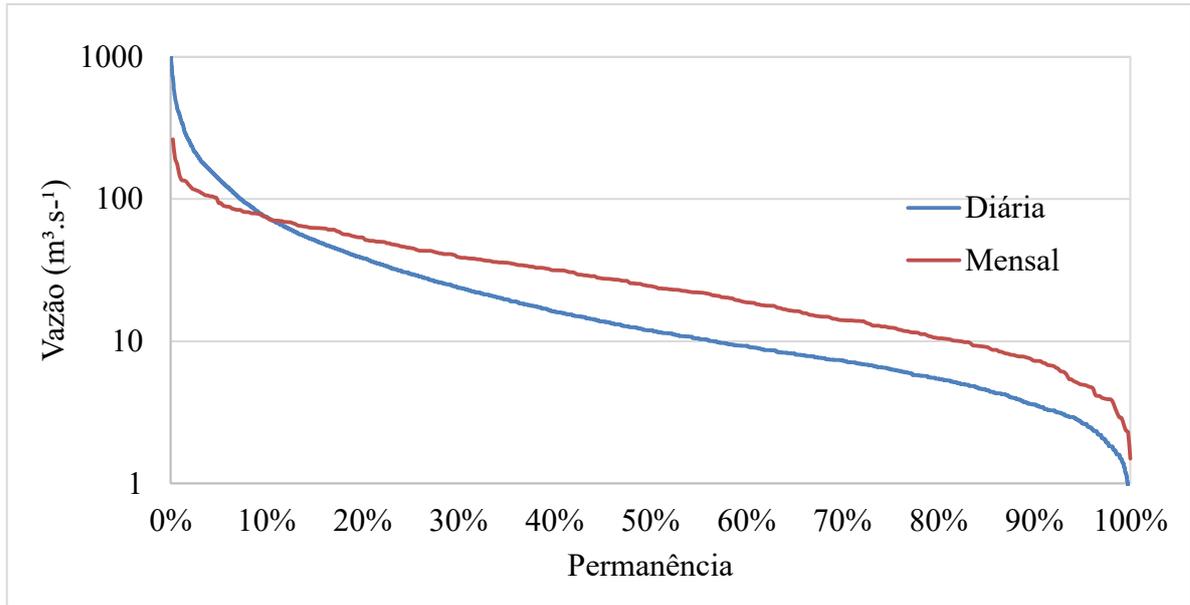
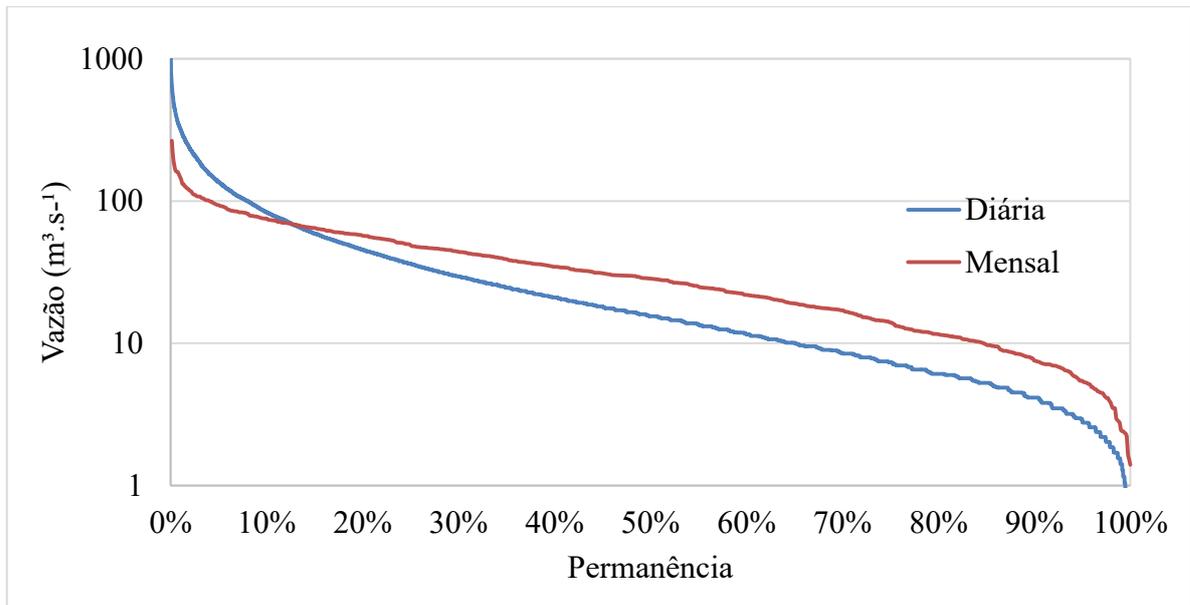


Figura 6 - Curva de permanência da estação código ANA 84950000 (1943-2010).



APÊNDICE C – Curvas de permanência mensal e diária para a bacia do rio Tubarão.

Figura 7 - Curva de permanência da estação código ANA 84249998 (1984-2014).

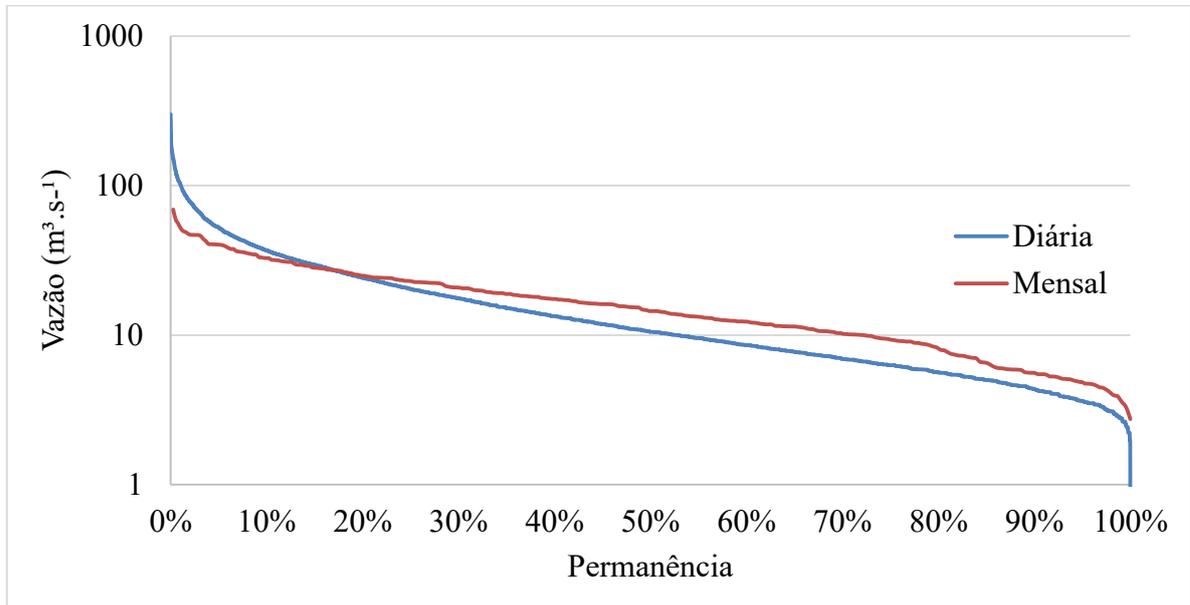


Figura 8 - Curva de permanência da estação código ANA 84250000 (1939-1954).

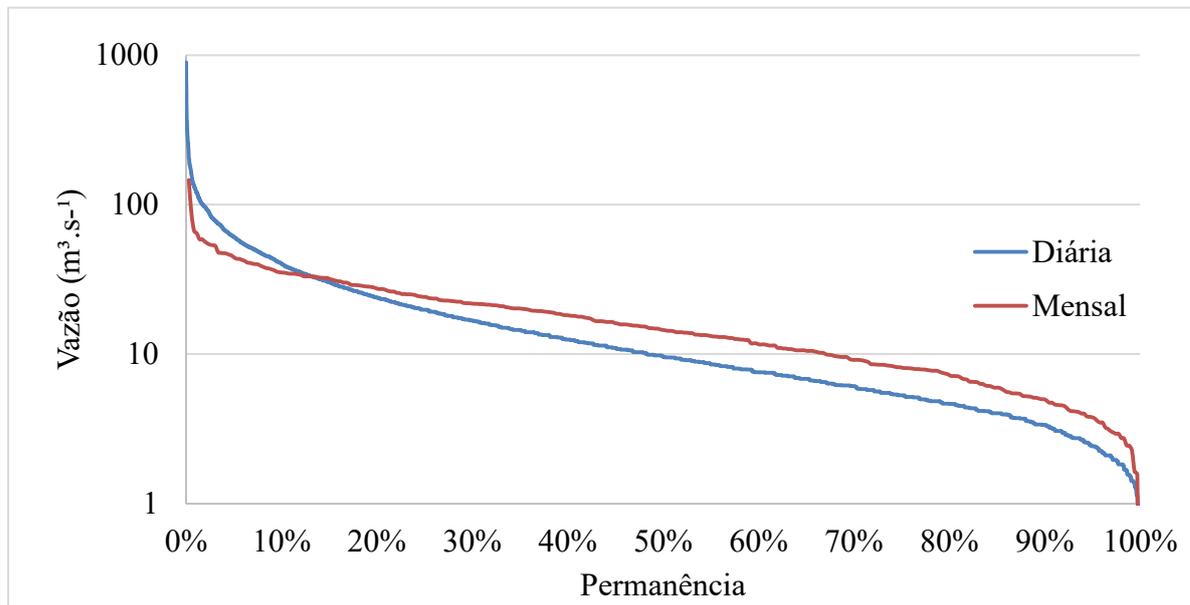


Figura 9 - Curva de permanência da estação código ANA 84500000 (1986-2014).

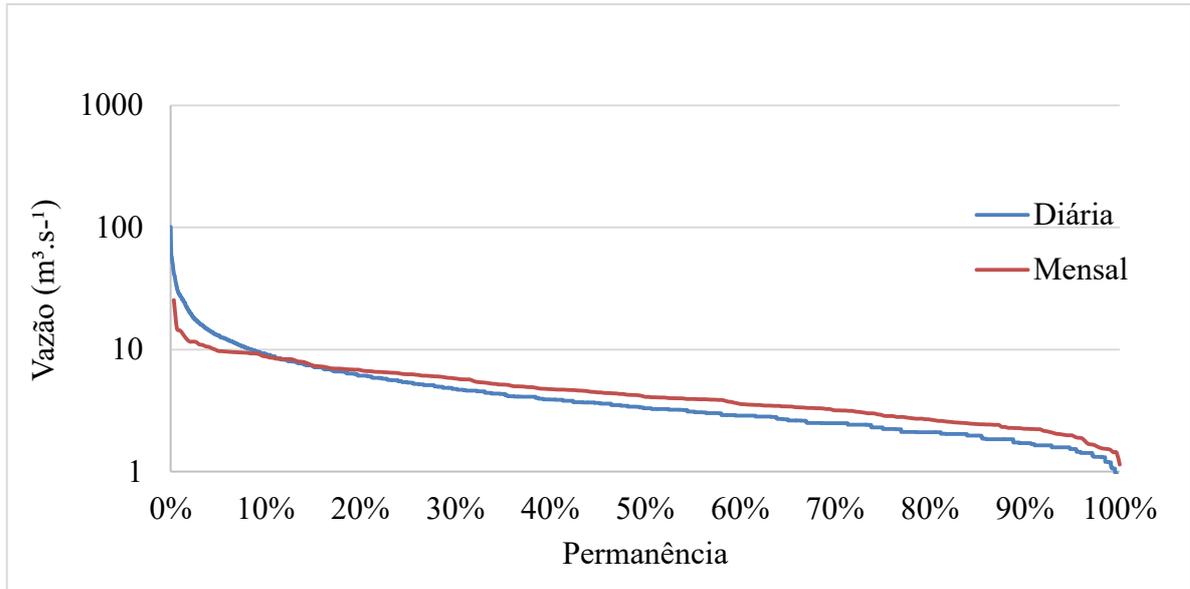


Figura 10 - Curva de permanência da estação código ANA 84300000 (1942-2014).

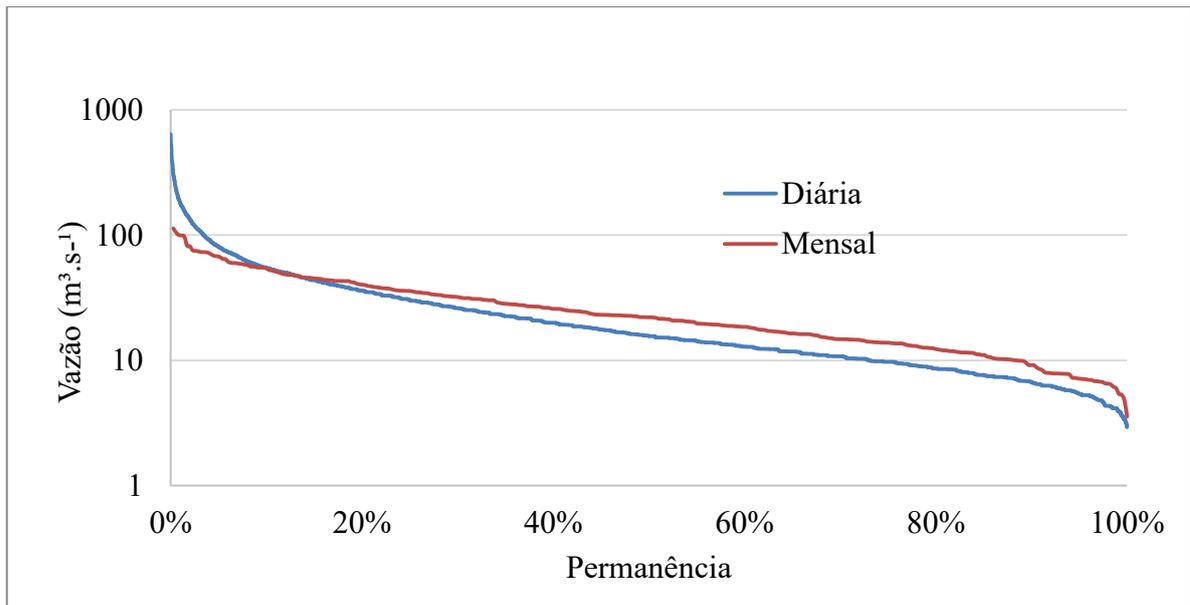


Figura 11 - Curva de permanência da estação código ANA 84520000 (1942-1967).

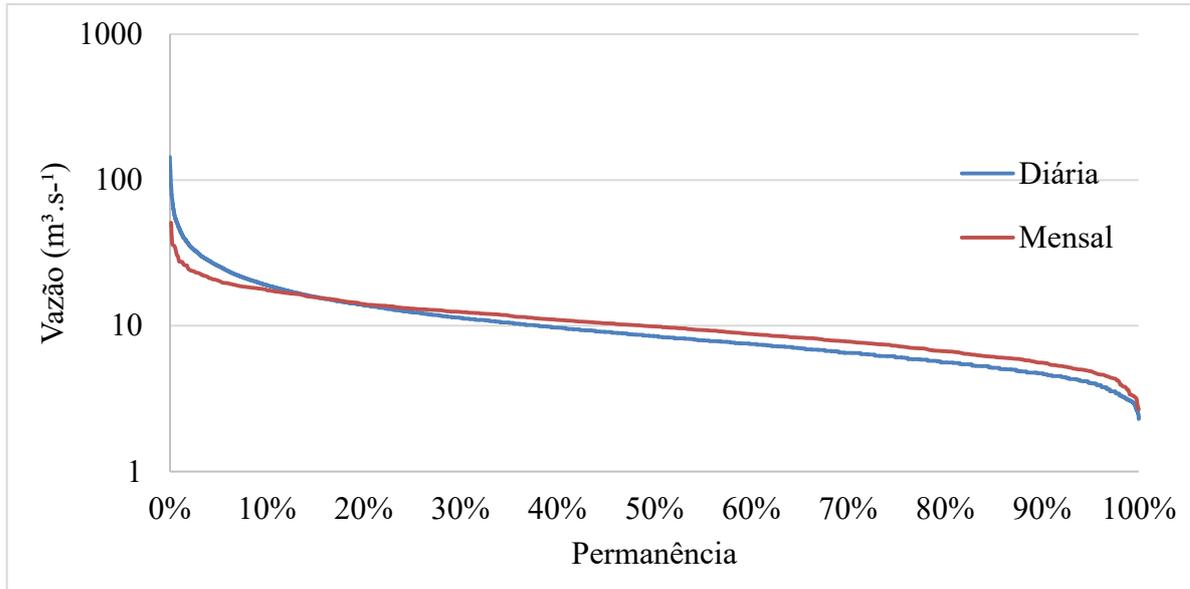


Figura 12 - Curva de permanência da estação código ANA 84520010 (1944-2014).

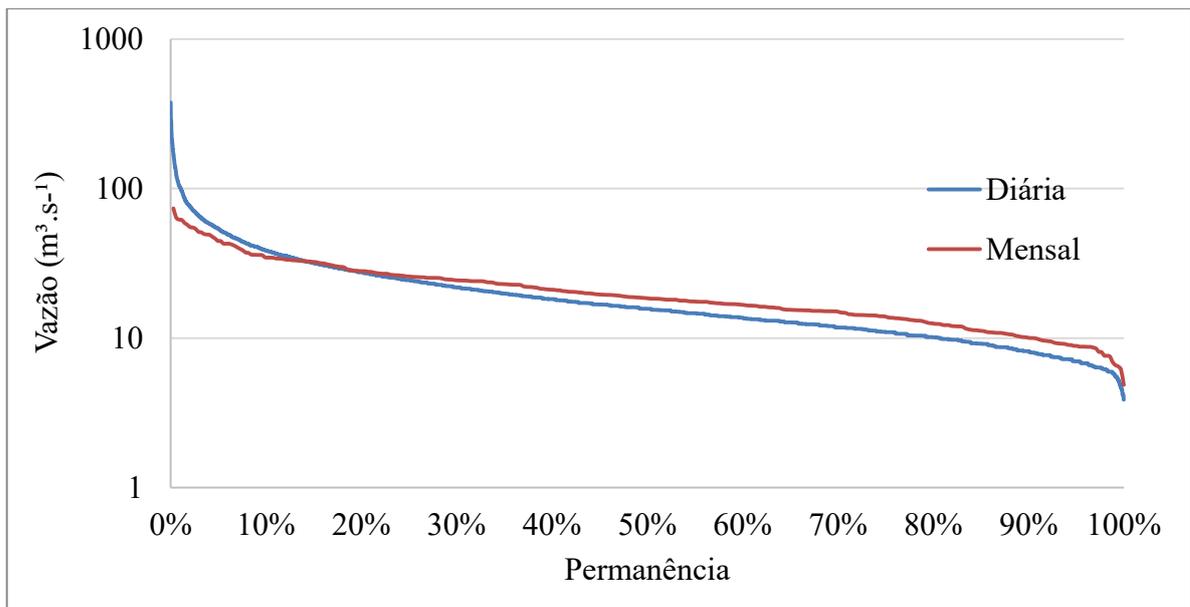


Figura 13 - Curva de permanência da estação código ANA 84541000 (1986-2014).

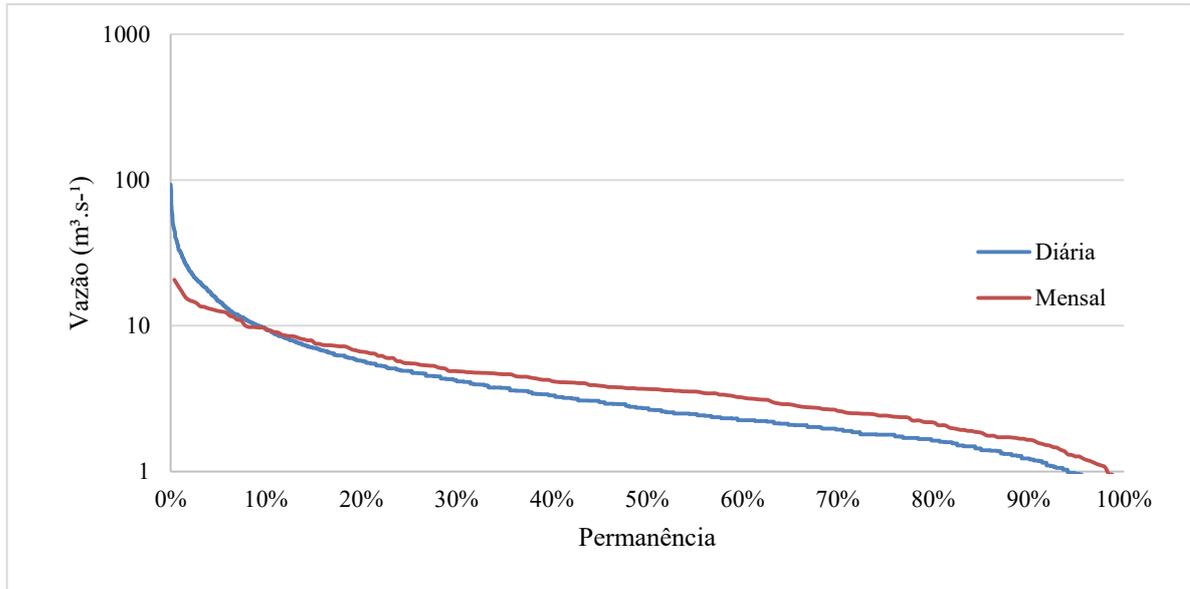


Figura 14 - Curva de permanência da estação código ANA 84551000 (1985-1967).

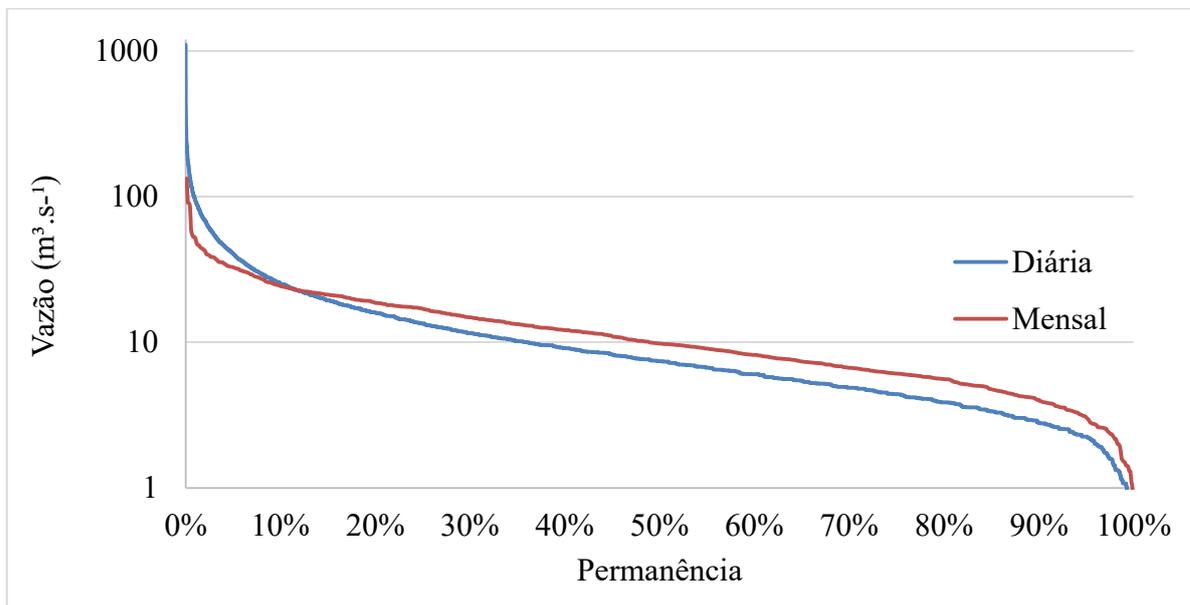


Figura 15 - Curva de permanência da estação código ANA 84559800 (1942-2014).

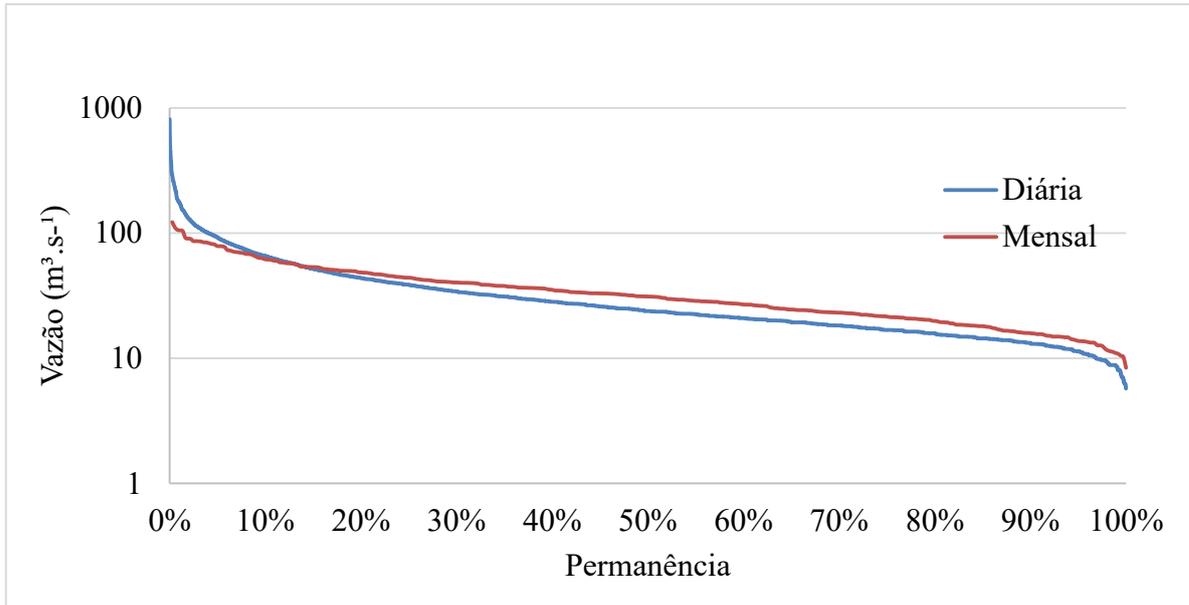


Figura 16 - Curva de permanência da estação código ANA 84560000 (1946-1988).

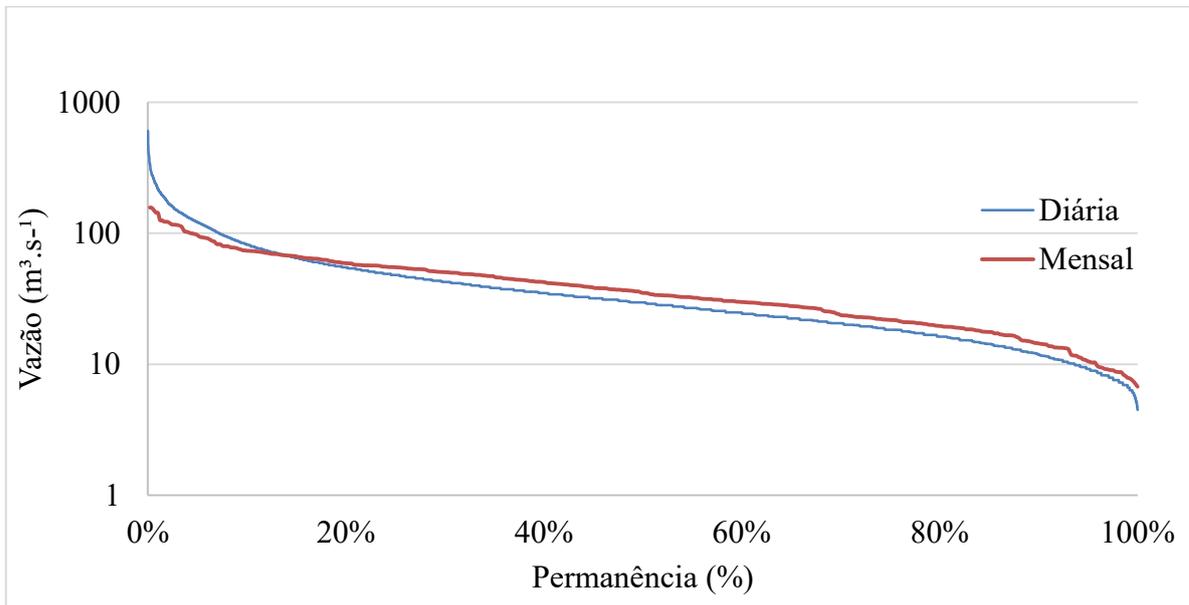


Figura 17 - Curva de permanência da estação código ANA 84560002 (1986-2017).

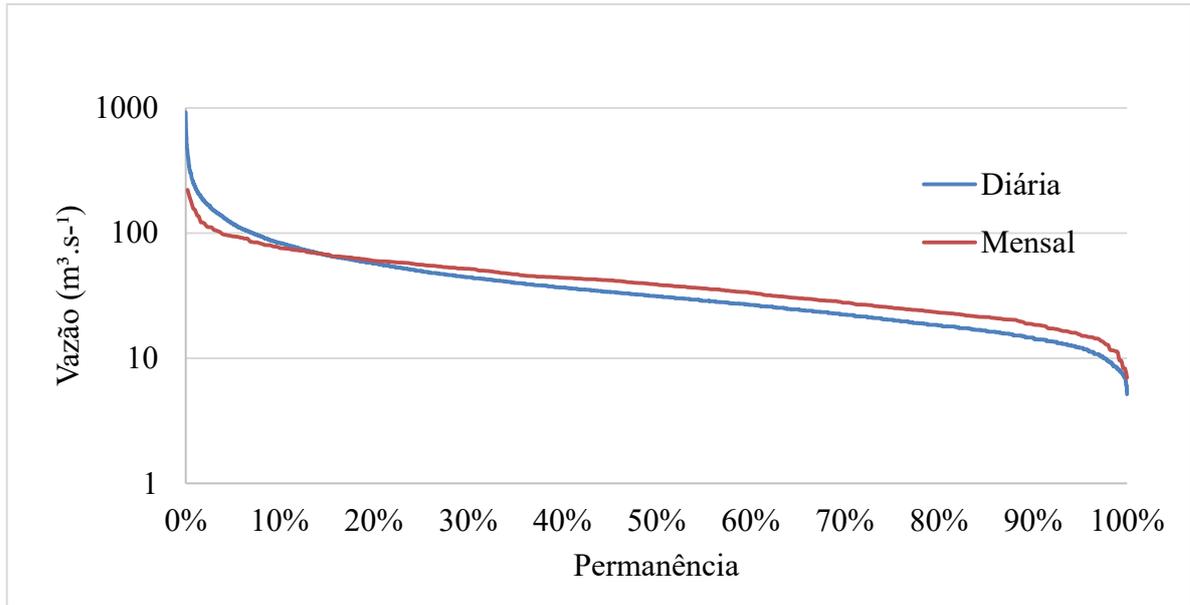


Figura 18 - Curva de permanência da estação código ANA 84580000 (1950-1981).

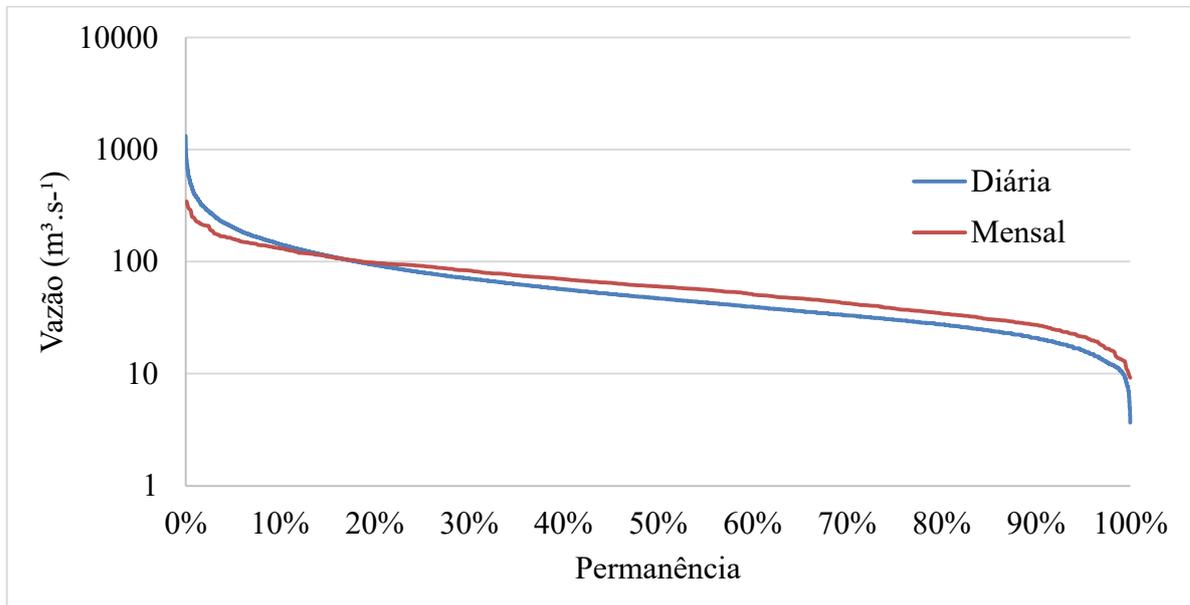


Figura 19 - Curva de permanência da estação código ANA 84580500 (1939-2014).

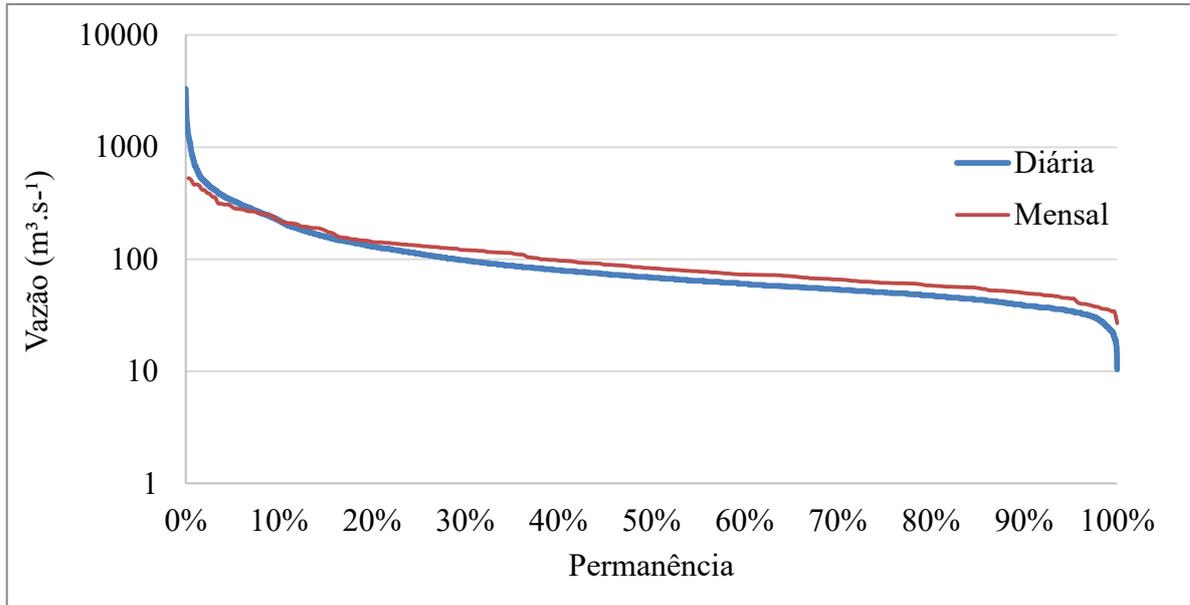


Figura 20 - Curva de permanência da estação código ANA 84598002 (1978-1989).

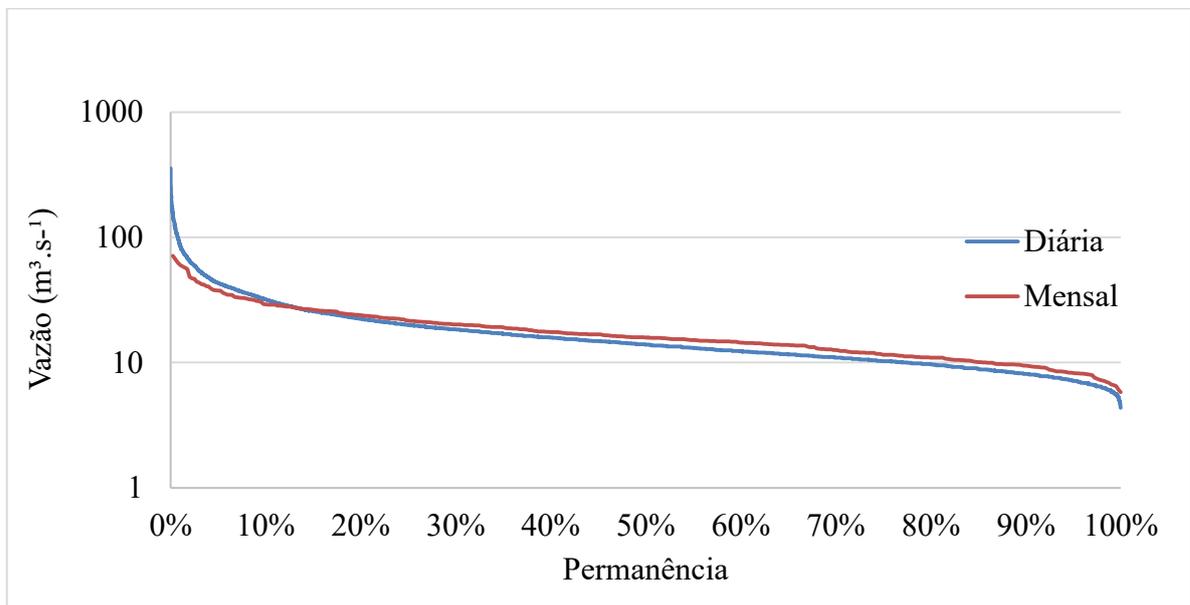


Figura 21 - Curva de permanência da estação código ANA 84600000 (1981-2014).

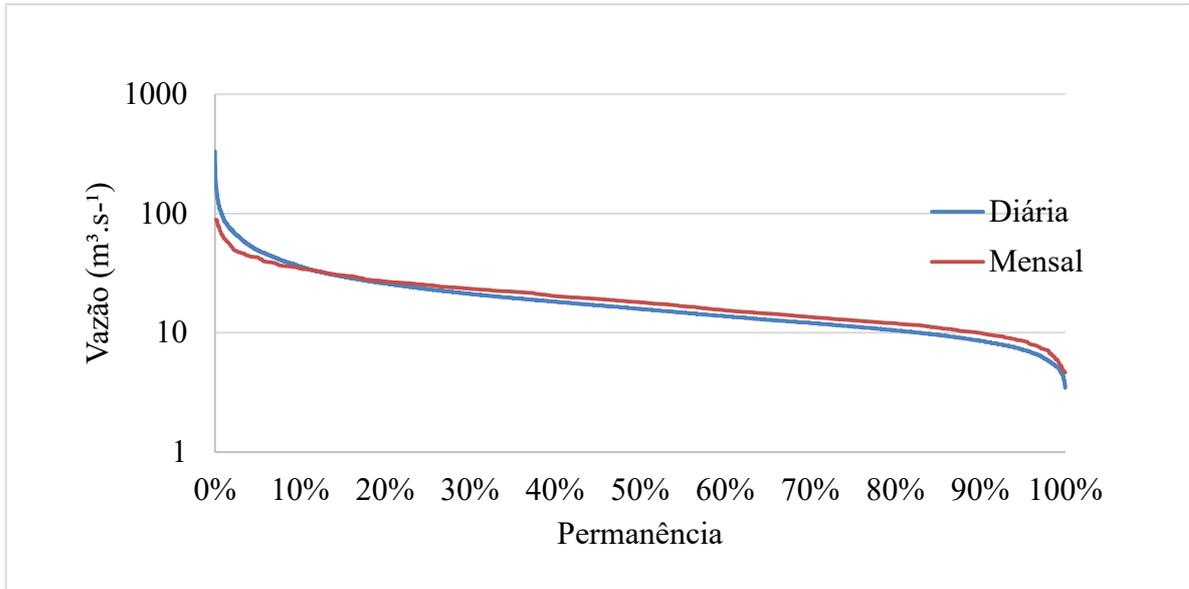
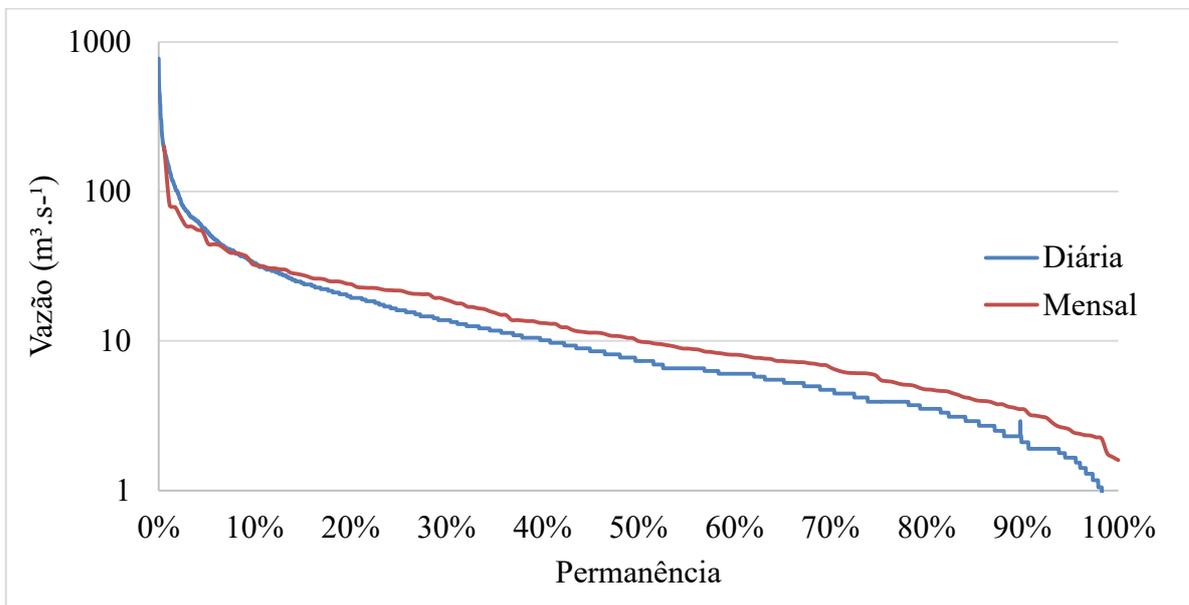
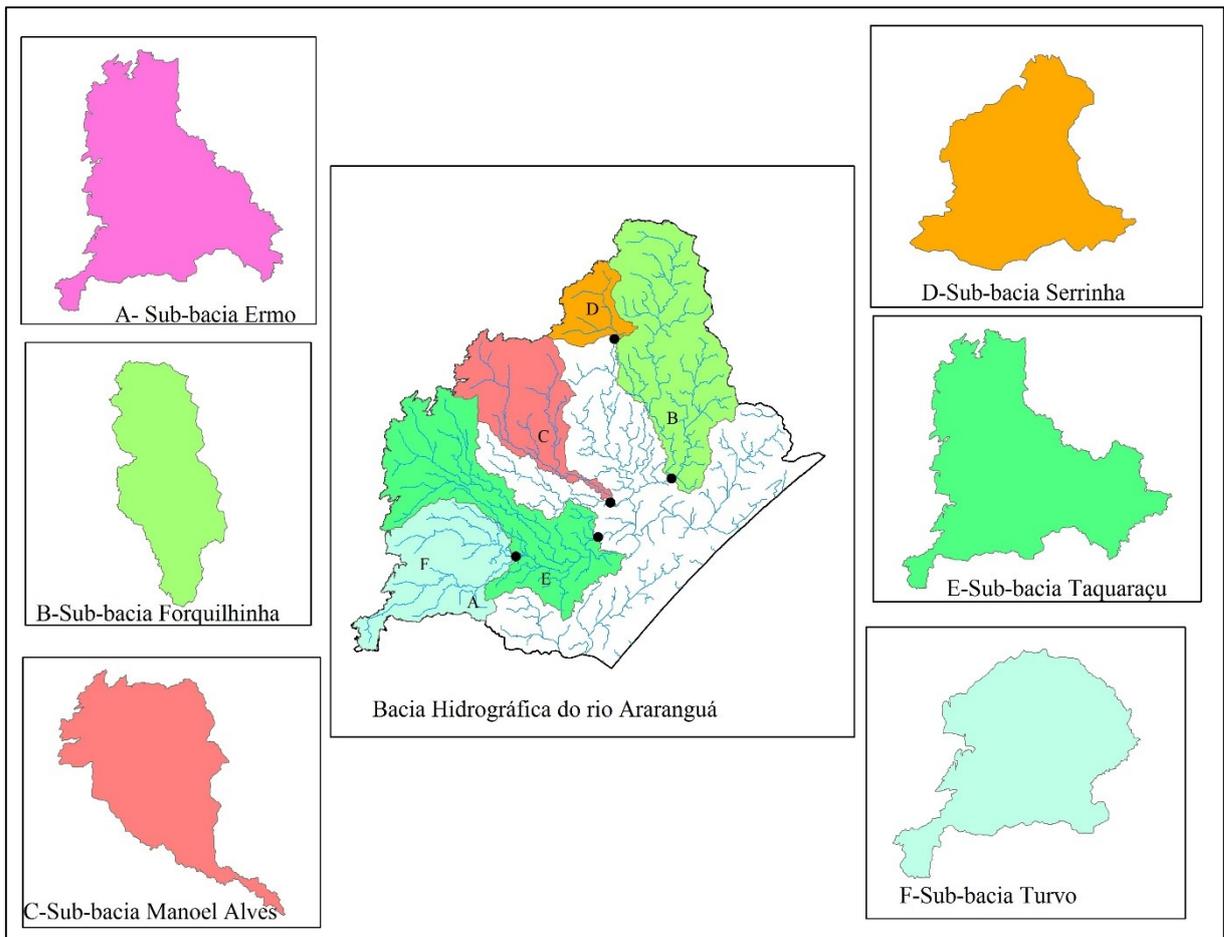
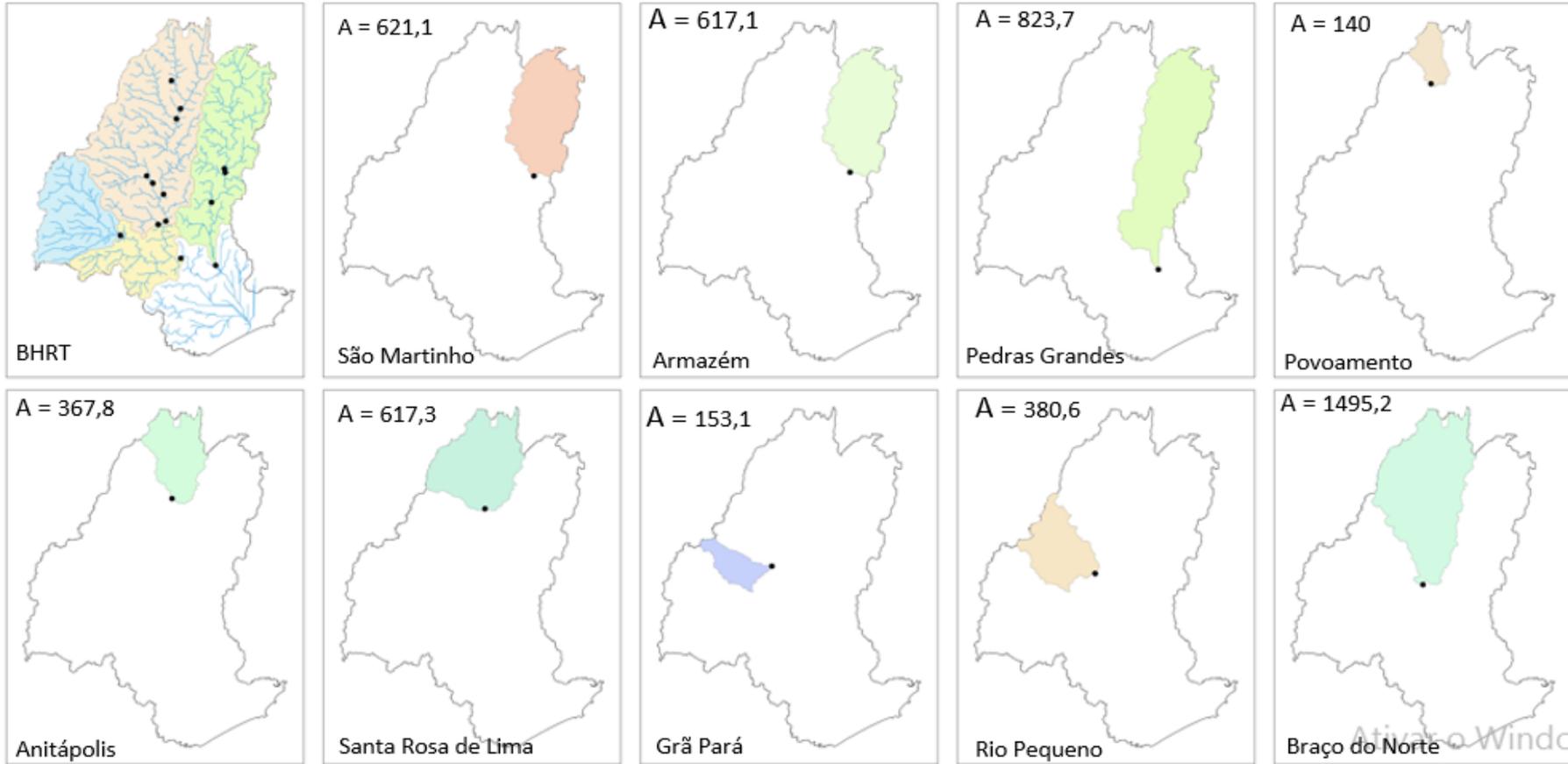


Figura 22 - Curva de permanência da estação código ANA 84250008 (1939-2014).

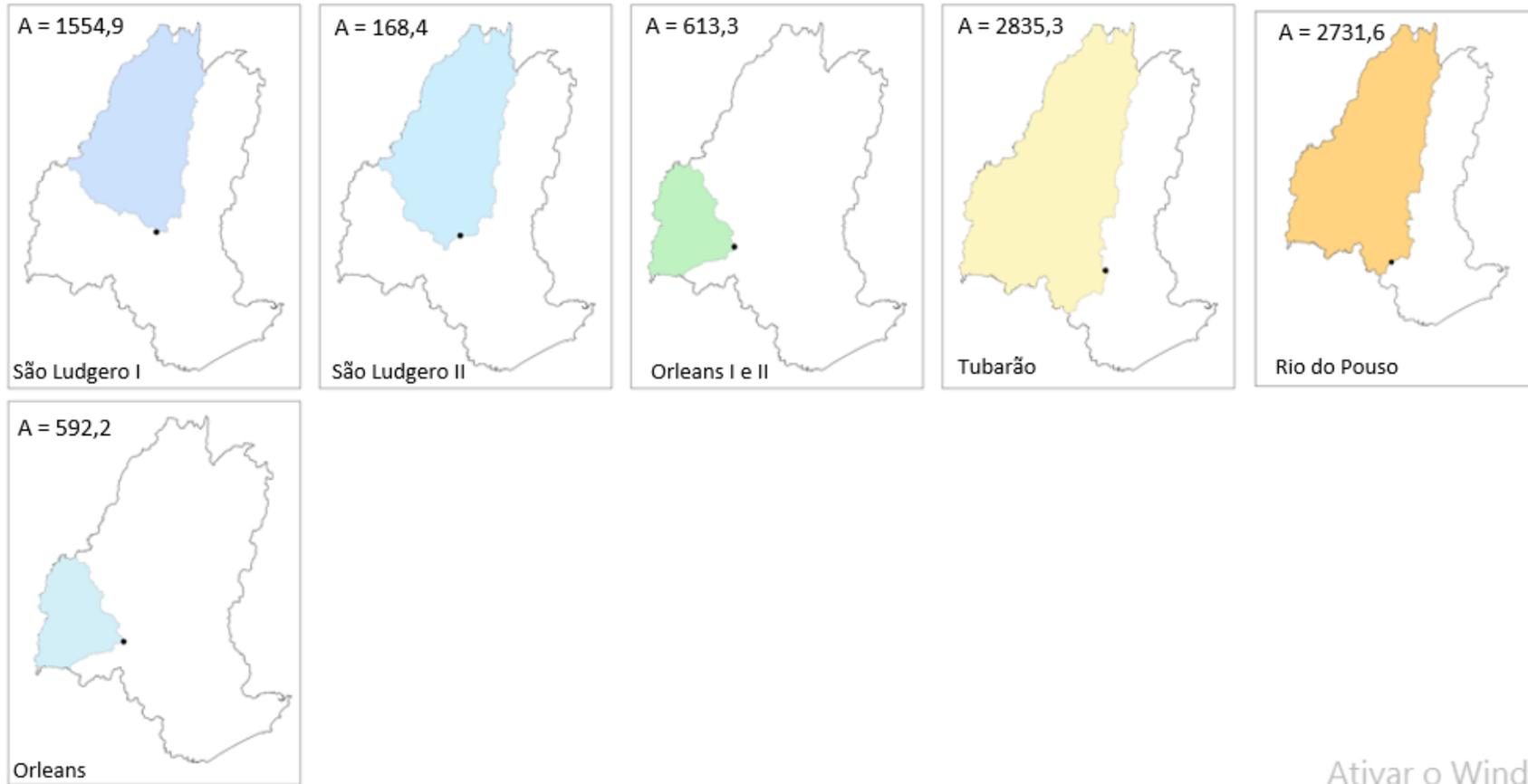


APÊNDICE D – Mapa das sub-bacias do rio Araranguá.

APÊNDICE E – Mapa das sub-bacias do rio Tubarão.



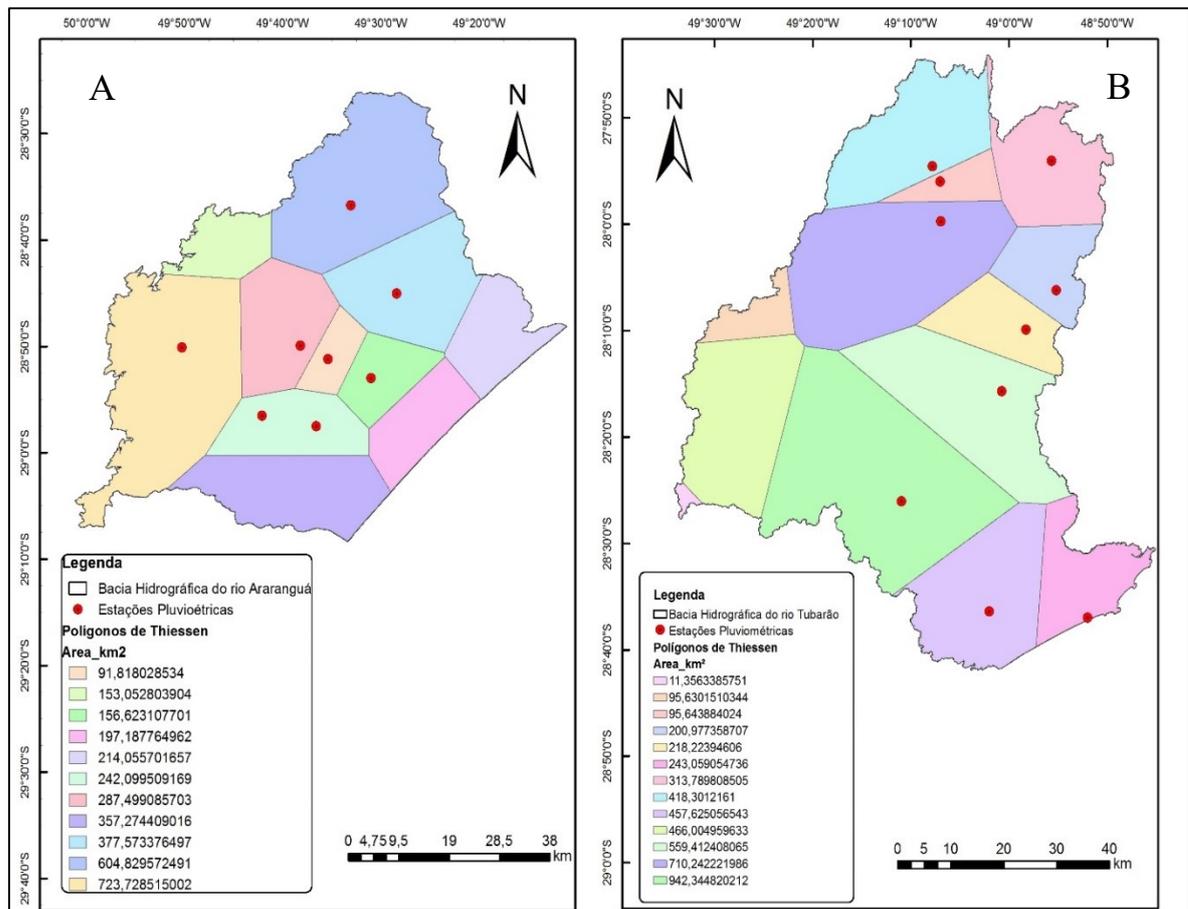
).

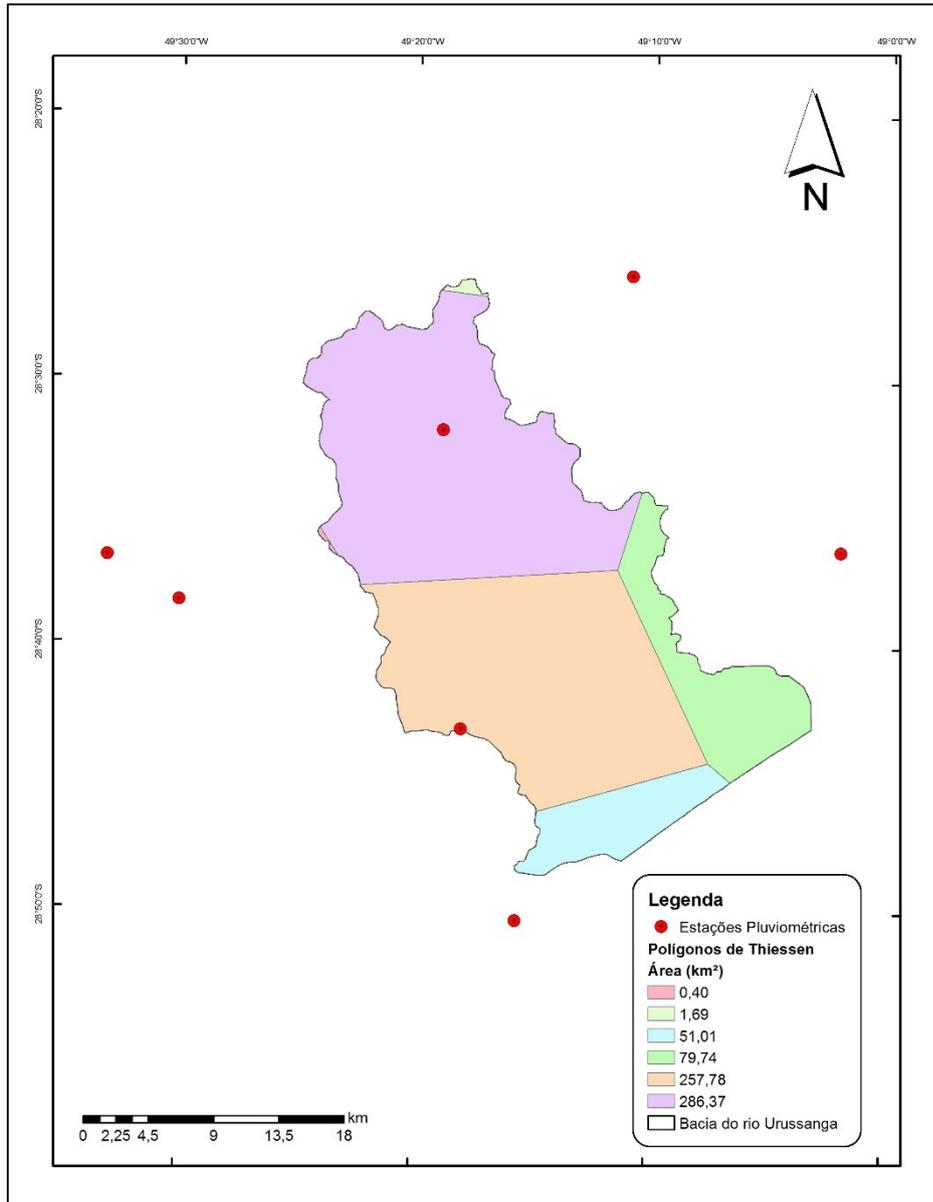


Ativar o Windc

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

APÊNDICE F – Mapas dos Polígonos de Thiessen para as bacias: A) do rio Araranguá e B) Tubarão.



APÊNDICE G – Mapa dos Polígonos de Thiessen para a bacias do rio Urussanga.

APÊNDICE H – Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para as vazões de permanência diárias e mensais da RHH I.

Figura 23 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q50 diária.

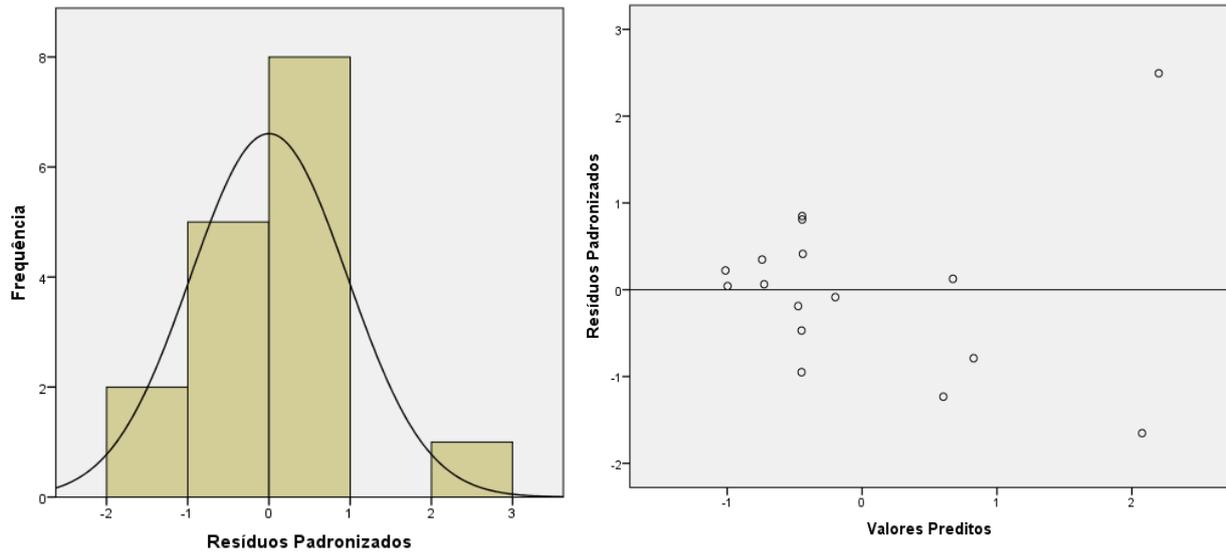


Figura 24 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q90 diária.

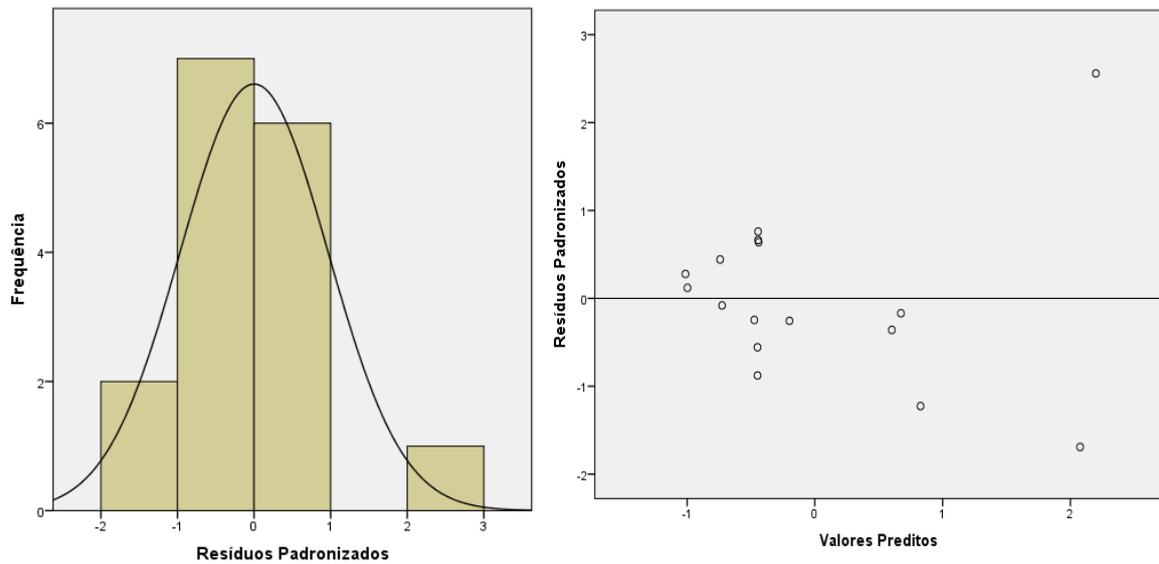


Figura 25 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q95 diária.

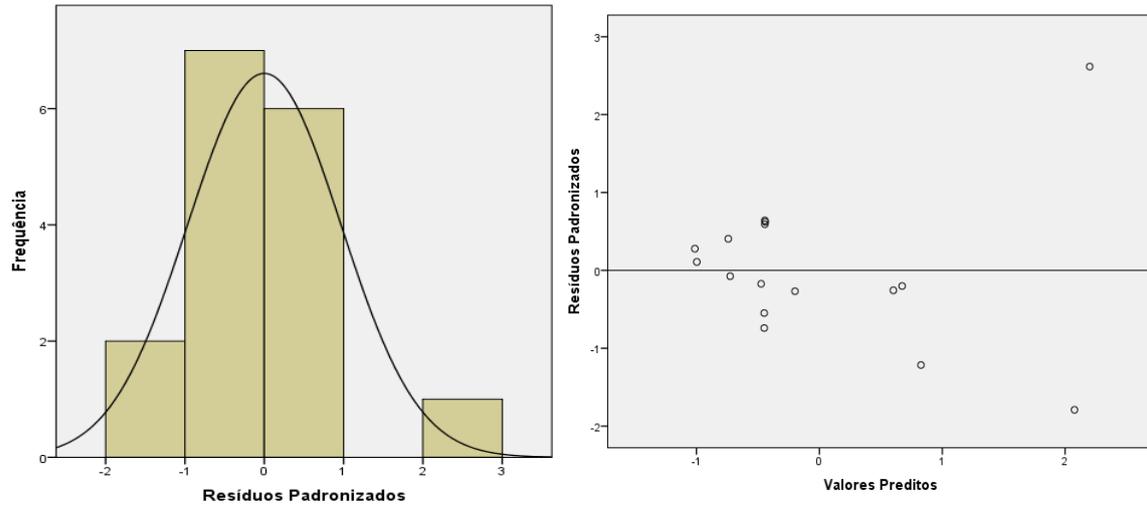


Figura 26 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q98 diária.

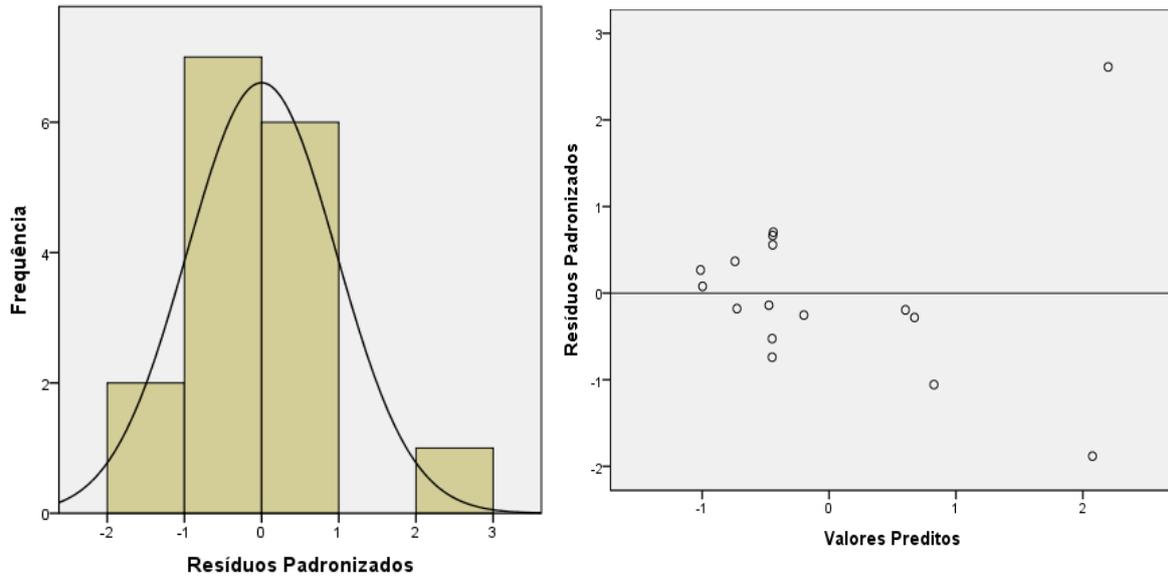


Figura 27 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q50 mensal.

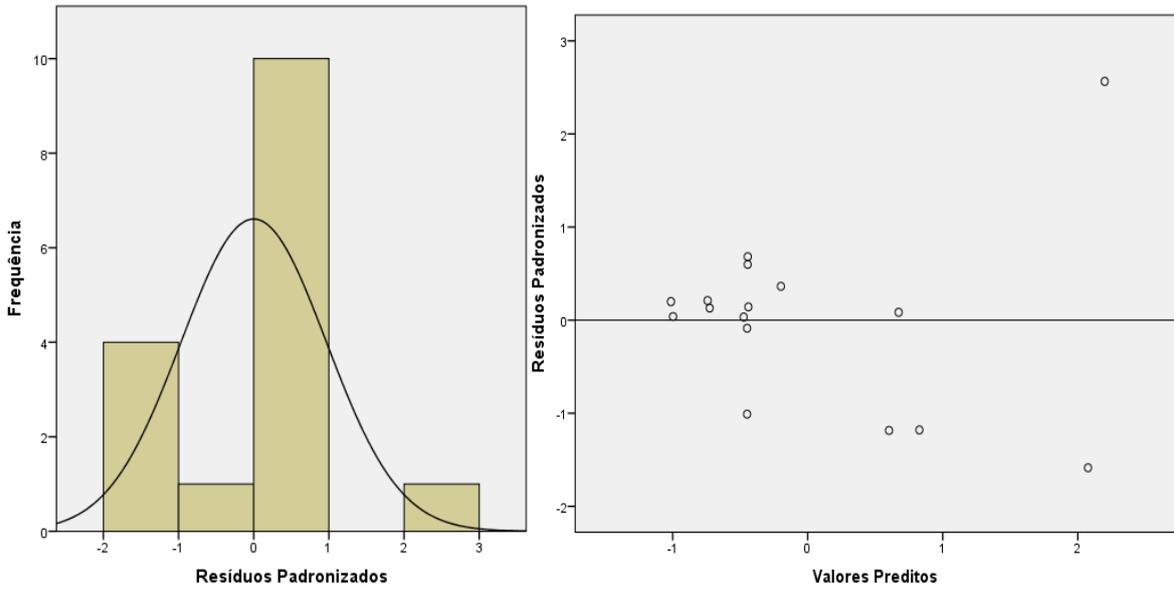


Figura 28 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q90 mensal.

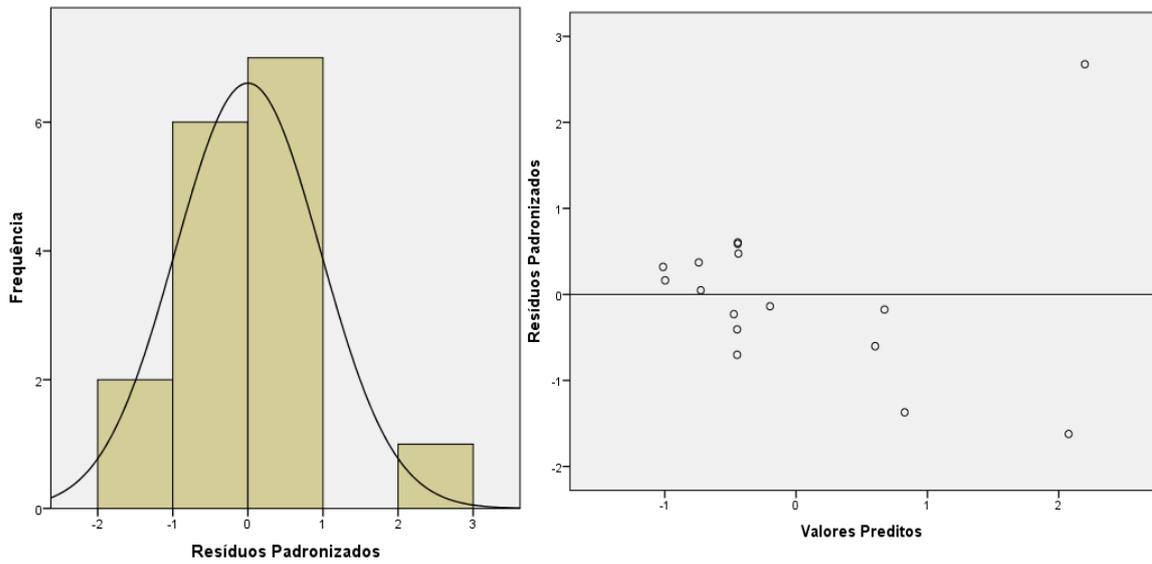


Figura 29 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q95 mensal.

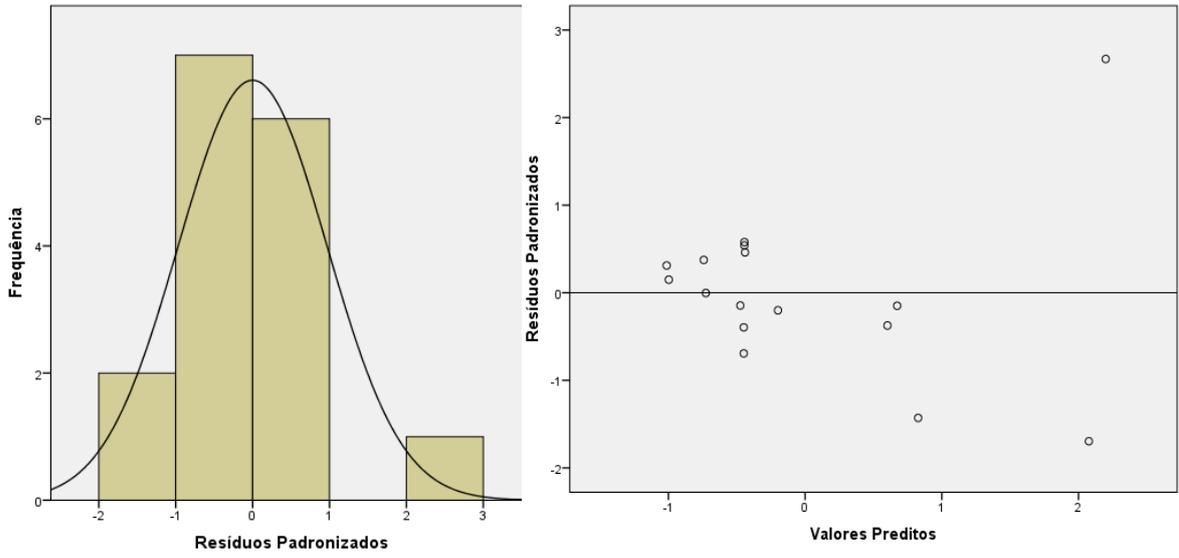
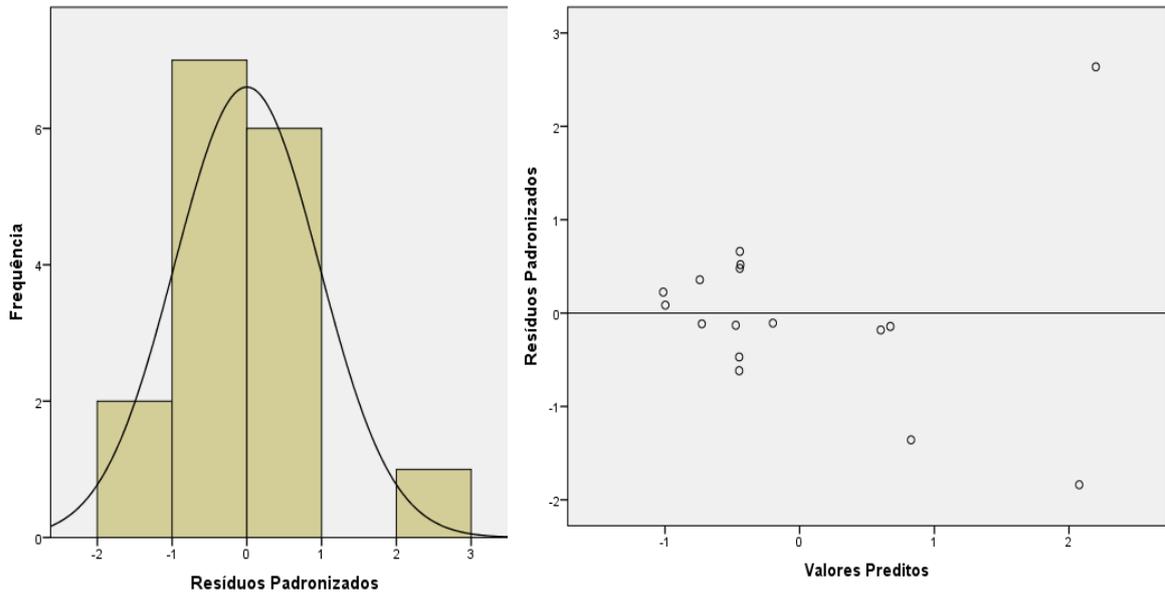


Figura 29 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q98 mensal.



APÊNDICE I – Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para as vazões de permanência diárias e mensais da RHH II.

Figura 30 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q50 diária.

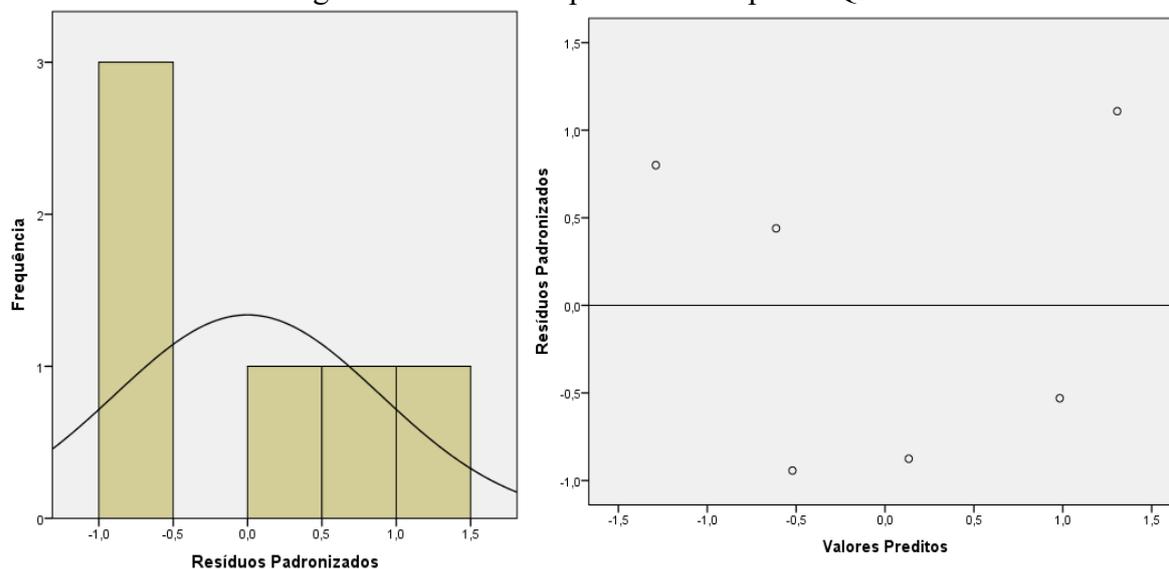


Figura 31 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q90 diária.

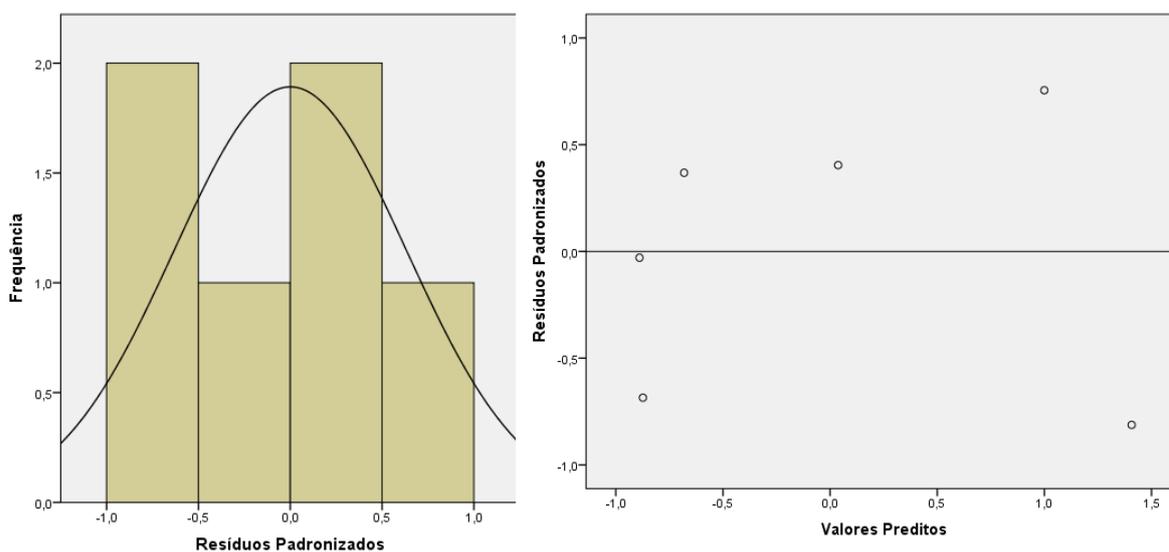


Figura 32 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q95 diária.

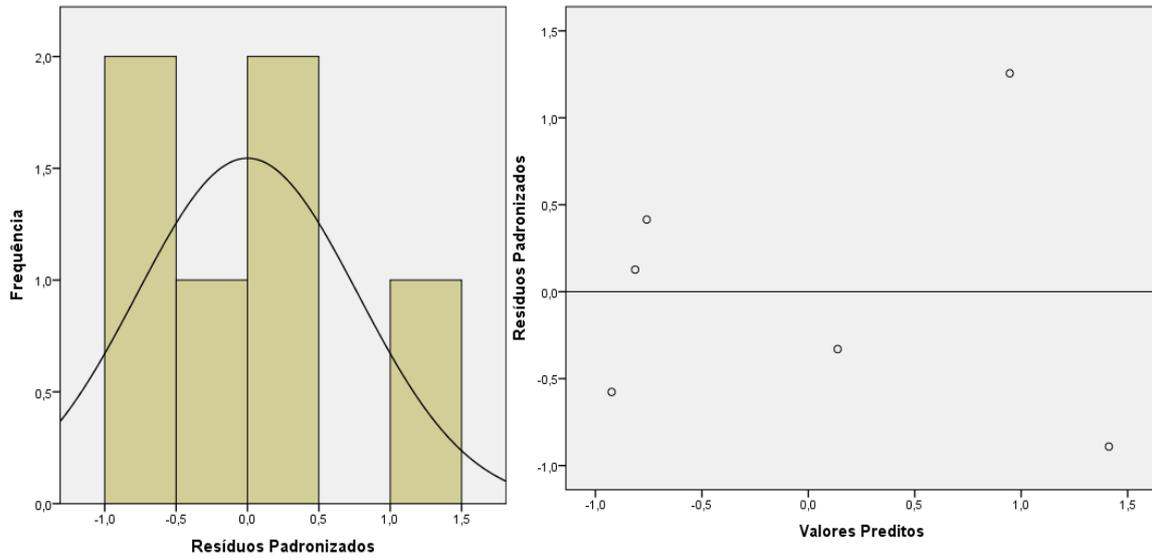


Figura 33 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q98 diária.

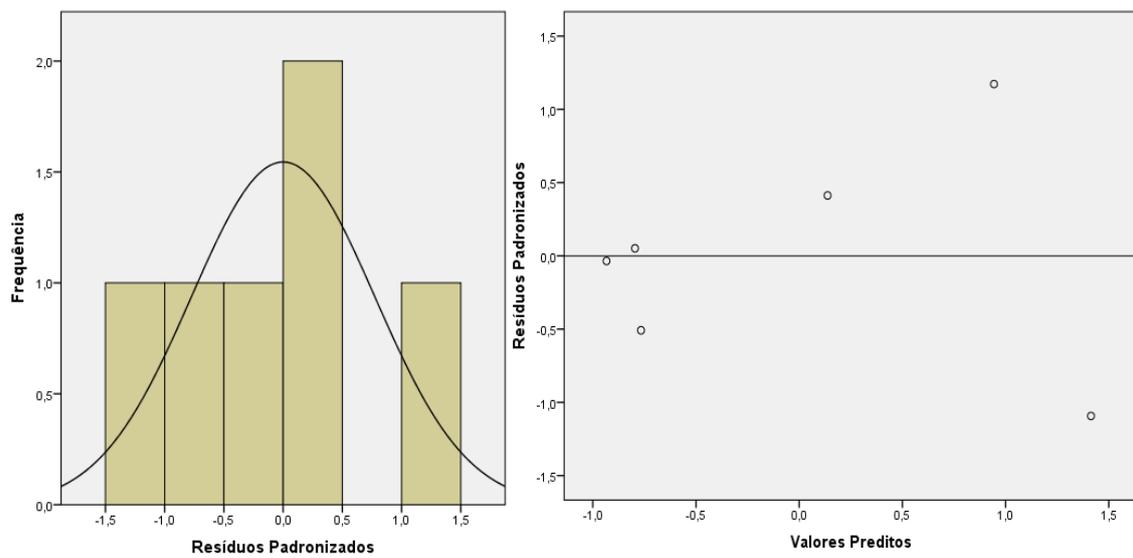


Figura 34 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q50 mensal.

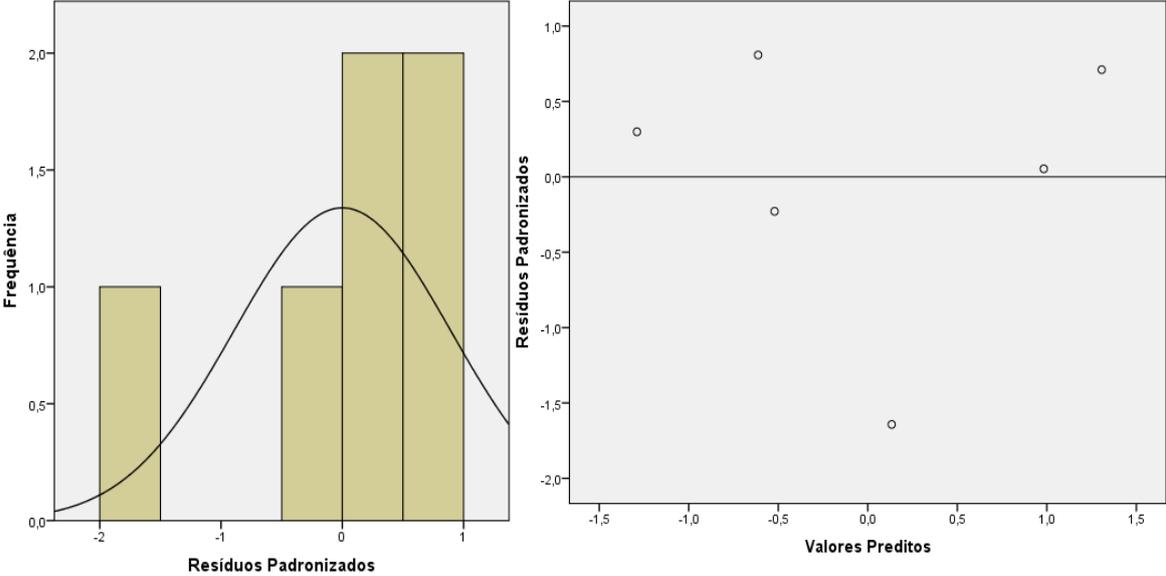


Figura 35 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q90 mensal.

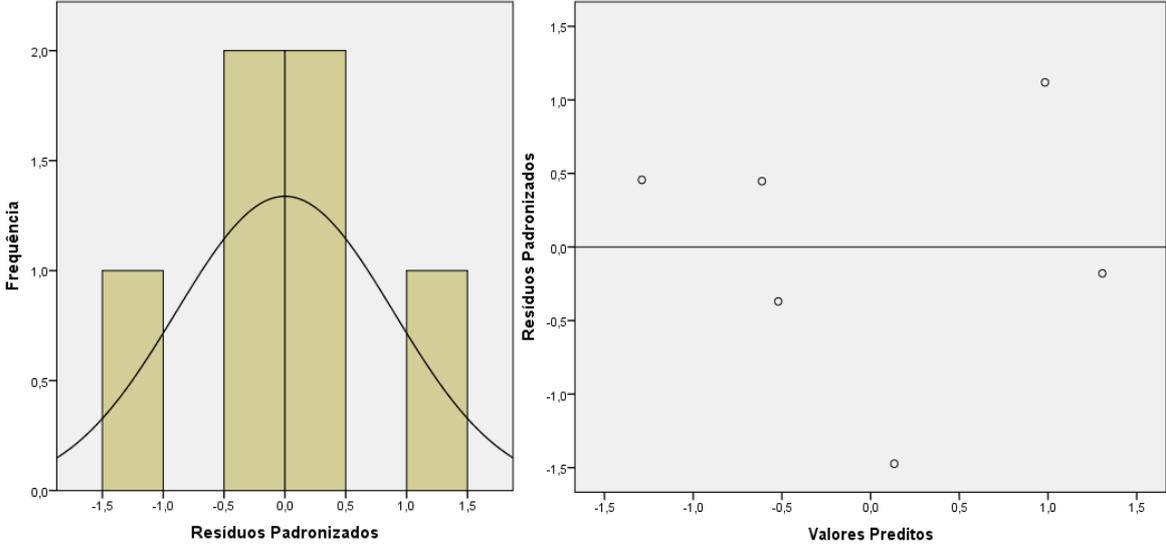


Figura 36 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q95 mensal.

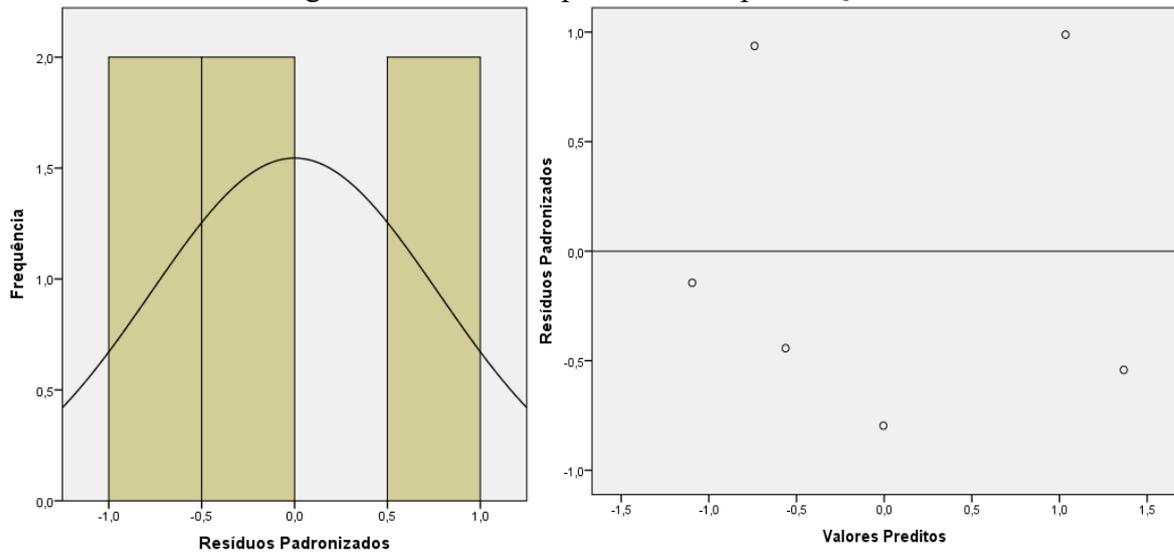
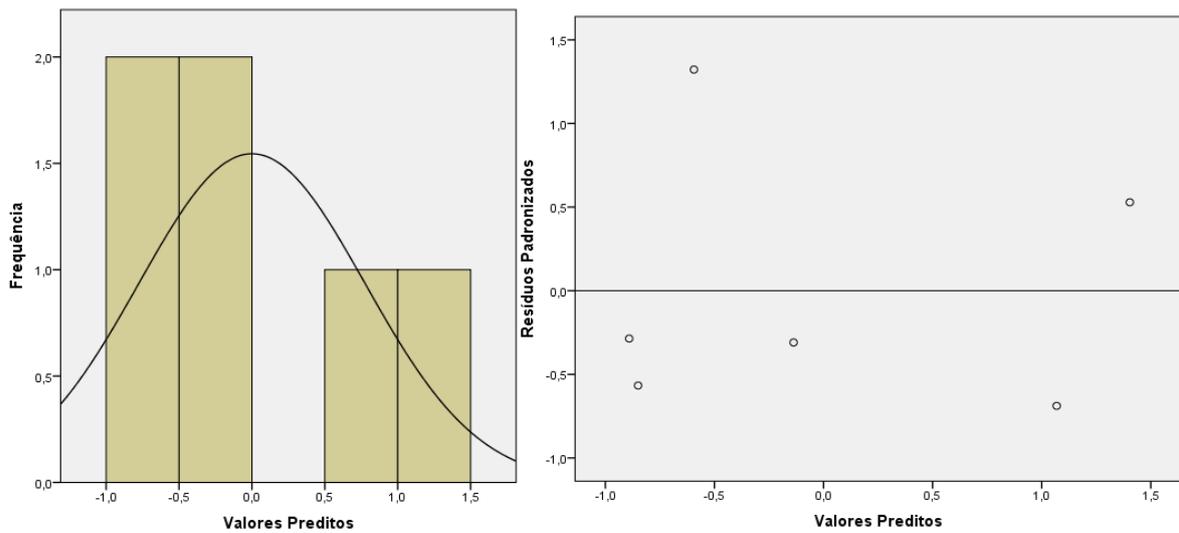


Figura 36 - Gráficos de dispersão entre os valores preditos e resíduos padronizados e histograma dos resíduos padronizados para a Q98 mensal.



APÊNDICE J – Dados utilizados para o cálculo do desempenho estatístico EMA, RMSE e log do coeficiente de Nash e Sutcliffe – $\log(C_{NS})$, da estimativa das vazões de permanência Q50, Q90, Q95 e Q98 diárias e mensais para as RHH I e II.

Tabela 01 – Dados utilizados para realização dos cálculos dos parâmetros EMA, RSME e Log (C_{ns}) para as vazões Q50, Q90, Q95 e Q98 diárias.

Região	Estação	Q50% Obs.	Q50% Est.	*Dif ($m^3.s^{-1}$)	Q90% Obs.	Q90% Est.	Dif ($m^3.s^{-1}$)	Q95% Obs.	Q95% Est.	Dif ($m^3.s^{-1}$)	Q98% Obs.	Q98% Est.	Dif ($m^3.s^{-1}$)
RHH I	84598002	13,91	12,37	-1,53	8,12	5,01	-3,11	7,15	4,31	-2,84	6,36	3,47	-2,89
	84600000	15,87	12,29	-3,58	8,55	4,98	-3,57	7,19	4,29	-2,90	5,81	3,45	-2,36
	84500000	3,30	2,91	-0,39	1,71	1,16	-0,55	1,53	1,00	-0,53	1,32	0,80	-0,52
	84520000	8,49	7,44	-1,05	4,72	2,99	-1,73	4,05	2,58	-1,46	3,32	2,07	-1,25
	84520010	15,69	12,30	-3,39	8,17	4,98	-3,19	7,00	4,29	-2,71	6,20	3,45	-2,75
	84541000	2,72	3,18	0,46	1,23	1,27	0,04	0,97	1,10	0,13	0,73	0,87	-0,14
	84551000	7,41	7,69	0,28	2,81	3,10	0,29	2,25	2,67	0,42	1,42	2,14	0,72
	84559800	23,82	29,03	5,21	13,28	11,88	-1,40	11,37	10,18	-1,19	9,37	8,28	-1,09
	84560002	31,40	30,15	-1,25	14,64	12,35	-2,29	12,12	10,58	-1,54	9,48	8,6	0,88
	84560000	29,70	32,57	2,88	11,84	13,35	1,51	9,22	11,44	2,22	7,58	9,31	1,73
	84249998	10,50	11,81	1,31	4,35	4,78	0,43	3,73	4,12	0,39	3,08	3,31	0,23
	84250008	7,35	12,22	4,87	2,10	4,95	2,85	1,66	4,26	2,60	1,05	3,43	2,38
	84250000	9,60	12,22	2,62	3,36	4,95	1,59	2,42	4,26	1,84	1,83	3,43	1,60
	84580000	46,80	52,12	5,32	20,90	21,49	0,59	16,19	18,36	2,17	12,09	15,02	2,93
	84580500	68,36	54,04	-14,32	38,61	22,29	-16,31	34,64	19,04	-15,60	29,22	15,59	-13,63
84300000	15,65	16,26	0,62	6,71	6,61	-0,10	5,39	5,68	0,29	4,33	4,59	0,26	
Soma		310,54	308,60	-1,97	151,10	126,15	-24,96	126,14	108,17	-18,72	103,19	87,81	-15,38
Média		19,41	19,29	-0,12	9,44	7,88	-1,56	7,88	6,76	-1,17	6,45	5,48	-0,96
RHH II	84950000	15,49	13,51	3,93	4,15	3,04	1,23	2,86	2,09	0,58	1,86	1,65	0,04
	84949800	11,94	12,01	0,00	3,59	2,36	1,51	2,65	1,52	1,28	1,83	1,43	0,16
	84820000	7,41	8,08	0,46	2,12	1,41	0,50	1,54	0,85	0,47	1,09	0,87	0,05
	84853000	5,39	4,63	0,58	0,70	-0,12	0,68	0,34	-0,43	0,60	0,19	0,38	0,04
	84800000	2,55	1,50	1,09	0,70	0,62	0,01	0,56	0,54	0,00	0,31	-0,07	0,15
	84949000	4,16	5,06	0,81	1,03	0,13	0,81	0,66	-0,21	0,75	0,25	0,44	0,04
	Soma		46,94	44,80	-2,15	12,30	7,45	-4,85	8,61	4,36	-4,25	5,52	4,69
Média		7,82	7,46	-0,35	2,04	1,24	-0,80	1,43	0,72	-0,70	0,92	0,78	-0,13

Fonte: Elaborada pelo autor (2020). * Nota: Dif é a diferença entre as vazões observadas e estimadas.

Tabela 2 – Dados utilizados para realização dos cálculos dos parâmetros EMA, RSME e Log (C_{ns}) para as vazões Q50, Q90, Q95 e Q98 mensais.

Região	Estação	Q50% Obs.	Q50% Est.	*Dif ($m^3.s^{-1}$)	Q90% Obs.	Q90% Est.	Dif ($m^3.s^{-1}$)	Q95% Obs.	Q95% Est.	Dif ($m^3.s^{-1}$)	Q98% Obs.	Q98% Est.	Dif ($m^3.s^{-1}$)
RHH I	84598002	15,94	15,27	-0,68	9,54	7,26	-2,28	8,31	6,11	-2,20	7,45	5,12	-2,33
	84600000	18,13	15,17	-2,96	10,06	7,22	-2,84	8,67	6,07	-2,60	7,23	5,08	-2,15
	84500000	4,16	3,66	-0,50	2,26	1,71	-0,55	1,98	1,44	-0,54	1,60	1,23	-0,37
	84520000	9,93	9,24	-0,69	5,60	4,36	-1,23	4,94	3,68	-1,27	4,34	3,10	-1,24
	84520010	18,55	15,18	-3,38	10,14	7,22	-2,92	8,87	6,07	-2,80	8,05	5,09	-2,97
	84541000	3,69	3,99	0,30	1,65	1,86	0,21	1,30	1,57	0,27	1,10	1,34	0,24
	84551000	9,85	9,55	-0,30	4,14	4,51	0,37	3,14	3,80	0,66	2,34	3,20	0,86
	84559800	31,21	35,46	4,24	15,92	17,06	1,14	14,11	14,30	0,19	12,53	11,84	-0,69
	84560002	39,07	36,81	-2,26	18,87	17,72	-1,15	15,96	14,86	-1,10	13,26	12,29	-0,97
	84560000	35,96	39,73	3,76	14,58	19,14	4,57	10,85	16,05	5,20	9,01	13,26	4,25
	84249998	14,67	14,59	-0,08	5,60	6,93	1,34	4,85	5,83	0,98	4,26	4,89	0,63
	84250008	9,97	15,08	5,11	3,50	7,17	3,67	2,28	6,03	3,76	2,27	5,05	2,79
	84250000	14,60	15,08	0,48	4,99	7,17	2,18	3,81	6,03	2,22	2,93	5,05	2,12
	84580000	60,20	63,19	2,99	27,47	30,64	3,18	21,59	25,65	4,06	16,71	21,05	4,33
	84580500	83,62	65,49	-18,13	50,55	31,77	-18,78	45,26	26,59	-18,67	37,80	21,81	-15,99
84300000	22,12	20,01	-2,11	9,18	9,55	0,37	7,24	8,02	0,79	6,54	6,69	0,15	
	Soma	391,69	377,49	-14,18	194,03	181,31	-12,72	163,14	152,09	-11,05	137,41	126,09	-11,32
	Média	24,48	23,59	-0,88	12,12	11,33	-0,79	10,19	9,50	-0,69	8,58	7,88	-0,70
RHH II	84950000	28,31	26,22	-2,08	7,41	6,96	-0,45	5,27	5,79	0,52	4,12	4,09	-0,03
	84949800	24,16	23,41	-0,75	7,28	6,22	-1,06	4,89	5,11	0,22	3,41	3,56	0,15
	84820000	13,32	16,00	2,68	3,64	4,27	0,64	2,63	3,02	0,39	1,59	1,67	0,07
	84853000	10,58	9,42	-1,16	2,75	2,53	-0,22	1,52	1,51	-0,01	0,44	0,54	0,10
	84800000	3,39	3,36	-0,03	0,99	0,92	-0,07	0,67	0,71	0,05	0,42	0,45	0,03
	84949000	9,65	10,23	0,59	2,54	2,75	0,21	1,63	1,85	0,22	1,13	0,94	-0,19
		Soma	89,40	88,65	0,55	24,61	23,66	-1,46	16,61	17,99	2,24	11,11	11,24
	Média	14,90	14,77	0,09	4,10	3,94	-0,24	2,76	2,99	0,37	1,85	1,88	0,06

Fonte: Elaborada pelo autor (2020). * Nota Dif é a diferença entre as vazões observadas e estimadas.